

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**КОНСТРУЮВАННЯ, ВИРОБНИЦТВО
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
МАШИН**

Загальнодержавний міжвідомчий
науково-технічний збірник

Заснований у 1971 р.

За загальною редакцією М.І. Черновола

Випуск 40

Частина I

КІРОВОГРАД • 2010

УДК 631.3.001.1 (082)

Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, випуск 40, част. I. – Кіровоград: КНТУ, 2010. — 340 с.

В збірнику викладені питання розрахунку і конструювання, удосконалення конструкцій, створення і дослідження нових робочих органів сільськогосподарських машин, засобів механізації, електрифікації та автоматизації сільськогосподарського машинобудування. Описані результати досліджень технологій виробництва, надійності та довговічності машин. Дані практичні рекомендації по використанню результатів досліджень і дослідно-конструкторських розробок в сільськогосподарській і інших галузях машинобудування.

Збірник розрахований на наукових і інженерно-технічних робітників науково-дослідних інститутів, ВНЗ, конструкторських організацій і промислових підприємств.

Рекомендовано до друку вченою радою Кіровоградського національного технічного університету, протокол № 5 від 21 січня 2010 року.

Редакційна колегія: Бойко А.І., д.т.н., проф.; Гамалій В.Ф., д.ф-м.н., проф.; Зіновік М.А., д.х.н., проф.; Косінов М.М., к.т.н., доц. (відповідальний секретар); Носуленко В.І. д.т.н., проф.; Павленко І.І., д.т.н., проф.; Петренко М.М., к.т.н., проф. (заст. відп. редактора); Сало В.М., д.т.н., проф.; Черновол М.І., д.т.н., проф. (відповідальний редактор).

Адреса редакційної колегії: 25006, м. Кіровоград, пр. Університетський, 8, Кіровоградський національний технічний університет, тел.: 390-581, 390-472, 55-10-49.

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації. Редакція може публікувати статті в порядку обговорення, не поділяючи точки зору автора.

Збірник включений ВАК України в перелік спеціалізованих видань з технічних наук (бюлетень ВАК №5 від 1999р.).

Реєстраційне свідоцтво: серія КВ № 15254 – 3826 ПР від 30.04.2009 р.

УДК 631.562:633.1

І.Г. Грабар, проф., д-р техн. наук, Д.А. Дерев'янку, доц., канд. с.-г. наук,
С.М. Герук, доц., канд. техн. наук

Житомирський національний агроекологічний університет

Вплив чинників післязбиральної обробки зерна на якість насіннєвого матеріалу

В статті аналізується стан насіннєвого матеріалу при доочистці зерна після збирання і його травмування при цьому. Розглядається роль зерноочисних машин, вібросепараторів та вплив організаційно-технічних заходів для підготовки і зберігання високоякісного насіння.

зерновий ворох, агротехнічні вимоги, сортова чистота, зерноочисні та сортувальні машини

Після обмолоту зерновий ворох із домішками – різним зерном не основної культури, частинками соломи, колосків, щуплого, посіченого і побитого зерна, половиною, насінням бур'янів, рослинними рештками, пилом та іншими забруднювачами після збиральної доробки потрапляє на токи на очищення зерноочисними машинами. Як відомо, травмування зерна на токах тільки внаслідок перекидання на незначні відстані 3-5м. зростає до 3%, на значніші до 10-15%. Травмованість зерна пшениці, жита, ячменю, інших зернових за деякими даними досліджень лише при одноразовому проходженню через решітний стан ОВС-25 збільшується до 4-5%, а при підготовці насіння на СМ-4 або «Петкус» ще збільшується на 3-4%. При цьому відібрати насіння на таких машинах надто складно, так як поділ ведеться на решітному стані за лінійними розмірами насінини, що часто не співпадає з питомою вагою, яка в кінцевому разі і визначає його якість.

Післязбиральна обробка зернового вороху передбачає його очищення, сортування, калібрування, сушіння і зберігання.

Основними показниками, щодо агротехнічних вимог, які визначають якість очищення та сортування, є чистота насіння, абсолютна або питома вага, вирівняність за розмірами, енергія росту, схожість та інше.

Сортова чистота насіння пшениці, жита, ячменю I і II класу повинна становити 98-99%, енергія росту – 98%, схожість – 95%, кількість обрушеного насіння – до 1%, вологість – 14-17%.

Очищення і сортування зернового вороху на сучасних зерноочисних машинах повинно проводитись відповідно до вимог продовольчого і посівного матеріалу згідно державних стандартів і базисних кондицій. Вони повинні бути пристосованими для очистки зерна і насіння різних сільськогосподарських культур, зручно і легко переналагоджуватись бути доступними в експлуатації, відповідати нормам санітарії, швидко і зручно ремонтуватися, легко і просто при необхідності пересовуватися і інше. Сам процес підготовки зерна здійснюється на основі різниці у фізико-механічних ознаках складових частин зернового вороху, серед яких використовуються наступні: аеродинамічні властивості; розміри складових частин суміші; властивості та стан поверхні; щільність-питома вага; форма; колір; електричні властивості та інші.

Зерноочисні та сортувальні машини поділяють за призначенням, конструкцією, принципом роботи і способом пересування.

За призначенням машини розподіляються на загальні (попереднє очищення зерна та первинне і повторне очищення продовольчого зерна і насіннєвого матеріалу) і спеціальні (очищення від важковідокремлюваних домішок, карантинних, сортування).

За принципом роботи розрізняють повітроочисні; повітро-решітні; повітро-решітно-трієрні; трієрні.

Зерноочисні вібровідцентрові сепаратори призначені для очищення продовольчого і насіннєвого матеріалу в сукупності потокових ліній, які виготовляють у трьох варіантах: один, два, чотири уніфікованих блоки БЦСМ, які працюють в автоматичному режимі. Складається він з повітроочисної системи, з камерою осідання домішок, дозатора зернового вороху, циліндричного решітного пристрою, вібратора, оталини і механізму привода. Основним робочим органом є решітний циліндр діаметром 615мм, який обертається з частотою 110об/хв коливається у вертикальному напрямку з частотою 13 Гц. Будь-який зерновий матеріал проходить очищення і сепарацію та розділяється у режимі сепарації на декілька фракцій: смітна домішка, II і III фракції зерна з найвищою питомою вагою, яке найкраще відповідає вимогам високоякісного насіння і продовольства, IV і V фракції—зерно з низькою питомою вагою, подрібнене, щупле, бите, яке придатне тільки на фуражні цілі.

За оцінкою спеціалістів з однієї тонни зерна бункерної ваги 4-го класу можна отримати біля 600кг зерна 3-го класу, яке звісно на ринку дорожче на 100-150 грн/т. Слід також відмітити, що якщо внаслідок незадовільної перезимівлі озимини є потреба насіву таких площ ярим ячменем, то отриманий після обмолоту «суржик» після кількаразової сепарації розділяється і очищається до нормативних величин.

Для отримання позитивних результатів післязбиральної обробки зернового вороху в господарстві необхідно мати підготовлену матеріально-технічну базу: тік, склади-сховища, машини для очищення, сортування і калібрування зерна, навантажувально-розвантажувальні засоби, обладнання для сушіння, перекидання, транспортування.

Для підготовки, зберігання і використання доброякісного насіння та продовольчого зерна необхідно мати і виконати наступні заходи:

- тік, площа відкритої і закритої частини повинна становити 1-1,5 м² на 1т. зерна яке на йому буде розміщуватися;

- автоваги з добротним під'їздом з твердим покриттям та перевірені службою стандартизації перед початком збирання врожаю;

- продуктивність зерноочисних машин для первинної обробки повинна бути вищою за добу продуктивність роботи зернозбиральних комбайнів, оскільки головне тут буде негайне очищення, а при підвищенні вологості зерна –обов'язкове його підсушування, так як практично часто відбувається самозігрівання зернової маси;

- як при пониженій вологості так і при підвищеній обмолот зерна супроводжується травмуванням у вигляді битого, подрібненого, мікро-, макротріщин, вм'ятин, стиснення і перетиснення, що призводить до зниження як продовольчих так і особливо посівних якостей, що також вимагає негайного очищення;

- для продуктивної і ефективної роботи зерноочисних механізмів партію зерна необхідно проаналізувати за вмістом різних домішок і станом вологості, так як з різних частин поля, його чистоти, часу обмолоту (день, вечір, ніч) погодних умов на тік потрапляють різні партії зерна;

- зерноочисні машини та інше обладнання повинно бути відремонтоване, відрегульоване для кожної партії зерна для подачі її в машину, перевірити відсутність вібрації при роботі машин, наявність захисних огорож, заземлення, блискавкозахист;

- відрегулювати силу повітряного потоку, підібрати решета, встановити машину по ватерпасу (вздовж і впоперек) так як це впливає на якість роботи і знос обладнання,

відрегулювати роботу трієрів, контролювати чистоту виходу насіння і відходів, частота обертів циліндрів трієра для пшениці, жита, ячменю повинна становити 40-45 об/хв;

- перед початком роботи сортувальних столів перевіряється робоча сітка, встановлюється кут поздовжнього (5-6°) та поперечного (2-3°) нахилів деки, частота коливання деки, подача повітря;

- необхідно відокремлювати від маси пшениці гречку татарську на ситах із продовгуватими вічками шириною 2 мм з наступним пропусканням на кукільних трієрах з діаметром вічок 5,5 мм;

- амброзію від зерна пшениці та ячменю відокремлюють на ситах із продовгуватими (завширшки 3,5-4,5 мм) або круглими (4-6 мм) вічками та на вівсюжних трієрах (з діаметром вічок у циліндрах 8,5 мм);

- насіння вівсюга видаляють фрикційними сепараторами робочою поверхнею з байки або ворсисто-полотенними гірками.

Для отримання високоякісного насіннєвого матеріалу надзвичайно важливо отримати його з високими показниками сортової чистоти. Для пшениці, наприклад, перша категорія сортової чистоти повинна становити 99,5%. Велике значення мають показники засміченості бур'янами, ураженості хворобами, наявності шкідників. Тому контроль повинен бути суворим з дотриманням всіх заходів у тому числі і хімічного захисту рослин-застосування гербіцидів і отрутохімікатів.

У насіннєвому матеріалі визначається наявність грибкових захворювань, зокрема сажки, якої не повинно бути взагалі в кондиційному насінні. Обмежується також вміст у насінні склероцій. Мікроорганізми, які впливають на посівні і врожайні якості насіння, діляться на дві групи: ті що пошкоджують насіння при вирощуванні і ті, які розвиваються при зберіганні після обмолоту. А в умовах підвищеної температури і вологості вони розвиваються швидко, внаслідок чого температура зерна підвищується і відбувається самозігрівання зерна.

При розмноженні насіння різних репродукцій посів необхідно починати з нижчих, а збирання насінних площ – з вищих репродукцій, внаслідок чого не допускається змішування насіння в межах навіть одного сорту.

Після сівби насіння однієї репродукції сівалку необхідно добре очистити і навіть малу частину залишеного насіння вищої репродукції висіяти на ділянці після закінчення сівби нижчої репродукції.

При переході комбайна на обмолот іншого сорту та культури, необхідно перший бункер використовувати на продовольчі чи фуражні цілі, а не на насінницькі. Це допоможе не тільки забезпеченню видової або сортової чистоти насіння, а й не дозволить його механічній засміченості насінням бур'янів, ураження хворобами та шкідниками.

Список літератури

1. Бурков А.И., Сучугов Н.П. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследования, расчет и испытание.– Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000.-261с.
2. Горбинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. Процессы сепарации на зернообработывающих предприятиях.– М.: Колос. 1980.
3. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини.– К.: Каравела, 2008.-551с.

И.Грбар, Д. Деревянко, С. Герук

Влияние факторов послеуборочной обработки зерна на качество семенного материала

В статье анализируется состояние семенного материала при доочистке зерна после уборки и его травмирование при этом. Рассматривается значение зерноочистительных машин, вибросепараторов и влияние организационно-технических мероприятий для подготовки и сохранения высококачественного семенного материала.

I. Grabar, D. Derev'yanko, S. Geruk

Influence of factors after harvest treatment of grain on quality of seminal material

The paper analyzes the state of sceding material under the additional clarification of grain after harvesting and its injury during this process. The author considers the role of grain cleaners, vibroseparators and the effects of organizational and technical measures on the preparation and storage of high quality seeds.

Одержано 10.12.09

УДК 631.354.2

**І.Г. Грабар, проф., д-р техн. наук, Д.А. Дерев'янку, доц., канд. с-г. наук,
С.М. Герук, доц., канд. техн. наук**

Житомирський національний агроекологічний університет

Вплив обмолоту на посівні якості зерна пшениці, жита, та інших зернових

В статті приведено аналіз впливу регулювання молотильних апаратів та обертів барабана і зазорів між ним і підбарабанням на травмування насіння озимої пшениці та інших зернових культур. Узагальнено вплив мікропошкоджень зернівки на посівні якості насіння зернових культур.

якість насіння, польова схожість, зернова маса, травмування насіння

Якісний посівний матеріал забезпечує можливість без додаткових енергетичних затрат отримання бажаного росту рослин, зниження, інколи надзвичайно великого, негативного впливу бур'янів, хвороб і шкідників на різке зменшення врожайності – інколи воно сягає більше 50%.

Насіння характеризується сортовими, посівними та врожайними властивостями, серед яких великого значення мають фізичні властивості посівного матеріалу - натура, вирівняність, форма насіння. Так, у озимої пшениці більше врожайним є компактне зерно, а тонке, видовжене, яке за масою не поступається перед зерном вирівняним і ваговитим, забезпечує меншу врожайність. Як відомо, ці відмінності називають різноокістю, серед яких виділяють три форми: екологічну, материнську, генетичну. Перша формується умовами ґрунтово-кліматичної зони і агротехнікою вирощування культури, друга – залежить від розміщення насіння в суцвітті і остання залежить від умов запилення квітки і розвитку зиготи.

Посівні якості насіння характеризуються наступними основними показниками – чистота, вологість, енергія проростання, лабораторна схожість, маса 1000 насінин. Надзвичайно великого значення має польова схожість насіння, яка в першу чергу залежить від якості самого насіння, вологості, фізичних властивостей ґрунту, глибини загорання насіння.

Від польової схожості залежить густина посіву і рівномірність розподілу загального і продуктивного стеблостою, від якого в кінцевому результаті залежить урожайність озимої пшениці, жита, ячменю.

На якісні показники насіння впливає його дозрівання та організація збирання врожаю, а також його післязбиральна доробка (очищення, сушіння, калібровка).

Насінницькі посіви необхідно збирати в повній стиглості, а високоякісні товарні

I. Grabar, D. Derev'yanko, S. Geruk

Influence of factors after harvest treatment of grain on quality of seminal material

The paper analyzes the state of sceding material under the additional clarification of grain after harvesting and its injury during this process. The author considers the role of grain cleaners, vibroseparators and the effects of organizational and technical measures on the preparation and storage of high quality seeds.

Одержано 10.12.09

УДК 631.354.2

І.Г. Грабар, проф., д-р техн. наук, Д.А. Дерев'янку, доц., канд. с-г. наук, С.М. Герук, доц., канд. техн. наук

Житомирський національний агроекологічний університет

Вплив обмолоту на посівні якості зерна пшениці, жита, та інших зернових

В статті приведено аналіз впливу регулювання молотильних апаратів та обертів барабана і зазорів між ним і підбарабанням на травмування насіння озимої пшениці та інших зернових культур. Узагальнено вплив мікропошкоджень зернівки на посівні якості насіння зернових культур.

якість насіння, польова схожість, зернова маса, травмування насіння

Якісний посівний матеріал забезпечує можливість без додаткових енергетичних затрат отримання бажаного росту рослин, зниження, інколи надзвичайно великого, негативного впливу бур'янів, хвороб і шкідників на різке зменшення врожайності – інколи воно сягає більше 50%.

Насіння характеризується сортовими, посівними та врожайними властивостями, серед яких великого значення мають фізичні властивості посівного матеріалу - натура, вирівняність, форма насіння. Так, у озимої пшениці більше врожайним є компактне зерно, а тонке, видовжене, яке за масою не поступається перед зерном вирівняним і ваговитим, забезпечує меншу врожайність. Як відомо, ці відмінності називають різноокістю, серед яких виділяють три форми: екологічну, материнську, генетичну. Перша формується умовами ґрунтово-кліматичної зони і агротехнікою вирощування культури, друга – залежить від розміщення насіння в суцвітті і остання залежить від умов запилення квітки і розвитку зиготи.

Посівні якості насіння характеризуються наступними основними показниками – чистота, вологість, енергія проростання, лабораторна схожість, маса 1000 насінин. Надзвичайно великого значення має польова схожість насіння, яка в першу чергу залежить від якості самого насіння, вологості, фізичних властивостей ґрунту, глибини загорання насіння.

Від польової схожості залежить густина посіву і рівномірність розподілу загального і продуктивного стеблостою, від якого в кінцевому результаті залежить урожайність озимої пшениці, жита, ячменю.

На якісні показники насіння впливає його дозрівання та організація збирання врожаю, а також його післязбиральна доробка (очищення, сушіння, калібровка).

Насінницькі посіви необхідно збирати в повній стиглості, а високоякісні товарні

посіви – на початку повної стиглості. Під час збирання обов'язково слід контролювати і забезпечувати всі заходи, які зменшують травмування зерна під час обмолочування. Як відомо, показники пошкодження зерна залежать від сорту та виду сільськогосподарських культур, біологічної фази розвитку рослин, регулювання роботи агрегатів комбайна. Найнебезпечнішими є мікро пошкодження в зоні зародка зерна, механічні пошкодження зародка та ендосперму в зв'язку з тим, що в процесі обмолоту зв'язаних зерен, що знаходяться в колоссях, вимагаються багаторазові удари бичів по колоссях або навіть протягування їх по деці й розриву зв'язків зерна зі стержнем колоса. Цей процес протікає по всій довжині деки, а при обмеженій її довжині якась частина зерен залишається в колоссях необмолоченою і піде у втрати. Обмолочене зерно на початку деки під дією ударів бичів сили ваги й відцентрової сили, що виникає при русі зерна у хлібній масі, намагається пройти через шар соломи і полови, а потім через гранчасту деку на стрясну дошку. В зв'язку з тим, що при перших ударах по зернах відбувається їхній обмолот, то вся енергія, одержувана зерном від ударів, іде на руйнування зв'язку зерен в колосі і з стержнем, то швидкості звільнення зернин не являються значно великими, а тому процес сепарації зерна на початку деки вповільнений, а потім з рухом швидко зростає, потім знову уповільнюється, тому що кількість обмолоченого зерна на деці, що може пройти через неї, має обмежені величини. Мала величина інтенсивності сепарації означає неефективне використання довжини деки в її кінці. Таким чином, крива інтенсивності сепарації має цілком реальний фізичний зміст – вона являє собою ніби форму купи зерна, яка може утворитися під декою, якщо стрясна дошка комбайна буде нерухливою, а зерно, яке мине гратчасту деку, не буде обсипатися на скатах, а щільно прилипатиме одне до одного.

При обмеженій довжині деки через її ґрати пройде тільки частина обмолоченого вільного зерна, а деяка частина, зрозуміло, залишається в соломисто-полов'яній купі. З метою збільшення частки проходження через деку зерна на деяких комбайнах використовують замість одного два молотильних пристрої, у яких сумарна довжина двох деків значно збільшується, що забезпечує підвищену інтенсивність сепарації. Але в такому випадку значно зростає пошкодження зерна–дроблення, а зерновий ворох який пройшов через деку, містить велику кількість подрібнених стебел, що значно ускладнює процес сепарації зерна при повітряно-решітному очищенню.

Необхідно відмітити вплив величини секційної подачі всієї зернової маси на основні якісні показники молотильного апарата. Це сепарація або кількість зерен, які проходять через решітчасту дошку, чистота зернової маси, кількість подрібнених зерен після обмолоту і величина недомолоту. Ці показники, як відомо, вираховують в процентах відносно секційного проходження зерна.

Зернова маса, що подається в барабан, складається з соломи і зерна, а тому навантаження на нього і на шляхи сепарації, обмолоту, пошкодження внаслідок подрібнення головний вплив створює величина секундного надходження соломи. При дослідженнях секундне надходження зернової маси враховується із того, що соломи повинно бути приблизно в 1-5 рази більше, ніж зерна. При збільшенні надходження зернової маси, сепарація зерна через молотильний барабан понижується через зменшення просіювання через соломку, збільшується недомолот і подрібнення зерна, а чистота зернової маси залишається постійною або навіть збільшується. В зв'язку з цим збільшуються загальні втрати зерна і залишків недомолоченого в соломі. Виходячи з цього, багатьма дослідниками робляться висновки, що для сучасних комбайнів при існуючих технологічних принципах, питома секундне надходження зернової маси на метр ширини молотильного барабана повинно бути незмінним при відповідному відношенні зерна і соломи та при певних умовах роботи. Для нинішніх вітчизняних комбайнів це надходження становить 4,2-5 кілограмів в секунду на метр ширини. Це

питоме надходження зернової маси в наступному потрібно буде підвищувати шляхом інтенсифікації процесів обмолоту і сепарації при допомозі різних нових конструктивних і технологічних заходів. Для прикладу, дослідження підтверджують, що нинішні молотильні агрегати не завантажені на 40-50%, а також інші робочі органи нинішніх зернових комбайнів мають не менші резерви підвищення пропускних можливостей.

Кругова швидкість однобарабаних агрегатів комбайнів при настроюваннях їх на новий вимолот зерна з колосся сягає 30-31 метра в секунду, що часто приводить до підвищеного дроблення зерна, або його травмування і, як результат, отримуємо зниження схожості такого зерна.

Для обмолоту насінневих ділянок озимої пшениці і жита оптимальна швидкість обертання бичів барабана 20-25 метрів за секунду. При таких обставинах травмування обмолоченого зерна мінімальне. Решта зерна, яке залишається необмолоченим через міцний зв'язок у колоску, може бути обмолочене другим молотильним барабаном із значно більшими швидкостями, необхідними для повного обмолоту. Тобто перший барабан обмолочує хлібну масу в м'якому режимі при мінімальному травмуванні і дробленні зерна із меншою частотою обертання барабана (до 900 обертів у хвилину) із підвищеними зазорами на вході і виході з деки, що унеможлиблює прояви більших швидкостей зерна і стискання зернової маси.

Другий бильний барабан працює у жорсткому режимі, тобто із гранично допустимою частотою обертання для тієї чи іншої культури та мінімальних зазорів. Такий режим забезпечує повний обмолот всього зерна, яке залишається в колосках, і найбільш ефективну його сепарацію. Слід відмітити, що в даному режимі відбувається значніше травмування і дроблення зерна, але цінніше – посівне зерно було обмолочено та просепаровано першим барабаном.

Механічне пошкодження зерна призводить до погіршення його якості, зберігання, зниження хлібопекарських, технологічних, посівних якостей.

При посіві травмованого насіння знижується його схожість, значно послаблюється розвиток рослини. При пошкодженні зародка паросток втрачає орієнтацію, закручується. На пошкоджених місцях насінини розвиваються колонії грибів, що часто призводить до їх загибелі.

Травмування насіння зменшується також при роздільному способі збирання, правильному визначенні строків обмолоту, регулюванні молотильних апаратів, особливо обертів барабана і зазорів між ним і підбарабанням, тобто оберти барабана в жорсткому режимі становили 1000-1200 об/хв, а зазор між барабаном і підбарабанням був на 3-4 мм меншим, ніж на першому молотильному агрегаті.

Здійснення комплексу заходів відносно зменшення травмування зерна має економічну вигоду, так як забезпечує додатковий вихід насіння, що особливо важливо при розмноженні насіння еліти і супереліти та першої репродукції нових перспективних сортів озимої пшениці, жита, ячменю.

Список літератури

1. Войтюк Д.Г., Гаврилук Г.Р. Сільськогосподарські машини.– Київ: Каравела, 2008.–551с.
2. Злочевський В.Л. Интенсификация процесса аэродинамического разделения зерновых материалов.– Дис...д-ра техн. наук.– Барнаул, 1985.–490с.
3. Майсюрян Н.А. Удельный вес - показатель спелости семян. Тр. всесоюзного социалистического земледелия. 1940. Т. 1. с 41-65.

И. Грабар, Д. Деревянко, С. Герук

Влияние обмолота на посевные качества зерна пшеницы, ржи, и других зерновых

В статье приведен анализ влияния регулирования молотильных аппаратов, оборотов барабана и зазоров между ним и подбарабаньем на травмирование семян озимой пшеницы и других зерновых культур. Обобщено влияние микротравм зерновки на посевные качества семян зерновых культур.

I. Grabar, D. Derev'yanko, S. Geruk

Influence of threshing on sowing qualities of grain of wheat, rye, and other grain-growing

The paper analyzes the effects of controlling threshers and cylinder cycles, as well as the effects of clearance between them and the concave on damage to winter wheat seeds and other grain crops. The author generalizes the effects of microinjuries of grain container on the seeding qualities of grain crop seeds.

Одержано 10.12.09

УДК 621.787.4:621.882

Б.И. Бутаков, проф., д-р техн. наук, А.В. Зубехина, лаборант

Николаевский государственный аграрный университет

Влияние жесткости технологической системы при обкатывании роликами деталей на их точность

В статье описаны результаты исследования жесткости технологической системы станок-инструмент-деталь при обкатывании валов и раскатывании отверстий роликами. Описаны рекомендации по уточнению размеров деталей в результате обкатывания их роликами.

обкатывание и раскатывание деталей роликами, точность, шероховатость

Реализация оптимального режима обкатывания связана с возможностями используемых станков. Одним из условий при этом является возможность создания и стабилизации рабочего усилия необходимой величины.

При односторонней схеме обкатывания универсальными однороликовыми устройствами усилие обкатывания полностью воспринимается узлами станка, поэтому оно ограничивается размерами и фирменными особенностями станков.

Постоянство необходимого усилия непосредственно связано с жесткостью технологической системы станок – инструмент – деталь. Жесткость j системы, состоящей из нескольких звеньев, определяется по А.П. Соколовскому:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \frac{1}{j_3} + \dots \quad (1)$$

Одна из основных составляющих жесткости системы – жесткость станка. На жесткость металлорежущих станков оказывает большое влияние соотношение составляющих усилия резания. Соотношение $P_z : P_y : P_x$, на которое рассчитаны универсальные металлорежущие станки, отличается наибольшим значением P_z . При довольно широких колебаниях указанное соотношение, в среднем характерное для процесса резания, составляет 1: 0,4: 0,25.

В отличие от этого процесс обкатывания характеризуется превалирующим значением P_y при незначительной величине остальных составляющих.

В статье приведен анализ влияния регулирования молотильных аппаратов, оборотов барабана и зазоров между ним и подбарабаньем на травмирование семян озимой пшеницы и других зерновых культур. Обобщено влияние микротравм зерновки на посевные качества семян зерновых культур.

I. Grabar, D. Derev'yanko, S. Geruk

Influence of threshing on sowing qualities of grain of wheat, rye, and other grain-growing

The paper analyzes the effects of controlling threshers and cylinder cycles, as well as the effects of clearance between them and the concave on damage to winter wheat seeds and other grain crops. The author generalizes the effects of microinjuries of grain container on the seeding qualities of grain crop seeds.

Одержано 10.12.09

УДК 621.787.4:621.882

Б.И. Бутаков, проф., д-р техн. наук, А.В. Зубехина, лаборант

Николаевский государственный аграрный университет

Влияние жесткости технологической системы при обкатывании роликами деталей на их точность

В статье описаны результаты исследования жесткости технологической системы станок-инструмент-деталь при обкатывании валов и раскатывании отверстий роликами. Описаны рекомендации по уточнению размеров деталей в результате обкатывания их роликами.

обкатывание и раскатывание деталей роликами, точность, шероховатость

Реализация оптимального режима обкатывания связана с возможностями используемых станков. Одним из условий при этом является возможность создания и стабилизации рабочего усилия необходимой величины.

При односторонней схеме обкатывания универсальными однороликовыми устройствами усилие обкатывания полностью воспринимается узлами станка, поэтому оно ограничивается размерами и фирменными особенностями станков.

Постоянство необходимого усилия непосредственно связано с жесткостью технологической системы станок – инструмент – деталь. Жесткость j системы, состоящей из нескольких звеньев, определяется по А.П. Соколовскому:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \frac{1}{j_3} + \dots \quad (1)$$

Одна из основных составляющих жесткости системы – жесткость станка. На жесткость металлорежущих станков оказывает большое влияние соотношение составляющих усилия резания. Соотношение $P_z : P_y : P_x$, на которое рассчитаны универсальные металлорежущие станки, отличается наибольшим значением P_z . При довольно широких колебаниях указанное соотношение, в среднем характерное для процесса резания, составляет 1: 0,4: 0,25.

В отличие от этого процесс обкатывания характеризуется превалирующим значением P_y при незначительной величине остальных составляющих.

Непосредственные измерения усилий обкатывания валов диаметром 100 мм роликами различных размеров, выполненные динамометром УДМ конструкции ВНИИ с записью осциллограмм, показали, что для обкатывания характерно соотношение $P_z : P_y : P_x = 0,03 : 1 : 0,3$ [1]. У большинства конструкций станков максимальная жесткость достигается при отношении $P_y : P_z = 0.4$ и резко падает при его увеличении.

В смысле сохранения оптимального режима обкатывания представляет опасность не столько снижение жесткости, сколько ее непостоянство. Например, при обкатывании на токарных станках концов вала, кроме жесткости суппорта, на жесткость системы существенно влияет жесткость передней и задней бабок. Принято считать, что по мере передвижения суппорта от передней бабки к задней жесткость снижается на 40-60%. По данным Санкт-Петербургского технического университета у токарных станков с высотой центров 200-300 мм перепад жесткости составляет 50-100%, достигая в отдельных случаях четырехкратного. Аналогичная картина наблюдается у крупных токарных станков с высотой центров 500-1500 мм.

Очевидно изменение жесткости в процессе обработки на расточных и карусельных станках. При увеличении вылета шпинделя в 3 раза жесткость шпиндельного узла расточного станка с диаметром шпинделя 90 мм падает в 4 раза, а станка с диаметром шпинделя 150 мм - в 3,5 раза [2].

При характерном для обкатывания роликами распределении усилий увеличивается гистерезис кривой зависимости усилие - отжатие. Это связано с определяющей ролью стыков в деформации узлов станков [3]. Упругие деформации входящих в них деталей составляют лишь небольшую долю деформации узлов.

На рис. 1 приведены экспериментальные зависимости деформации от радиального усилия для трех токарных станков разных размеров [4]. В начале разгрузки усилие резко падает при очень малых перемещениях, связанных с упругой деформацией деталей без участия стыков. В этот момент жесткость системы весьма высока; она измеряется сотнями килоньютонов на миллиметр.

В процессе обкатывания эксцентричное закрепление детали, радиальное биение роликов и другие погрешности приводят к тому, что система работает в колебательном режиме разгрузка - нагружение вблизи максимума приложенной нагрузки. Моделирование этого процесса путем шести последовательных циклов изменения нагрузки в пределах 8,5-10,5 кН, выполненное на станке с высотой центров 286 мм, представлено кривой 1 в увеличенном масштабе на рис. 1. Полученный график показывает, что жесткость системы при этом остается в области весьма высоких значений, характерных для разгрузочной ветви кривой $P=f(y)$.

Задача стабилизации усилия обкатывания в пределах допустимых отклонений решается введением в конструкцию обкатных устройств упругих элементов пониженной жесткости.

Объединяя в выражении (1) жесткость станка, детали, крепежных приспособлений общим символом j_c и выделив жесткость инструмента для обкатывания j_u , найдем жесткость системы [4]:

$$j = \frac{j_c j_u}{j_c + j_u} \quad (2)$$

Предположим, что отношение жесткости инструмента к жесткости остальных элементов m , тогда

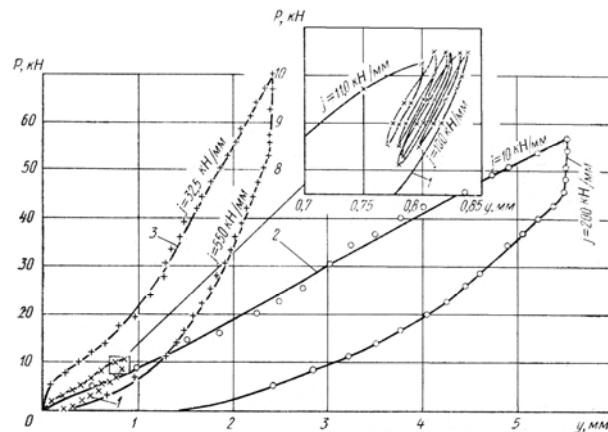
$$j_u = m j_c \quad (3)$$

Если жесткость j_c колеблется в пределах от $\gamma_{c \max}$ до $j_{c \min}$, причем $\gamma_{c \max} = n j_{c \min}$, то введение в технологическую систему инструмента с жесткостью по формуле (3) приведет к уменьшению этих колебаний:

$$\Delta j = j_{\max} - j_{\min} = \frac{m}{1+m} (n-1) j_{c \min}.$$

Колебания жесткости системы уменьшатся в $\frac{1+m}{m}$ раз, или на $\frac{100}{m}\%$.

Одним из радикальных путей стабилизации режима обкатывания роликами является исключение из общей жесткости технологической системы поперечной жесткости станка. В производстве широко применяется обкатывание валов многороликовыми охватывающими устройствами разных типов. А раскатывание отверстий большой длины было бы невозможно без использования многороликовых головок с уравновешенным радиальным давлением. Разгрузка суппорта станка от рабочего усилия обкатывания упрощает силовую схему процесса. Усилие замыкается между деталью и обкатным устройством. Если при этом деталь имеет стенки достаточно большой толщины, то величина и постоянство усилия определяются конструкцией и жесткостью инструмента. При обкатывании или раскатывании тонкостенных деталей их жесткость должна быть учтена.



1 - 286 мм; 2 - 500 мм; 3 - 1250 мм

Рисунок 1 - Зависимость отжима суппорта токарного станка от радиального усилия при высоте центров

Рассмотрим жесткость системы инструмент - деталь на примере раскатывания втулок. Представим втулку в процессе раскатывания в виде тонкой цилиндрической оболочки, шарнирно опертой на концах и нагруженной в среднем сечении радиальными составляющими усилия, равномерно разнесенными по окружности и приложенными в точках контакта роликов. Такой случай рассмотрен в работе П.П. Бейларда [5].

Дифференциальные уравнения оболочки решаются методом разложения перемещений и нагрузок в двойные ряды Фурье. В результате получено выражение для радиального перемещения ω , пригодное для числовых расчетов:

$$\omega = \frac{12kl^3(1-\mu^2)P}{\pi n^3 E \rho} \left[\sum_n (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} x}{n^4 \pi^4 + 12(1+\mu^2)\alpha^4 \gamma^2} + \sum_m \sum_n (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{2(m^2 \alpha^2 + n^2 \pi^2)^2}{T} \cos(km)\varphi \sin \frac{n\pi}{l} x \right]$$

где P - радиальное усилие на каждом ролике;
 k - количество сил (роликов);

E, μ - модуль упругости и коэффициент Пуассона материала раскатываемой втулки;

$\rho = \frac{|D_d|}{2}; l, h$ - радиус, длина и толщина стенки втулки;

$\alpha = \frac{2l}{|D_d|}; \gamma = \frac{|D_d|}{2h}$; x, φ - цилиндрические координаты;

$$T = (m^2 \alpha^2 + n^2 \pi^2)^4 + 12(1 - \mu^2) n^4 \pi^4 \alpha^4 \gamma^2 - m^2 \alpha^4 [2m^4 \alpha^4 + (6 + \mu - \mu^2) n^4 \pi^4 + (7 + \mu) m^2 \alpha^2 n^2 \pi^2].$$

Расчеты выполнены на ЭВМ для цилиндров диаметром $|D_d| = 300$ мм с различными отношениями радиуса к толщине стенки $\gamma = \frac{|D_d|}{2h}$ и длины к радиусу

$$\alpha = \frac{2l}{|D_d|}.$$

Принятое при расчете шарнирное закрепление концов оболочки с бесконечной жесткостью в радиальном направлении не может служить моделью реального крепления втулок при раскатывании вблизи торцов. Из результатов расчета практическое значение имеют прогибы на достаточном удалении от концов оболочки при больших значениях α .

Полагая, что при $\alpha = 6,6$ влияние способа закрепления концов на прогиб в середине не существенно при любом количестве сил, рассчитаем прогибы и построим графики зависимости относительной жесткости от γ при разном количестве радиальных усилий в сечениях, удаленных от торцов. Под жесткостью j при этом понимается усилие, отнесенное к радиальному прогибу оболочки в точке приложения усилия. Полученные графики (рис. 2) показывают, как жесткость возрастает при увеличении толщины стенки и количества приложенных усилий (количества роликов раскатного устройства).

Заслуживает внимания тот факт, что при увеличении количества усилий не во всех случаях монотонно растет жесткость. Превышение определенного количества усилий приводит к общему растягиванию втулки и соответствующему уменьшению жесткости в результате взаимодействия соседних усилий. Например, при отношении радиуса раскатываемой втулки к толщине стенки 23 жесткость одинакова при 12 и 16 усилиях. При уменьшении этого отношения до 16 (более толстостенная гильза) становятся равными жесткости втулок, нагруженных 16 и 8 усилиями и т. д.

Графики 1-7, приведенные на рис. 2, позволяют определить жесткость втулок с наиболее распространенными диаметральными размерами в сечениях, удаленных от торцов. Вблизи торцов жесткость существенно снижается.

Жесткость консольной оболочки, нагруженной радиальными усилиями, действующими в сечениях, лежащих вблизи торца, определяли экспериментально. Испытывали жесткость втулки длиной 600 мм с внутренним диаметром 300 мм. Толщина ее стенки была сначала 15 мм ($\gamma = 10$), затем втулку протачивали снаружи до толщины 10 мм ($\gamma = 15$); 7,5 мм ($\gamma = 20$) и 5 мм ($\gamma = 30$).

Для нагружения втулки изготовлен специальный гидравлический динамометр, имеющий восемь радиально расположенных рабочих цилиндров и нагрузочный цилиндр, вынесенный на противоположный конец центральной оправки. Оправка установлена в подшипниках центровика с конусом для крепления динамометра в пиноли задней бабки токарного станка.

Нагрузку измеряли манометром. При необходимости часть рабочих цилиндров можно было отключать углублением резьбовых упоров, ограничивающих радиальный

ход плунжеров. Таким образом, можно варьировать количество точек нагружения. Втулка нагружалась последовательно на расстояниях 5, 10, 100 и 300 мм от торца в 2, 4 или 8 точках. Усилия, прикладываемые в каждой точке, составляли 3, 2 и 1 кН. Усилие ограничивалось по мере уменьшения толщины стенки для предотвращения остаточных деформаций втулки. Упругие деформации втулки измерялись при нагружении в диаметрально противоположных точках двумя микронными индикаторами, установленными на суппорте.

По деформациям и приложенным усилиям рассчитывалась жесткость втулок. Графики изменения жесткости по длине втулок с различной толщиной стенки приведены на рис. 2. Графики показывают, что жесткость вблизи торца при двухроликовой схеме раскатывания примерно в 4 раза ниже жесткости на глубине, равной диаметру, причем на всей этой длине жесткость повышается по мере удаления от торца. Увеличение количества точек нагружения до 4 и тем более до 8 несколько сокращает перепад жесткости до трехкратного и существенно приближает к торцу сечение, в котором жесткость стабилизируется. Представляет интерес полное совпадение опытных значений жесткости, полученных на глубине, равной диаметру втулки, с расчетными значениями, для соответствующих γ и количества усилий. Экспериментальные точки отмечены на рис. 2. Сказанное подтверждает практическую пригодность примененной методики расчета жесткости втулок при раскатывании на глубине, равной диаметру и большей при различном количестве роликов в раскатном устройстве.

Рассматривая шероховатость поверхности как отклонение от номинальной формы детали, можно говорить об обкатывании роликами, как об эффективном способе уточнения микропрофиля деталей машин. В значительно меньшей мере это относится к волнистости, возможность уменьшить которую зависит от соотношения шага волны и размеров зоны деформации. Волна с малым шагом устраняется достаточно эффективно. Соотношением зоны деформации с габаритными размерами обрабатываемой детали определяется возможность уточнения ее размеров и формы в макрообъеме. Для деталей малых размеров процесс обкатывания является процессом холодного формообразования.

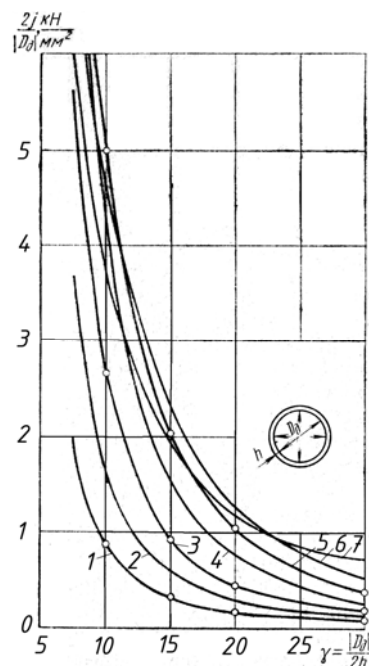


Рисунок 2 - Жесткость втулок в сечениях, удаленных от торцов при двух (1), трех (2), четырех (3), шести (4), восьми (5), двенадцати (6) и шестнадцати (7) радиальных усилиях

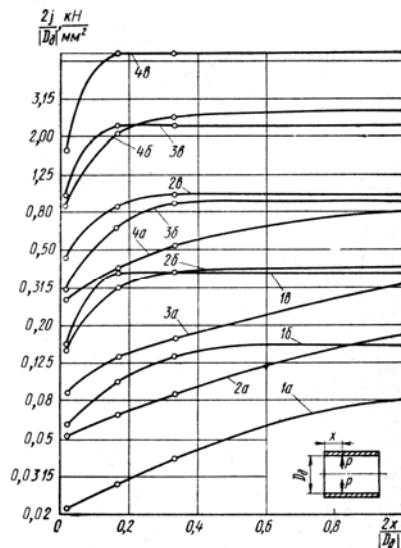


Рисунок 3 - Жесткость втулок вблизи торцов, нагруженных двумя (а), четырьмя (б) и восемью (в) усилиями при $\gamma = 30$ (1), 20 (2), 15 (3), 10 (4)

Допуск на точные валы малых диаметров во много раз меньше усадки, например для диаметра 5 мм шестого качества ISO он составляет всего 0,008 мм. Поэтому из заготовок низкой точности, изготовленных с припуском, не превосходящим усадку, обкатыванием довольно легко получают детали повышенной точности. По мере увеличения размеров деталей усадка от обкатывания уменьшается. Деформация приобретает поверхностный характер, и на изменении размеров сказывается в основном перераспределение материала микронеровностей, смятие гребешков и заполнение впадин. Обычно изменение диаметров (уменьшение диаметра вала и увеличение диаметра отверстия) заметно превосходит высоту исходных микронеровностей, на которую должен был бы измениться диаметр при полном смятии микронеровностей треугольного профиля. Это объясняется, во-первых, тем, что при измерении диаметров контактные поверхности измерительных инструментов соприкасаются с наиболее выступающими гребешками микронеровностей, т. е. измеряется обычно наибольший описанный диаметр вала и наименьший вписанный диаметр отверстия; во-вторых, тем, что средняя линия микропрофиля поверхности, например после обтачивания, проходит несколько ниже половины высоты микронеровностей, так как вследствие скругления вершины резца форма микронеровностей отличается от треугольной и объем впадин микропрофиля превосходит объем гребешков. Кроме того, на изменение размеров влияют вытяжка поверхностного слоя у краев обкатанного участка и упругая деформация детали от остаточных напряжений.

Если допуск обкатываемой поверхности по величине сравним с ожидаемым изменением диаметра или меньше его, деталь должна быть подготовлена под обкатывание с заданным допуском, но с измененным на величину уменьшения номинального размера в процессе обкатывания в плюс для валов и в минус для отверстий. Практически это означает, что диаметры до 250 мм 8-го качества ISO и все диаметры 7-го качества ISO необходимо корректировать. Детали 8-го качества ISO с диаметром более 250 мм, а также менее точные детали всех размеров обкатывают после изготовления их по окончательным чертежным размерам.

Вопрос о повышении точности, т. е. о сужении поля допуска в результате обкатывания, связан с возможностью регулировать рабочее усилие. Очевидно, что при малой жесткости системы станок - инструмент - деталь, необходимой для обкатывания

деталей роликами кругового профиля, когда для успешного проведения операции необходимо сохранение усилия в пределах, ограниченных допустимым углом вдавливания, можно говорить лишь о сохранении точности, полученной на предварительных операциях. Чтобы в результате обкатывания получить уточнение размеров обкатываемых деталей, необходимо использовать схемы высокой жесткости, в которых изменение натяга за счет колебания размеров заготовки вызвало бы заметное изменение усилия и соответствующее изменение усадки. При этом указанное изменение усилия не должно приводить к снижению качества обкатанной поверхности. Этому требованию в наибольшей мере удовлетворяет процесс обкатывания с каплевидной формой контакта роликов прямолинейного профиля. Постоянный угол вдавливания таких роликов предохраняет обкатываемую поверхность от волнистости и позволяет получать требуемое качество поверхности в некотором диапазоне усилий.

Например, при раскатывании отверстий в зависимости от допуска ε_1 на предварительно расточенное отверстие, натяг головки в отверстии изменяется. При высокой жесткости системы инструмент - деталь это изменение вызовет соответственное изменение рабочего усилия, а следовательно, и различные приращения диаметра раскатываемого отверстия. В результате допуск на раскатанное отверстие ε_2 будет меньше, чем в заготовке.

Относительное сужение поля допуска $\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1}$ характеризует уточнение, достигаемое при раскатывании отверстий. Уточнения, необходимые для перевода размера деталей в более высокий квалитет ISO, приведены в табл. 1. Экспериментально возможность уточнения проверялась при раскатывании отверстий диаметром 46 и 58 мм и длиной 100 мм в толстостенных стальных втулках с наружным диаметром 140 мм и во втулках из алюминия с наружным диаметром 100 мм. Втулки раскатывали жесткими планетарными головками с пятью роликами диаметром 9 мм. Шероховатость поверхности уменьшается при раскатывании стали с $Rz = 80$ мк до $Ra = 0,63$ мк и с $Rz = 20$ мк до $Ra = 0,32$ мк; для алюминия уменьшение шероховатости еще более значительное – с $Rz = 160$ мк до $Ra = 0,32$ мк и с $Rz = 40$ мк до $Ra = 0,16$ мк.

Таблица 1 - Величины уточнения $\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1}$

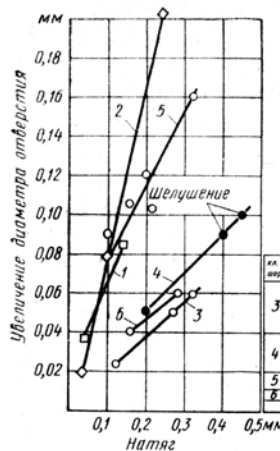
Исходный квалитет ISO	Требуемый квалитет ISO			
	6	7	8	9
6	0			
7	0,33	0		
8	0,5	0,25	0	
9	0,75	0,67	0,5	0
10	0,85	0,78	0,7	0,4

Оптимальным для получения наименьшей шероховатости на стали 20 является натяг 0,2 мм. При натяге около 0,3 мм появляется волнистость поверхности, а при 0,4 мм поверхность начинает шелушиться. На более твердой стали 40X шероховатость уменьшается вплоть до натяга 0,3 мм, но при этом также появляется волнистость, свидетельствующая о приближающемся начале разрушения поверхностного слоя. Алюминий лучше всего раскатывается при меньших значениях натяга (0,1-0,15 мм). На рис. 4 даны графики изменения диаметра раскатанных втулок в зависимости от натяга. Изменение размеров связано с исходной шероховатостью. Обращает на себя внимание тот факт, что увеличение диаметра отверстий существенно превосходит степень шероховатости. Уточнения по данным рис. 4 составляют для стали при исходной

шероховатости $Ra = 2,5$ мк 17,5%, $Rz = 20$ мк - 22,5%, $Rz = 80$ мк - 39 %. Они едва достигают величин, необходимых для перевода отверстий 7 качества ISO в 6-й, 8 в 7 и 10 - в 9 (табл. 1). Для алюминиевых втулок уточнение составляет 62 и 85% соответственно для $Rz = 40$ мк и $Rz = 160$ мк, что позволяет рассматривать раскатывание жесткими головками как способ калибровки отверстий в деталях из алюминиевых сплавов, правда, в весьма узком диапазоне натягов. При уменьшенной толщине стенки обкатывание позволяет в некоторых случаях калибровать и стальные детали. При раскатывании с натягом втулок с толщиной стенки менее 20 мм наблюдается увеличение их наружного диаметра (рис. 5), достигающее у втулки с двухмиллиметровой стенкой 0,1 мм. Изменение жесткости и пластическое течение материала, втулок вблизи торцов приводят к искажению их формы. Искажение формы осевого сечения втулок наблюдается у всех раскатанных образцов (рис. 6), причем у толстостенных втулок тем больше, чем толще стенка. Наименее деформированной оказалась втулка с толщиной стенки 4 мм. У втулки с толщиной стенки 2 мм отверстие у торца раскаталось на меньшую величину, чем в глубине, из-за недостаточной жесткости детали на краю. Наружная поверхность искажилась больше у втулок со стенкой толщиной 10 мм. Искажения формы тонкостенных деталей на краях предотвращаются снижением усилий (натягов), за счет уменьшения диаметра роликов и некоторого увеличения заднего угла вдавливания, что позволяет локализовать деформации в более тонком поверхностном слое. Сохранению формы втулок способствует также увеличение количества роликов раскатных головок, повышающее жесткость системы. Необходимое для стабилизации рабочего усилия обкатывания снижение жесткости технологической системы достигается применением инструментов с пружинящими элементами. На рис. 7 показано однороликовое устройство с пружинящим корпусом для обкатывания вала. Важное достоинство инструментов этого типа заключается в их простоте. Требуемое снижение жесткости достигается за счет только изменения конфигурации корпуса без введения дополнительных деталей. Пружинящий корпус представляет собой консольный, круговой брус прямоугольного поперечного сечения. Его прогиб на уровне оси ролика может быть рассчитан в зависимости от усилия обкатывания P и геометрических размеров b, h, d, l (рис. 8):

$$f = \frac{12}{E} \cdot \frac{P}{b} \left[\frac{\pi \left(\frac{d}{h} + 1 \right)^3}{16} + \frac{l \left(\frac{d}{h} + 1 \right)^2}{h} + \frac{\pi \left(\frac{l}{h} \right)^2}{2} \cdot \left(\frac{d}{h} + 1 \right) \right], \quad (4)$$

где E — модуль упругости материала.



1,2 - из алюминия с исходной шероховатостью соответственно $Rz = 40$ мк и $Rz = 160$ мк; 3-5 - из стали 20 с исходной шероховатостью соответственно $Ra=2,5$ мк, $Rz= 20$ мк и $Rz= 80$ мк; 6 - из стали 40X с исходной шероховатостью $Rz= 20$ мк

Рисунок 4 - Увеличение диаметра отверстий при раскатывании толстостенных втулок

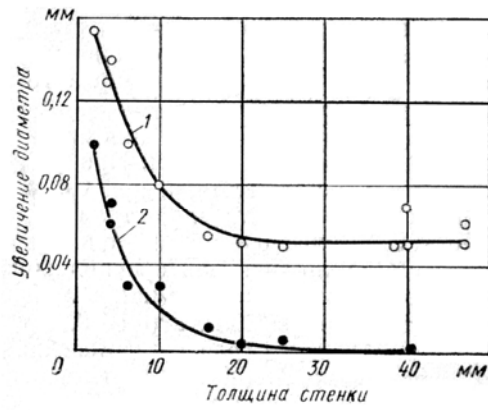
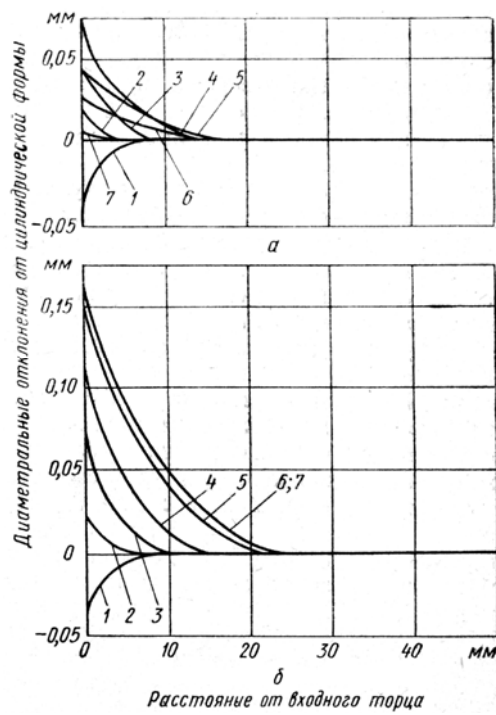


Рисунок 5 - Увеличение внутренних (кривая 1) и наружных (кривая 2) диаметров стальных втулок в зависимости от толщины стенки



1 – 2 мм; 2 – 4 мм; 3 – 6 мм; 4 – 10 мм; 5 – 16 мм; 6 – 25 мм; 7 – 40 мм

Рисунок 6 - Форма наружной (а) и внутренней (б) поверхностей раскатанных втулок диаметром 58 мм у торцов при различной толщине стенки

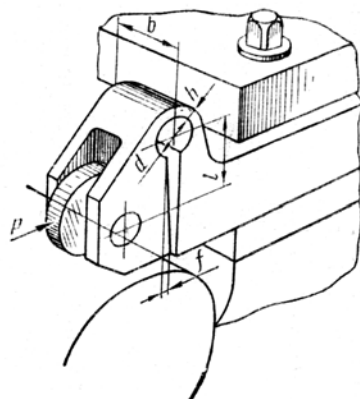


Рисунок 7 - Универсальное однороликовое устройство с пружинящим корпусом

Прогиб от усилия, приходящегося на единицу ширины пружинящей части корпуса, определяется его относительными размерами.

Корпуса подобной формы в продольном сечении и одинаковой ширины при равных прогибах дают одинаковые усилия. Однако прогиб, а следовательно, и допустимое усилие ограничиваются упругостью корпуса:

$$\frac{P}{b} < \frac{\sigma_T h}{1 + \frac{\left(2\frac{l}{h} + \frac{d}{h} + 1\right) \left(1 - k\frac{d}{h} - k\right)}{k\frac{d}{h}\left(\frac{d}{h} + 1\right)}}, \quad (5)$$

где σ_T - предел текучести материала корпуса; k - коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя кругового бруса в зависимости от $\frac{d}{h}$.

Обозначим:

$$c_f = \frac{12}{E} \left[\frac{\pi}{16} \left(\frac{d}{h} + 1\right)^3 + \frac{l}{h} \left(\frac{d}{h} + 1\right)^2 + \frac{\pi}{2} \left(\frac{l}{h}\right)^2 \left(\frac{d}{h} + 1\right) \right]; \quad c_p = \frac{1}{1 + \frac{\left(2\frac{l}{h} + \frac{d}{h} + 1\right) \left(1 - k\frac{d}{h} - k\right)}{k\frac{d}{h}\left(\frac{d}{h} + 1\right)}}.$$

Тогда
$$f = c_f \frac{P}{b}; \quad \frac{P}{b} < c_p \sigma_T h. \quad (6)$$

Значения коэффициентов c_f и c_p в зависимости от $\frac{d}{h}$ и $\frac{l}{h}$ приведены в табл.2;

там же приведены и значения $k = F\left(\frac{d}{h}\right)$, необходимые для расчета коэффициентов c_p .

Зависимости $\frac{P}{b} = F(f)$ для корпусов с толщиной пружинящей части $h = 10$ мм в графической форме могут быть получены по рис. 8; они рассчитаны для предела текучести $\sigma_T = 1$ МПа. Луч, проведенный из начала в точку пересечения координат $\frac{P}{b}$ и f , позволяет определить необходимые размеры корпуса. Такая задача решается при конструировании обкатных инструментов. При использовании уже имеющихся устройств графики дают возможность по геометрическим размерам корпусов построить характеризующие их зависимости (4) и (5). На рис. 8 нанесены точки, характеризующие связь усилия с деформацией корпуса размерами $h = 10$, $d = 16$, $l = 80$, $b = 50$ мм. Такой корпус был изготовлен из улучшенной стали 34ХН1М и испытан на прессе. Корпус нагружался различными усилиями, при этом измерялась его деформация. Расчетная прямая зависимостей для этого корпуса - OA . Опытная кривая, проведенная по точкам замеров OB , совпадает с расчетной в зоне упругой деформации и отклоняется от нее правее точки A , соответствующей максимально допустимому прогибу - 3 мм. Корпус таких размеров используют для однороликовых устройств с рабочим усилием 7 кН, применяемых на токарных станках с высотой центров 200 - 300 мм; жесткость его 0,25 кН/мм.

Таблица 2 - Коэффициенты c_f (верхние значения), c_p (нижние значения) и k в зависимости от размеров пружинящих корпусов

$\frac{l}{h}$	$\frac{d}{h}$											
	0,4	0,5	0,63	0,8	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5
1	0,0028 0,044	0,0032 0,0475	0,0035 0,0524	0,0044 0,0515	0,0052 0,0520	0,0067 0,054	0,0086 0,0545	0,0114 0,053	0,0158 0,047	0,0228 0,042	0,0346 0,0375	0,0530 0,0356
1,25	0,0039 0,038	0,0042 0,0415	0,0049 0,0463	0,0058 0,0458	0,0069 0,0465	0,0088 0,0495	0,0110 0,0495	0,0144 0,046	0,0195 0,043	0,0270 0,039	0,041 0,035	0,0615 0,0336
1,6	0,0056 0,0335	0,0062 0,0357	0,0068 0,040	0,0082 0,0393	0,0098 0,0405	0,0123 0,0430	0,015 0,044	0,0191 0,043	0,025 0,0392	0,0350 0,0354	0,051 0,0322	0,0750 0,0312
2	0,0079 0,028	0,0088 0,0307	0,0097 0,0344	0,0120 0,0343	0,0132 0,0353	0,0168 0,0376	0,0200 0,0388	0,0253 0,0383	0,0332 0,035	0,0450 0,0320	0,064 0,0294	0,0914 0,0287
2,5	0,0116 0,0242	0,0127 0,0260	0,0140 0,0294	0,0162 0,0295	0,0186 0,0304	0,0235 0,0330	0,027 0,0340	0,0342 0,0346	0,045 0,0313	0,0585 0,0286	0,082 0,0266	0,1146 0,0262
3,15	0,0171 0,0196	0,0186 0,0180	0,0200 0,0246	0,0235 0,0243	0,0261 0,0258	0,0344 0,0280	0,0396 0,0290	0,0485 0,0292	0,0630 0,027	0,0800 0,0252	0,108 0,0236	0,150 0,0235
4	0,026 0,0164	0,0284 0,0180	0,0312 0,0204	0,0354 0,0206	0,0406 0,0214	0,0510 0,0232	0,058 0,0245	0,070 0,0247	0,087 0,0233	0,112 0,0217	0,150 0,0205	0,202 0,0207
5	0,039 0,0135	0,0425 0,0149	0,0465 0,0169	0,0525 0,0172	0,060 0,0180	0,075 0,0195	0,083 0,0208	0,101 0,0210	0,125 0,0198	0,157 0,0187	0,207 0,0179	0,275 0,0181
6,3	0,060 0,0112	0,065 0,0122	0,0715 0,0139	0,0800 0,0141	0,0904 0,0148	0,114 0,0161	0,122 0,0174	0,150 0,0177	0,184 0,0168	0,230 0,0159	0,295 0,0152	0,385 0,0157
8	0,093 0,0089	0,101 0,0098	0,110 0,0112	0,124 0,0114	0,139 0,0121	0,176 0,0131	0,161 0,0141	0,226 0,0143	0,276 0,0138	0,340 0,0133	0,435 0,0133	0,560 0,0133
10	0,144 0,0072	0,154 0,0080	0,168 0,0092	0,188 0,009	0,212 0,0099	0,266 0,0109	0,290 0,0117	0,339 0,0120	0,41 0,0115	0,500 0,0111	0,633 0,0108	0,803 0,0112
12,5	0,220 0,0059	0,236 0,0065	0,260 0,0075	0,286 0,0076	0,325 0,0081	0,405 0,0090	0,427 0,0095	0,508 0,0098	0,610 0,0095	0,740 0,0092	0,93 0,0089	1,17 0,0095
16	0,360 0,0047	0,382 0,0052	0,416 0,0059	0,463 0,0061	0,520 0,0064	0,650 0,0071	0,70 0,0076	0,810 0,0079	0,97 0,0077	1,170 0,0075	1,460 0,0073	1,81 0,0077
k	0,204	0,173	0,149	0,112	0,09	0,072	0,055	0,041	0,028	0,019	0,013	0,0093

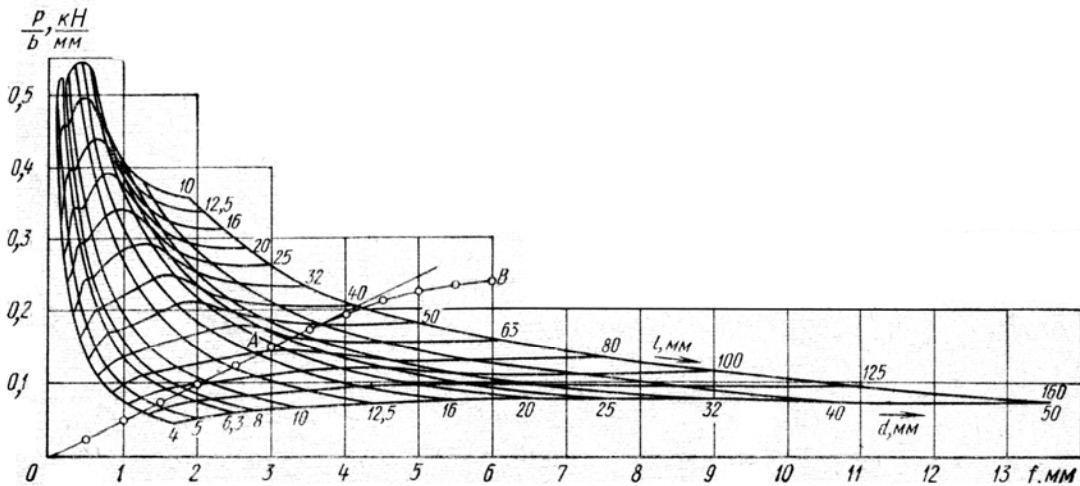


Рисунок 8 - Зависимость усилия обкатывания от прогиба пружинящих корпусов приспособлений с толщиной пружинящей части 10 мм

Если принять жесткость средних токарных станков при обкатывании равной 10 кН/мм, то согласно выражению (3) при $m = 0,25$ колебания жесткости технологической системы уменьшатся не менее чем в 5 раз. Учитывая же работу системы по разгрузочной ветви кривой усилие - отжатие (см. рис. 1), можно ожидать еще большего эффекта. Небольшое биение детали, погрешности ее формы и другие нарушения исходных условий деформации компенсируются соответствующими смещениями ролика за счет незначительных колебаний рабочего усилия обкатывания в пределах упругой деформации корпуса устройства.

Высокая радиальная жесткость системы инструмент – деталь и, как следствие этого, непосредственная зависимость качества поверхности от небольших изменений натяга - серьезный и трудно преодолимый недостаток планетарных многороликовых устройств. Хотя постоянство угла вдавливания роликов с прямолинейной образующей создает им преимущества перед шариковыми жесткими головками, необходимость подготовки обкатываемых деталей в узких допусках для сохранения оптимального натяга служит серьезным препятствием широкому использованию их для обработки деталей большого диаметра. Действительно, если допустить колебания натяга в пределах 0,1 мм, то отверстия диаметром до 260 мм следует обрабатывать под раскатывание по 8 качеству, а при больших диаметрах (от 260 до 500 мм) по 7 качеству ISO независимо от точности, требуемой условиями эксплуатации деталей.

Создание практичной конструкции головок пониженной радиальной жесткости с роликами прямолинейного профиля остается актуальной проблемой, от решения которой зависит расширение номенклатуры раскатываемых деталей.

Список литературы

1. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов / Ю.И. Бабей, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысоев - Киев: Наукова думка, 1995. – 256 с.
2. Фукс А.И. Определение оптимального состава гаммы горизонтально-расточных станков / А.И. Фукс, М. Е. Эльясберг. - М.: НИИМАШ, 1969. - 65 с.
3. Рыжов Э. В. Контактная жесткость деталей машин / Э. В. Рыжов - М.: Машиностроение, 1968.-180 с.
4. Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В.М. Браславский - М.: Машиностроение, 1975. - 160 с.
5. Бейлард П. П. Напряжения от локальных нагрузок в цилиндрических сосудах давления. // Вопросы прочности цилиндрических оболочек / П. П. Бейлард - М.: Оборонгиз, 1960, - С. 43—65.

Б. Бутаков, О.Зубехіна

Вплив жорсткості технологічної системи при обкатуванні роликами деталей на їх точність

В статті описані результати дослідження жорсткості технологічної системи станок-інструмент-деталь при обкатуванні валів і розкочуванні отворів роликами. Описані рекомендації по уточненню розмірів деталей в результаті обкатування їх роликами.

B. Butakov, A. Subekhyina

Influencing of inflexibility of the technological system at rolling by the rollers of details on their exactness

In the article the results of research of inflexibility of the technological system are described machine tool - instrument - detail at rolling of billows and rolling of opening by rollers. Recommendations on clarification of sizes of details as a result of rolling are described by their rollers.

Одержано 10.11.09

УДК 631.312.44”313”

М.А. Маковский, А.В. Королькевич, В.С. Шевченко

Объединенный Институт Машиностроения, г. Минск, Беларусь

Математическое моделирование гидропривода оборотного плуга

Обоснован выбор гидравлической схемы управления тракторным плугом. Разработана математическая модель гидропривода, которая позволит на стадии проектирования выбирать рациональные конструктивные параметры гидроприводов управления плугами, сократить сроки их разработки, улучшить качество проектных работ. Использование усовершенствованных плугов позволит повысить производительность, эффективность и качество обработки почв.

плуг тракторный, гидравлическая схема управления, математическая модель гидропривода

Плуг ППО.9.30/45 предназначен для пахоты старопахотных каменистых почв с удельным сопротивлением до 0,09 МПа (0,9 кг/см²) засоренных камнями диаметром до 100 мм и другими препятствиями. Плуги могут эксплуатироваться на всех типах минеральных почв с влажностью обрабатываемого слоя до 30% с высотой стерни и травостоя до 25 см. Агрегируется с тракторами БЕЛАРУС 3022ДВ, БЕЛАРУС 3022. Рама выполнена из нескольких балок, соединенных при помощи кронштейнов в единую несущую конструкцию. Конструкция основной балки - это труба с наружным квадратным сечением 200x200, подверженная специальной термической обработке для обеспечения высокой прочности и долговечности конструкции. Простая система рессорной защиты позволяет корпусам плавно обходить камни и другие препятствия и автоматически возвращаться в исходное положение, что обеспечивает устойчивость работы корпусов при пахоте почв различного механического состава, плотности и влажности. Рессорные предохранители корпусов исключают использование масла и азота, применяемых в гидропневматической системе защиты корпусов. Сложная полувинтовая форма корпуса обеспечивает необходимое крошение пласта и хорошую заделку растительных остатков высотой до 25 см. Носок лемеха усилен обратным долотом. Все быстроизнашивающиеся детали корпусов изготавливаются из высококачественной стали и термически обрабатываются. Транспортная тележка обеспечивает устойчивость плуга при транспортировании и в работе. Регулировка ширины захвата корпусов осуществляется с помощью перестановки корпусов по отверстиям.

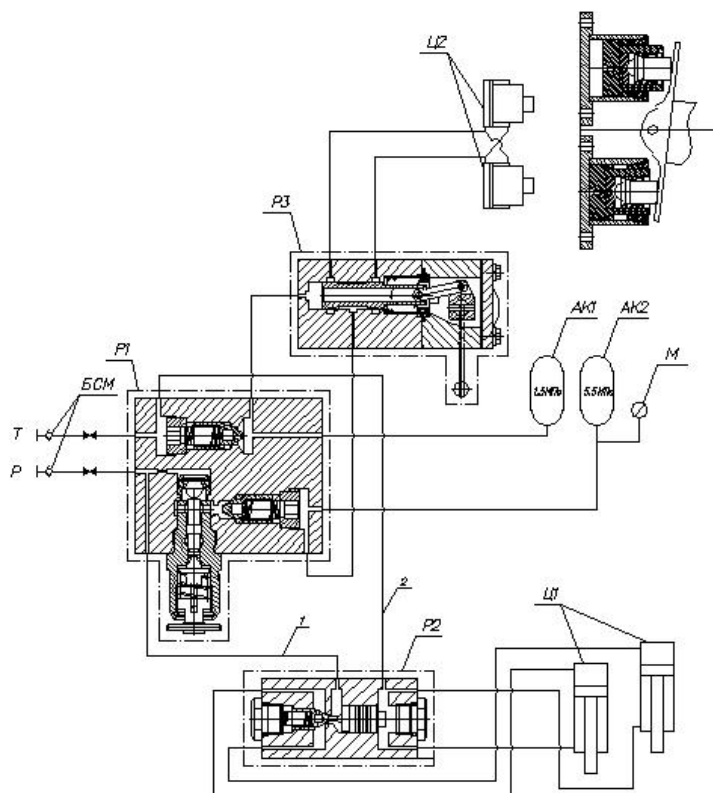
Разработка и обоснование параметров гидропривода управления тракторными плугами представляется весьма актуальной задачей. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Обосновать выбор гидравлической схемы управления тракторными плугами.
 2. Разработать математическую модель работы привода в реальных условиях эксплуатации.
 3. Произвести расчет и разработать конструкцию основных гидравлических узлов привода.
 4. Провести теоретические и экспериментальные исследования привода.
- Обосновать параметры гидропривода управления тракторными плугами.

Разработанная математическая модель гидропривода, расчет основных

гидравлических узлов позволит на стадии проектирования выбирать рациональные конструктивные параметры гидроприводов управления плугами, сократить сроки их разработки, улучшить качество проектных работ. Использование усовершенствованных с/х машин позволит повысить производительность, эффективность и качество обработки почв.

Принципиальная гидравлическая схема оборотного плуга ППО.9.30/45 изображена на Рис.1:



БСМ 0 быстросъемная муфта, P1 – блок клапанов, P2,P3 – распределители, Ц1,Ц2 – цилиндры, АК1 – гидропневмоаккумулятор 0,5 МПа, АК2 – гидропневмоаккумулятор 5,5 МПа, М - манометр. P – магистраль напорная, Т – магистраль сливная

Рисунок 1 - Принципиальная гидравлическая схема оборотного плуга

Схема состоит из поворотных гидроцилиндров (на схеме не показаны), обеспечивающих установку агрегата в рабочее или транспортное положение, раздвижного цилиндра (на схеме не показан), обеспечивающего установку 1-го корпуса, подъемных гидроцилиндров ПГЦ обеспечивающих подъем и опускание тележки гидрозамка запирающего ПГЦ, распределителя P3, который регулирует давление в гидроцилиндрах ГЦ, обратных клапанов КО, аккумулятора А1, обеспечивающего подпитку ГЦ, распределителя P2, управляющего прижимными гидроцилиндрами ГЦ. Демпфирующий аккумулятор А2 служит для предохранения гидроцилиндров ГЦ от жестких ударов при переключении распределителя P2 или наезде на твердое препятствие.

Представленная схема обеспечивает свободное присоединение агрегата к трактору, поворот агрегата в рабочее левое и правое положение, установку плуга в транспортное положение, регулировку глубины пахоты, а также предохраняет рабочие органы от ударов.

Для упрощеного аналізу і складання математическої моделі можна воспользоваться линейной схемой гидропривода. Запишем уравнение движения гидропривода в преобразованиях Лапласа.

$$\left. \begin{aligned} (m_n S^2 + bS + Cn)y(S) &= AnP(S) \\ K_{QX}X(S) - K_{QP}P(S) &= An \cdot S \cdot y(S) + K \cdot P(S) + \frac{V}{2E}S \cdot P(S) \end{aligned} \right\}$$

2-ое уравнение системы преобразуем к виду:

$$\left(K_{QP} + K + \frac{V}{2E}S \right) \cdot P(S) = K_{QX}X(S) - An \cdot S \cdot y(S)$$

$$y(S) = \frac{An}{m_n S^2 + bS + Cn} \cdot p(s).$$

Составим структурную схему гидропривода по полученным уравнениям (Рис.2):

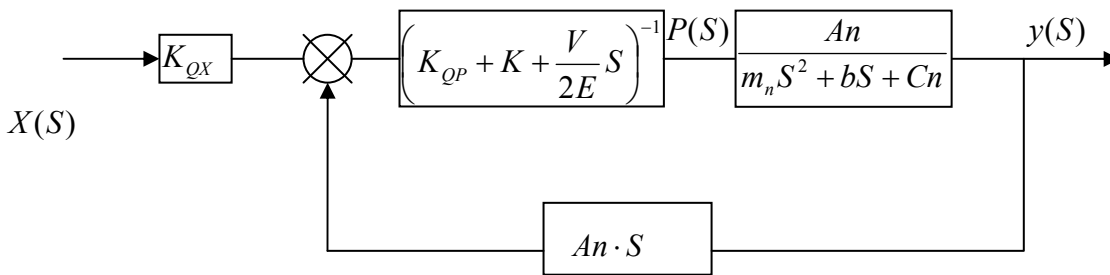


Рисунок 2 - Структурная схема гидропривода оборотного плуга

Рассмотрим частные случаи линейной математической модели ГП

1. $b=0$; $c=0$; $k=0$:

$$\left. \begin{aligned} \left(K_{QP} + K + \frac{V}{2E}S \right) \cdot P(S) &= K_{QX}X(S) - An \cdot S \cdot y(S) \\ y(S) &= \frac{An}{m_n \cdot S^2} P(S) \end{aligned} \right\}$$

Исключаем $P(S)$ и преобразуем

$$\left(1 + \frac{K_{QP}m_n}{An^2}S + \frac{V \cdot m_n}{2 \cdot E \cdot An^2}S^2 \right) \cdot S \cdot y(S) = \frac{K_{QX}}{An} X(S),$$

$\left(\frac{K_{QP}m_n}{An^2} \right) = T_m$ - механическая постоянная времени учитывающая инерционность нагрузки

$\left(\frac{V}{2 \cdot E \cdot An^2} \right)^{-1} = C_r$ - коэффициент жесткости гидродинамической пружины.

$T_r = \frac{m_n}{C_r T_m}$ - гидравлическая постоянная времени, учитывающая сжимаемость жидкости.

$K_{QX} = \frac{K_{QX}}{An}$ - коэффициент ГП по скорости. Тогда передаточная функция будет:

$$W(S) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{K_{gx}}{S \cdot (T_m \cdot T_r \cdot S^2 + T_m \cdot S + 1)}$$

Если $T_m < 4T_r$ то колебательное звено. $T_K = \sqrt{T_r \cdot T_m}$; $\zeta_K = \frac{T_m}{2T_K}$;

$$W(S) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{K_{gx}}{S \cdot (T_K^2 \cdot S^2 + 2\zeta_K T_K \cdot S + 1)}$$

При увеличении ζ_K T_K уменьшается и динамика привода улучшается.

$\zeta_K = \frac{T_m}{2T_K}$ -характеризует степень колебательности и качество переходного процесса.

2. Учет вязкое трение и перетечки при СП=0.

$$\left. \begin{aligned} (m_n S^2 + bS)y(S) &= AnP(S) \\ \left(K_{qp} + K + \frac{V}{2E} S \right) \cdot P(S) &= K_{qx} X(S) - An \cdot S \cdot y(S) \end{aligned} \right\}$$

Выразим P(S) и подставим в последнее выражение, после преобразований получим:

$$S \left[\left(\frac{m_n}{C_r} \right) S^2 + \left(\frac{b}{C_r} + B \frac{m_n}{b} \right) S + (B+1) \right] \cdot y(S) = \frac{K_{qx}}{A_n} X(S),$$

где

$$T_K^2 = \frac{m_n}{C_r(B+1)};$$

$$\frac{b}{C_r(B+1)} + \frac{B}{B+1} \cdot \frac{m_n}{b} = 2\zeta_K \cdot T_K;$$

$$K_{gx} = \frac{K_{qx}}{An(B+1)}$$

$$W(S) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{K_{gx}}{S \cdot (T_K^2 \cdot S^2 + 2\zeta_K T_K \cdot S + 1)}$$

Обычно в ГП величина $B \ll 1$ ТК практически не изменяется с учетом вязкого трения, коэффициент демпфирования при этом увеличивается, т.е. увеличение вязкого трения и перетечек уменьшают колебательность в гидроприводе.

Разработанная математическая модель гидропривода, расчет основных гидравлических узлов позволит на стадии проектирования выбирать рациональные конструктивные параметры гидроприводов управления плугами, сократить сроки их разработки, улучшить качество проектных работ. Использование усовершенствованных с/х машин позволит повысить производительность, эффективность и качество обработки почв.

Список литературы

1. Системы следящих приводов/ Под ред. В.Ф.Казмиренко.- М.: Энергоатомиздат, 1993.
2. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика.- М.: Машиностроение, 1971.- 672 с.
3. Метлюк Н. Ф., Автушко В. П. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей.- М.: Машиностроение, 1980.-231с.
4. Динамика гидропривода/ Садовский Б.Д., Прокофьев В.Н., Кутузов В.К.и др.; Под ред. В.Н.Прокофьева. -М.: Машиностроение, 1972.

М. Маковський, А. Королькевіч, В. Шевченко

Математичне моделювання гідроприводу оборотного плуга

Обґрунтований вибір гідравлічної схеми управління тракторним плугом. Розроблена математична модель гідроприводу, яка дозволить на стадії проектування вибирати раціональні конструктивні параметри гідроприводів управління плугами, скоротити терміни їх розробки, поліпшити якість проектних робіт. Використовування вдосконалених плугів дозволить підвищити продуктивність, ефективність і якість обробки ґрунтів.

M. Makovskiy, A. Korol'kevich, V. Shevchenko

Mathematical design of hydraulic occasion circulating plough

The choice of hydraulic chart of management by a tractor plough is grounded. The mathematical model of hydraulic occasion, which will allow on the stage of planning to choose the rational structural parameters of hydraulic occasion of management by ploughs, is developed, to shorten the terms of their development, to improve quality of project works. The use of the improved ploughs will allow to promote productivity, efficiency and quality of treatment of soils.

Одержано 13.09.09

УДК 62.505:629.524

С.І. Осадчий, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Автоматизація динамічного проектування оптимальних багатовимірних робастних систем стохастичної стабілізації рухомих об'єктів

У статті наведено новий адаптований до вимог застосування у програмно-технічних комплексах автоматизації проектувальних робіт алгоритм синтезу оптимальних багатовимірних робастних систем стохастичної стабілізації руху мобільних об'єктів з довільною динамікою та визначені принципи верифікації його результатів

багатовимірний, робастний, синтез, стохастична стабілізація, адаптація, оптимальний, спектральна щільність

Одним з найбільш ефективних шляхів конструювання, створення та впровадження сучасних конкурентноздатних комплексів управління рухом складних рухомих об'єктів, у тому числі з довільною динамікою, є застосування, так званого [1], експериментально-теоретичного методу. Його суть полягає у визначенні оптимальних структур багатовимірних регуляторів шляхом виконання етапів динамічного проектування [2] оптимальних робастних систем управління на основі моделей динаміки об'єкта керування і зовнішніх збурень, які встановлені в результаті структурної ідентифікації за даними натурних випробувань

Особлива складність на шляху реалізації такого підходу виникає при створенні систем стабілізації руху об'єктів з довільною динамікою, які мають найвищу точність в реальних умовах функціонування. Причина складності пов'язана перш за все з

М. Маковський, А. Королькевіч, В. Шевченко

Математичне моделювання гідроприводу оборотного плуга

Обґрунтований вибір гідравлічної схеми управління тракторним плугом. Розроблена математична модель гідроприводу, яка дозволить на стадії проектування вибирати раціональні конструктивні параметри гідроприводів управління плугами, скоротити терміни їх розробки, поліпшити якість проектних робіт. Використовування вдосконалених плугів дозволить підвищити продуктивність, ефективність і якість обробки ґрунтів.

M. Makovskiy, A. Korol'kevich, V. Shevchenko

Mathematical design of hydraulic occasion circulating plough

The choice of hydraulic chart of management by a tractor plough is grounded. The mathematical model of hydraulic occasion, which will allow on the stage of planning to choose the rational structural parameters of hydraulic occasion of management by ploughs, is developed, to shorten the terms of their development, to improve quality of project works. The use of the improved ploughs will allow to promote productivity, efficiency and quality of treatment of soils.

Одержано 13.09.09

УДК 62.505:629.524

С.І. Осадчий, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Автоматизація динамічного проектування оптимальних багатовимірних робастних систем стохастичної стабілізації рухомих об'єктів

У статті наведено новий адаптований до вимог застосування у програмно-технічних комплексах автоматизації проектувальних робіт алгоритм синтезу оптимальних багатовимірних робастних систем стохастичної стабілізації руху мобільних об'єктів з довільною динамікою та визначені принципи верифікації його результатів

багатовимірний, робастний, синтез, стохастична стабілізація, адаптація, оптимальний, спектральна щільність

Одним з найбільш ефективних шляхів конструювання, створення та впровадження сучасних конкурентноздатних комплексів управління рухом складних рухомих об'єктів, у тому числі з довільною динамікою, є застосування, так званого [1], експериментально-теоретичного методу. Його суть полягає у визначенні оптимальних структур багатовимірних регуляторів шляхом виконання етапів динамічного проектування [2] оптимальних робастних систем управління на основі моделей динаміки об'єкта керування і зовнішніх збурень, які встановлені в результаті структурної ідентифікації за даними натурних випробувань

Особлива складність на шляху реалізації такого підходу виникає при створенні систем стабілізації руху об'єктів з довільною динамікою, які мають найвищу точність в реальних умовах функціонування. Причина складності пов'язана перш за все з

необхідністю вирішення задач синтезу структури оптимальної багатовимірної системи стабілізації у стохастичній постановці.

Розробка сучасних програмно-технічних комплексів виконання етапів динамічного проектування систем стабілізації, зазначеного вище класу, повинна забезпечити можливість автоматизації створення такої науково обґрунтованої технічної пропозиції, яка зводить остаточне конструювання системи управління (стабілізації) до найкращої реалізації отриманих оптимальних структур (законів керування) багатовимірних регуляторів.

Рівень якості процесу стабілізації, який може бути досягнуто в оптимальній системі, залежить від багатьох факторів [3], головними серед яких є особливості динаміки об'єкта управління і умов його функціонування, клас обраного алгоритму синтезу та спосіб його програмної реалізації.

Таким чином, обґрунтування вибору базового алгоритму синтезу оптимальних структур систем стохастичної стабілізації рухомих об'єктів з довільною динамікою та адаптація обраного алгоритму до умов його застосування у програмно-технічному комплексі проектування системи є актуальною задачею.

Аналіз сучасного стану технічної кібернетики, результати якого представлені в роботі [4], показує, що в разі створення програмно-технічного комплексу динамічного проектування оптимальних систем стохастичної стабілізації багатовимірних рухомих об'єктів з довільною динамікою (стійкі, нестійкі, не мінімально фазові) в умовах багатовимірних стаціонарних впливів ефективний метод синтезу їх оптимальних структур слід шукати в роботах [2, 3, 5-7 та ін.].

Порівняльний аналіз якості оптимальних систем, синтезованих в рамках часових та частотних методів, показує, що навіть у стаціонарному випадку значення показників якості можуть відрізнятися. Наприклад, в роботі [8] доведено, що в разі лінійного об'єкта управління, на входах якого діють центровані стаціонарні випадкові процеси типу „білий шум”, оптимальні системи синтезовані на основі вінеровських та калмановських підходів мають однакову якість. В той же час, відомий результат [10], де показана можливість значного погіршення якості оптимальної замкненої системи, синтезованої у просторі станів, відносно системи, синтезованої у частотній області, якщо динаміка зовнішніх впливів відрізняється від білого шуму, а система не є повністю керованою та спостережуваною.

Характерною особливістю таких розповсюджених рухомих об'єктів з довільною динамікою як зернозбиральні комбайни, обладнані гідротрансмiсіями з пропорційним керуванням, впродовж руху по полю, вертольоти у режимах висіння, суперкавітаційні підводні об'єкти у маршовому режимі, є дія на входах систем їх управління багатовимірних стаціонарних випадкових збурень і шумів з обмеженою потужністю в реальних експлуатаційних умовах

Отже, ефективним для проектування системи стабілізації в подальшому можна вважати лише такий метод синтезу оптимальних багатовимірних систем стохастичної стабілізації, який, по-перше, використовує лінеаризовану модель об'єкта управління, по-друге, допускає дію багатовимірних центрованих кольорових стаціонарних випадкових зовнішніх впливів, по-третє, використовує квадратичний критерій якості, який дає можливість враховувати точність процесів стабілізації, енергетичні ресурси на управління та робастну чутливість замкненої системи, по-четверте, запобігає можливості зменшення точності стабілізації в реальних експлуатаційних умовах.

Стаття спрямована на створення алгоритмічного забезпечення програмно-технічного комплексу динамічного проектування оптимальних багатовимірних систем стохастичної стабілізації рухомих об'єктів з довільною динамікою, шляхом обґрунтування вибору базового алгоритму синтезу оптимальних структур зазначених

систем та його адаптації до використання в умовах обмеженої розрядної сітки комп'ютера з можливістю верифікації результатів.

Вимогам, представленим вище, відповідає новий метод синтезу оптимальних робастних систем стабілізації викладений у роботі [3], який доцільно прийняти за базовий для визначення оптимальної структури стохастичної системи стабілізації рухомого об'єкта з довільною динамікою. Обраний метод виник як наслідок сучасної постановки задачі синтезу високоточної багатовимірної системи стабілізації та враховує можливу довільність у динаміці об'єкта і стохастичний характер зовнішніх та внутрішніх збурень.

Базовий алгоритм синтезу обґрунтовано у роботі [3], де на основі обраного методу була поставлена та вирішена задача синтезу оптимальних робастних систем стабілізації. Її постановка зводиться до наступного.

Припустимо, що задана структурна схема системи стабілізації (рис.1), до прямого зв'язку якої увімкнено багатовимірний об'єкт стабілізації з відомою динамікою, а до зворотного зв'язку входить регулятор з невідомою матрицею передаточних функцій W . Вектор вихідних координат x має розмірність n та вимірюється з шумами φ .

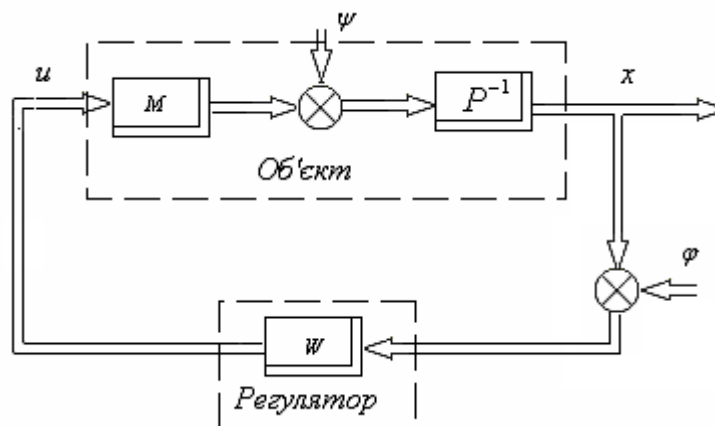


Рисунок 1 – Структурна схема ситеми стабілізації

Нехай рух об'єкта стабілізації описує система звичайних диференціальних рівнянь

$$P \dot{x} = M u + \psi, \quad (1)$$

перетворена за Лапласом при нульових початкових умовах, де u – m -вимірний вектор сигналів управління; P – задана поліноміальна матриця комплексного аргументу розміру $n \times n$, визначник якої може мати нулі, розташовані у ППП комплексної змінної, M – відома поліноміальна матриця розміру $n \times m$, а динаміка n -вимірних векторів стаціонарних випадкових збурень ψ та шумів вимірювання φ задана матрицями спектральних щільностей $S_{\psi\psi}$ і $S_{\varphi\varphi}$. Вважаються відомими і матриці взаємних спектральних щільностей збурення та завади $S_{\psi\varphi}$ і $S_{\varphi\psi}$. За аналогією з роботою [3] можливо ввести функцію чутливості θ , а також вектори ψ_0 , ζ і ξ

$$\psi_0 = (\psi' \ \varphi)'; \quad \zeta = (E_n \ P)\psi_0; \quad \xi = \theta \cdot \zeta, \quad (2)$$

причому функція чутливості θ має дорівнювати

$$\theta = F_x^\psi P, \quad (3)$$

де F_x^ψ - матриця передаточних функцій замкненої системи стабілізації від збурення ψ до вектора вихідних координат x .

У відповідності до методу можливо [3] встановити зв'язок між вектором узагальнених збурень ψ_0 та векторами x і u системи з допомогою рівнянь

$$x = F_1 \psi_0 = [F_x^\psi (E_n \ P) - (O_n \ E_n)] \psi_0; \quad u = F_2 \psi_0 = F_u^\psi (E_n \ P) \psi_0, \quad (4)$$

в яких F_1 і F_2 – матриці передаточних функцій замкнутої системи від узагальненого вектора збурень ψ_0 до векторів сигналів x і u відповідно; F_u^ψ – матриця передаточних функцій замкнутої системи від входу ψ до виходу регулятора u .

Як відомо [3], матриці F_x^ψ і F_u^ψ пов'язані між собою рівнянням

$$PF_x^\psi - MF_u^\psi = E_n, \quad (5)$$

в той же час, структура та параметри даних матриць залежать [5] від динаміки об'єкта та регулятора як

$$F_u^\psi = W(P - MW)^{-1} \text{ та } F_x^\psi = (P - MW)^{-1}. \quad (5)$$

Функціонал якості системи стабілізації, що необхідно синтезувати, у часовій області має вигляд [2]

$$e = \langle x' R x \rangle + \langle u' C u \rangle + \langle \xi' \Lambda \xi \rangle + \langle \zeta' \Lambda \zeta \rangle,$$

а у частотній

$$e = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr} [S'_{xx} R + S'_{uu} C + \theta \ S'_{\xi\xi} \Lambda + \Lambda S'_{\zeta\zeta} \theta_*] \cdot ds, \quad (6)$$

де S_{xx} , S_{uu} , $S_{\xi\xi}$ – матриці спектральних щільностей векторів сигналів x , u і ζ відповідно;

R , C , Λ – вагові невід'ємно-визначені поліноміальні матриці комплексного аргументу $s=j\omega$;

$\langle \rangle$ - знак математичного очікування; j - комплексна одиниця.

Задача полягає у тому, щоб вибором структури та параметрів матриці передаточних функцій F_u^ψ забезпечити стійкість замкнутої системи „об'єкт-регулятор” та доставити мінімум функціоналу якості (6).

Рішення поставленої задачі, отримане в [3] на основі методу Вінера-Колмогорова мінімізації функціоналу (6) на класі фізично реалізуємих та стійких матриць варійованих передаточних функцій, дозволило визначити алгоритм пошуку матриці передаточних функцій оптимального регулятора W . У відповідності з даним алгоритмом шукана матриця передаточних функцій може бути знайдена, якщо відомі F_x^ψ і F_u^ψ . Тоді вираз для знаходження матриці W з урахуванням співвідношень (5) можливо записати у вигляді

$$W = F_u^\psi (F_x^\psi)^{-1}. \quad (7)$$

У свою чергу, оптимальні фізично реалізуємі матриці F_u^ψ і F_x^ψ повністю та однозначно визначаються формулами

$$F_u^\psi = B_* \Phi + A, \quad (8)$$

$$F_x^\psi = N \Phi + P^{-1} (MA + E_n), \quad (9)$$

де B_* - поліноміальна матриця, яка повинна бути отримана в результаті правостороннього видалення нестійких полісів [10] наступного добутку:

$$P^{-1} M = NB_*^{-1}, \quad (10)$$

N – матриця передаточних функцій, усі полюси якої знаходяться тільки у ЛПП комплексної змінної; A - поліноміальна матриця визначена в результаті вирішення рівняння

$$\left[P^{-1}MA \right]_- = -P_-^{-1}, \quad (11)$$

в якому P_-^{-1} - нестійкий результат сепарації (розщеплення) [5, 7] матриці P^{-1} ; Φ – фізично-реалізуєма матриця варійованих передаточних функцій, що доставляє мінімум функціоналу (6), та визначається згідно роботи [3] співвідношенням

$$\Phi = -\Gamma^{-1}(T_0 + T_+)D^{-1}. \quad (12)$$

З цієї формули видно, що для визначення Φ необхідно знайти матриці передаточних функцій Γ , D і T_0+T_+ . Пошук Γ і D повинен відбуватися в результаті виконання факторизації ліворуч та праворуч (за визначенням з [11]) матриць

$$DD_* = (E_n \quad P)S'_{\psi_0\psi_0} \begin{pmatrix} E_n \\ P_* \end{pmatrix} = S'_{\zeta\zeta}, \quad (13)$$

$$\Gamma_*\Gamma = B(M_*P_*^{-1}RP^{-1}M + C)B_*, \quad (14)$$

а матриця T_0+T_+ може бути знайдена на основі сепарації [5, 7] виразу

$$T = T_0 + T_+ + T_- = \Gamma_*^{-1}B[M_*P_*^{-1}RP^{-1}(MA + E_n)D + CAD - M_*P_*^{-1}R(S'_{\psi\varphi} + S'_{\varphi\psi}P_*)D_*^{-1} + M_*P_*^{-1}\Lambda S'_{\zeta\zeta}P_*D_*^{-1}] \quad (15)$$

причому D і Γ - дробово-раціональні матриці, аналітичні разом з оберненими у ППП комплексної змінної, T_0 – поліноміальна матриця, T_+ - матриця, усі елементи якої правильні дроби з полюсами тільки у ЛПП, T_- - дробово-раціональна матриця з полюсами, що розташовані тільки у ППП.

Якість оптимальної системи оцінюється в результаті обчислення значення функціонала (6), який з урахуванням (2)-(4) і (8)-(15) після деяких перетворень може бути представлений у вигляді

$$e = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}[(T_0 + T_+)_*(T_0 + T_+) + (T_0 + T_+)_*T + T_*(T_0 + T_+) + \Sigma] ds, \quad (16)$$

де

$$\begin{aligned} \Sigma = & (A_*M_* + E_n)P_*^{-1}RP^{-1}(MA + E_n)S'_{\zeta\zeta} + A_*CAS'_{\zeta\zeta} + RS'_{\varphi\varphi} - \\ & - (A_*M_* + E_n)P_*^{-1}R(S'_{\psi\varphi} + S'_{\varphi\psi}P_*) - (S'_{\varphi\psi} + PS'_{\varphi\varphi})RP^{-1}(MA + E_n) + \\ & + P^{-1}(MA + E_n)PS'_{\zeta\zeta}\Lambda + \Lambda S'_{\zeta\zeta}P_*(A_*M_* + E_n)P_*^{-1}. \end{aligned}$$

Вагові матриці R , C та Λ необхідні для застосування базового методу синтезу на практиці можуть бути визначені з урахуванням фізичного змісту складових критерію якості, вагу яких вони визначають, та на основі методик викладених в роботах [3, 5].

Представлений метод синтезу відрізняється від відомих аналогів наявністю двох додаткових складових у функціоналі якості (6) (добутки з ваговою матрицею Λ), які обмежують чутливість оптимальної системи до параметричних збурень, що можуть виникати, наприклад, внаслідок недосконалостей ідентифікації математичної моделі об'єкта досліджень.

Підвищення ефективності числової реалізації алгоритму синтезу (7)-(15), отриманого на основі обраного базового методу, вимагає, по-перше, ретельного підходу до аналізу структури матриць M , P , $S_{\psi\psi}$, $S_{\varphi\varphi}$, $S_{\psi\varphi}$ і $S_{\varphi\psi}$ з метою їх коректного редукування [12], по-друге, виконання комплексу робіт з алгоритмічного та програмного забезпечення розрахунків з можливістю аналізу, фізичної оцінки, верифікації та корекції результатів.

Адаптація базового алгоритму до умов використання у програмно-технічному комплексі.

Реалізація базового алгоритму синтезу у вигляді пакета прикладних програм вимагає обґрунтування набору спеціальних обчислювальних процедур, які зменшують втрати точності при виконанні математичних операцій з дробово-раціональними матрицями. Як показали обчислювальні експерименти, основними джерелами виникнення погрішностей обчислень при застосуванні такого класу алгоритмів синтезу систем стохастичної стабілізації є: складання чисел, які відрізняються на декілька порядків, віднімання близьких чисел, похибки оцінювання коренів поліномів, чутливість значень кратних коренів до малих варіацій коефіцієнтів поліномів та невпорядковане чергування операцій складання та віднімання при множенні поліноміальних або дробово-раціональних матриць.

Таким чином, виникає задача адаптації базового алгоритму синтезу до умов чисельних методів обчислень з фіксованою довжиною розрядної сітки. Вона полягає у такій перебудові рівнянь (7)-(15), щоб звести до мінімуму вплив вказаних вище джерел неточностей на результати обчислень. Головна ідея даної модифікації базового алгоритму синтезу полягає у заміні усіх дій з дробово-раціональними елементами діями з поліномами, виключені можливості виникнення віднімання близьких поліноміальних матриць та запобігання зростанню порядків поліномів чисельників та знаменників елементів матриць.

Для вирішенні цієї задачі приймемо до розгляду нову дробово-раціональну матрицю Q , яка знаходиться при відомій з виразу (11) поліноміальній матриці A наступним чином

$$Q = P^{-1}MA. \quad (17)$$

У разі, коли в результаті вінеровської операції сепарації, застосованої до матриць P^{-1} та Q , знайдені суми

$$P^{-1} = P_+^{-1} + P_-^{-1}, \quad (18)$$

$$Q = Q_0 + Q_+ + Q_-, \quad (19)$$

де P_+^{-1} , Q_+ - матриці, усі елементи яких правильні дроби з аналітичними у ППП полюсами;

P_-^{-1} , Q_- - матриці, усі елементи яких правильні дроби з аналітичними у ЛПП полюсами;

Q_0 - поліноміальна матриця - результат ділення поліномів-чисельників матриці (17) на відповідні знаменники, то з рівняння (11) випливає, що

$$Q_- = -P_-^{-1}. \quad (20)$$

Якщо в результаті застосування до матриць N з формули (10) та Φ зі співвідношення (12) операції однобічного видалення полюсів [10], вони представлені у вигляді одного з наступних добутків

$$N = N_1 \cdot N_{10}^{-1} = N_{20}^{-1}N_2, \quad \Phi = \Phi_0\Phi_{10}^{-1}, \quad (21)$$

де N_1, N_2 - поліноміальні матриці розміру $n \times m$;

N_{10}, N_{20} - діагональні поліноміальні матри

Φ_{10} - діагональна матриця розміру $n \times n$ з поліномами на головній діагоналі, то матриці $Q_0 + Q_+$ та P_+^{-1} , визначені з алгоритмів (18), (19) на основі лівостороннього видалення полюсів з урахуванням виразів (10) і (17), можуть бути переписані у вигляді

$$Q_0 + Q_+ = N_{20}^{-1}G_0, \quad (22)$$

$$P_+^{-1} = N_{20}^{-1}G_1, \quad (23)$$

такому, що G_0, G_1 - поліноміальні матриці розмірності $n \times n$.

В такому разі, алгоритм заходження матриці передаточних функцій оптимальної замкненої системи F_u^Ψ з виразу (8) перетворюється на

$$F_u^\Psi = (B_*\Phi_0 + A\Phi_{10})\Phi_{10}^{-1} = F_{u0}\Phi_{10}^{-1}. \quad (24)$$

Модифікація рівняння (9) може бути легко здійснена в результаті наступного його представлення

$$F_x^\Psi = N\Phi + P^{-1}MA + P^{-1}. \quad (25)$$

Після підстановки виразів (17)-(23) до співвідношення (25) останнє набуває вигляду, який відповідає умовам задачі,

$$F_x^\Psi = N_{20}^{-1}(N_2\Phi_0 + G_0\Phi_{10} + G_1\Phi_{10})\Phi_{10}^{-1} = N_{20}^{-1}F_{x0}\Phi_{10}^{-1}. \quad (26)$$

У результаті підстановки виразів (24), (26) у алгоритм (7) структура та параметри шуканого оптимального багатовимірного регулятора визначаються як

$$W = (B_*\Phi_0 + A\Phi_{10})(N_2\Phi_0 + G_0\Phi_{10} + G_1\Phi_{10})^{-1}N_{20} = F_{u0}F_{x0}^{-1}N_{20}. \quad (27)$$

Для формування матриць Φ_0 і Φ_{10} необхідно знайти матрицю варійованих передаточних функцій Φ зі співвідношення (12).

Матриця Γ , яка входить до виразу (12), знаходиться у результаті факторизації суми у правій частині рівняння (14), яка, з урахуванням поліноміальності матриць B , C , R та співвідношення (21), перетворюється на

$$\Gamma_*\Gamma = N_{10}^{-1}(N_{1*}RN_1 + N_{10*}BCB_*N_{10})N_{10}^{-1},$$

де вираз у дужках є невід'ємно визначеною поліноміальною матрицею. Якщо позначити результат її факторизації ліворуч як Γ_0 , то

$$\Gamma_*\Gamma = N_{10}^{-1}\Gamma_{0*}\Gamma_0N_{10}^{-1}. \quad (28)$$

Оскільки матриця N_{10} разом з оберненою є аналітичною у ППП комплексної змінної s за визначенням, то

$$\Gamma = \Gamma_0N_{10}^{-1}, \quad \Gamma^{-1} = N_{10}\Gamma_0^{-1}, \quad \Gamma_*^{-1} = \Gamma_{0*}^{-1}N_{10*}.$$

Для зменшення порядків поліномів чисельників та знаменників дробово-раціональної матриці T перед сепарацією, у результаті розкриття дужок та прийняття до уваги співвідношень (18)-(21) праву частину рівняння (15) представимо у вигляді

$$T = \sum_{i=1}^6 T_i, \quad (29)$$

де

$$T_1 = \Gamma_{0*}^{-1}N_{1*}RN_{20}^{-1}G_0D, \quad T_2 = \Gamma_{0*}^{-1}N_{1*}RN_{20}^{-1}G_1D, \quad T_3 = \Gamma_{0*}^{-1}BCAD, \\ T_4 = \Gamma_{0*}^{-1}N_{1*}RS'_{\Psi\Phi}D_*^{-1}, \quad T_5 = \Gamma_{0*}^{-1}N_{1*}RS'_{\Phi\Phi}P_*D_*^{-1}, \quad T_6 = \Gamma_{0*}^{-1}N_{1*}\Lambda S'_{\zeta\zeta}P_*D_*^{-1}.$$

Якщо здійснити сепарацію кожного з доданків T_i , то

$$T_i = T_{i0} + T_{i+} + T_{i-} \quad \forall i \in (1,6), \quad (30)$$

а загальний результат сепарації може бути знайдено з формул

$$T_0 = \sum_{i=1}^6 T_{i0}; \quad T_+ = \sum_{i=1}^6 T_{i+}; \quad T_- = \sum_{i=1}^6 T_{i-}. \quad (31)$$

Таким чином, здійснена модифікація базового алгоритму синтезу оптимальних багатовимірних стохастичних систем стабілізації, яка зводить дії з дробово-

раціональними матрицями до операцій з поліноміальними та враховує аналітично виконання умов (10) і (20), а також отримано алгоритм адаптований до реалізації у програмно-технічному комплексі синтезу оптимальних багатовимірних систем стабілізації рухомих об'єктів з довільною динамікою.

Принципи верифікації результатів динамічного проектування

Аналіз особливостей адаптованого алгоритму вирішення задачі синтезу: оптимальних робастних систем стохастичної стабілізації, наведеного вище, показав, що для забезпечення гарантії відсутності катастрофічної втрати точності при розрахунках необхідно здійснювати верифікацію результатів факторизації поліноміальних матриць ліворуч та праворуч, сепарації дробово-раціональних матриць, обертання поліноміальних матриць та пошуку оптимальних матриць передаточних функцій замкненої системи „об'єкт-регулятор” від вектора збурень до вектора вихідних координат F_x^ψ та від вектора збурень до вектора сигналів керування F_u^ψ .

Таку перевірку результатів розрахунків доцільно здійснювати на основі порівняння істинного значення відповідної матриці та значення, отриманого на основі перевірочних розрахунків, мета яких полягає у відтворенні істинної (вихідної) матриці за матрицями результатами. Правила відтворення та вигляд істинної матриці залежать від обчислювальної операції, точність якої повинна бути визначена.

Розглянемо принцип верифікації на прикладі перевірки дій з поліноміальними матрицями. Якщо істинну (задану) поліноміальну матрицю позначити A , а перевірочну (відтворену за результатами розрахунків) – B , то можна визначити правила формування даних для верифікації у вигляді таблиці 1 та запропонувати два способи оцінювання якості обчислень.

Перший ґрунтується на обчисленні максимальної відносної помилки відтворення коефіцієнта полінома істинної (вихідної) матриці A

$$\varepsilon_r = \max(\varepsilon), \quad (32)$$

де ε – вектор відносних погрешностей відтворення коефіцієнтів поліномів вихідної матриці, елемент з номером k якого дорівнює

$$\varepsilon_k = \left| \frac{a_{ij}^{(p)} - b_{ij}^{(p)}}{a_{ij}^{(p)}} \right|, \quad (33)$$

$a_{ij}^{(p)}$ - вірне значення коефіцієнта полінома відповідної матриці A (табл. 2.1), представленої у вигляді

$$A = \begin{bmatrix} \sum_{p=0}^{pa} a_{11}^{(p)} s^p & \dots & \sum_{p=0}^{pa} a_{1n}^{(p)} s^p \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{p=0}^{pa} a_{m1}^{(p)} s^p & \dots & \sum_{p=0}^{pa} a_{mn}^{(p)} s^p \end{bmatrix};$$

$b_{ij}^{(p)}$ - відповідне значення коефіцієнта полінома перевірочної матриці B , що отримана за правилом з таблиці 1 та представлена аналогічно.

Другий спосіб використовує поняття ∞ - норми [7] передаточної функції відносної погрешності відтворення поліному. Якщо істинне значення поліному матриці позначити $A_{ij}(s)$ (i – номер рядка, j – номер стовпчика), а відтворене з допомогою множення значення відповідного поліному представити як $B_{ij}(s)$, то передаточна функція відносної погрешності може бути визначена у вигляді

$$W_{ij}^z = (A_{ij}(s) - B_{ij}(s)) / A_{ij}(s), \quad (34)$$

а її ∞ -норма

$$\eta_{ij} = \|W_{ij}^\varepsilon\|_\infty = \sup_\omega |W_{ij}^\varepsilon(j\omega)| \quad (35)$$

характеризує максимальне відносне відхилення поліному $B_{ij}(s)$ від $A_{ij}(s)$ за визначенням.

У такому разі, міра погрішності може бути знайдена як

$$\varepsilon_\eta = \max(\eta), \quad (36)$$

де η – числова матриця складена з ∞ -норм η_{ij} , знайдених в результаті вирішення задачі (35).

Таблиця 1 - Правила формування даних для верифікації

Назва операції для верифікації	Правило формування	
	Істинної матриці	Перевірочної матриці
Факторизація ліворуч	$A = (E_n \quad P)S'_{\psi_0\psi_0} \begin{pmatrix} E_n \\ P^* \end{pmatrix} = S'_{\zeta\zeta}$	$B = DD^*$
Факторизація праворуч	$\Gamma_{0^*}\Gamma_0 = (N_{1^*}RN_{1^*} + N_{10^*}BCB^*N_{10})$	$B = \Gamma^*\Gamma$
Сепарація	Одне зі співвідношень (29), наприклад $T_1 = \Gamma_{0^*}^{-1}N_{1^*}RN_{20}^{-1}G_0D$	$B = T_{10} + T_{1+} + T_{1-}$
Обертання	$A = E_n$	$B = \Gamma\Gamma^{-1}$
Рівняння зв'язку	$A = E_n$	$B = PF_x^\psi - MF_u^\psi$

Отже, верифікація результатів виконання обчислювальних процедур адаптованого алгоритму синтезу системи стохастичної стабілізації зводиться до визначення показників відносних погрішностей обчислень ε_Γ та ε_η на основі алгоритмів (32), (33) та (34)-(36) з урахуванням змісту таблиці 1.

Висновки

У статті представлено новий адаптований до застосування у сучасних програмно-технічних комплексах виконання інженерних розрахунків, таких як Matlab або Scilab, алгоритм синтезу багатовимірних оптимальних робастних систем стохастичної стабілізації рухомих об'єктів у частотній області, який забезпечує підвищення точності отримання результатів за рахунок заміни дій з дробово-раціональними матрицями на операції з поліноміальними матрицями.

Застосування даного алгоритму забезпечує отримання найкращих інженерних рішень при функціонування об'єкта стабілізації в умовах дії багатовимірних стаціонарних та стаціонарно зв'язаних корисних сигналів, шумів вимірювання та збурень.

Список літератури

1. Блохин Л.Н., Осадчий С.И., Безкорвайный Ю.Н. Технология структурной идентификации и последующего синтеза оптимальных систем стабилизации неустойчивых динамических объектов. // Проблемы управления и автоматизации. 2007.- №6.- С. 57-65.
2. Летов А.М. Динамика полета и управление – М.: Наука, 1969.- 360с.
3. Азарсков В.Н. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: Монография / В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий / Под ред. Блохина Л.Н. – К.: Книжное издательство НАУ, 2006. – 440с.
4. Блохин Л.Н., Осадчий С.И. Практика и основные этапы развития технической кибернетики // Проблеми інформатизації та управління. Збірник наукових праць національного авіаційного університету.-Вип. 11. – 2004.- С.79-83.

5. Линейные оптимальные системы управления / Х.Квакернаак, Р. Сиван; пер. с англ. В.А. Васильева, Ю.А. Николаева.- М.: Мир, 1977. – 650с.
6. Оптимизация линейных инвариантных во времени систем управления: (монография) /Ф.А. Алиев, В.Б. Ларин, К.И. Науменко, В.Н. Сунцев; Ин-т математики АН УССР.- К.: Наук. думка, 1978.- 327с.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.3: Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егулова. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2004.- 616с.
8. Фильтр Калмана-Бьюси. / К. Брамер, Г. Зифлинг; пер. с нем. – М.: Наука, 1982.- 200с.
9. Блохін Л.М., Держак С.В., Білак Н.В. Порівняння ефективності практичного застосування частотних і часових методів оптимальної стохастичної стабілізації. // Електроніка та системи управління.- 2004.- № 1.- С.124-132.
10. Davis M.C. Factoring the spectral matrix // IEEE Trans. Automat. Cointr. – 1963.- AC-8, N 4. – p. 296-305.
11. Kucera V. Discrete line control: the polynomial equation approach. – Praha: Akademia, 1979. – 206 p.
12. Идеализация сложных динамических систем / Н.А.Картвелишвили, Ю.М. Галактионов. – М.: Наука, 1976.- 272с.

C. Osadchii

Автоматизация динамического проектирования оптимальных многомерных робастных систем стохастической стабилизации подвижных объектов

В статье приведен новый адаптированный к требованиям программно-технических комплексов автоматизации проектировочных работ алгоритм синтеза оптимальных многомерных робастных систем стохастической стабилизации движения подвижных объектов с произвольной динамикой и сформулированы принципы верификации его результатов.

S. Osadchiy

Automatic Dynamics Designing of the optimal multidimensional robust stochastic stabilizing systems for the mobile objects

There are new adapted to the requirements of automatic designing works programmatic-technical complexes algorithm of optimum multidimensional robust stochastic stabilizing systems synthesis for the mobile objects with an arbitrary dynamics and verification principles in the article.

Одержано 17.11.09

УДК 531.3

В.П. Ковбаса, проф., д-р. техн. наук

Національний університет біоресурсів та природокористування України

В.В. Ярошенко, інж.

„Тегра Україна ЛТД”

Про критерій міцності та співвідношення між компонентами напружень сипкого середовища

Виведено критерій міцності зв'язного сипучого матеріалу, що володіє внутрішнім Кулоновским тертям і початковою напругою зрушення. Отримана постійна, яка означає граничний стан зв'язного сипкого матеріалу та співвідношення між компонентами напружень у середовищі та напрямками дії головних напружень, які дозволяють розв'язувати задачі статички сипкого зв'язного матеріалу.

сипке дискретне середовище, напруження матеріалів, критерії пластичності, компоненти напружень, внутрішнє тертя

В багатьох процесах при формалізації матеріалів і середовищ застосовується модель сипкого дискретного середовища. До таких моделей приходять у випадках формалізації процесів пов'язаних з зерновими матеріалами, комбікормами, продуктами переробки зернових, бобових та олійних культур. При цьому ці матеріали мають суттєві відмінності у механічних властивостях, зокрема граничному напруженні зсуву, початковому напруженні зсуву, коефіцієнтах внутрішнього та зовнішнього тертя. Тому при формалізації процесів дуже важливим є врахування цих властивостей при визначенні умов руху таких матеріалів, визначенні навантажень з боку матеріалів на конструкції, споруди та робочі органи. Крім того важливим є знання величин зовнішніх впливів при необхідності переміщення цих матеріалів та зміни їх властивостей. Особливо важливим є забезпечення умов розвантаження споруд силосного типу.

Виходячи з вищезначеного знання зв'язків компонентів напружень таких матеріалів та умов порушення рівноваги має надзвичайно важливе значення. У відповідності з твердженням Хаара та Кармана класична теорія пластичності та теорія граничної рівноваги ґрунтів (теорія сипкого середовища) мають спільне підґрунтя, тому аналіз сипкого середовища проводиться з застосуванням методів класичної теорії пластичності.

Однією з найбільш поширених та найбільш застосовуваних до сипкого середовища критеріїв повної пластичності (умови граничної рівноваги) є критерій Треска, згідно з яким умова граничної рівноваги має вигляд:

$$\sigma_3 = \sigma_2, \sigma_1 - \sigma_3 = 2k, \quad (1)$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - головні напруження в середовищі;

k - константа, що характеризує границю переходу середовища у пластичний стан.

Для визначення величини k (тобто умови рівноваги) можна скористатися колами Мора (рис.1).

На рис.1 позначення мають наступні трактовки: τ_0 - початкове напруження

зсуву для зв'язного сипкого середовища, φ - кут внутрішнього тертя середовища, σ_1 , σ_2 , σ_3 - головні напруження в середовищі (відповідно найбільше, середнє, та найменше). Згідно Отто Мору CA_1 та CA_2 - лінії ковзання по яких відбувається пластична течія або порушується суцільність. Співвідношення між компонентами напружень на лініях ковзання мають вигляд:

$$BO = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + \sigma_3 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}; BC = \frac{\tau_0}{tq\varphi}; OC = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\tau_0}{tq\varphi}; OP_1 = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2};$$

$$\frac{1}{\sin \varphi} = \frac{\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\tau_0}{tq\varphi}}{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}}; \quad (2)$$

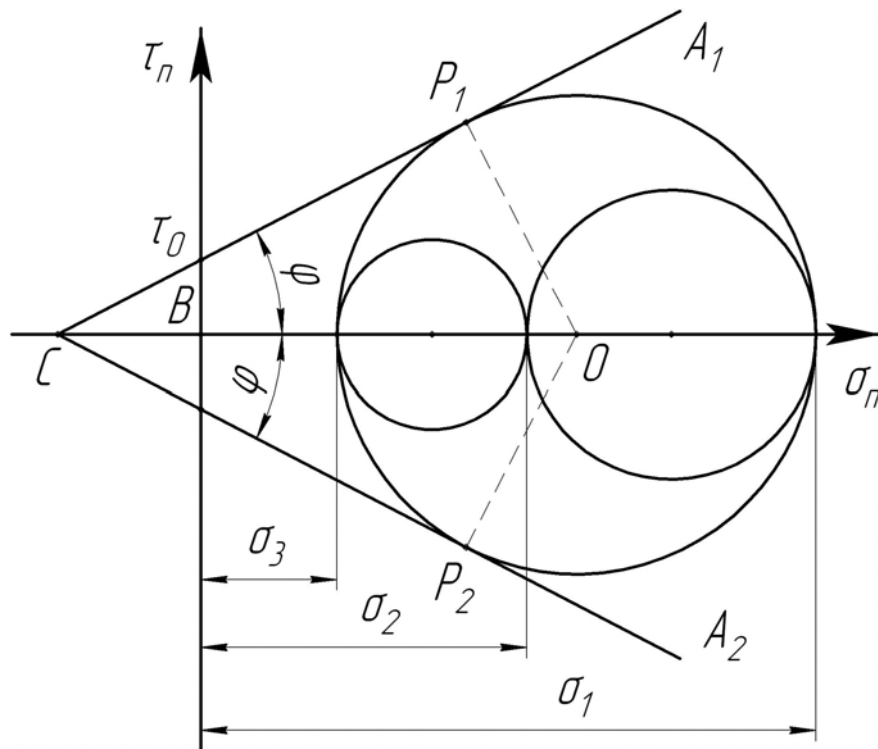


Рисунок 1 – Кола Мора для визначення співвідношень між компонентами напружень та умов настання пластичності

З виразу (2) на лініях ковзання можна отримати співвідношення між властивостями середовища та компонентами напружень:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_3 + 2\tau_0 ctq\varphi + \sigma_3 \sin \varphi}{-1 + \sin \varphi}; \quad \sigma_3 = \frac{-\sigma_1 - \tau_0 ctq\varphi + \sigma_1 \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}. \quad (3)$$

Згідно з представлень напружень через кола Мора максимальне дотичне напруження має вигляд: $\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$, що у відповідності з умовою пластичності Треска:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \leq k, \quad k - const, \text{ або } \sigma_1 - \sigma_3 = 2k.$$

Слід відзначити, що постійна k для пластичного зв'язного (сипкого) середовища може бути отримана з умови (3) з урахуванням того що:

$$\sigma_3 = \sigma_1 - 2k, \text{ при } \sigma_2 = \sigma_3, \sigma_3 = \frac{1}{2}(3\sigma - \sigma_1), \sigma = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3).$$

Підстановка виразів для σ та σ_3 у перше рівняння (3) та вираження з нього постійної k дає вираз:

$$k = -\frac{3(\sigma \sin \varphi + \tau_0 \cos \varphi)}{-3 + \sin \varphi}. \quad (4)$$

Графічно вираз (4) при постійному напруженні $\sigma = const$ має вигляд представлений на рис.2.

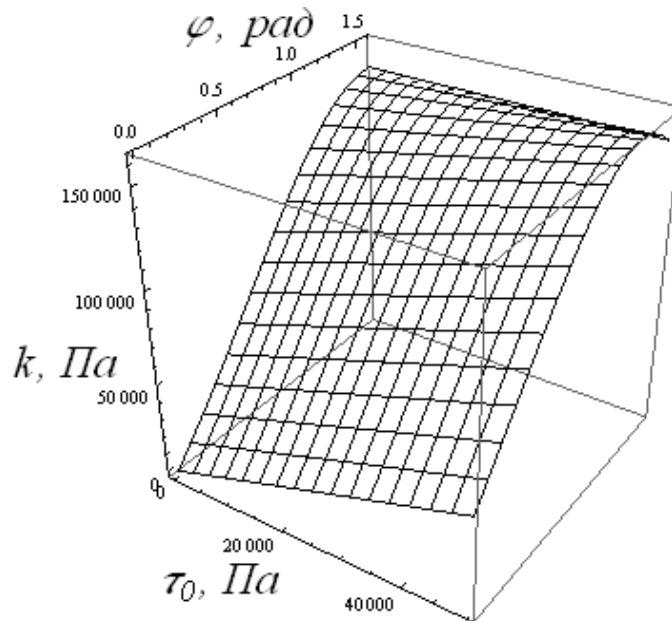


Рисунок 2 – Залежність постійної k від кута внутрішнього тертя φ та початкового напруження зсуву τ_0 середовища

Для розв'язання задач статички пластичного (дискретного сипкого) середовища необхідно знати як зв'язані компоненти напружень між собою та який зв'язок вони мають з механічними властивостями самого середовища.

На площадці довільно нахилений до осей координат x, y, z зв'язок між компонентами напружень та головними напруженнями визначається через напрямні косинуси:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_1 l_1^2 + \sigma_2 m_1^2 + \sigma_3 n_1^2; \\ \sigma_y &= \sigma_1 l_2^2 + \sigma_2 m_2^2 + \sigma_3 n_2^2; \\ \sigma_z &= \sigma_1 l_3^2 + \sigma_2 m_3^2 + \sigma_3 n_3^2; \\ \tau_{xy} &= \sigma_1 l_1 l_2 + \sigma_2 m_1 m_2 + \sigma_3 n_1 n_2; \\ \tau_{yz} &= \sigma_1 l_2 l_3 + \sigma_2 m_2 m_3 + \sigma_3 n_2 n_3; \\ \tau_{xz} &= \sigma_1 l_1 l_3 + \sigma_2 m_1 m_3 + \sigma_3 n_1 n_3; \end{aligned} \quad (5)$$

де існує зв'язок між осями координат та напрямками головних напружень через напрямні косинуси:

	1	2	3
x	l_1	m_1	n_1
y	l_2	m_2	n_2
z	l_3	m_3	n_3

При цьому існує зв'язок:

$$\begin{aligned} l_1^2 + m_1^2 + n_1^2 &= 1; & l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 &= 0; \\ l_2^2 + m_2^2 + n_2^2 &= 1; & l_2 l_3 + m_2 m_3 + n_2 n_3 &= 0; \\ l_3^2 + m_3^2 + n_3^2 &= 1; & l_1 l_3 + m_1 m_3 + n_1 n_3 &= 0, \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 &= 1; & l_1 m_1 + l_2 m_2 + l_3 m_3 &= 0; \\ m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 &= 1; & m_1 n_1 + m_2 n_2 + m_3 n_3 &= 0; \\ n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 &= 1; & l_1 n_1 + l_2 n_2 + l_3 n_3 &= 0. \end{aligned}$$

З урахуванням (1) та (5) компоненти напружень можуть бути записані наступним чином:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \sigma - 2k/3 + 2k n_1^2; & \tau_{xy} &= 2k n_1 n_2; \\ \sigma_y &= \sigma - 2k/3 + 2k n_3^2; & \tau_{yz} &= 2k n_1 n_3; \\ \sigma_x &= \sigma - 2k/3 + 2k n_2^2; & \tau_{xz} &= 2k n_1 n_2, \\ n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 &= 1. \end{aligned} \quad (6)$$

Якщо з виразів (6) для компонентів нормальних напружень виразити n_1, n_2, n_3 і підставити у вирази для τ_{ij} , можна записати:

$$\begin{aligned} \tau_{xy}^2 &= (\sigma_x - \sigma + 2k/3)(\sigma_y - \sigma + 2k/3); & \tau_{yz}^2 &= (\sigma_y - \sigma + 2k/3)(\sigma_z - \sigma + 2k/3); \\ \tau_{xz}^2 &= (\sigma_x - \sigma + 2k/3)(\sigma_z - \sigma + 2k/3), \end{aligned} \quad (7)$$

а далі:

$$\begin{aligned} (\sigma_x - \sigma + 2k/3)\tau_{yz} &= \tau_{xy}\tau_{zx}; & (\sigma_y - \sigma + 2k/3)\tau_{xz} &= \tau_{xy}\tau_{yz}; \\ (\sigma_z - \sigma + 2k/3)\tau_{xy} &= \tau_{xz}\tau_{yz}. \end{aligned} \quad (8)$$

Зі співвідношень (8):

$$\sigma_x = \sigma - 2k/3 + \frac{\tau_{xy}\tau_{zx}}{\tau_{yz}}; \quad \sigma_y = \sigma - 2k/3 + \frac{\tau_{xy}\tau_{yz}}{\tau_{xz}}; \quad \sigma_z = \sigma - 2k/3 + \frac{\tau_{xz}\tau_{yz}}{\tau_{xy}}. \quad (9)$$

І далі:

$$\frac{\tau_{xy}\tau_{zx}}{\tau_{yx}} + \frac{\tau_{xy}\tau_{yz}}{\tau_{zy}} + \frac{\tau_{xz}\tau_{yz}}{\tau_{xy}} = 2k.$$

Якщо в Декартовій системі координат ввести значення косинусів кута нахилу найбільшого головного напруження до осей координат x, y, z :

$n_1 = \cos \alpha; n_2 = \cos \beta; n_3 = \cos \gamma$, то з рівнянь (6) можна визначити компоненти напружень через кути нахилу найбільшого головного напруження:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma - 2(k/3 + k \cos^2 \alpha); & \sigma_y &= \sigma - 2(k/3 + k \cos^2 \beta); \\ \sigma_z &= \sigma - 2(k/3 + k \cos^2 \gamma); & \tau_{xy} &= 2k \cos \alpha \cos \beta; \\ \tau_{yz} &= 2k \cos \beta \cos \gamma; & \tau_{xz} &= 2k \cos \alpha \cos \gamma. \end{aligned} \quad (10)$$

Такими є співвідношення для умов повної пластичності (граничної рівноваги для сипких) при віднесенні до Декартової системи координат.

Висновки. Отримана постійна, що визначає граничний стан зв'язного сипкого матеріала (середовища) та співвідношення між компонентами напружень у цьому середовищі та напрямками дії головних напружень, які дозволяють розв'язувати задачі статички сипкого зв'язного середовища, що характеризується кутом внутрішнього тертя та початковим напруженням зсуву.

Список літератури

1. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. - Т.2. - М.: Мир, 1969.- 864 с.
2. Соколовский В.В. Теория пластичности.- М.: ВШ, 1969.-608 с.

В.Ковбаса, В. Ярошенко

О критерии прочности и соотношении между компонентами напряжений сыпучей среды

Выведен критерий прочности связного сыпучего материала, который обладает внутренним Кулоновским трением и начальным напряжением сдвига. Получена постоянная, определяющая предельное состояние связного сыпучего материала и соотношения между компонентами напряжений в среде и направлениями действия главных напряжений, позволяющие решать задачи статички сыпучего связного материала.

V. Kovbasa, V. Yaroshenko

About the criterion of durability and betweenness by the components of tensions of friable environment

The criterion of durability of a coherent loose material which possesses an internal friction and initial pressure of shift is defined. The permanent is got, determining the maximum state of coherent friable material and betweenness by the components of tensions in an environment and directions actions of main tensions, allowing to decide the tasks of statics of friable coherent material. The criterion of durability of a coherent loose material which possesses an internal friction and initial pressure of shift is defined.

Одержано 27.08.09

УДК 631.331.53

С.А. Мартиненко, доц., канд. техн. наук, Т.М. Ауліна, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Пневматичний висів зернових культур

В статті надається розроблена авторами конструкція пневматичного висівного апарату для рядового висіву зернових культур. В ній дозування потоку насіння здійснюється окремо на кожний сошник. При цьому, на відміну від катушкового висівного апарата, «активний шар» насіння утворюється з допомогою повітря підвищеного тиску, тобто створенням повітрянонасіневого потоку. Проведено теоретичне обґрунтування працездатності апарату на підставі чого визначені потрібні витрати повітря та обрано вентилятор що забезпечить роботу сівалки в цілому.

пневматичний висів зернових культур, теоретичне обґрунтування роботи пневматичного висівного апарату

Традиційно рядовий висів зернових культур здійснюється сівалками з катушковим висівним апаратом. Але на ланах все частіше з'являються пневматичні рядові сівалки. В більшості це сівалки с централізованим дозуванням насіння - СЗПЦ-12, ССНП-12 (Росія), СПУ-6 (Білорусія), Gigante 900 (Gaspardo, Італія). До пневматичних рядових сівалок також відносять сівалки с пневматичним транспортуванням насіння до сошника при катушковому дозаторі – сівалка «Донеір».

Порівняно з індивідуальним катушковим дозатором, централізоване дозування насіння потребує значно менше механічних передач, що спрощує конструкцію. З іншого боку погіршується рівномірність розподілу насіння між сошниками за рахунок чутливості до нерівностей поля. В деяких сівалках для запобігання цього використовують гідравлічний розподіл додаткової ваги на бічні секції задля кращого забезпечення копіювання ґрунту (сівалка Great Plains 907HD).

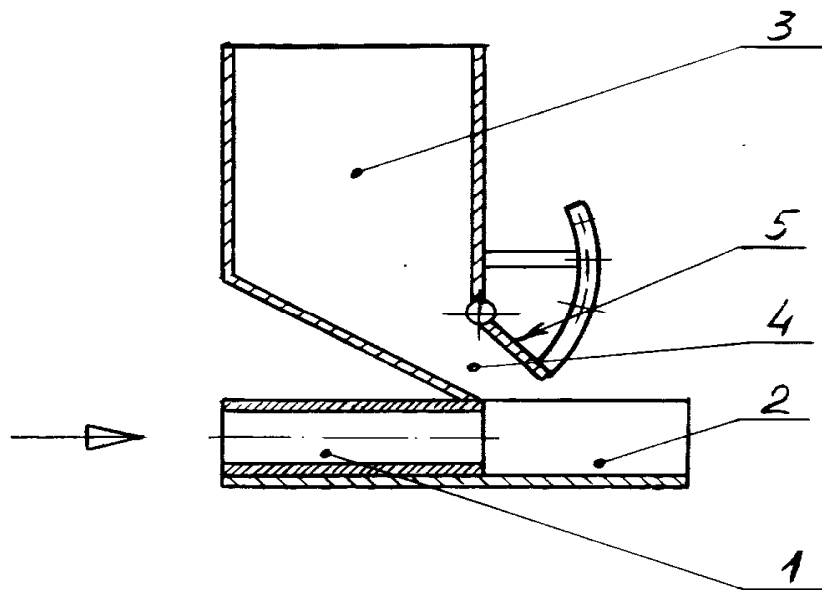
Нами була розроблена принципова конструкція пневматичного висівного апарату рядового висіву, яка, на наш погляд, поєднує переваги пневматичного висіву та індивідуального дозування. В ній дозування потоку насіння здійснюється окремо на кожний сошник. При цьому, на відміну від катушкового висівного апарата, «активний шар» насіння утворюється з допомогою повітря підвищеного тиску, тобто створенням повітрянонасіневого потоку.

Схематично це виглядає так (рис. 1). Повітропровід 1 розташовано у лотку 2. Зверху над повітропроводом встановлена ємність 3 з насінням. З неї насіння через отвір 4 витікає на лоток і під дією надлишкового тиску повітря що подається через повітропровід утворюється повітрянонасінева суміш, яка спрямовується у насіннепровід. Кількість насіння, що подається на лоток регулюється заслінкою 5.

Для визначення основних параметрів і режимів роботи запропонованого апарата треба розглянути окремо два етапи, з яких складається робота апарата: витік насіння під дією сили тяжіння з ємності на лоток через отвір що регулюється, та створення повітрянонасіневої суміші.

Перший етап повинен забезпечити потрібну норму висіву, а другий - транспортування насіння з поверхні лотка до насіннепроводу. Витікання насіння через отвір забезпечує потрібну норму висіву. Цей процес повинен здійснюватися стало і безперервно. Регулювання норми висіву здійснюється за допомогою заслінки що

регулює величину отвору. В подальших розрахунках щосекундна подача насіння з одного висівного апарату бралася спираючись на максимальну норму висіву насіння пшениці. Кількість висівних апаратів в сівалці – 24 (сівалка СЗ-3,6).



1 - повітропровід; 2 - лоток; 3 –ємність; 4 -отвір; 5 –заслінка

Рисунок 1 – Пневматичний висівний апарат

Процес витоку насіння з ємності під дією сили тяжіння через отвір, розміри якого ненабагато перевищують розмір насіння, розглянуто в нашій роботі [1]. Розглянемо процес створення повітрянонасіневої суміші з метою визначення її основних параметрів, а саме – потрібний надлишковий тиск повітря, його швидкість та витрати для створення «активний шару» насіння та їх подальшого транспортування.

Пневматичне транспортування є процес переміщення двокомпонентного середовища системи: повітря (суцільне середовище) – тверді частини (дисперсне середовище). Система що є в стані спрямованого руху зветь потоком. Якщо в потоці присутня дисперсне середовище, його називають дисперсним. Такий потік може складатися з двох або більше компонентів і називатися, відповідно, двокомпонентним, або багатокомпонентним. Повітрянонасіневий потік є багатокомпонентним, оскільки його дисперсне середовище складається з частин, які відрізняються між собою по фізичним, аеродинамічним та іншим властивостям.

На насіння що переміщується по лотку крім сил аеродинамічного опору діють поперечні сили. Вони є наслідком різних швидкостей обтікання насіння. Треба зазначити, що поперечні сили, які діють на насіння та причини що їх викликають неможливо точно математично описати, а наслідком їх дії є тертя насіння о лоток. Тому в теорії пневмотранспортування, за звичаєм, їх розглядають не як окремі складові опору, а відносять до загального опору тертя насіння о стінки лотка.

Швидкістю повітряного потоку що транспортує називають мінімальну швидкість, яка забезпечує надійне та стале переміщення матеріалу. Якщо цю швидкість перевищити – надійність транспортування підвищується, але в той же час підвищується потужність приводу повітрятранспортеру. При цьому потужність

приводу пропорційна кубу швидкості повітряного потоку і тому підвищення швидкості повітряного потоку більше за таку що транспортує – небажано.

За критерій швидкості транспортування обирають початок зсуву матеріалу по дну лотка. Швидкістю зсуву називають мінімальну швидкість повітряного потоку, при якій насіння, що лежать на дні лотка, починають рухатися с місця.

Розглянемо сили що діють на насініну, яка лежить на лотку (рис. 2). Це сила прямого тиску повітря $F_{л}$, сила взаємодії потоку повітря с площиною насініни P , підйомна Архімедова сила A , вага насініни G , та сила тертя $F_{тр}$.

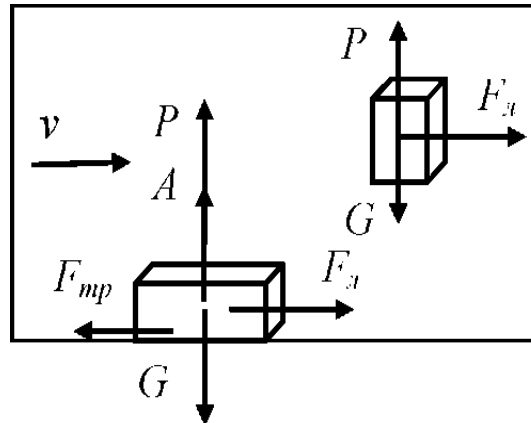


Рисунок 2 – Сили, що діють на насініну у горизонтальному лотку

Сила прямого тиску повітря $F_{л}$ може бути знайдена з рівняння

$$F_{л} = \rho \xi_{л} S_0, \quad (1)$$

де ρ - щільність повітря, $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$;

$\xi_{л}$ – аеродинамічний коефіцієнт прямого опору нерухомої насініни;

S_0 – площа перерізу насініни, яка перпендикулярна потоку повітря, що набігає.

Сила взаємодії потоку повітря с площиною насініни в випадку, коли кут атаки дорівнює нулю (насініна лежить на дні лотка), залежить від градієнта швидкості на нижній та верхній поверхнях насініни і є силою що піднімає P , яка визначається рівнянням.

$$P = \rho \xi S, \quad (2)$$

де ξ - коефіцієнт аеродинамічного опору насініни при її обтіканні повітряним потоком;

S – площа перерізу насініни перпендикулярна потоку.

Архімедова сила A , що діє на насініну, визначається з умови витискування її з повітряного середовища.

$$A = lbh \rho g, \quad (3)$$

де l, b, h – розміри насініни, мм;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Сила тертя насініни по дну лотка, $F_{тр}$.

$$F_{тр} + Gf, \quad (4)$$

де G – вага насініни;

f – коефіцієнт тертя насініни по дну лотка.

Враховуючи, що сума проєкцій векторів сил на дно лотка дорівнює нулю, запишемо

$$F_{л} - (G - P - A)f = 0. \quad (5)$$

Сили P і A що входять до формули, значно менше за вагу насініни G . Тому можна прийняти, що рух матеріалу по дну лотка починається при умові

$$F_n \geq F_{тр.}$$

Цю умову можна записати у вигляді

$$v^2 \frac{\rho}{2} \xi S_0 \geq Gf.$$

Тоді швидкість потоку повітря потрібна для початку руху

$$v = \sqrt{\frac{2G}{\rho S \xi}}. \quad (6)$$

При збільшенні швидкості повітряного потоку більше за швидкість початку руху підйомна сила зростає і припіднімає насінину з дна лотка. Але, під дією гравітаційних сил насінина періодично опускається на дно і рухається вздовж лотка стрибками. Це є період несталого руху, коли швидкість насінини менше за швидкість повітря. При подальшому збільшенні швидкості повітря, швидкість руху насінини наближається до сталого коли співвідношення швидкостей насінь та повітря наближається до сталої величини.

$$\frac{v_n}{v} = \text{const}, \text{ при цьому завжди } \frac{v_n}{v} \leq 1.$$

Швидкість повітряного потоку при сталому русі є швидкістю транспортування для одиничної насінини. В потоці аеросуміші коли рухаються багато насінин, вони взаємодіють між собою та стінками лотка. При цьому, чим більше насінин, тобто чим вище концентрація суміші, тим більше зіткнень однієї з одною і із стінками лотка. Як наслідок, швидкість руху матеріалу падає. З врахуванням концентрації суміші оптимальна транспортуюча швидкість $v_{\text{опт}}$, м/с, знаходиться по наступній формулі:

$$v_{\text{опт.}} = (4 \mu \frac{v}{v_n} + 0,01 \rho_n + b), \quad (7)$$

де μ - концентрація суміші;

v/v_n - параметр випередження повітряного потоку;

ρ_n - щільність насіння, кг/м³, $\rho_n = 750 \text{ кг/м}^3$ [2];

b - коефіцієнт форми та розміру насінь, $b=14$ [3].

Витратна концентрація суміші є відношення маси насінь до маси повітря, що проходять по лотку в одиницю часу

$$\mu = M_n/M_b, \quad (8)$$

де M_n - маса насіння, переміщуваного по лотку в одиницю часу, кг/с;

$M_n = 0,01 \text{ кг/с}$;

M_b - масовий потік повітря, кг/с.

$$M_b = Fv \rho, \quad (9)$$

де F - площа поперечного перерізу лотка, $F = 4,5 \times 10^{-4} \text{ м}^2$.

Швидкість повітря повинна перевищувати швидкість руху насінь. При швидкості руху сівалки 7,2 км/год, та нормі висіву 250 кг/га (пшениця), об'ємна швидкість потоку насінь через один висівний апарат повинна складати 10гр/с. Відповідно лінійна - $v_n = 22,2 \text{ м/с}$. З врахуванням, що швидкість повітря повинна бути більше за швидкість руху насінь, або дорівнювати їй, прийmemo $v = 22,2 \text{ м/с}$. Тоді підставляючи в (9), отримуємо

$$M_b = 4,5 \times 10^{-4} \times 22,2 \times 1,2 = 0,012 \text{ кг/с}.$$

Повертаючись до (8) отримуємо

$$\mu = \frac{0,01}{0,012} = 0,83.$$

Оптимальна транспортуюча швидкість повітря (7) буде

$$v_{\text{опт.}} = (4 \times 0,83 \times 1 + 0,01 \times 750 + 14) = 24,82 \text{ м/с.}$$

Витрати повітря через один висівний апарат при цьому будуть

$$Q_{\text{в.а.}} = F v_{\text{опт.}}, \\ Q_{\text{в.а.}} = 4,5 \times 10^{-4} \times 24,82 = 0,011 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Загальні витрати повітря усієї сівалки з 24 висівними апаратами

$$Q = 24 \times 0,011 = 0,26 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Для забезпечення роботи сівалки можна порекомендувати вентилятор ЦАГИ типу Ц7 – 15, №10. Цей вентилятор по своїм параметрам здатний забезпечити роботу сівалки в цілому.

Висновки:

1. Запропонована конструкція пневматичного висівного апарата для рядового висіву зернових культур.

2. Проведено теоретичний аналіз працездатності апарата та на підставі розрахунку режиму роботи апарата при максимальних нормах висіву обрано вентилятор, що забезпечує роботу сівалки в цілому.

3. Оскільки розміри отвору для витікання насіння на лоток взято орієнтовно, в подальшому буде розраховано його розміри в залежності від культури, що висівається, та відповідних норм висіву.

Список літератури

1. Мартиненко С.А. Моделювання процесу витікання насіння з малих ємностей / Мартиненко С.А., Мартиненко Л.С., Цепя Н.І. / Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. - Вип. 28 – Кіровоград: КДТУ, 1999. – 352с.
2. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування., кн. 1 / Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. – Київ.: «Урожай». 2001.-380с.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Идельчик И.Е. - М.:Машиностроение, 1975.-559с.
4. Соломахова Т.С. Центробежные вентиляторы / Соломахова Т.С., Чебышева К.В.: Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 170с.

С. Мартыненко, Т.Аулина

Пневматический высев зерновых культур

В статье предлагается разработанная авторами конструкция пневматического высевающего аппарата для рядового высева зерновых культур. В ней дозирование потока семян осуществляется отдельно на каждый сошник. При этом, в отличие от катушечного высевающего аппарата, «активный слой» семян образуется с помощью воздуха повышенного давления, то есть созданием воздушносеменного потока. Проведено теоретическое обоснование работоспособности аппарата, на основании чего, определены нужные расходы воздуха и выбран вентилятор, способный обеспечить работу сеялки в целом.

S.Martinenko, T. Aulina

Pneumatic sowing of cereals

In the article the construction of pneumatic sowing vehicle developed authors is offered for the ordinary sowing of cereals. In it the dosage of stream of seed is carried out separately on every steel. Thus, unlike a spool sowing vehicle « active layer » seed appears by air of the promoted pressure, that by creation of airseed stream. The theoretical ground of capacity of vehicle is conducted on the basis of what the necessary charges of air are certain and a ventilator is chosen able to provide work of drillmashine on the whole.

Одержано 22.09.09

УДК 620.179.14

Т.С. Скобло, д-р. техн. наук, А.И. Сидашенко, канд. техн. наук, проф., Р.В. Ридный, канд. техн. наук, доц., В.М. Власовец, канд. техн. наук, доц.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка

Повышение твердости покрытия микролегированием и оптимизацией параметров их нанесения

Комплексными исследованиями установлено, что введение 5-7% зольных отходов ТЭС во флюс АН-348 позволяет получить твердость металла покрытия на уровне 42-47 HRC без проведения дополнительной термообработки. Выполнена оптимизация параметров нанесения покрытия, которая обеспечила стабильный уровень твердости.

вторичный вал, наплавка под слоем флюса, коэрцитивная сила, твердость, оптимизация, покрытие

Вступление. Основная причина эксплуатационных отказов валов – износ различной интенсивности рабочей поверхности. Наиболее распространенными приемами реновации изношенного слоя валов являются наплавка под слоем флюса.

Анализ литературных данных и постановка задачи. В настоящее время отсутствует единая точка зрения по наиболее эффективному технологическому приему нанесения покрытия для реновации изношенного слоя валов [1]. Кроме того, не ясно как проводить процесс наплавки, чтобы обеспечить минимальный уровень напряжений, уменьшить склонность к повреждаемости и по возможности максимально сохранить исходные свойства всего вала [2]. Традиционно, наплавку валов проводят под слоем флюса АН-348 проволокой Нп-30ХГСА, что, однако, не обеспечивает необходимой твердости [3]. После такой наплавки необходима энергетически затратная термическая обработка изделия. Наиболее эффективным в данном случае представляется обеспечение необходимого уровня твердости шлицев – 44-47 HRC еще при наплавке путем ввода дополнительных микролегирующих добавок, а также оптимизации режимов процесса. Несмотря на значительное количество публикаций по легированию наплавленного металла, вопросам микролегирования зольными отходами производства уделено мало внимания. Введение зольных отходов позволяет дозированно ввести добавки легирующих элементов в наплавленный металл и обеспечить высокий экономический эффект.

Поэтому **целью работы** является повышение твердости покрытия при наплавке под слоем флюса путем ввода дополнительных микролегирующих добавок в виде зольных отходов во флюс, а также оптимизации режимов процесса. Прогнозирование структурного состояния и свойств по коэрцитивной силе (H_c).

Экспериментальная часть. В качестве покрытия использовали широко применяемую и недефицитную низколегированную наплавочную проволоку Нп-30ХГСА Ø1,6 мм. Покрытие наносили под слоем плавленного флюса АН-348А на установке УД-209. Использовали микролегирование добавлением в стандартный флюс зольных отходов Змиевской ГРЭС. Химический состав зольных отходов: 19,3-20,0% Fe; 12,7-14,2% Al; 1,92,0% Mg; 0,6-1,0% Cu; 0,45-0,6% Mn; 0,12-0,15% Cr; 1,2-1,5% Ti; 1,2-1,7% V; 3,9-4,4% Ce; 0,02-0,04% S; 0,02-0,03% P; остальное Si. После высушивания и прокаливания при температуре 350°C зольные отходы дробили и сортировали на ситах

для отделения фракции с размером зёрен 0,5-3,0 мм, что соответствовало гранулам стандартного флюса. Объёмный вес зольных отходов составил 1,55 гр/см³, объёмный вес флюса АН-348А - 1,65 гр/см³, т.е разница достигала не более 7%. Для выбора оптимальной добавки, высушенные и отсортированные зольные отходы тщательно перемешивали с флюсом, изменяя количество добавки в интервале 0-20%.

Исходный металл покрытия содержит незначительное количество неметаллических включений и пор размером 4-12 мкм (рис. 1, а) и табл. 1). Основной размер включений (более 90%) имеют размер до 7 мкм. Такие дефекты, как раковины, надрывы и трещины появляются при добавке $\geq 10\%$ зольных отходов, что связано с недостаточной растворимостью зольных отходов. Дендриты в наплавленном металле имеют вытянутую форму с коэффициентом неравноосности (отношение длины к диаметру) 2,3.

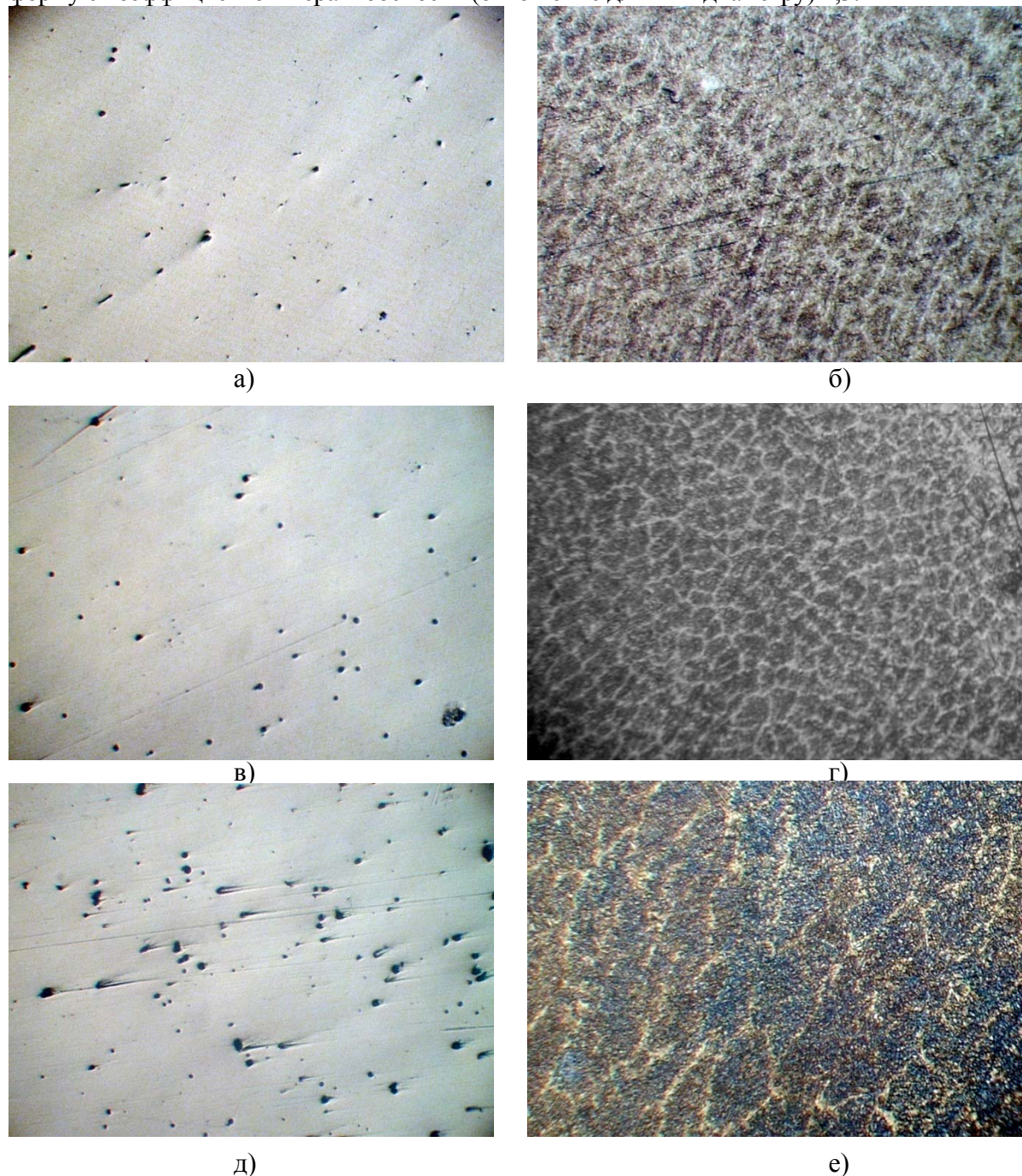


Рисунок 1 - Покрытие: а,б - без добавки золы; в,г – 5%; д, е – 20%; а, в, д - нетравлено, $\times 100$; б, г, е – структура после травления (4%-ным раствором HNO_3 в этиловом спирте), $\times 200$

Таблица 1 - Структурные и физико-механические характеристики наплавленного металла

Доля зольных добавок, %	Размер включений, мкм	Микро-твёрдость	Размер дендритов в направлении		Количество включений, %	Твёрдость, HRC	H _c , А/см
			поперечном	продольном			
0	<u>4-12</u> 5,9	<u>310-362</u> 337	<u>10,9-15,3</u> 12,1	<u>25,5-33,6</u> 27,8	<u>0,32-0,50</u> 0,46	<u>35-42</u> 38,7	<u>6,2-7,1</u> 6,7
5	<u>2-12</u> 6,2	<u>310-362</u> 341	<u>9,2-17,6</u> 11,3	<u>11,4-33,6</u> 17,4	<u>0,25-0,46</u> 0,38	<u>42-47</u> 44,3	<u>8,8-9,6</u> 9,1
10	<u>2-14</u> 7,1	<u>252-321</u> 281	<u>23,6-24,2</u> 23,9	<u>35,9-54,3</u> 48,9	<u>0,35-0,71</u> 0,58	<u>39-45</u> 42,4	<u>8,1-8,5</u> 8,3
15	<u>4-16</u> 8,3	<u>252-280</u> 278	<u>34,4-34,7</u> 34,6	<u>45,3-59,1</u> 54,5	<u>1,52-2,6</u> 1,84	<u>30-34</u> 32,8	<u>7,8-8,4</u> 8,1
20	<u>4-16</u> 4,8	<u>237-289</u> 269	<u>46,9-60,3</u> 53,4	<u>77,6-92,7</u> 86,5	<u>1,60-3,10</u> 2,01	<u>29-35</u> 32,0	<u>7,6-8,5</u> 8,0

Примечание. Измерения на глубине 1 мм от поверхности для покрытия сформированного за два прохода по винтовой линии.

Дополнительный ввод 5% зольных отходов Змиевской ГРЭС способствует некоторому уменьшению количества неметаллических включений и пор - на 17%, и увеличению их размеров на 5% (см.рис. 1, в,г). С вводом зольных отходов размер дендритов значительно уменьшился на 37,4%, снизился также коэффициент неравноосности до 1,5. Ввод 10% зольных отходов в состав флюса увеличивает как средний размер включений на 20% по сравнению с наплавкой без микролегирования, так и, замедляя охлаждение, способствует увеличению размеров дендритов на 75%, коэффициента их неравноосности до 2,04.

При введении 15-20% зольных отходов резко увеличивается количество включений в поле зрения шлифа практически в 4 раза, за счет большого числа более крупных и мелких частиц. Средний размер включений увеличивается на 40%. Причём, по характерным следам, оставляемым после полировки шлифов, можно утверждать, что это твёрдые включения. В большем количестве появляются дефекты, особенно поры. Растет неравноосность дендритов и их размер.

Анализ размеров дендритов в рабочем слое показал, что покрытие с 5% добавкой золы во флюс имеет меньшие размеры, чем покрытия с 10, 15 и 20% добавками. Известно что, структура металла с более мелкозернистым строением отличается повышенной твёрдостью а, следовательно, и износостойкостью по сравнению с грубозернистой структурой.

Выполнили оценку возможности прогнозирования изменений структуры наплавленного металла по магнитному параметру. Для оценки влияния различных факторов на уровень H_c установили ряд зависимостей:

$$H_c = 9,1 - 0,1d_{вкл}; \quad (1)$$

$$H_c = 12,7 - 2,5N_{н.о.}; \quad (2)$$

$$H_c = 7,9 - 0,4N_{вкл.}, \quad (3)$$

где $d_{вкл}$ – средний размер включений, мкм;

$N_{н.о.}$ – коэффициент неравноосности дендритов наплавленного металла, представляющий собой отношение длины к ширине;

$N_{вкл.}$ - количество включений в плоскости зрения шлифа, %.

Твёрдость покрытия с добавками достигает 42-47 HRC по сравнению с покрытием без добавки (35-42 HRC), т.е. увеличилась до 35%. С увеличением доли зольных отходов во флюсе твёрдость уменьшается, и при введении их в количестве 20%, она достигает 29-35 HRC. Такая доля добавки приводит к уменьшению твёрдости ниже уровня исходного покрытия, что связано с формированием повышенной пористости в покрытии. Значения твёрдости металла покрытия с 5-7% добавки отличаются стабильностью, для этого случая характерен и наименьший разброс значений (в среднем – 5-6%).

Проведены исследования по оптимизации режимов нанесения металла покрытия методом электродуговой наплавки на основе прогнозирования свойств по H_c . Для прогнозирования уровня твердости по H_c и достижения стабильных показателей рекомендована зависимость:

$$HRC = 6,25H_c - 12,9 \quad (4)$$

Входные параметры: сила тока (I), А; скорость перемещения дуги (скорость нанесения покрытия), (V), м/ч; доля зольных отходов (D), %. Выходные параметры - твердость поверхностного слоя покрытия (HRC). Выполнено математическое планирование эксперимента для получения зависимости: $HRC=f(I, V, D)$. Для создания математической модели был выбран рототабельный план второго порядка на три фактора. Для построения план - матрицы эксперимента выполнили кодирование факторов (табл. 2).

Таблица 2 - Кодирование факторов при оптимизации режимов нанесения покрытия

Интервал варьирования и уровень факторов	Сила тока I , °А	Скорость перемещения дуги V , м/ч	Доля зольных отходов D , вес. %
Нулевой уровень	190	22	10
Интервал варьирования	30	4	5
Нижний уровень	160	18	5
Верхний уровень	220	26	15
Кодовое обозначение	X_1	X_2	X_3

В результате проведенных расчётов было получено следующие уравнение регрессии:

$$HRC=43,4-4,67X_1-1,84X_2+1,21X_3+0,875 X_1 X_2-0,375 X_1 X_3+0,125 X_2 X_3-2,77X_1^2-1,01X_2^2-1,36X_3^2 \quad (5)$$

Влияние режимов процесса нанесения покрытия на твердость поверхностного слоя HRC представлены на рис. 2-4.

Для случая постоянной скорости перемещения дуги V (см. рис. 2), анализировали совместное влияние доли вводимой золы во флюс D и силы тока I на твердость металла покрытия.

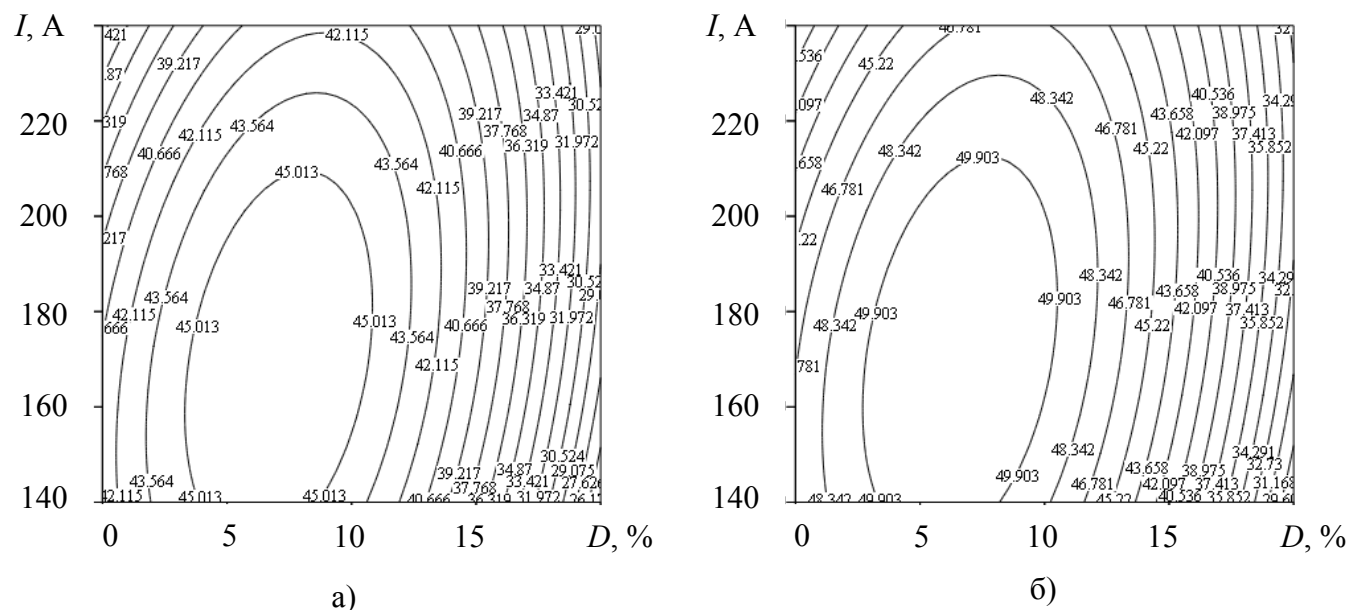


Рисунок 2 - Влияние доли добавки зольных отходов во флюс D (%) и силы тока I (А) на твердость (HRC) нанесенного покрытия при скорости перемещения дуги: а - $V=16$ м/ч; б - $V=22$ м/ч

Поверхність отклика имеет вид эллиптического параболоида с длинной осью, ориентированной в направлении изменения силы тока. Это свидетельствует о значительно большем влиянии доли золы во флюсе D по сравнению с силой тока I на исследуемый параметр HRC . Из рис. 2 (а, б) видно, что оптимальные значения доли легирующей золы во флюсе D колеблются в пределах 5-7%, а сила тока $I=160-180A$ при скорости перемещения дуги $V=22m/ч$.

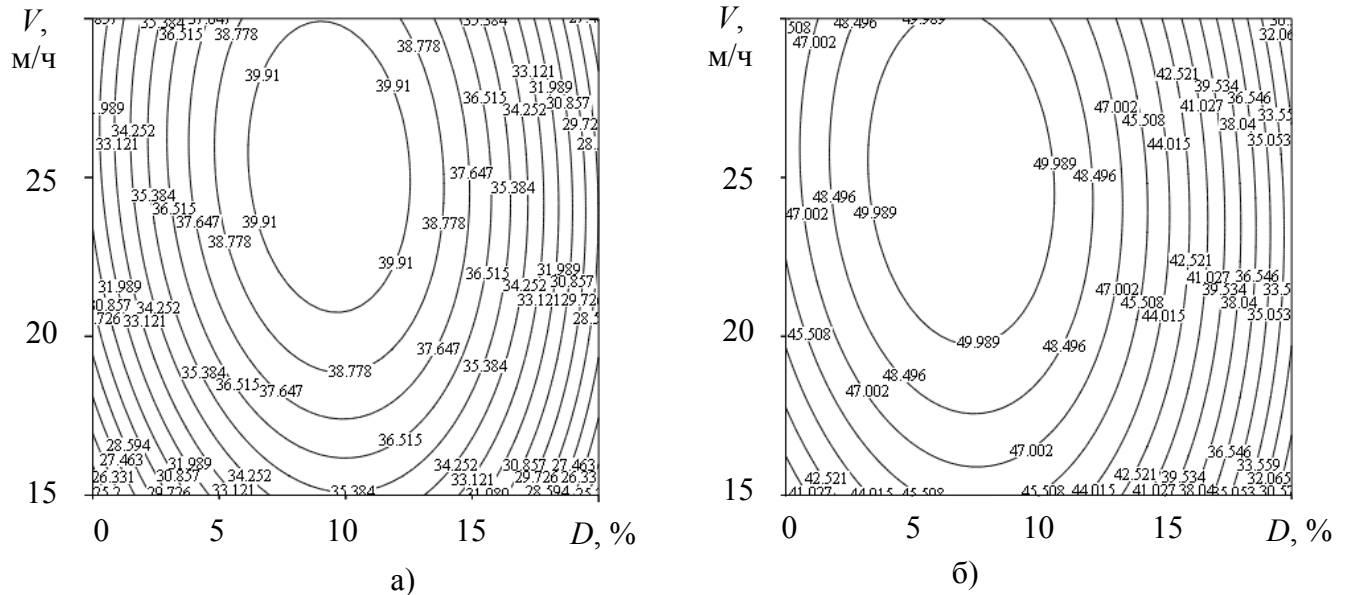


Рисунок 3 - Влияние доли добавки зольных отходов во флюсе D (%) и скорости перемещения дуги V (м/ч) на твердость (HRC) нанесенного покрытия при силе тока I (А): а – $I=190A$; б – $I=280A$

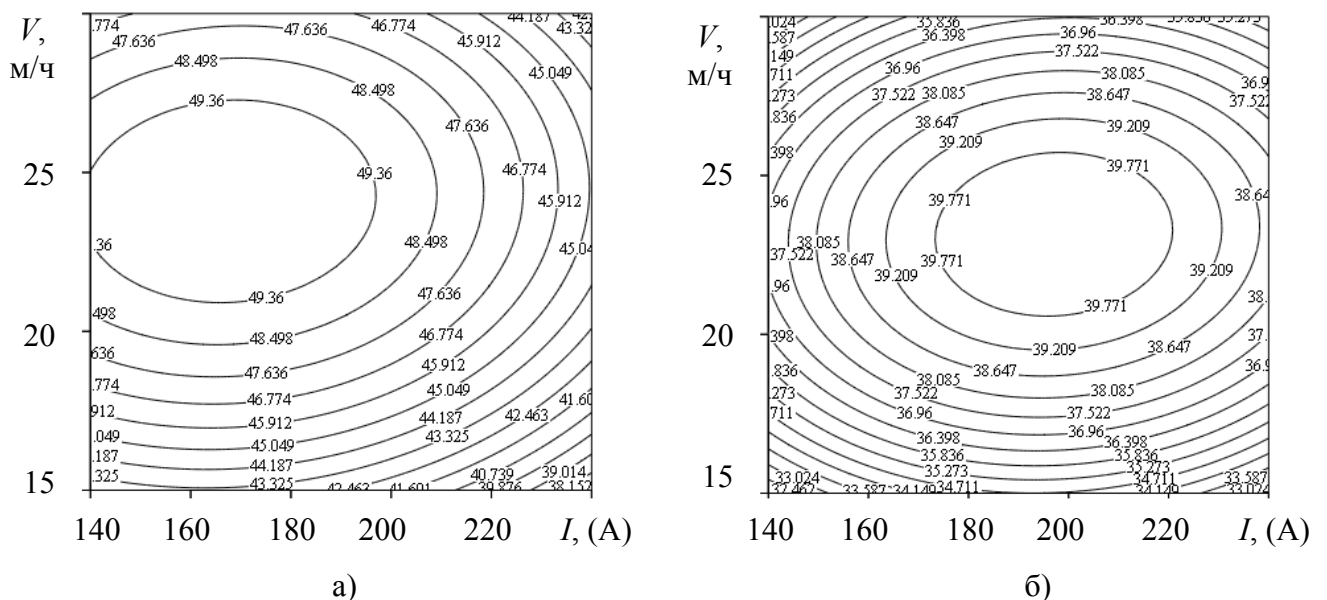


Рисунок 4 - Влияние силы тока I (А) и скорости перемещения дуги V (м/ч) на твердость (HRC) покрытия при доле добавки зольных отходов во флюс: а - $D=5\%$; б – $D=15\%$

Рассматривая случай, когда не изменяется сила тока (см. рис. 3), формируется поверхность отклика подобная предыдущей. Анализ линий сечения полученной поверхности свидетельствует об аналогичном характере совместного влияния доли золы и скорости перемещения дуги на твердость. Только в данном случае изменение

скорости оказывает меньшее влияние, чем сила тока, о чём свидетельствует вытянутость эллипса в вертикальном направлении. Также хорошо видно, что оптимальным является доля легирующей золы во флюсе равная $D=5-7\%$, а скорость перемещения дуги $V=23-27\text{м/ч}$.

Поверхность отклика при взаимном влиянии силы тока и скорости перемещения дуги на твердость при постоянном количестве добавки легирующей золы во флюс (рис. 4), также имеет вид эллиптического параболоида, однако эллипсы линий уровня менее вытянуты, что свидетельствует о примерно равнозначном влиянии силы тока и скорости перемещения дуги, хотя просматривается незначительно большее влияние на твердость покрытия поверхности силы тока, в сравнении со скоростью перемещения дуги. Из данных зависимостей также можно определить оптимальные параметры процесса: $I=160-180\text{А}$, $V=23-27\text{м/ч}$, что полностью соответствует ранее полученным данным. Оптимизация параметров нанесения покрытия позволила обеспечить стабильность и несколько повысить уровень твердости до 47-49 HRC. Разработанная технология нанесения покрытия защищена патентом Украины [4].

Учитывая, что добавка зольных отходов во флюс обеспечивает формирование более мелкого зерна за счёт микролегирования V и Ti , то можно ожидать и повышение прочности.

Выводы:

1. Компенсация изношенного слоя наплавкой проволокой Нп-30ХГСА под слоем флюса позволяет получать твердость рабочих поверхностей в интервале 35-38HRC. Это значение твердости в ряде случаев не удовлетворяет требованиям технических условий и вызывает необходимость проведения упрочняющей обработки. Введение 5-7% зольных отходов ТЭС во флюс позволяет получить твердость металла покрытия на уровне 42-47 HRC, без проведения дополнительных технологических операций, а оптимизация режимов нанесения - до стабильного уровня 47-49 HRC.

2. Анализ структуры и свойств покрытий, наносимых автоматической дуговой наплавкой под слоем флюса с добавкой зольных отходов, позволил обеспечить измельчение зерна. Наблюдаемый эффект достигается за счёт упрочнения легированием покрытия малыми добавками титана, ванадия, а также алюминия. Весомый вклад вносят и модифицирующие присадки Ca , Mg , Se , содержащиеся в зольных отходах, которые снижают концентрацию вредных примесей. Материалы исследований защищены патентом Украины UA 13760 [4].

Список литературы

1. Сварка в машиностроении: справочник в 4-х т. / [Редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др. под ред. А.И. Акулова]. – М.: Машиностроение, 1978. – Т.2. – 462 с.
2. Скобло Т.С. Исследование различных способов ремонта шлицевых валов. / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, А.А. Гончаренко // Вісник ХНТУСГ. – 2009 - № 76, С.11-15.
3. Методика расчета шлицевых соединений вторичных валов подвергаемых реновации изношенного слоя. / [Власовец В.М., Скобло Т.С., Ридный В.Ф. и др.] // Вісник ХНТУСГ. Випуск № 77. Харків 2009, С.9-14.
4. Патент 13760 Украины “ Флюс для нанесения покрытия”, / [Скобло Т.С., Ридний Р.В., Коломієць В.В., Сідашенко О.І., Рідний В.Ф., Власовець В.М.], № u200509975; заявл. 24.10.2005; опубл. 17.04.2006, Бюл. №4.

Т.Скобло, А. Сідашенко, Р.Рідний, В. Власовець

Підвищення твердості покриття мікролегуюванням і оптимізацією параметрів їх нанесення

Комплексними дослідженнями встановлено, що додавання 5-7% зольних відходів ТЕС до флюсу АН-348 дозволяє отримати твердість металу покриття на рівні 42-47HRC, без проведення додаткової термообробки. Виконана оптимізація режимів нанесення, що забезпечила стабільний рівень показника 47-49 HRC.

T. Skoblo, A. Sidashenko, R. Ridnyy, V. Vlasovec

Increase hardness of coverage a microalloying and optimization of parameters of their causing

It is set complex researches, that introduction 5-7% offcuts in a gumboil AN-348 allows to get hardness of metal of coverage at the level of 42-47 HRC without the leadthrough of additional heat treatment. The executed optimization of the modes of causing provided the stable level of index 47-49 HRC.

Одержано 11.09.09

УДК 621.771.63

Т.С. Скобло, проф., д-р техн. наук, М.В. Марченко, доц., канд. техн. наук

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Влияние напряжений от неметаллических включений на показания коэрцитивной силы

В статье рассмотрено влияние напряжений от неметаллических включений во втулках цилиндров, отлитых центробежным методом из низколегированного чугуна, на уровень коэрцитивной силы

напряжения, неметаллические включения, коэрцитивная сила, втулка цилиндров

Нарушение технологического процесса разлива втулок цилиндров методом центробежного литья, с использованием различных модифицирующих добавок и углеродного боя в ковш для корректировки химического состава, могут способствовать формированию ликвационных зон, а это, в свою очередь, привести к формированию локальных скоплений неметаллических включений и отбелу.

Для улучшения качества втулок цилиндров, в состав легирующей добавки вводили титан. Добавка титана в чугун оказывают заметное влияние на его механические свойства вследствие измельчения зерна и выделения частиц карбонитридов. В тоже время известно, что введение титана может привести к ухудшению характеристик пластичности [1].

При анализе качества втулок цилиндров, отлитых центробежным методом, по уровню твердости, оцененной по Бринелю, были выявлены участки в которых значения твердости превышали технические требования. Поэтому целью работы явилась необходимость разработать методику неразрушающего контроля втулок. Для этого был использован магнитный метод с оценкой коэрцитивной силы, который позволил бы установить связь твердость – коэрцитивная сила и прочность – коэрцитивная сила в любой зоне отлитого изделия. При более детальном анализе на данных участках выявили, что включения графита практически отсутствуют. Металлографическим анализом микроструктуры в таких пробах выявлены как отдельные неметаллические включения, так и их скопления (рис.1), в том числе и плёночные.

T. Skoblo, A. Sidashenko, R. Ridnyy, V. Vlasovec

Increase hardness of coverage a microalloying and optimization of parameters of their causing

It is set complex researches, that introduction 5-7% offcuts in a gumboil AN-348 allows to get hardness of metal of coverage at the level of 42-47 HRC without the leadthrough of additional heat treatment. The executed optimization of the modes of causing provided the stable level of index 47-49 HRC.

Одержано 11.09.09

УДК 621.771.63

Т.С. Скобло, проф., д-р техн. наук, М.В. Марченко, доц., канд. техн. наук

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Влияние напряжений от неметаллических включений на показания коэрцитивной силы

В статье рассмотрено влияние напряжений от неметаллических включений во втулках цилиндров, отлитых центробежным методом из низколегированного чугуна, на уровень коэрцитивной силы

напряжения, неметаллические включения, коэрцитивная сила, втулка цилиндров

Нарушение технологического процесса разлива втулок цилиндров методом центробежного литья, с использованием различных модифицирующих добавок и углеродного боя в ковш для корректировки химического состава, могут способствовать формированию ликвационных зон, а это, в свою очередь, привести к формированию локальных скоплений неметаллических включений и отбелу.

Для улучшения качества втулок цилиндров, в состав легирующей добавки вводили титан. Добавка титана в чугун оказывают заметное влияние на его механические свойства вследствие измельчения зерна и выделения частиц карбонитридов. В тоже время известно, что введение титана может привести к ухудшению характеристик пластичности [1].

При анализе качества втулок цилиндров, отлитых центробежным методом, по уровню твердости, оцененной по Бринелю, были выявлены участки в которых значения твердости превышали технические требования. Поэтому целью работы явилась необходимость разработать методику неразрушающего контроля втулок. Для этого был использован магнитный метод с оценкой коэрцитивной силы, который позволил бы установить связь твердость – коэрцитивная сила и прочность – коэрцитивная сила в любой зоне отлитого изделия. При более детальном анализе на данных участках выявили, что включения графита практически отсутствуют. Металлографическим анализом микроструктуры в таких пробах выявлены как отдельные неметаллические включения, так и их скопления (рис.1), в том числе и плёночные.



а) скопление неметаллических включений и интерметаллидов (оксиды и карбонитриды титана);
б) скопление цементита.

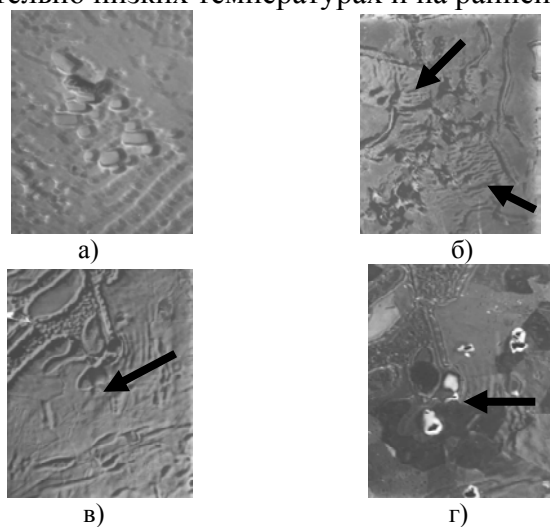
Рисунок 1 - Микроструктура зоны с минимальной долей графита, выделениями цементита и неметаллическими включениями (302 НВ), х 100

Локальным спектральным анализом по месту формирования неметаллических включений выявлена ликвация титана до 0,48% при его среднем содержании 0,01 – 0,013%. Кроме таких включений выявлены и выделения цементита (см. рис. 1). При изготовлении шлифов ряд включений разрушается и они при полировке оставляют след в виде царапин. Поскольку царапины глубокие, вывести их длительной полировкой не представляется возможным.

Для выявления неметаллических включений и области распространения пластических и упругих деформаций, которые возникают при охлаждении отливки, был разработан режим травления в вакууме в интервале температур 200 – 1000°C при остаточном давлении $13,3 \times 10^{-3}$ Па. Для исследований использовали образцы размером $3 \times 4 \times 80$ мм.

Область распространения пластических и упругих деформаций оценивали при нагреве и быстром охлаждении по формируемому рельефу и его отсутствию вокруг включений (рис. 2) с использованием эмиссионного микроскопа.

Появление складчатого рельефа на поверхности шлифов зависит от температуры и времени выдержки, при которых реализуется стремление поверхности кристалла вокруг включений к минимуму свободной энергии. Основными процессами, способствующими развитию рельефа, является перенос вещества через газовую фазу, объёмная и поверхностная диффузии. Поверхностная диффузия наиболее интенсивно развивается при относительно низких температурах и на ранней стадии процесса.



а – электронная микроскопия, х3700; б, в – оптическая микроскопия после травления в вакууме, х1000; г – эмиссионная микроскопия, х1000 (стрелками указан формируемый рельеф)

Рисунок 2 - Неметаллические включения (а) и напряжения от них (б - г)

При исследовании влияния неметаллических включений на возникновение напряжений оценивали роль последних в изменении уровня микротвердости (влияет и на твердость, оцененную по Бринелю) и коэрцитивной силы, которые можно прогнозировать при таких условиях кристаллизации.

Выявлены розово-голубые, серые, черные неметаллические включения относящиеся к нитридам, оксидам и карбонитридам титана. Согласно исследованиям Нарита [2], такие соединения образуют непрерывный ряд твердых растворов. Этим объясняется тот факт, что цвет карбонитридов титана в сером чугунае изменяется от темных до светлых тонов. И карбид, и нитрид титана кристаллизуются в кубической форме. Их образование приводит к уменьшению доли графита за счёт перераспределения углерода.

Результаты испытаний на ударную вязкость образцов, приведенных в работе З. А. Боганова [3] на литых пробах показали, что добавки титана приводят к снижению ударной вязкости - в среднем на 0,5 мДж/м². Соответственно изменяется и вид излома. Так, если изломы образцов без титана преимущественно вязкие, то с титаном они имеют определенную долю хрупкой составляющей, причем площадки сколов (со следами деформации) по форме и ориентации соответствуют транскристаллитным сколам, характерным для литого металла.

В работе установлено, что величина деформации с ростом размера включения изменяется весьма незначительно. Это связано с тем, что при крупных включениях нарушается когерентная связь включение – матрица и появляется значительный зазор между ними. Микротвёрдость продуктов распада аустенита вокруг включений (область пластических деформаций) возрастает в 1,2-1,6 раза, а цементита на 7-10%. В области упругих деформаций микротвёрдость возрастает до 3%. Средний размер выявленных включений составил 1 мкм.

При появлении скоплений неметаллических включений увеличивается значение коэрцитивной силы. При скоплениях включений более 5 шт в поле зрения шлифа происходит рост коэрцитивной силы от 19 до 26 А/см. Максимальное значение коэрцитивной силы соответствует скоплению включений ≥ 15 шт. В связи с этим можно заключить, что коэрцитивная сила чувствительна к повышению напряжений внутри металла, возникающих в следствии увеличения количества неметаллических включений.

Для теоретической оценки уровня напряжений от включений использовали метод Ласло, основанный на положениях теории упругости. При расчетах использовали экспериментальные оценки уточненного размера включений по его сечению в эмиссионном микроскопе. Величину радиального напряжения на поверхности контакта включение-матрица рассчитывали по формуле:

$$P = \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)\Delta t}{\frac{1}{2} \frac{(1 + \nu_2) + (1 - 2\nu_2)d^3}{E_2(1 - d^3)} + \frac{(1 + 2\nu_1)}{E_1}}, \quad (1)$$

где α - средний линейный коэффициент теплового расширения в данном температурном интервале, 1/°C;

E - модуль Юнга, МПа;

ν - число Пуассона;

Δt - изменение температуры, °C.

$$d = R_1/R_2, \quad (2)$$

где R_1 - радиус включения, мкм;

R_2 - радиус деформационной области вокруг включения, мкм (по формуле Ласло R_2 - текущая координата);

подстрочные индексы: 1 - включение; 2 - матрица.

В результате выполненных расчётов подтверждено, что коэрцитивная сила находится в прямой зависимости от количества неметаллических включений. Так, при увеличении числа неметаллических включений свыше 5 шт. в поле зрения шлифа значение коэрцитивной силы превышает 19,9 А/см, а твёрдость находится выше уровня верхнего предела (269 НВ) согласно ТУ.

За счёт наложения напряжений от неметаллических включений повышается коэрцитивная сила. При рассмотрении втулок с высокими значениями коэрцитивной силы, можно сделать заключение, что неметаллические включения приводят к существенному разбросу значений прочности при растяжении. Это связано с тем, что неметаллические включения являются локальными концентраторами напряжений и способствуют неоднородности свойств, в том числе и за счет изменения формы и доли кристаллизирующегося графита в этих зонах.

При увеличении доли неметаллических включений от 3 до 15 шт. в поле зрения шлифа прочность изменяется в широких пределах от 260 до 385 МПа, что при неразрушающем контроле указывает на отклонение от требований ТУ. Результаты по оценке прочности, соответствующие требованиям ТУ > 294 Мпа, имеют стабильные показания коэрцитивной силы на уровне 15,9–19,0 А/см.

Установлены браковочные нормы для определения качества втулок цилиндров по соответствию требованиям ТУ. Так, втулки, имеющие уровень коэрцитивной силы в пределах 15,9-19,9 А/см, будут соответствовать требованиям ТУ по твёрдости (217-269НВ) на 94%, а по минимальному пределу прочности при растяжении (294МПа) - на 100%.

Отклонения в показаниях ниже 15,9 А/см соответствуют снижению твёрдости и прочности ниже допустимого предела и свидетельствуют о наличии повышенной пористости.

Увеличение уровня свыше 19,0 А/см свидетельствует об увеличении твёрдости более 269 НВ и появлении неметаллических включений и напряжений от них или повышенной доли цементита.

Отдельные (до 3,3%) значительные отклонения твёрдости и как следствие - уровня коэрцитивной силы от средних значений выявлены для отдельных втулок, что связано с ликвацией компонентов в чугуне отклонениями в химическом составе и неравномерным распределением углерода (появлением доли цементита $\geq 5\%$). Это возможно при нарушении технологии модифицирования расплавленного металла, плохом его перемешивании.

Таким образом, уровень коэрцитивной силы может служить и одним из перспективных методов неразрушающего контроля, по критериям которого можно производить оценки качества процесса изготовления втулок цилиндров. За счет внедрения неразрушающего контроля можно улучшить свойства металла, а следовательно и увеличить срок службы деталей – повышением чистоты сплава.

Список литературы

1. Скобло Т.С. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов. / Т.С. Скобло. - М.: Металлургия, 1994.- 334 с.
2. Нарита К. Кристаллическая структура и свойства неметаллических включений в стали. / К. Нарита. Перев. с японского. – М.: Металлургия, 1969.- 192 с.
3. Боганов З.А. Неметаллические включения в низкоуглеродистой стали с титаном и церием. / З.А. Боганов, Л.А.Одинцова и др. // Металловедение и термическая обработка металлов.- №6.- 1983.- С.54-56.

Т. Скобло, М. Марченко

Вплив напруги від неметалічних включень на значення коерцитивної сили

У статті розглянутий вплив напруги від неметалевих включень у втулках циліндрів відлитих відцентровим методом з низьколегованого чавуну, на рівень коерцитивної сили.

T. Skoblo, M. Marchenko

Influence of tensions from nonmetallics on the testimonies of coercitivity

In the article, influencing of tensions is considered from the non-metal including in the hobs of cylinders of poured off cast-iron, by a centrifugal method, on values coercive force.

Одержано 16.09.09

УДК 004.424

О.Д. Криськов, проф., канд. техн. наук, Т.В. Дяченко, бакалавр
Кіровоградський національний технічний університет

Розробка алгоритму автоматизованого призначення допоміжного часу у серійному виробництві

У приведеній статті представлена класифікація та систематизація факторів, які визначають час на встановлення та закріплення деталі у серійному виробництві. Такий ієрархічний розподіл дає змогу спростити методику розробки та побудови алгоритмів автоматизованого призначення допоміжного часу на основі нормативів по праці. В іменах ідентифікаторів зафіксовувалися, спільні риси та ознаки, притаманні певним типам карт, що спрощує процеси алгоритмізації та кодування.

серійне виробництво, алгоритмізація, систематизація, ієрархія складових допоміжний час, норма часу, встановлення, закріплення

Вступ. Кращою технологією автоматичної (автоматизованої) варіантної розробки регламенту технологічного процесу (РТП), з використанням ПК, була б така, яка б поєднала, власне, процес проектування з автоматичною техніко-економічною оцінкою (ТЕО) технологічних рішень в момент їх прийняття. Досягнути такого рівня автоматизації технологічного проектування неможливо без автоматичного визначення технічної норми часу на виготовлення деталі [1,2].

Норма часу на виконання технологічної операції має дві найбільш вагомні складові: основний та допоміжний час, які складають, так званий, оперативний час. Решта складових допоміжного часу є величиною похідною від оперативного часу. Основний час, порівняно легко визначається за аналітичними виразами по параметризованим операційним ескізам при відомих режимах різання. Однак автоматичне визначення допоміжного часу утруднене через певну специфіку обумовлену змістом та структурою подачі інформації в існуючих нормативах на допоміжний час. Структура та зміст нормативних таблиць створюють неабиякі труднощі при спробі алгоритмізації методики призначення складових допоміжного

Т. Скобло, М. Марченко

Вплив напруги від неметалічних включень на значення коерцитивної сили

У статті розглянутий вплив напруги від неметалевих включень у втулках циліндрів відлитих відцентровим методом з низьколегованого чавуну, на рівень коерцитивної сили.

T. Skoblo, M. Marchenko

Influence of tensions from nonmetallics on the testimonies of coercitivity

In the article, influencing of tensions is considered from the non-metal including in the hobs of cylinders of poured off cast-iron, by a centrifugal method, on values coercive force.

Одержано 16.09.09

УДК 004.424

О.Д. Криськов, проф., канд. техн. наук, Т.В. Дяченко, бакалавр
Кіровоградський національний технічний університет

Розробка алгоритму автоматизованого призначення допоміжного часу у серійному виробництві

У приведеній статті представлена класифікація та систематизація факторів, які визначають час на встановлення та закріплення деталі у серійному виробництві. Такий ієрархічний розподіл дає змогу спростити методику розробки та побудови алгоритмів автоматизованого призначення допоміжного часу на основі нормативів по праці. В іменах ідентифікаторів зафіксовувалися, спільні риси та ознаки, притаманні певним типам карт, що спрощує процеси алгоритмізації та кодування.

серійне виробництво, алгоритмізація, систематизація, ієрархія складових допоміжний час, норма часу, встановлення, закріплення

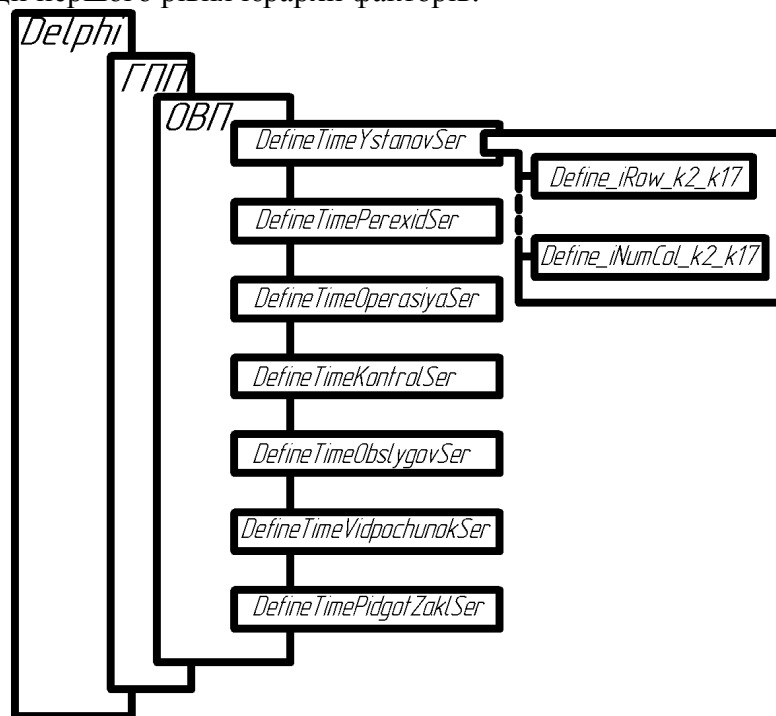
Вступ. Кращою технологією автоматичної (автоматизованої) варіантної розробки регламенту технологічного процесу (РТП), з використанням ПК, була б така, яка б поєднала, власне, процес проектування з автоматичною техніко-економічною оцінкою (ТЕО) технологічних рішень в момент їх прийняття. Досягнути такого рівня автоматизації технологічного проектування неможливо без автоматичного визначення технічної норми часу на виготовлення деталі [1,2].

Норма часу на виконання технологічної операції має дві найбільш вагомні складові: основний та допоміжний час, які складають, так званий, оперативний час. Решта складових допоміжного часу є величиною похідною від оперативного часу. Основний час, порівняно легко визначається за аналітичними виразами по параметризованим операційним ескізам при відомих режимах різання. Однак автоматичне визначення допоміжного часу утруднене через певну специфіку обумовлену змістом та структурою подачі інформації в існуючих нормативах на допоміжний час. Структура та зміст нормативних таблиць створюють неабиякі труднощі при спробі алгоритмізації методики призначення складових допоміжного

часу, зокрема, на установку та закріплення деталі, її контроль, керування верстатом тощо. Труднощі алгоритмізації методики призначення допоміжного часу виникають у зв'язку з тим, що форми таблиць існуючих нормативів мають досить складну структуру при значній кількості вхідних параметрів, які, в свою чергу, мають розгалуження та додаткові градації.

Мета роботи. Показати, що на основі певної систематизації факторів, із числа наведених в нормативах [1,2], можна розробити програмований елементарний технологічний модуль (ПЕТМ), який забезпечить повну автоматизацію призначення допоміжного часу на технологічну операцію.

Основна частина. Відомо, що в серійному виробництві допоміжний час нормується як сума нормативних відрізків часу на встановлення та зняття деталі, часу зв'язаного з переходом та (чи) операцією, часу, обумовленого вимірюванням обробленої поверхні, часу технічного та організаційного обслуговуванням робочого місця та підготовчо-заключного часу. Кожній із цих складових правомірно поставити у відповідність певні процедури чи функції, які мають визначити відповідні відрізки часу (рис. 1). Перед систематизацією факторів ставиться вимога виділити та зафіксувати в іменах ідентифікаторів, настільки це можливо, спільні риси та ознаки характерні для певних нормативних карт. Аналіз структури нормативів часу на установку та зняття деталі показує (рис.2,3,4), що цей час незалежно від групи верстатів визначається типом пристосування. Таких типів є десять, назви яких розміщені (рис. 2,3,4) зверху вниз по лівим сторонам кожного з рисунків. Ці назви визначають градації першого рівня ієрархії факторів.



ГПП – головна процедура проекту, ОВП – основна вирішуюча процедура,
 DefineTimeYstanovSer – функціональна процедура визначення часу на встановлення деталі,
 DefineTimePerexidSer – на перехід, DefineTimeOperasiyaSer – на операцію, DefineTime-KontrolSer – на контроль, DefineTimeObslygovSer – на обслуговування робочого місця, DefineTimeVidpochunokSer – на природні потреби, DefineTimePidgotZaklSer – підготовчо-заключний час

Рисунок 1 – Ієрархія складових визначення допоміжного часу

Вправо від назв пристосувань розміщені ознаки, які віднесемо до другого рівня ієрархії. При закріпленні в патроні та на оправці значення змінної другого рівня ієрархії вказує на номер нормативної карти, а для інших типів пристосувань цей номер визначається значенням змінної першого рівня. На рисунках в дужках вказані номери карт нормативу для того чи іншого типу пристосування.

Нормативними картами передбачено найбільш розповсюдженні типові способи установки, вивірки та кріплення деталей в універсальних та спеціальних затискних пристосуваннях. Основним фактором, що впливає на час установки та закріплення деталі є її вага. Крім цього фактора приймаються до уваги: спосіб кріплення деталі, тип пристосування, наявність та характер вивірки, характер установчої поверхні, кількість одночасно встановлених деталей тощо. З урахуванням цих факторів і були розроблені структурно-ієрархічні схеми з відповідними розгалуженнями (рис.2,3,4).

Розглянемо встановлення деталі на оправку більш детально (рис. 2) та дамо пояснення скороченням, які відповідають цьому типу пристосування. На другому рівні ієрархії “оправка” ділиться на *Цен* – центрову та *Кін* – кінцеву. Саме цей рівень і визначає необхідний номер карти нормативу, який вказано в дужках. Так центровій оправці відповідає сьома карта з нормативу [1], а кінцевій - восьма.

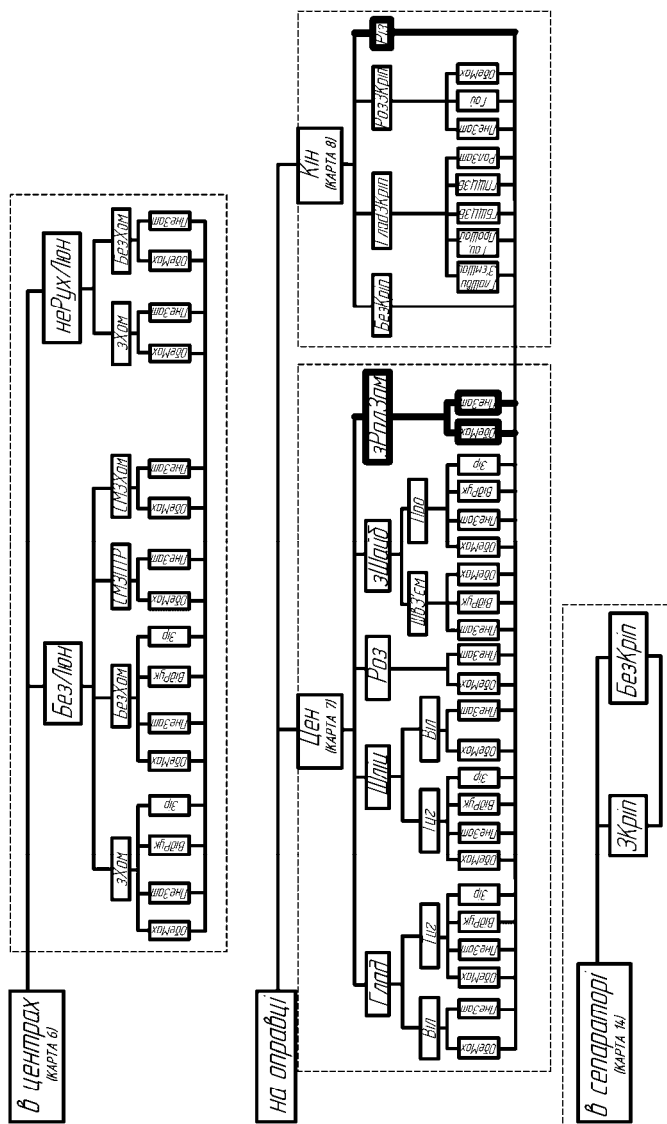


Рисунок 2 – Систематизація способів установки деталей в центрах, на оправці

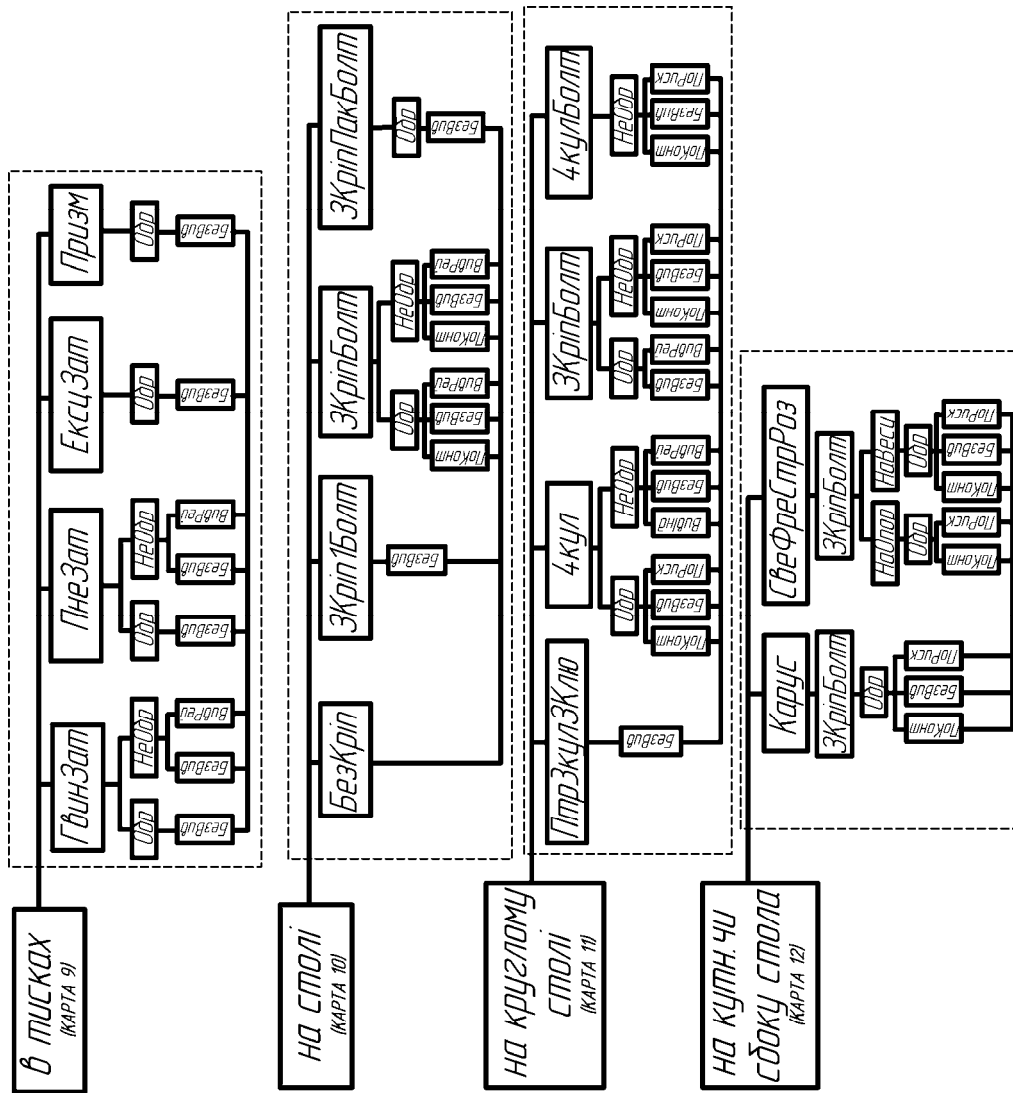


Рисунок 3 – Систематизація способів установки деталей в тисках, на столі, на круглому столі, на кутнику чи сбоку стола.

замком. Для кінцевої оправки – наявність кріплення: *БезКріп* – без кріплення, *ГладЗКріп* – гладка з кріпленням, *РозЗКріп* – розтискна з кріпленням, *Різ* – різьбова оправка. На четвертому рівні ієрархії для гладких та шліцевих центрових оправок уточнюється характер посадки деталі: *Віл* – вільне, *Туг* – туге; а для центральної оправки з кріпленням гайкою і шайбою уточнюється характер посадки гайки та шайби: *ШвЗ'єм* – швидкоз'ємна, *Про* – проста. Що стосується кінцевої гладкої оправки, то на четвертому рівні уточнюється спосіб кріплення: *ГлаШвиЗ'ємШай* – з кріпленням гайкою і швидкоз'ємною шайбою, *ГайПроШай* – з кріпленням гайкою і простою шайбою, *ГБЩЦЗБ* – з кріпленням гайкою і швидкоз'ємною шайбою з піджимом центром задньої бабки, *ГПЩЦЗБ* – з кріпленням гайкою і простою шайбою з піджимом центром задньої бабки, *РолЗам* – з роликівим замком. Також для четвертого рівня є характерним спосіб створення затискного зусилля: *ПнеЗат* – пневматичний затиск деталі, *Гай* – затиск гайкою, *ОбеМах* – обертанням маховика через шпіндель. У випадку центральної оправки спосіб створення затискного зусилля визначається на п'ятому рівні, причому до описаних вище додаються ще два способи: *ВідРук* – відвідною рукояткою та *Зір* – зірочкою.

Висновок. Запропоновано систематизацію, класифікацію та ідентифікацію факторів, передбачених нормативами, що визначають час на встановлення та закріплення деталей. Представлена ієрархія факторів, яка може служити основою для розробки алгоритму автоматичного призначення допоміжного часу за умов серійного виробництва.

Список літератури

1. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места на работы выполняемые на металлорежущих станках. Массовое производство. -М.: Экономика, 1988. – 366с.
2. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. Изд. 2-е.- М.: Машиностроение, 1974. – 421с.
3. Криськов О.Д., Петренко М.М. Основи комп'ютерної технології обґрунтування структури технологічних операцій: Навчальний посібник. - Кіровоград, РВЛ, - 2005. – 282с.
4. Озеров В. Delphi. Советы программистов. – СПб: Символ – Плюс, 2002. – 912с.

О.Криськов, Т.Дяченко

Разработка алгоритма автоматизированного назначения вспомогательного времени в серийном производстве

В приведенной статье представлена классификация и систематизация факторов, которые определяют время на установление и закрепление детали в серийном производстве. Такое иерархическое распределение дает возможность упростить методику разработки и построения алгоритмов автоматизированного назначения вспомогательного времени на основе нормативов по труду. В именах идентификаторов зафиксировались общие черты и признаки, присущие определенным типам нормативных карт, чтобы упростить процесс алгоритмизации и кодирования.

О.Криськов, Т.Дяченко

Development of algorithm automatic purposes auxiliary time in a batch production

In resulted article the submitted classification and ordering of factors which define time for an establishment and fastening of a detail in a batch production. Such hierarchical distribution enables to simplify a technique of development and construction of algorithms of the automated purpose of auxiliary time on the basis of specifications on work. In names of identifiers designate, so it is possible, the general features and the attributes inherent in certain types of normative tables to simplify process of algorithmization and coding.

Одержано 22.09.09

УДК 621. 822. 3

І. М. Хоменко, канд. техн. наук, доц.

Чернігівський державний технологічний університет

М. В. Кіндрачук, д-р техн. наук, проф.

Національний авіаційний університет

А. К. Кобринець, магістрант

Національний технічний університет „Київський політехнічний інститут”

Метод розрахунку радіального підшипника ковзання з незмінним положенням лінії центрів підшипника і вала

Наведено особливості розрахунку радіального підшипника ковзання при незмінному положенні лінії центрів спряження підшипник-вал.

радіальний підшипник ковзання, незмінне положення лінії центрів, тиск мастила, вантажність підшипника

Радіальні підшипники ковзання широко використовуються у сільськогосподарських машинах (двигуни тракторів і комбайнів, машини для вирощування і переробки сільськогосподарської продукції тощо). При цьому у багатьох випадках лінія центрів вала і підшипника при роботі спряження підшипник-вал не змінює своє положення, що, як правило, обумовлено особливістю приводів (ланцюгові, пасові, клинопасові), або зосередженням і незмінним за напрямком навантаженням на вал від зовнішніх силових факторів. Переважно підшипники змащують шляхом неперервної примусової подачі мастила в підшипник.

Пропонується методика розрахунку радіального підшипника ковзання з незмінним положенням лінії центрів і за наявності джерела мастила в підшипнику.

Функція розподілу тиску мастила по колу підшипника при незмінному положенні лінії центрів наведена у роботі [1] і враховує конструктивні і технологічні параметри, від яких залежить вантажність підшипника, а саме:

$$p(\theta, \infty) = p(\mu, U, r, c, \chi, \theta, p_n). \quad (1)$$

У залежності (1) позначено: $p(\theta, \infty)$ – функція розподілу тиску в підшипнику нескінченної довжини; μ – динамічна в'язкість мастила; U – лінійна швидкість точок на поверхні цапфи вала; r – радіус вала; c – радіальний зазор у підшипнику; χ – відносний ексцентриситет вала в підшипнику; θ – кут охоплення вала мастилом (відраховується від мінімального зазору в підшипнику); p_n – тиск мастила, яке поступає з джерела.

Оскільки дотична складова рівнодійної гідродинамічних сил, що діють по колу підшипника, у випадку, що розглядається, врівноважена реакціями зовнішніх в'язей, то зовнішнім силам протидіє лише радіальна складова гідродинамічних сил, яка визначається за формулою (інтегрування проводиться у межах додатних значень тиску мастила): $F_r = F_{r1} + F_{r2}$, де F_{r2} – функція тиску джерела мастила.

$$Fr_1 := \int_0^\pi \frac{-A}{(1-\chi^2)^2} \cdot \left[2 \cdot \sqrt{1-\chi^2} - (2+\chi^2) \cdot \sqrt{\frac{1-\chi}{1+\chi}} \right] \cdot \operatorname{atan} \left(\sqrt{\frac{1-\chi}{1+\chi}} \cdot \tan \left(\frac{\theta}{2} \right) \right) \cdot r \cdot \cos(\theta) d\theta$$

де $A = \frac{6\mu Ur}{c^2}$

$$F_{r2} = \left[\frac{P_m}{\pi} \left(\pi - \frac{\theta}{|\theta|} \right) \Phi(\theta) + f(\theta) \right]. \quad (2)$$

Сила F_r віднесена до одиниці ширини підшипника і може порівнюватись з інтенсивністю зовнішнього навантаження, наприклад при обґрунтуванні гранично допустимого в експлуатації зазору у спряженні підшипник-вал.

На рисунку 1 наведено залежність F_r від величини зазору «с» у спряженні підшипник-вал.

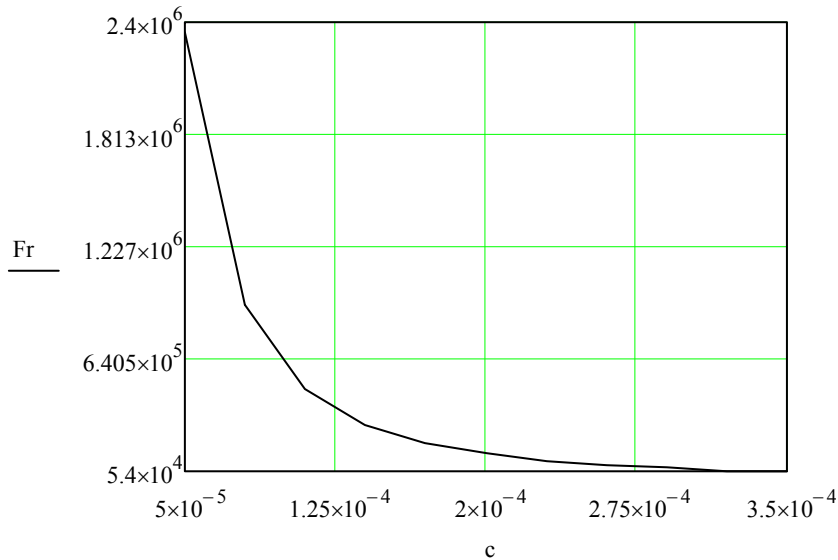


Рисунок 1 – Залежність радіальної рівнодійної тиску мастила від радіального зазору у спряженні підшипник-вал

При рівності інтенсивності зовнішнього навантаження і сили F_r з графіка, подібного наведеному на рисунку 1, встановлюється гранично допустимий зазор у спряженні підшипник вал.

Функцію розподілу тиску в шарі мастила для підшипника скінченної довжини отримано у наступному вигляді :

$$p(\theta, z) = p(\theta, \infty) \left(1 - \frac{ch(\sqrt{\lambda} \cdot z/r)}{ch(\sqrt{\lambda} \cdot l/2r)} \right) \quad (3)$$

де $\lambda = \frac{2\chi}{1-\chi}$;

l – ширина підшипника;

z – координата, яка відраховується вздовж ширини підшипника від його середини.

Вантажність підшипника відповідає лише радіальній складовій тиску мастила і визначається за формулою (інтегрування проводиться у межах додатних значень тиску мастила):

$$W=W_r = \int_0^{\pi/2} \int_{-l/2}^{l/2} p(\theta, z) \cdot r \cdot \cos \theta \cdot d\theta \cdot dz. \quad (4)$$

Список літератури

1. Хоменко І.М., Кобринець А.К. Про розподіл тиску в підшипнику ковзання нескінченної довжини з джерелом мастила. // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту.– 2007.– №28. С. 45-53.

И. Хоменко, М. Киндрачук, А. Кобринец

Метод расчета радиального подшипника скольжения с неизменным положением линии центров подшипника и вала

Приведены особенности расчета радиального подшипника скольжения при неизменном положении линии центров сопряжения подшипник-вал.

I. Khomenko, M. Kindrachuk, A. Kobrinec

Method calculation of radial slideway with unchanging position line centers of bearing and billow

The features of calculation of the radial bearing of sliding at unchanging position of line of centers of interface are resulted bearing-billow.

Одержано 15.08.09

УДК 681.542.35

В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, А.М. Мацуї, ас.

Кіровоградський національний технічний університет

Експериментальне дослідження умов вимірювання параметрів рідкого матеріалу у завиткових живильниках

У статті приведені результати експериментального дослідження умов вимірювання параметрів рідкого матеріалу у завиткових живильниках. Встановлено, що зміна рівня рідини у приймальному пристрої завиткового живильника являє собою стаціонарний випадковий процес, що відрізняється інтенсивністю в різних точках по ширині технологічного агрегату. Інтенсивність випадкового процесу зростає зі зменшенням усталеного значення рівня рідини. Параметри рідкого середовища найбільш доцільно контролювати в середній точці по ширині приймального пристрою. Повну інформацію про зміну параметрів рідкого середовища містить реалізація за половину оберту завиткового живильника.
завитковий живильник, приймальний пристрій, рівень рідини, точка вимірювання, випадковий процес

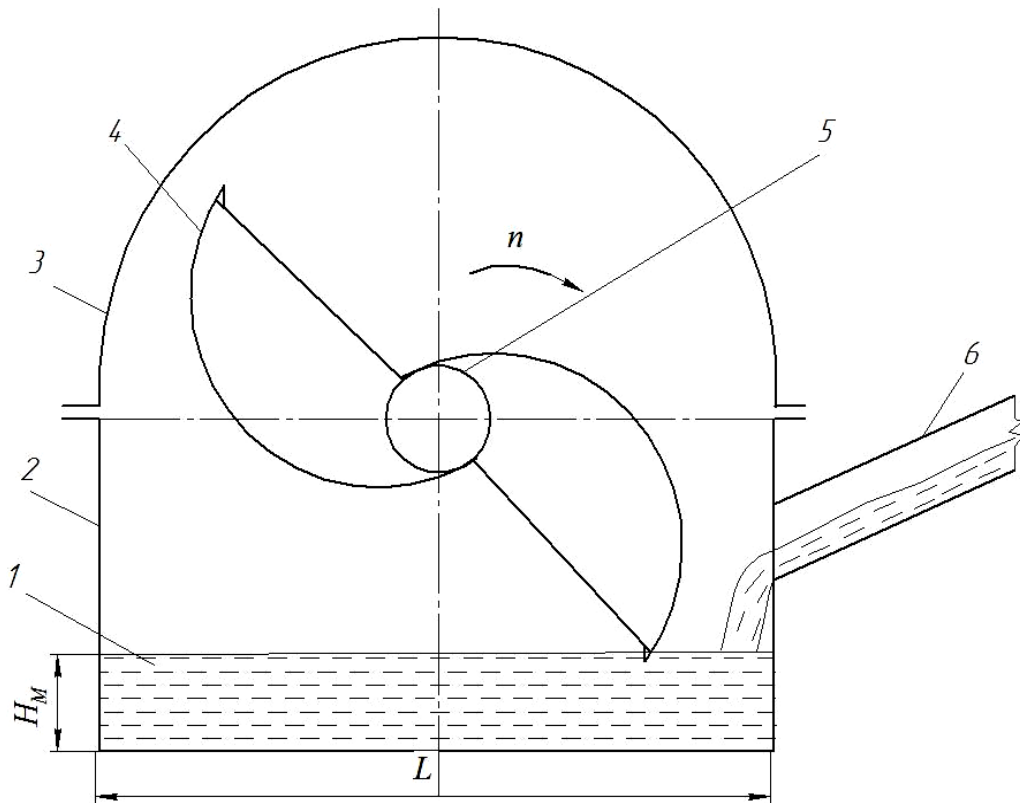
У збагачувальній галузі промисловості отримали широке розповсюдження завиткові живильники. Достатньо широке їх використання можливе у сільському господарстві, особливо в системах орошення і підживлення земель. Не дивлячись на широке розповсюдження, даний технологічний агрегат працює без засобів автоматичного контролю та ідентифікації параметрів, що ставить наступні технологічні установки в стан, далекий від оптимального. Це приводить до різких втрат і економічних збитків. Такий стан роботи завиткових живильників не відповідає вимогам законодавства України про ресурсозберігаючі технології в промисловості та сільському господарстві. Тому тема статті, що присвячена розв'язанню даної задачі, є актуальною. Дана стаття є однією з складових науково-дослідної роботи за державним реєстраційним номером 0107U005470, яка входить до наукової тематики Кіровоградського національного технічного університету.

Технічні задачі з використанням завиткових живильників в різні роки розв'язують С.Ю. Андрєєв, В.М. Аршинський, В.О. Бунько, С.А. Волотковський, А.С. Давидкович, В.В. Зверевич, В.З. Козін, Є.В. Кочура, О.М. Марюта, В.О. Перов, В.А. Скоров, А.Ю. Троп та інші. Однак в цих роботах не ставляться і не розв'язуються питання контролю технологічних параметрів. Більш наближена до розв'язання даної задачі робота [1] Т.І. Гуленко, Ф.М. Дегтярьова, В.О. Кондратця, М.І. Кучми, О.О. Мерзлякова, В.І. Новохатька, але в ній питання стабілізації і контролю параметрів матеріалу вирішуються поза завитковим живильником. В роботі [2] В.О. Кондратцем, О.М. Сербулом, А.М. Мацуєм розроблена математична модель завиткового живильника, яка зв'язує його вхідні та вихідні величини. Тут розкрита залежність продуктивності завиткового живильника від рівня рідини в приймальному пристрої і визначено характер зміни рівня при східчастій зміні вхідної величини. В статті [3] теоретично досліджується процес хвилеутворення в завитковому живильнику під впливом захватних органів, а в роботі [4] – на підставі теоретичних міркувань

здійснено аналіз умов ідентифікації параметрів руху матеріалу в приймальному пристрої завиткового живильника під впливом основних факторів. В.О. Кондратець і А.М. Мацуй запропонували підхід ідентифікації концентрації розчину в приймальному пристрої завиткового живильника по рівню та тиску середовища [5], однак для реалізації необхідно точно знати умови вимірювання, які експериментально ніхто не досліджував.

Метою даної роботи є експериментальне дослідження умов вимірювання параметрів рідкого матеріалу у завитковому живильнику з обґрунтуванням конкретних рекомендацій для його здійснення.

Схематичне зображення завиткового живильника приведено на рис.1. З нього видно, що в приймальному пристрої 2 в усталеному режимі роботи накопичується рідкий матеріал 1 з певним середнім рівнем H_M . Цей рівень підтримується при певних умовах незмінним, оскільки завиткові захватні елементи 4 відбирають за одиницю часу стільки матеріалу, скільки його надходить в цю ж одиницю часу з нахиленого лотка 6 при обертанні порожнистого вала 5 з заданою швидкістю. Якщо приплив матеріалу в потоці 6 зміниться, то після завершення перехідного процесу встановлюється нове значення рівня рідкого матеріалу H_M , яке буде відповідати новому значенню витрати. В цілому в завитковому живильнику існують такі співвідношення, однак в процесі роботи



1 – рідкий матеріал; 2 – приймальний пристрій; 3 – кожух; 4 – завитковий живильник;
5 – порожнистий вал; 6 – нахилений лотік

Рисунок 1 – Схематичне зображення завиткового живильника

незмінне значення рівня H_M не підтримується, оскільки матеріал в приймальному пристрої безперервно здійснює перехідні процеси, викликані рухом захватних органів і потоку рідини, що виходить з лотка. Виконані теоретичні дослідження дозволяють скласти уяву про рух матеріалу в приймальному пристрої, однак остаточно висновки в даному випадку, коли процеси повністю математично не описуються, зробити не можливо. Зважаючи на це необхідно провести експериментальні дослідження. Такий

експеримент по ряду причин у промислових умовах виконати не можливо, тому він проводився на фізичній моделі завиткового живильника.

Фізична модель завиткового живильника була повною копією промислового агрегату. Вона мала базовий розмір $L = 300$ мм, здійснювала 16,5 об/хв., а значення рівня рідини встановлювалося 25 мм, 21 мм, 17 мм і 13 мм. Для забезпечення усталеного потоку рідини фізична модель доповнювалася резервуаром з кількома джерелами незмінної витрати, які можливо вмикати в різних поєднаннях. Рідина, подана живильником, направлялася в окремих збірник. Передня стінка завиткового живильника виконана з прозорого матеріалу. На неї наносилася міліметрова шкала, яка дозволяла точно фіксувати значення рівня. В якості рідкого матеріалу використовувалася вода, яка підфарбовувалася акварельною фарбою. Враховуючи, що хвильовий процес у завитковому живильнику має достатньо складний характер, дослідження здійснювалися за допомогою цифрової відеокамери Panasonic NV-GS230. Вона в кожен мить фіксувала значення рівня рідини по всій ширині приймального пристрою. Знімання хвильового процесу здійснювалося неперервно, а потім інформація переносилася у персональний комп'ютер з наступною обробкою матеріалу. В процесі обробки можливо було спостерігати хвильовий процес у динаміці, а також фіксувати в статистиці будь-яке його миттєве положення.

На першому етапі досліджень встановлено, що при роботі завиткового живильника рівень рідини в приймальному пристрої інтенсивно змінюється. Найбільші зміни рівня відбуваються біля стінки приймального пристрою по ходу переміщення захватного органа, а найменші – на вході потоку. Осередненими властивостями володіє середня зона завиткового живильника ліворуч і праворуч від його осі, яка відповідала на фізичній моделі ± 40 мм. Дослідження показали, що більш інтенсивні зміни відбуваються у лівій її частині, тобто, в напрямі руху захватного органа.

При виході захватного органа з рідини вона сильно збурюється. Збурення тим більші, чим менше середнє значення рівня. Після збурення при виході захватного органа з рідкого матеріалу він здійснює рухи в режимі вільних коливань. При входженні наступного захватного органа в рідину вона ще знаходиться у збуреному стані. Збурений стан проявляється більше при малих початкових середніх рівнях рідини. Інтенсивність цих коливань не однакова по ширині приймального пристрою. В цілому рухи мають випадковий характер, однак вони відрізняються закономірністю, що викликана періодичністю взаємодії захватного органа з рідиною. Ця закономірність забезпечує стаціонарність випадковому процесу.

Ідентифікувати стан рідкого матеріалу можливо по одному, двом, системно спланованій мережі показань рівня, кожне з яких буде випадковим процесом, що володіє стаціонарністю. Враховуючи те, що інтенсивність зміни рівня рідини ліворуч і праворуч від вертикалі, що проходить через вісь обертання порожнистого вала, різна, проводилися дослідження випадкового процесу зміни рівня в точках, які відповідають середині приймального пристрою завиткового живильника, ліворуч та праворуч від неї на 40 мм. В процесі дослідження встановлено, що випадкові процеси відрізняються однорідністю. Ліворуч від середини приймального пристрою випадкові процеси відрізняються найбільшою інтенсивністю. По середині завиткового живильника інтенсивність зміни рівня дещо зменшується. Праворуч від середини приймального пристрою інтенсивність зміни рівня рідини значно менша порівняно з іншими точками контролю. Крім того, з даних дослідження видно, що інтенсивність випадкового процесу залежить не лише від точки контролю, а і від початкового усталеного значення рівня пульпи. При зменшенні усталеного значення рівня рідини інтенсивність випадкових процесів зростає.

З результатів виконаних досліджень витікає, що параметри рідини найбільш просто було б контролювати праворуч від середньої точки приймального пристрою

завиткового живильника. Тут багато значень випадкового процесу відповідають математичному сподіванню – усталеному середньому значенню рівня рідини. Однак при менших значеннях рівня рідини випадковий процес за характером співпадає з іншими. Тобто, при контролі праворуч середньої точки приймального пристрою завиткового живильника виокремлені переваги стосуються лише високих рівнів рідини. Тому для контролю параметрів рідини у приймальному пристрої завиткового живильника доцільно обрати його середню точку, де випадковий процес має середню інтенсивність і найбільш повно характеризує стан рідкого середовища.

При двох захватних органах повний цикл зміни стану рідини відбувається за півоберту. Тому розглядалися реалізації випадкового процесу в межах часу, що дорівнює тимчасовому відрізку, який витрачається на половину оберту завиткового живильника. Такий проміжок в експериментах складав 0...1,56 с. Реалізації випадкових процесів зміни рівня пульпи в середині приймального пристрою тривалістю 1,56 с при прийнятих усталених значеннях показника приведені на рис.2. З реалізації випадкових процесів видно, що інтенсивність їх зміни залежить від усталених значень рівня рідини. При максимальному значенні рівня рідини значні ділянки процесу відповідають усталеному значенню. Зі зменшенням рівня тривалість цих ділянок скорочується. При

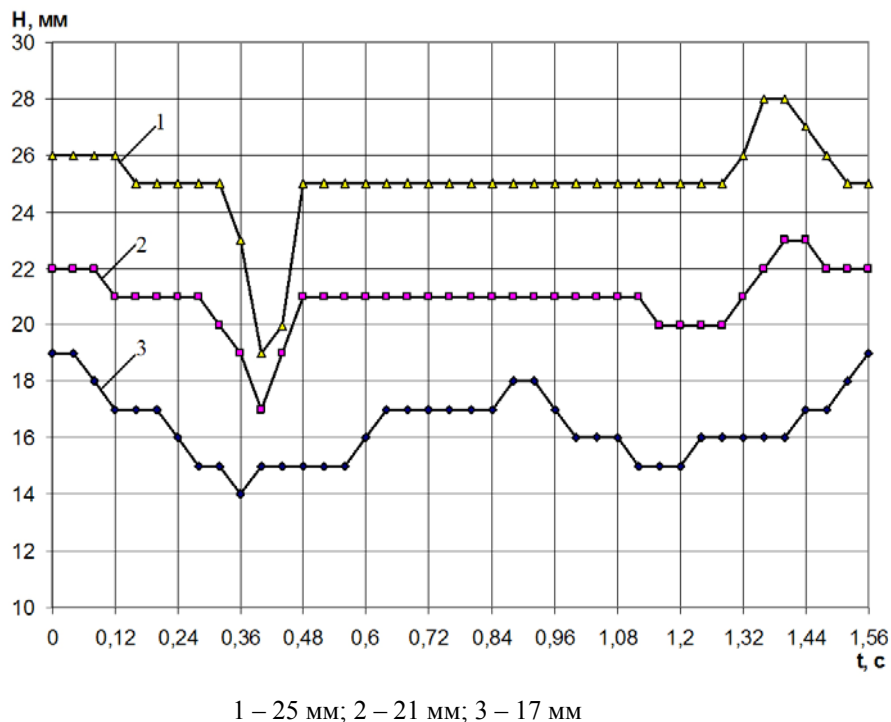


Рисунок 2 – Реалізації випадкових процесів зміни рівня рідини в приймальному пристрої по осі обертання завиткового живильника за половину оберту при різних середніх значеннях показника

усталених значеннях рівня 17 мм і менше такі ділянки порівняно короткі і складають всього 0,04...0,2 с.

Отже, зміна рівня рідини у приймальному пристрої завиткового живильника являє собою стаціонарний випадковий процес, який відрізняється інтенсивністю в різних точках по ширині технологічного агрегату. Інтенсивність випадкового процесу зростає зі зменшенням усталеного рівня рідини. Параметри рідкого середовища найбільш доцільно контролювати в середній точці по ширині приймального пристрою. Повну інформацію про зміну параметрів рідини в приймальному пристрої несе реалізація, що відповідає половині оберту завиткового живильника.

Проведені експериментальні дослідження відкривають перспективу обґрунтування і вибору типу перетворювачів та розробки засобів ідентифікації технологічних параметрів безпосередньо в приймальному пристрої завиткового живильника.

Список літератури

1. А.с. 388790 СССР, МКИ В 03 б 11/00. Устройство для автоматического контроля загрузки и стабилизации разжижения пульпы в мельнице / Ф.Н. Дегтярев, А.А. Мерзляков, В.А. Кондратец, В.И. Новохатько, Н.И. Кучма, Т.И. Гуленко (СССР). – 1420849/29-33; заявл. 30.03.70; опубл. 05.07.73, Бюл. № 29.
2. Кондратец В.О. Теоретичне дослідження завиткового живильника по каналу продуктивності / В.О. Кондратец, О.М. Сербул, А.М. Мацуй // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ.- 2005.- №16.- С. 260-265.
3. Кондратец В.О. Дослідження умов ідентифікації розрідження пульпи при подрібненні пісків класифікатора / В.О. Кондратец, А.М. Мацуй // Академический вестник.- 2007.- №19.- С. 44-49.
4. Кондратец В.О. Аналіз умов і засобів ідентифікації розрідження пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника / В.О. Кондратец, А.М. Мацуй // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ.- 2009.- №22.- С. 36-43.
5. Пат. 7741 Україна, МКВ 7 В 03 В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / Кондратец В.О., Мацуй А.М.; заявник та патентовласник Кіровоград. нац. техн. ун-т. - №20041007979; заявл. 01.10.04; опубл. 15.07.05, Бюл.№7.

В. Кондратец, А. Мацуй

Экспериментальное исследование условий изменения параметров жидкого материала в улитковых питателях

В статье приведены результаты экспериментального исследования условий измерения параметров жидкого материала в улитковых питателях. Установлено, что изменение уровня жидкости в приёмном устройстве улиткового питателя представляет собой стационарный случайный процесс, который отличается интенсивностью в различных точках по ширине технологического агрегата. Интенсивность случайного процесса возрастает при уменьшении установившегося значения уровня жидкости. Параметры жидкой среды наиболее целесообразно контролировать в средней точке по ширине приемного устройства. Полную информацию об измерениях параметров жидкой среды содержит реализация за половину оборота улиткового питателя.

V. Kondrater, A. Macuy

Experimental research of terms of change of parameters of liquid material in snail feeders

In the article the results of experimental research of terms of measuring of parameters of liquid material are resulted in snail feeders. It is set that a change of level a liquid in the takers-off of snail feeder is a stationary casual process which differs intensity in different points on the width of technological aggregate. Intensity of casual process increases at diminishing of the set value of level of liquid. It is most expedient to control the parameters of liquid environment in a middle point on the width of takers-off. Complete information about measurings of parameters of liquid environment is contained by realization for the half of turn of snail feeder.

Одержано 28.09.09

УДК 621.73+658.56

Б.Б. Кришкін, доц., канд. техн. наук, П.В. Мельник, магістрант
Кіровоградський національний технічний університет

Прогнозування експлуатаційних параметрів деталей сільськогосподарських машин, отримуваних холодним висаджуванням

У статті представлені результати досліджень експлуатаційних показників стержньових виробів після багатопозиційного холодного висаджування, зокрема, їх міцностних параметрів, із використанням методу ліній ковзання. Показано, що найбільш небезпечним перерізом висаджених деталей є місце переходу головки у стержньову частину. Визначені характеристики і послідовність проведення процедур прогнозування. Запропоновано практичне впровадження представлених методик в процесі фахового супроводження виготовлення кріпильних деталей сільськогосподарської техніки **прогнозування, напружено-деформований стан, холодне висаджування, степінь деформації, зміцнення, цілісність, пластичність**

В технологічних процесах холодного висаджування деталей сільськогосподарської техніки дедалі більшою стає частка виробів складної конфігурації. Ця обставина викликає необхідність вивчення формоутворюючих процесів у металі заготовки. В процесах складного формоутворення А.Д. Томльоновим [1] розрізняються три типи втрати усталеності.

Втрата усталеності першого типу відбувається під час відносно невеликих деформацій у початковий момент деформування. Цьому відповідає момент появи площадки плинину на діаграмі розтягу металу заготовки. Наслідком втрати усталеності першого типу є утворення ліній ковзання (див. рис. 1) на поверхні висаджуваних виробів. Лінії ковзання псують зовнішній вигляд деталей та є концентраторами напружень під час її експлуатації. Основні засоби боротьби з утворенням ліній ковзання – це отримання сталей, які не мають площадок ковзання на діаграмі, тобто нестаріючих сталей. Найбільш поширеним способом усунення площадки плинину є дресировання сталі (холодне прокатування з невеликими степенями обтискування готового металопрокату – до 1,5%).

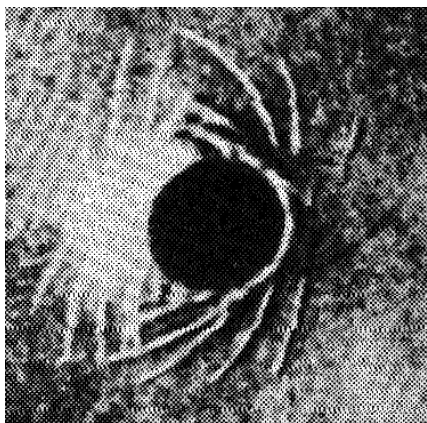


Рисунок 1 - Експериментально отримані лінії ковзання

Внаслідок нерівномірного стискування металопрокату може виникати втрата усталеності другого типу. Вона зумовлює появу складок (гофрів) і пояснюється явищами повздожнього вигину металу при деформуванні. Найчастіше ця небезпека виникає під час редукування стержньових виробів на гранично можливі для даного матеріалу степені деформації (20 – 25% і більше). Відомо, що усталеність під час пружньопластичного повздожнього вигину пропорційна модулю зміцнення даного матеріалу. Тому появі складок можна запобігти шляхом збільшення зусилля затискування матеріалу під час його висаджування.

Наприклад, можна зменшити зазор між редукуючою матрицею та заготовкою, для чого відповідно збільшити початковий її діаметр. Іншим засобом боротьби із складкоутворенням є конструктивні зміни у стержньовій частині деталі (наприклад, наявність «мертвих» шайб між головкою та стержнем виробу), проте це не завжди можливе, враховуючи конструктивні вимоги до готової деталі.

Втрата усталеності третього типу виникає в момент, який відповідає максимуму зусилля на діаграмі розтягу матеріалу заготовки. При цьому втрата усталеності полягає у зменшенні опору відповідного елемента заготовки, що викликано зменшенням площі його перерізу (a , отже, і значення модулю пружності деформованого матеріалу). Втрата усталеності такого виду викликає появу локальних зосереджених деформацій, що є недопустимими у готових виробах. Також вірогідні розриви металу в зазначених місцях.

Постановка задачі наукових досліджень включала в себе виконання робіт по двом наступним етапам:

1. Дослідження процесу холодного висаджування та моніторинг напружено-деформованого стану у готових виробах за методом А. Д. Томльонова;

2. Визначення запасу пластичності під час холодного висаджування складних за конфігурацією виробів за допомогою діаграм граничної штампованості [3] із використанням методики Келера-Гудвіна.

Дослідження процесу формоутворення виробів складної форми можна проводити, застосовуючи метод координатних сіток. При цьому передбачали виконання наступних задач:

- Вивчення розподілу деформацій по перерізам деформованих деталей;
- Встановлення «небезпечного» перерізу, по якому може відбутися руйнування виробу (або поява ліній ковзання на його зовнішній поверхні);
- Встановлення виду напруженого стану по потенційно небезпечним перерізам;
- Визначення запасу пластичності у небезпечних перерізах за методом А. Д. Томльонова;

Сутність методу полягає у встановленні відношення накопиченої інтенсивності деформацій в процесі холодного висаджування ε_i (зокрема, багатопозиційного, оскільки в цьому випадку ні за яких умов неможливе проведення знеміцнювальної обробки висаджуваних матеріалів) та критичної інтенсивності деформацій даного металу $\varepsilon_{кр}$, коли спостерігатиметься втрата усталеності або руйнування матеріалу

$$\eta = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{i(кр)}}$$

де η - запас пластичності.

Використання цього методу дозволяє провести якісний моніторинг змін у характеристиках матеріалу висаджуваних виробів по наступним параметрам:

- рівномірності відносного подовження δ_p ;
- показнику ступеню зміцнення n ;
- межі міцності металу заготовки σ_s ;

Дослідження проводили на лабораторному обладнанні кафедри ОМТ КНТУ (гідравлічний прес типу 2ПГ – 10, номінальним зусиллям 100 кН) із використанням дослідного штампу для холодного висаджування виробів з діаметром стержню 20 мм (див. рис. 2). На досліджувані вироби попередньо наносили концентричні кола у відповідності із обраними небезпечними перерізами (див. рис. 3). Накопичені логарифмічні деформації у кожному із обраних перерізів розраховували згідно залежностей [2]

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{L_1}{L_0};$$

$$\varepsilon_2 = \ln \frac{L_2}{L_0};$$

$$-\varepsilon_3 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

де L_i – довжина кола кожного із перерізів після висаджування;
та інтенсивності логарифмічних деформацій у тих же перерізах

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2}$$

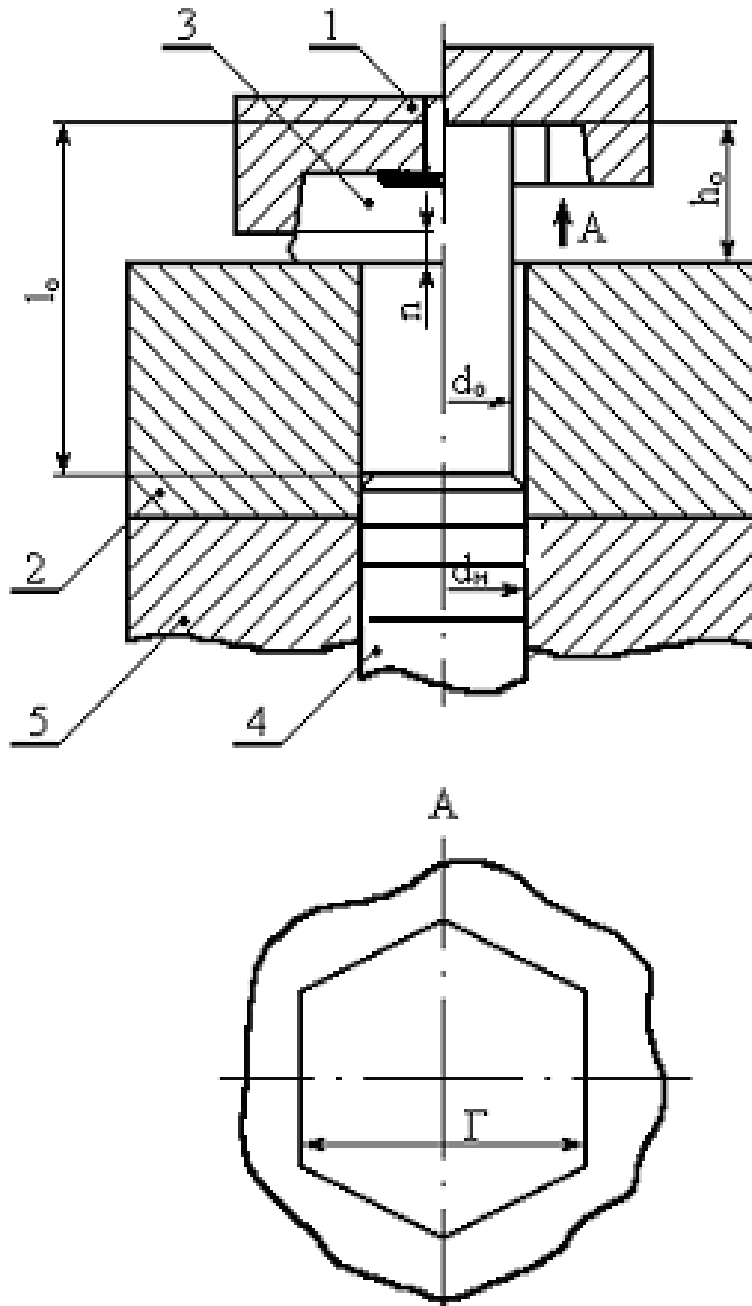


Рисунок 2 – Загальний вид експериментального штампу: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – корпус;
4 - виштовхувач.

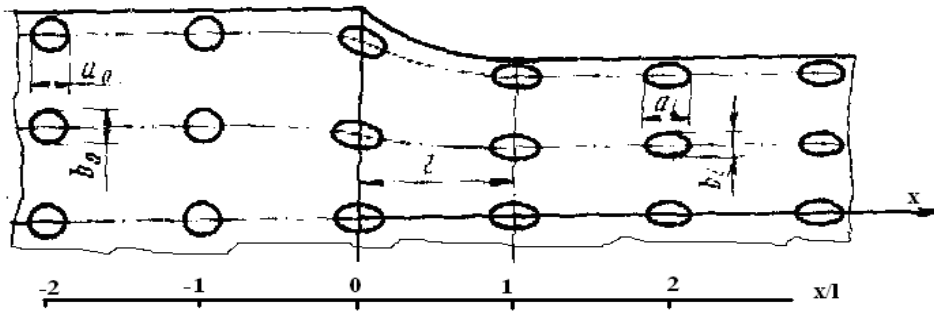
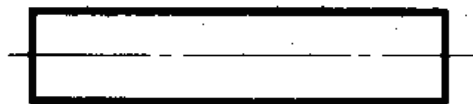


Рисунок 3 – Викривлення координатної сітки по перерізу зразка

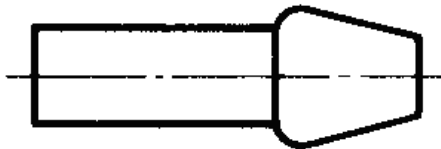
За результатами досліджень будуються графіки розподілу деформацій по перерізах.

Вид напружено-деформованого стану у кожному перерізі зразків визначали за допомогою показника напружено-деформованого стану m , який залежить від співвідношення головних напружень та головних деформацій. Відомо, що кожному значенню показника напружено-деформованого стану m відповідає певний вид деформацій:

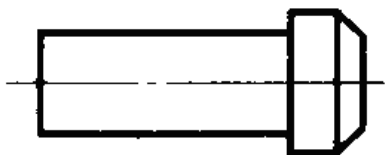
- якщо $m = 0$, то $\varepsilon_1 = -2\varepsilon_2 = \varepsilon_3$;
- якщо $m = 1$, то $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$; $\varepsilon_3 = -\varepsilon_2$;
- якщо $m = 0,5$, то $\varepsilon_1 = \varepsilon_3$; $\varepsilon_2 = 0$



вихідна заготовка

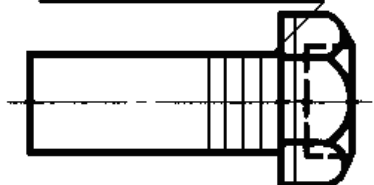


попереднє висаджування



остаточне висаджування

досліджувані перерізи



формування шестигутника

В умовах нерівномірного двохвісного розтягу:

- якщо $m < 0$, то $\varepsilon_1 > 0$; $\varepsilon_2 > 0$; $\varepsilon_1 < 2\varepsilon_2$ (розтяг із стискуванням);
- якщо $m = -0,5$, то теж має місце розтяг із стискуванням;
- якщо $m = -1$, то $\varepsilon_1 = -\varepsilon_2$; $\varepsilon_3 = 0$ (чистий зсув).

Фактичну наявність вищезазначених зон встановлювали за зовнішнім виглядом перерізів деформованого зразка. Для стержньової частини переважає розтяг із стискуванням ($0 \leq m \leq 1$). Відповідно до отриманого результату обчислювали критичні інтенсивності логарифмічних деформацій по кожному перерізу після висаджування :

$$\varepsilon_{i(кр)} = \frac{2\sqrt{1-m+m^2}}{2-m} n,$$

де n – показник зміцнення.

Рисунок 3 – Переходи висаджування

Внаслідок зміцнення кристали набувають певного орієнтування площин та напрямів ковзання, тобто утворюється текстура деформації, яка викликає анізотропію властивостей. Зміцнення, яке отримує метал під час холодної пластичної деформації у більшості випадків підвищує міцність штампованих виробів. Однак при великих значеннях степеню деформації суттєво підвищується зусилля деформування, тому при реалізації багатоперехідних технологічних процесів холодного висаджування часто застосовують проміжний відпал напівфабрикату.

Зв'язок між показниками деформації та зміцнення встановлювали у вигляді діаграми істинних напружень $\sigma_s = \Phi(\epsilon)$, де σ_s – істинний опір матеріалу деформації. Вищезгадану діаграму будували графічно для певних марок сталей та сплавів за експериментальними даними (див. таблицю).

Таблиця – Експериментальні дані

Матеріал зразку	ϵ , %	10	20	30	40	50
Сталь	σ_s , МПа	385	460	515	570	585
Латунь	σ_s , МПа	320	370	390	405	410
Свинець	σ_s , МПа	29	41,9	37	32	26

За допомогою програм пакету «Calculator-3000» визначали значення параметрів наближення, які входять до експериментальних залежностей – степеневі :

$$\sigma_s = a \cdot \epsilon^b$$

та параболічної :

$$\sigma_s = b_0 + b_1 \cdot \epsilon + b_2 \cdot \epsilon^2.$$

Далі будували експериментальні та розрахункові графіки залежностей $\sigma_s = \sigma_s(\epsilon)$ для кожного з зразків. Виходячи із пропорційності девіаторів напружень та деформацій показник напружено-деформованого стану m обчислювали за формулою

$$m = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{2\epsilon_2 + \epsilon_1}{2\epsilon_1 + \epsilon_2} \geq 1.$$

Далі визначали коефіцієнт використання пластичності у кожному перерізі деформованої заготовки

$$\eta = \frac{\epsilon_i}{\epsilon_{i(кр)}}.$$

Якщо $\eta = 1$, це свідчить про небезпеку втрати металом заготовки своєї цілісності.

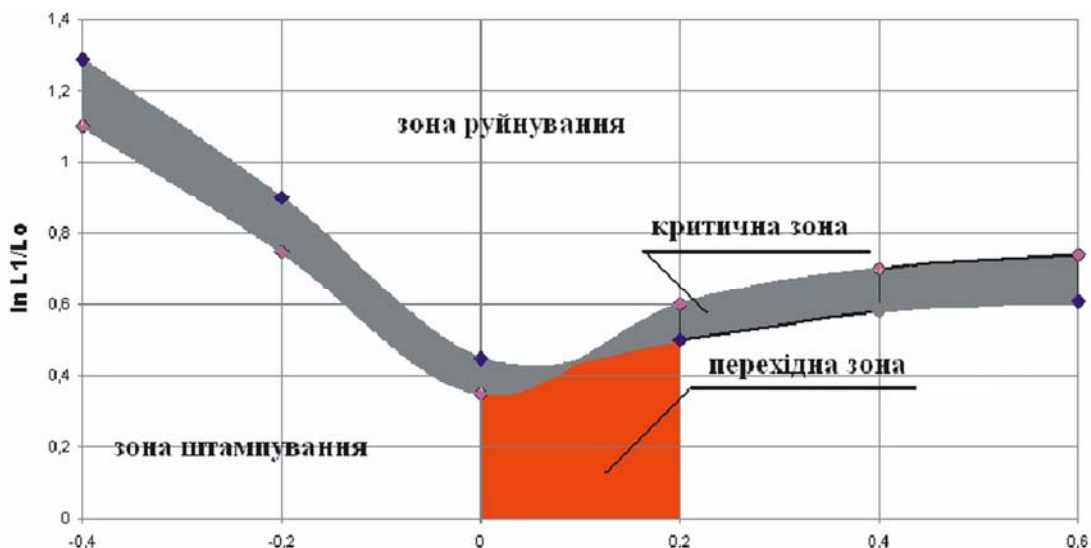


Рисунок 5 – Практичний вигляд отриманої діаграми Келера-Гудвіна

Список літератури

1. Пластичность и разрушение. / Под ред. В.Л. Колмогорова – М.: Металлургия, 1977. – 336с.
2. Томленов А.Д. Механика процессов обработки металлов давлением Механические свойства металлов и сплавов при обработке металлов давлением – М.: Машгиз, 1963. – 235с.
3. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. – М.: «Металлургия», 1975. – 445с.

Б. Крышкин, П. Мельник

Прогнозирование эксплуатационных параметров деталей сельхозмашин, получаемых холодным взрыванием

В статье представлены результаты исследований эксплуатационных показателей стержневых изделий после многопозиционной холодной высадки, в частности, их прочностных параметров, с использованием метода линий скольжения. Показано, что наиболее опасным сечением высаженных деталей являются места перехода головки в стержневую часть. Определены характеристики и последовательность проведения процедур прогнозирования. Предложено практическое внедрение представленных методик в процессе профильного сопровождения изготовления крепежных деталей сельскохозяйственной техники.

B. Krishkin, P. Melnik

Prognostication of operating parameters details of agricultural machines which turn out a cold exploding

In the articles presented results of researches of operating indexes of the cored wares are after a multiposition cold upsetting, in particular, them strong parameters, with the use of method of sliding lines. It is rotined that the most dangerous cut of the landed details are places of transition of head in the cored part. Descriptions and sequence of leadthrough of procedures of prognostication are certain. Practical introduction of the presented methods is offered in the process of professional accompaniment of making of timber details of agricultural technique.

Одержано 15.10.09

УДК 669.431.6

**В. В. Мошнягул, доц., канд. техн. наук, Б. Є. Надворний, доц., канд. техн. наук,
Т. Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук**

Кіровоградський національний технічний університет

М. В. Новіков, інж.

Побузький феронікелевий комбінат

Шляхи комплексної переробки електропічного шлаку феронікелевого виробництва

Представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на використання електропічного шлаку Побузького феронікелевого комбінату при виготовленні будівельних матеріалів, шлакобетону для закладки гірничих виробок, а також по магнітній сепарації шлаку. Обґрунтовані інші шляхи його використання.

електропічний шлак, комплексна переробка

Побудований у 70-х роках минулого століття Побузький феронікелевий комбінат в даний час працює, в основному, на привозній нікелевій руді Меланезійського родовища (Індонезія, острів Нова Каледонія та інш.), виробляючи щорічно 100 тис. т феронікелю за схемою:

- підготовка шихти, до складу якої, крім руди, входить штиб – низькосортне кам'яне вугілля;
- отримання в трубчастих обертальних печах огарка – висушеного, частково відновленого і спеченого напівфабрикату;
- виплавка в руднотермічних печах із штибу чорного феронікелю;
- розливка рафінованого феронікелю на розливальній машині в чушки, які є товарною продукцією комбінату.

Особливістю технологічного процесу виготовлення феронікелю є те, що в руднотермічних печах на 100 тис. т чорного феронікелю утворюється 700...800 тис. т електропічного шлаку, який в даний час лише частково використовується для виготовлення дорожніх покриттів та абразивних матеріалів, а основна частина шлаку іде у відвал або у відпрацьовані кар'єри.

Така ситуація знаходиться у протиріччі із сучасними міжнародними стандартами, які вимагають впровадження безвідходних технологій, коли все, що вважається відходами, підлягає переробці та повторному використанню.

Авторами даної статті разом з іншими викладачами, співробітниками і студентами кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва КНТУ, а також працівниками ПФК, починаючи з 2003 року, проводиться науково-дослідна робота, спрямована на розробку технологій комплексної переробки електропічного шлаку ПФК.

Одним із важливих напрямів переробки ЕПШ є використання його як будівельного матеріалу.

Особливістю електропічного шлаку ПФК, у порівнянні з іншими металургійними шлаками (табл. 1), є високий вміст SiO_2 (50 % і більше) і MgO (> 30 %

за масою) при порівняно низькій концентрації решти компонентів, таких як CaO, FeO, Al₂O₃, MnO та інш. Це призводить, наприклад, до дуже низьких значень важливих для будівельних матеріалів характеристик шлаку – модуля основності M_o , модуля активності M_a та коефіцієнта якості $K_{як}$, які визначаються за формулами:

$$M_o = (CaO + MgO)/(SiO_2 + Al_2O_3);$$

$$M_a = Al_2O_3/SiO_2;$$

$$K_{як} = (CaO + Al_2O_3 + MgO)/(SiO_2 + TiO_2), \text{ (при } MgO < 10\%);$$

$$K_{як} = (CaO + Al_2O_3 + 10)/(SiO_2 + TiO_2 + 10MgO), \text{ (при } MgO > 10\%).$$

Отже, як будівельний матеріал ЕПШ ПФК за своїми властивостями поступається доменним і сталеплавильним шлакам підприємств чорної металургії.

Проведені розрахунки показують, що з точки зору використання шлаків для будівельних матеріалів найкращі властивості мають мартенівські шлаки ВАТ “МК Азовсталь”. Так, у них $K_{як} = 4,05$; $M_o = 2,34$; $M_a = 0,74$. В той же час шлаки Побузького ФНК мають $K_{як} = 0,04$; $M_o = 0,58$; $M_a = 0,07$.

Таблиця 1 – Хімічний склад шлаків

№ п/п	Підприємство	Вміст, % за масою												
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	TiO ₂	S _{заг.}	Ni	K _{як}	M _o	M _a	Інші
1	ВАТ МК “Запоріжсталь” (цех шлакопереробки)	38,9	8,13	0,20	0,24	37,8	11,8	0,48	0,51	-	1,45	1,04	0,208	-
2	ВАТ ДМК завод ім. Держинського (доменний шлак)	38,1	6,12	-	0,151	48,7	6,3	-	-	-	1,6	1,22	0,17	-
3	ВАТ “Азовсталь” (мартенівський шлак)	15,1	7,5	11,2	4,72	44,8	8,9	-	-	-	4,05	2,34	0,74	7,68
4	ВАТ “Криворіжсталь” (конвертерний шлак)	17,6	5,0	14,3	5,3	30,4	5,2	-	-	-	2,19	1,73	0,17	24,6
5	ВАТ “Алчевський МК” (мартенівський шлак)	18,3	3,8	27,1	4,41	41,6	8,9	-	-	-	2,96	2,27	0,21	0,37
6	ВАТ “Дніпровський” ім. Держинського (конвертерний шлак)	16,76	0,97	18,76	3,17	45,14	5,96	-	-	-	3,11	2,86	0,06	24,6
7	Завод ім. Леніна (доменний шлак)	40,0	7,7	0,3	1,10	47,5	2,20	-	0,56	-	1,44	1,05	0,19	-
8	Завод ім. Петровського (доменний шлак)	36,0	15,1	4,02	1,55	37,62	3,3	-	1,64	-	1,54	0,79	0,13	-
9	Завод ім. Держинського (доменний шлак)	40,7	7,4	0,99	4,32	42,4	3,17	-	0,77	-	1,47	0,95	0,15	-
10	Побузький ФНК (за даними комбінату)	50...58	-	7...13	-	1,2...2,0	28...32	-	-	0,05...0,2	0,045	0,5	0,06	-
11	Побузький ФНК (за даними лабораторії)	53,46	3,78	4,62	-	0,56	32,77	0,1	0,07	-	0,04	0,58	0,07	-

	рїї в м. Жовті Води)													
12	ВАТ МК “Азовсталь” (конвертерний шлак)	17,56	1,38	12,75	5,0	54,55	3,38	-	-	-	3,38	3,06	0,08	5,38

Таким чином, шлак Побузького ФНК, як активну домішку в будівельні матеріали, використовувати без додаткової обробки проблематично порівнянно з доменними та сталеплавильними шлаками заводів “Азовсталь”, “Криворіжсталь”, ВАТ “Алчевський МК”.

Низький вміст Al_2O_3 в електропічному шлаку ПФК суттєво знижує коефіцієнт якості ($K_{як}$) і особливо модуль активності (M_a).

Результати попередніх дослідів представлені у табл. 2

Таблиця 2 – Вплив складу будівельного розчину на його міцність на стиснення (зразки 20 x 20 x 20 мм)

№ зразка	Склад розчину по масі, г							
	Цемент 400	Шлак домен.	Шлак ПФК гранул	Шлак ПФК мелен	Пісок	Домішки	Вода	Фактична середня міцність, МПа *
21	-	-	-	300	100	вапно 75	60	0,26
22	-	-	-	300	100	гіпс 30	60	0,57
24	-	-	-	100	300	гіпс 60	70	0,68
26	-	-	-	100	відсів 300	гіпс 30	60	0,57
27	-	-	-	100	відсів 300	вапно 60	70	0,28
28	100	-	-	-	200	щебень 100	50	3,13
29	100	-	-	-	100	щебень 200	60	4,17
33	100		100	200	-	-	60	10,8
35	-	85	-	25	300	-	60	0,54
36	-	100	-	-	відсів 300	-	60	0,57
38	-	100	-	-	300	-	60	0,65
39	100	-	-	-	300	-	70	4,08

* 1МПа \approx 10кГ/см²

Ці результати обумовили потребу в проведенні додаткових досліджень міцності бетонів для різних будівельних конструкцій, таких як стінові панелі, шлакоблоки, фундаментні блоки та ін.

Відповідно до вимог ГОСТ 10180-90 “Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками” виготовили зразки 100 x 100 x 100 мм різного складу.

Визначення міцності бетону на стиснення проводилося по контрольних зразках на відповідність вимогам ДСТУ Б. В. 2.7-18-95 “Будівельні матеріали. Бетони легкі. Загальні технічні умови”.

Аналіз даних випробувань (табл.3) показує, що бетони з використанням електропічного шлаку в певних співвідношеннях можуть бути рекомендовані до впровадження у виробництво будівельних матеріалів.

На підставі виконаних лабораторних досліджень розроблена технологія виготовлення шлакоблоків з використанням електропічного шлаку ПФК на обладнанні колишнього домобудівного заводу м. Кіровограда, а зараз – ЗАТ “Партнер” (голова правління Васильєв В.П.).

Технологія включає наступні етапи: розсів гранульованого електропічного шлаку (використовували електропічний шлак, гранульований в басейні) на фракції з відбором гранул шлаку менше 10 мм; помел; складання суміші за стандартною схемою 1:3:0,4, тобто одна вагова частина цементу, три частини – наповнювачі, 0,4 частини – вода, яка додавалася в бетонозмішувач до отримання однорідної суміші

Таблиця 3 – Вплив складу бетонів на їх міцність на стиснення (зразки 100 x 100 x 100 мм)

№ зразка	Склад бетону по масі, г						Міцність на тиснення, МПа *
	Цемент 400	Щебінь	Ел.п. шлак ПФК гранул.	Пісок	Домішки	Вода	
1	215	1100	-	840	-	170	2,375
1a	215	100	1000	840	-	170	3,088
2	300	-	1180	750	-	180	5,938
2a	300	-	1100	750	гіпс 80	180	7,956
3	300	-	1930	-	-	180	9,025
3a	300	-	1555	375	-	170	10,450
4	215	-	1520	420	-	170	10,688
5a	193,5	-	1541	420	-	180	10,213
6	215	-	1000	800	140 тирса дер.	180	0,380
8a	215	-	1100 фракція >3,5	420	420 фракція <3,5	200	11,200
8	210	-	1000 фракція >3,5	420	535 фракція <3,5	200	11,700

* 1МПа ≈ 10кГ/см²

достатньої консистенції. Сумішню заповнювали форми і після вібраційного ущільнення витримували до певного рівня твердіння. Дослідна партія шлакоблоків пройшла додаткові випробування і відправлена на будівельний об'єкт м.Кіровограда.

На підставі виконаних досліджень рекомендовано провести промислові випробування гранульованих електропічних шлаків в широких масштабах.

Особливість технології виготовлення стінових панелей полягає в тому, що вони мають великі розміри та металеву арматуру. Ці фактори, по-перше, вимагають проведення додаткових досліджень по вивченню впливу хімічного складу електропічного шлаку та його вмісту в суміші на корозійну стійкість металеві арматури; по-друге, необхідність широкого спектра досліджень механічних властивостей: міцність на розтяг і згин, твердість; фізичних: водонепроникність, водовбирання, вологовіддача, морозостійкість, теплопровідність.

На підставі виконаних досліджень можна рекомендувати для виробничих випробувань стінові панелі із бетонів зразків № 3, 3a, 4, 5a, 8 і 8a (див. табл. 3). Ці пропозиції були погоджені з ЗАТ “Партнер”.

При розробці технології виготовлення тротуарної плитки було враховано специфічні особливості вимог до цих виробів, а саме – висока стійкість на стирання та стійкість від впливу атмосферних факторів (волога, температура тощо). Крім того, з урахуванням необхідності виготовлення тротуарної плитки різних кольорів потрібні додаткові дослідження впливу хімічного складу електропічного шлаку на його взаємодію з фарбниками.

Важливим напрямком використання ЕПШ є виробництво із нього шлаковати.

Шлаковата може бути отримана одним із чотирьох способів:

- відцентровувальковим, коли струмінь розплаву шлаку подається між двома валками, що обертаються в протилежних напрямках;

- відцентровувальковим, коли струмінь розплаву шлаку подається між валками (4 валка) оконтурюючою дуттьовою головкою з подачею водяної пари або стисненого повітря, при цьому два валки охолоджуються додатково;

- відцентрововалковим з центральною чашкою роздачі. Струмінь шлаку подається на робочі верхні валки (2 шт) із чашки, що обертається в середині валків (2 робочих і 2 допоміжних);

- відцентроводуттьовим з центральною подачею шлаку. Охолодження відбувається за допомогою стисненого повітря або водяної пари.

Вата марки ВМ, а також марок ВМСТ і ВМТ повинна відповідати вимогам згідно з табл. 4 і 5.

Таблиця 4 – Вимоги до шлаковати марки ВМ

Назва і одиниці показників	Значення для вати ВМ		
	А	Б	В
Водостійкість рН, не більше	4	5	7
Середній діаметр волокна нитки, мкм, не більше	6	8	12
Вміст неволокнистих включень розміром >0,25 мм, % по масі, не більше	12	20	25
Густина, кг/м ³ , не більше	80	90	100
Теплопровідність, Вт/м·К, при температурах			
(298 ± 5)К	0,045	0,045	0,050
(398 ± 5)К	0,064	0,065	0,066
(573 ± 5)К	0,110	0,12	0,116
Вологість, % за масою, не більше	1	1	1
Вміст органічних речовин, % за масою, не більше	2	2	2

Таблиця 5 – Вимоги до шлаковати марок ВМСТ і ВМТ

Назва і одиниці показників	ВМСТ	ВМТ
Водостійкість, рН, не більше	4	4
Середній діаметр волокна, мкм	0,5...3	3...6
Вміст неволокнистих включень розміром більше 0,25 мм, % за масою	5	8
Густина під питомим навантаженням (98 ± 1,5) кПа, кг/м ³ , не більше	35	50
Теплопровідність при температурі (25 ± 5)°С, Вт/м·К, не більше	0,041	0,041
Вологість, % за масою, не більше	1	1
Вміст органічних речовин, % за масою, не більше	2	2

Концентрація шкідливих речовин (парів вуглеводнів), які виділяються із вати при температурі 40°С, не повинна перевищувати 1,5 мг/м³.

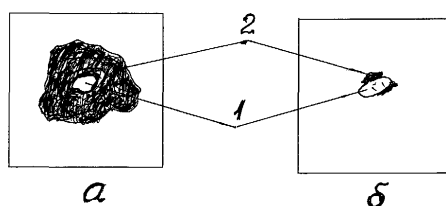
Для виробництва вати використовують гірничі породи габробазальтові та їх аналоги: осадні породи, вулканічні шлаки, промислові відходи, в т.ч. доменні шлаки за ГОСТ 18866, а також суміші перерахованих компонентів та інші сировинні матеріали, які забезпечують отримання мінеральної вати у відповідності до вимог стандартів і які пройшли радіологічний контроль.

На підставі виконаних досліджень встановлено, що електропічний шлак ПФК може бути використано для виготовлення шлакоблоків та стінових панелей. Що стосується шлаковати, то, як свідчать дані табл. 1, електропічний шлак має дуже низький вміст CaO та Al₂O₃.

Наші дослідження показали, що ЕПШ містить у собі металеві включення у вигляді “корольків” металу.

З метою вивчення питання щодо можливості сепарації електропічних шлаків були проведені їх металографічні дослідження, які проводилися з використанням електропічного шлаку з вмістом 7...12% FeO та 0,05...0,2% Ni (за даними хімічного аналізу ПФК). Попередня інформація свідчила, що проблема по відбору заліза та нікелю майже не могла вирішуватися традиційними методами.

Металографічні (використовували металографічний мікроскоп МИМ-8М) та інші методи дослідження електропічного шлаку показали, що магнітні компоненти розташовані, як правило, в середині шлакових гранул (рис. 1), які дуже обмежують їх магнітну здатність, виключаючи магнітну сепарацію.



а – у початковому стані; б – після помолу

Рисунок 1 – Схеми розташування магнітної фракції 1 та шлаку 2

На наш погляд, це зумовлено хімічними та фізичними властивостями компонентів (табл. 6).

Таблиця 6 – Деякі характеристики магнітних металів

Назва металу	Густина, г/см ³	Температура алотропічних (поліморфних) перетворень, °С	Кристалічні ґратки	Атомний радіус, А°	Температура, °С		Точка Кюрі, °С	Коефіцієнт лінійного розширення (при 20°С) · 10 ⁶	Твердість, НВ
					Плавлення	Кипіння			
Залізо	7,8	910	К8, К12	1,27	1539	2880	768	11,5	70
Нікель	8,9	-	К12	1,28	1455	3080	360	13,5	60
Кобальт	8,9	450	Г12, К12	1,26	1480	3135	1150	12,5	50

Якщо взяти магнітну інтенсивність (притягування) заліза за 100, то для нікелю вона становить 65,7, кобальту – 48,6, тобто всі вони відносяться до сильномагнітних матеріалів, але без зовнішньої ізолюваності. Середньомагнітними вважаються матеріали, які мають магнітну інтенсивність менше 3,21.

В основу досліджень магнітної інтенсивності електропічних шлаків була покладена специфічна особливість деяких металів (Fe, Ni, Co) за певних умов намагнічуватися (ставати магнітними) та при нагріванні втрачати магнетизм.

П. Кюрі показав, що повна втрата феромагнітних властивостей настає при певній температурі – точці Кюрі [1,2].

Інтенсивність намагнічення з підвищенням температури спочатку знижується поступово, а потім різко і втрачається повністю (рис. 2).

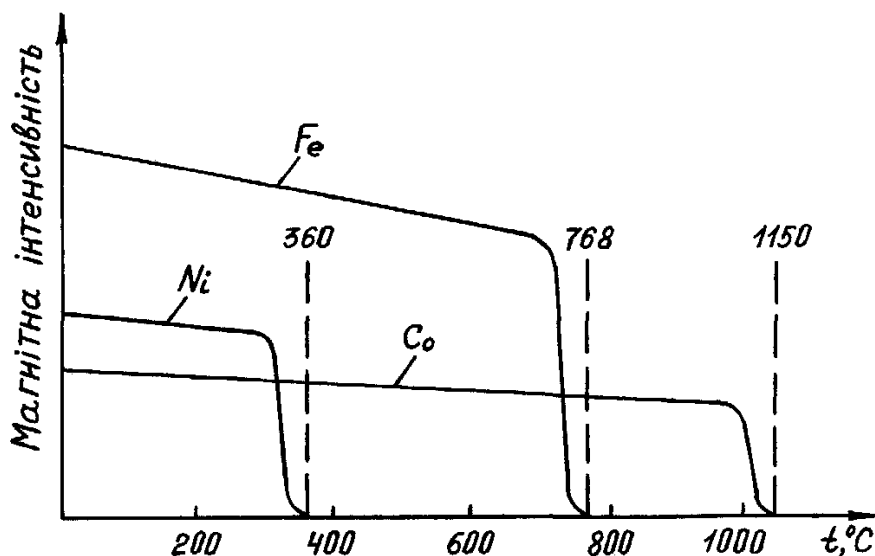


Рисунок 2 – Магнітні властивості заліза, нікелю і кобальту в залежності від температури

Магнітне перетворення має ряд особливостей, які відрізняються від алотропічних перетворень [3].

По-перше, магнітні властивості поступово падають по мірі наближення до точки перетворення, і ця точка не відповідає стрибкоподібній зміні властивостей.

По-друге, магнітне перетворення не має температурного гістерезиса. Збільшення швидкості охолодження не знижує температурного перетворення.

По-третє, механічні і деякі фізичні властивості при перетворенні не змінюються (міняються магнітні і теплові властивості).

І, нарешті, по-четверте, саме важливе: магнітні властивості не супроводжуються перекристалізацією – утворенням нових зерен і зміною кристалічних ґраток. Ці особливості суттєво відрізняють магнітне перетворення від алотропічного.

Відповідно до сучасних уявлень при магнітних перетвореннях відбувається зміна не в кристалічній структурі металу, а у взаємодії зовнішніх електронних оболонок атомів.

Нагріваючи магнітну фракцію електропічного шлаку до температури 400...420 $^\circ\text{C}$, можливо відокремити нікель від сполук на основі заліза [4].

На підставі теоретичних даних та деяких експериментів дослідження по сепарації електропічного шлаку проводили в двох напрямках: відмагнічення гранульованого та відсіяного шлаку через сито 3,5 мм і шлаку після помолу в двокамерному млині.

В порівняно крупній фракції (біля 3 мм) переважна більшість корольків без шлаку і такої фракції біля 1%.

Хімічний аналіз магнітної та немагнітної фракцій електропічного шлаку засвідчив суттєву різницю за вмістом нікелю та FeO.

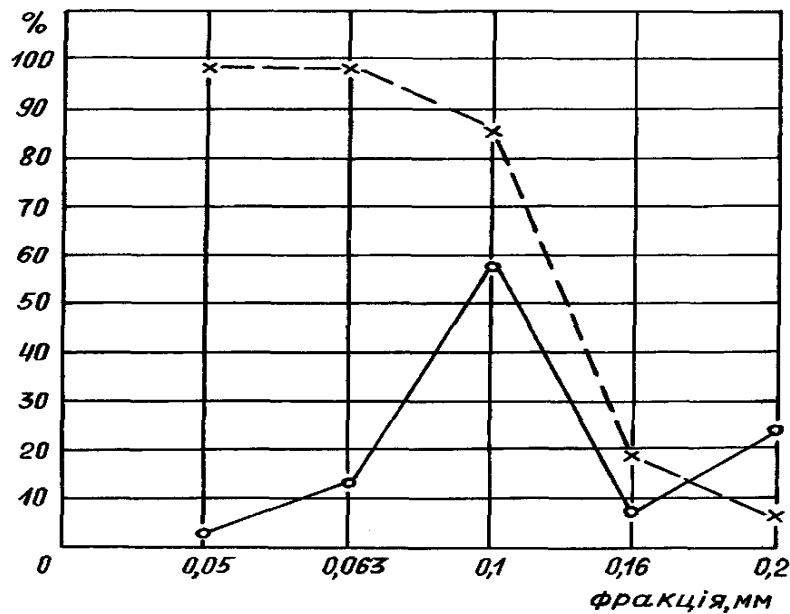


Рисунок 3 – Вплив ступеню помолу на кількість магнітної складової
 x - - - - % магнітної фракції, o - - - - % відповідної фракції

Можливість підвищення відмагнічення досліджували шляхом помолу електропічного шлаку та розсіву його на фракції різної величини: 0,2; 0,16; 0,1; 0,063 та 0,05 мм. Дані досліджень представлені на графіку (рис. 3).

Аналіз показав, що фракційність суттєво впливає на магнітну інтенсивність металу, оскільки дрібні вclusions без перешкоди шлаку відмагнічуються, і загальна кількість магнітної фракції становить біля 35...37%, що підтверджено хімічним аналізом.

На рис. 1 чітко видно розташування магнітної фракції (феронікелю) в оточенні шлаку, і після помолу видно магнітну фракцію без оточення шлаку, що сприяє її ефективному відділенню.

На наш погляд, проведені дослідження показали, що відкривається реальна можливість переробки електропічних шлаків для отримання феронікелевого концентрату шляхом магнітної сепарації і використання немагнітної фракції для будівельних матеріалів, зокрема шлакобетону для закладки шахтних виробок, наприклад, при добуванні уранових руд.

Вважаємо, що цей напрямок досліджень має велику перспективність та економічну доцільність.

Одним із важливих напрямів використання ЕПШ є застосування його при виготовленні шлакобетону для закладки гірничих виробок.

Перед початком роботи експериментальні установки і обладнання тестувалися на електробезпеку, пожежну безпеку і відповідність нормам охорони праці.

Експериментальна частина роботи складалася з трьох основних етапів:

- а) первинна підготовка вхідних матеріалів;
- б) помел;
- в) виготовлення зразків.

Первинна підготовка вхідних матеріалів полягала в просушці піску, доменного шлаку і електропічного шлаку ПФК.

Просушка піску і шлаків здійснювалася при температурі +20°C природним шляхом. Після просушки пісок і шлаки просіювалися через комплект сит з метою

видалення крупних включень іншого походження. Після просіювання вхідні матеріали направлялися на помел.

Помел початкових матеріалів проходив в двокамерному шаровому млині. В якості мелючих тіл використовувались тіла циліндричної форми діаметром 32 мм і висотою 32 мм, виготовлені із сталі Г13Л.

Помел проходив наступним чином. Наважки шлаку та піску загальною масою 8 кг і металеві циліндри масою 1/3 маси матеріалів поміщали в середній об'єм млина. Після запуску млина процес подрібнення тривав 22 години. Подрібнені матеріали вподальшому направлялися на просіювання. Частину наважки поміщали на верхню сітку комплексу сит приладу для визначення зернового складу формувальних матеріалів (ГОСТ 3584-53), зібраного в такій послідовності:

№ сита	Сторони квадратного отвору в мм
2,5	2,5
1,6	1,6
1	1,0
0,63	0,63
0,4	0,4
0,315	0,315
0,2	0,2
0,16	0,16
0,1	0,1
0,063	0,063
0,05	0,05

Під нижнє сито встановлюється тазик, верхнє сито закривається кришкою. Зібрана стопка сит з поміщеною в неї наважкою встановлюється на столик приладу, накривається верхньою кришкою і закріплюється гайками, після чого починається розсів. Розсів відбувається при обертанні ексцентрикового валу приладу зі швидкістю 300 об/хв і при 180 ударах важеля за хвилину на протязі 15 хвилин. Залишки на кожному ситі і тазі висипають в окремі ємкості. Після чого процес повторюється.

Виготовлення досліджених зразків проводилося в лабораторії при температурі +20°C і вологості 70%. Зразки виготовлялися в такій послідовності: попередньо змелені і зважені пісок і шлаки у відповідних пропорціях засипалися в спеціальну ємкість і перемішувалися. В змелених початкових матеріалах фракція з розміром 0,063 мм становила не менше 55%. Під час перемішування початкових компонентів додавалася вода до сметаноподібного стану. Одержану пульпу заливали в попередньо підготовлені форми з розмірами 70 x 70 x 70 мм.

Попередня підготовка форм полягала в їх складанні і густому змащуванні мінеральним мастилом згідно інструкції.

По мірі усадки (на протязі 60 хв.) в отримані зразки додавали частину раніше приготовленої пульпи з таким розрахунком, щоб кількість пульпи відповідала висоті металевої форми (контролювалося візуально). Готові зразки затвердівали протягом 7 днів в умовах лабораторії, після чого форму розбирали, витягували затверділі зразки і закладали їх на зберігання (28 днів) у вологій тирсі.

Зразки випробувалися після місячної витримки

Норма: 1 місяць – 15...18 МПа

3 місяці - 22...30 МПа

6 місяців – до 50 МПа

Вимоги до міцності кернів (зразків, вирізаня з місць закладки шахти):

3 місяці – 30...32 МПа

6 місяців – 50...55 МПа

12 місяців – 62...70 МПа

На підставі проведених випробувань на стиснення на машині УВМ – 50 в лабораторії шахти “Інгульська” встановлено, що при збільшенні відносної кількості електропічного шлаку ПФК в суміші “доменний шлак – електропічний шлак”, що йде на приготування шлакобетону для закладки шахтних виробок, суттєво зменшується міцність шлакобетону на стиснення (табл. 7, рис. 4). Технічним вимогам задовольняє лише шлакобетон 100% доменного шлаку. Після першого етапу витримки (1 місяць) зразки з домішкою електропічного шлаку мають зменшення міцності відповідно: 25% електропічного шлаку знижує міцність на 42,2%; 50% - на 48,8%; 75% - на 63,7%, а заміна доменного шлаку на 100% електропічним шлаком зменшує міцність до 31,5% від міцності стандартного складу (доменний шлак).

Таблиця 7 – Вплив складу шлакобетону на його міцність на стиснення (зразки 70 x 70 x 70 мм)

№ зразка	Склад розчину по масі, г				міцність на стиснення, МПа
	шлак доменний	шлак електропічний	пісок	вода	
1	400	-	1200	400	16,8
2	300	100	1200	400	9,6
3	200	200	1200	400	8,6
4	100	300	1200	400	6,1
5	-	400	1200	400	5,3

На наш погляд, виникає необхідність коригування складу електропічного шлаку, а також проведення додаткових експериментів на більш тривалий час витримки з метою вивчення можливості заміни деякої кількості доменного шлаку електропічним.

В даний час нами відпрацьовуються інші шляхи використання шлаку [5...12]

ВИСНОВКИ. Представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на використання електропічного шлаку Побузького феронікелевого комбінату при виготовленні будівельних матеріалів, шлакобетону для закладки гірничих виробок, а також по магнітній сепарації шлаку. Обґрунтовані інші шляхи його використання.

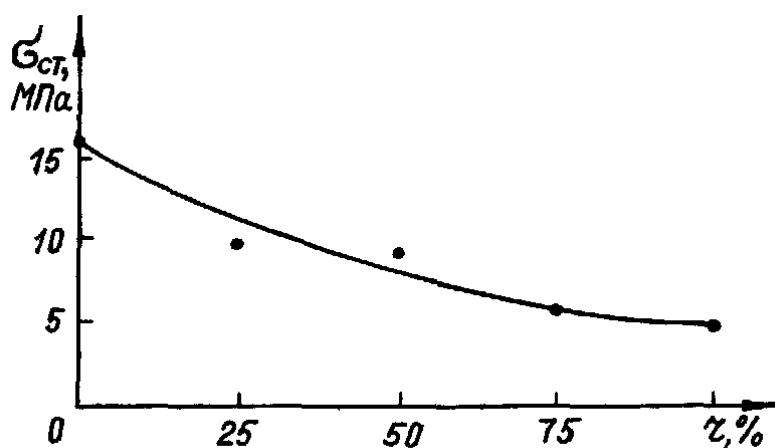


Рисунок 4 – Вплив відносної кількості електропічного шлаку в шлаковій суміші “доменний шлак – електропічний шлак” на міцність шлакобетону після місячної витримки зразків.

Список літератури

1. Иржи Хвойко. Цветные металлы и их сплавы. – М.: Металлургия, 1973. – 240 с.
2. Гуляев А. П. Металловедение. – М.: Оборониздат, 1963. – 464 с.
3. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1978. – 748 с.

4. Лахтин Ю. М. *Металловедение и термическая обработка металлов.* – М.: *Металлургия*, 1979. – 320 с.
5. Пат. 31210 Україна, МПК C04B 28/04 (2007.01). Бетон / Мошнягул В.В., Сабірзянов Т.Г., Надворний Б.Є., Новіков М.В.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - № u200714597; заявл. 24.12.2007; опубл. 25.03.2008, Бюл. № 6.
6. Пат. 35163 Україна, МПК (2006) C05D 5/00 C05D7/00. Застосування електропечного шлаку, що утворюється при виробництві чорного феронікелю, як сировини для одержання магнієвого добрива / Мошнягул В.В., Сабірзянов Т.Г., Надворний Б.Є., Новіков М.В.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - № u200714621; заявл. 24.12.2007; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 17.
7. Пат. 35254 Україна, МПК (2006) C03C4/00. Спеціальне скло / Мошнягул В.В., Сабірзянов Т.Г., Надворний Б.Є., Новіков М.В.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - № u200804389; заявл. 07.04.2008; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 17.
8. Пат. 35435 Україна, МПК (2006) B23K335/00. Спосіб виготовлення електродного покриття/ Мошнягул В.В., Сабірзянов Т.Г., Надворний Б.Є., Новіков М.В.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - № u200714530; заявл. 24.12.2007; опубл. 25.09.2008, Бюл. № 18.
9. Пат. 37178 Україна, МПК (2006) B 23K35/22. Електродне покриття / Мошнягул В.В., Сабірзянов Т.Г., Надворний Б.Є., Новіков М.В.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - № u200804766; заявл. 14.04.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22.
10. Пат. 39809 Україна, МПК (2009) C04B28/00. Вогнетривкий бетон / Сабірзянов Т.Г., Мошнягул В.В., Надворний Б.Є., Новіков М.В.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - № u200812580; заявл. 27.10.2008; опубл. 10.03.2009, Бюл. №
11. Позитивне рішення на заявку: Україна, МПК (2009) C08J 3/24. Ебоніт / Мошнягул В.В., Сабірзянов Т.Г., Надворний Б.Є., Новіков М.В.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - №u 200903606; заявл. 13.04.2009.
12. Позитивне рішення на заявку: Україна, МПК (2009) B23K 35/36. Флюс електрозварювальний / Мошнягул В.В., Сабірзянов Т.Г., Надворний Б.Є., Новіков М.В.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - №u 200903548; заявл. 13.04.2009.

В. Мошнягул, Б. Надворний, Т. Сабірзянов, М. Новіков

Пути комплексной переработки электропечного шлака ферроникелевого производства

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на использование электропечного шлака Побужского ферроникелевого комбината при изготовлении строительных материалов, шлакобетона для закладки горных выработок, а также по магнитной сепарации шлака. Обоснованные другие пути его использования.

V.Moshnyagul, B. Nadvorniy, T. Sabirzyanov, M. Novikov

Ways for complex utilization of the ferronikel combine electrofurnace slags

The results of the theoretical and experimental researches directed on the use of electrofurnace slag of the Pobujsky ferronikel combine at making of build materials are presented, shlakobetona for the book-mark of the mountain making, and also on magnetic separatsii of shlaka. The grounded other ways of his use.

Одержано 01.10.09

УДК 621.798.38

О.В. Оришака, доц., канд. техн. наук, В.В. Гончаров, доц., канд. фіз.-мат. наук, А.М. Артюхов, ст. викл., канд. техн. наук, В.О. Оришака, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичне дослідження подільчо-формуючих постачальних пристроїв машин для завантаження сипких матеріалів

Теоретично обґрунтовані параметри подільчо-формуючих постачальних пристроїв машин для завантаження сипких матеріалів в клапанні мішки, а саме постачального пристрою з лійками, на вихідних частинах яких встановлені вивантажувальні патрубки з можливістю здійснювати зворотно-обертальний рух і постачального пристрою з формуючими гравітаційними поверхнями, які жорстко встановлені на корпусі, що змонтований на матеріалопроводі з можливістю здійснювати зворотно-обертальний рух. Встановлені оптимальні співвідношення вхідних і вихідних параметрів лійки та кута нахилу гравітаційної поверхні.

постачальний пристрій, вивантажувальна машина, матеріалопровід, клапан, бункер, сипкий матеріал, клапанний мішок

Завантажувальні машини гравітаційного типу з подільчо-формуючими постачальними пристроями мають значні переваги перед машинами гравітаційного типу з цикловим випуском сипкого матеріалу з бункера, а саме:

- стабільний постійний виток сипкого матеріалу з бункера при відсутності умов для створення “склепів” і “труб” (створення додаткових напружень в сипкому середовищі при циклічному випуску сипкого матеріалу);
- висока продуктивність (залежить тільки від витоку сипкого матеріалу з вивантажувального отвору бункера і не залежить від часу на заміну клапанних мішків);
- висока точність дозування маси в клапанному мішку (невеликий розмір запізнюючої ланки);
- компактність (незначні габаритні розміри і мала маса).

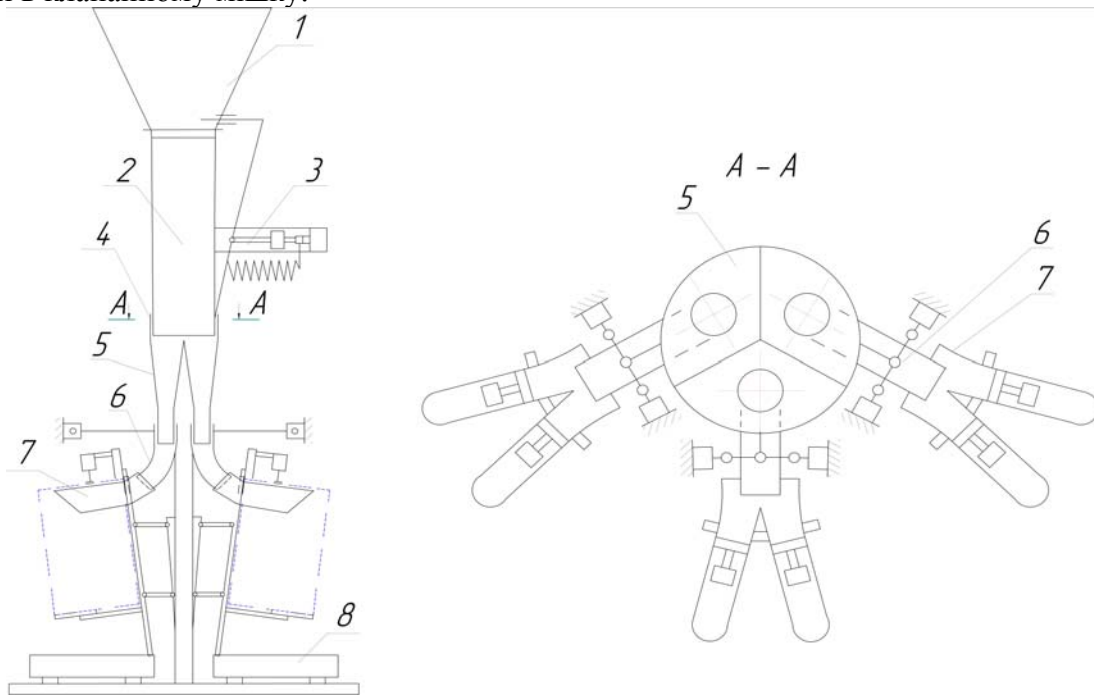
В завантажувальних машинах нового покоління передбачається два типи постачальних пристроїв:

- з подільчо-формуючими лійками (рис.1);
- з формуючою гравітаційною поверхнею (рис.2).

Завантажувальні машини гравітаційного типу з подільчо-формуючими пристроями є подальшим удосконаленням гравітаційних машин з циклічним випуском сипкого матеріалу з бункера.

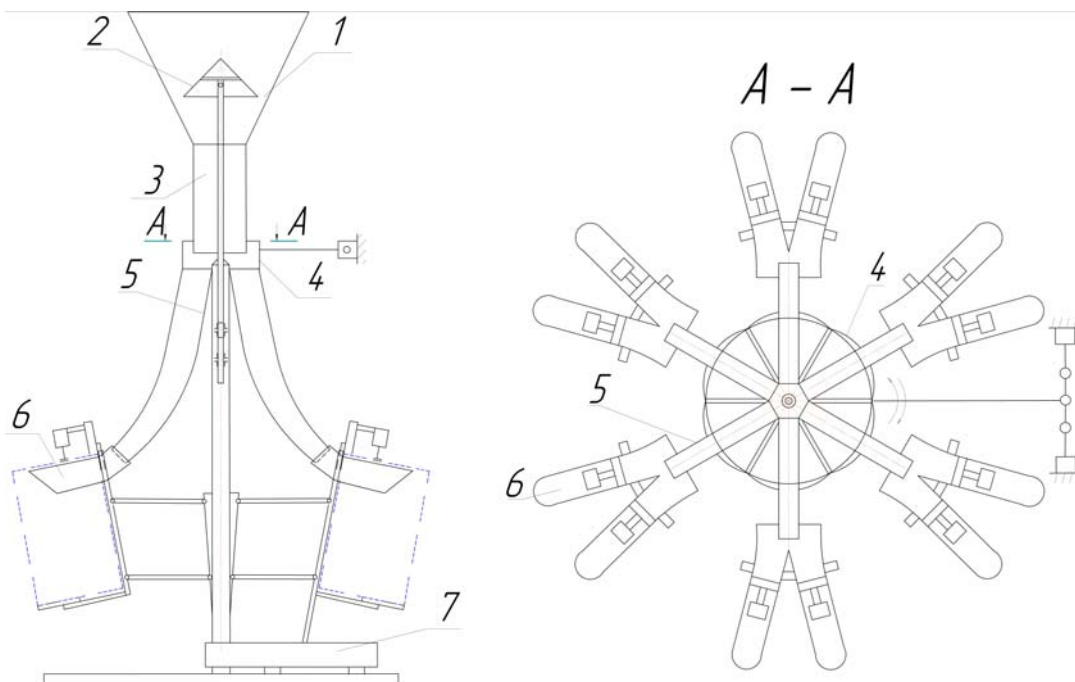
Обґрунтуванню параметрів завантажувальних машин з циклічним випуском сипкого матеріалу з бункера присвячені роботи О.В. Оришаки, В.В. Гончарова, М.М. Петренка, В.О. Оришаки, А.М. Артюхова, Г.В. Кравцової [1,2,3]. В них обґрунтовані основні параметри матеріалопроводів та завантажувальних пристроїв. Встановлений вплив параметрів бункера, матеріалопровода на вихідну швидкість сипкого матеріалу, вплив вихідної швидкості і кута нахилу завантажувального патрубка на забезпечення максимального заповнення об'єму клапанного мішка,

визначений вплив роботи клапана, параметрів матеріалопровода на точність дозування маси в клапанному мішку.



1 – бункер; 2 – матеріалопровід; 3 – клапан; 4 – подільчо-формуючий постачальний пристрій; 5 – лійка; 6 – вивантажувальний патрубок; 7 – завантажувальний пристрій; 8 – ваги

Рисунок 1 – Схема завантажувальної машини з подільчо-формуючими лійками



1 – бункер; 2 – матеріалопровід; 3 – клапан; 4 – подільчий постачальний пристрій; 5 – формуюча гравітаційна поверхня; 6 – завантажувальний пристрій; 7 – ваги

Рисунок 2 – Схема завантажувальної машини з формуючою гравітаційною поверхнею

Мета даної роботи – встановити оптимальні параметри постачальних пристроїв: лійки і гравітаційної формуючої поверхні.

Для проведення обґрунтування постачальних пристроїв повинно бути задано:

1. Продуктивність машини, Q (т/год.), q (кг/с).
2. Точність дозування маси.
3. Фізико-механічні характеристики сипкого матеріалу (питому масу, коефіцієнти зовнішнього і внутрішнього тертя, початковий опір зсуву, тощо).
4. Масу матеріалу в клапанному мішку.
5. Розміри клапанного мішка і розміри самого клапана (стандартна ширина клапана 80, 90, 130мм, а для деяких матеріалів, наприклад, аеросилу, застосовуються нестандартні клапани шириною 150мм).

Площу вихідного отвору з бункера визначаємо із залежності:

$$q = S_{\sigma} \cdot V_{\sigma} \cdot \rho, \quad (1)$$

де ρ – питома маса, кг/м^3 ;

V_{σ} – швидкість витоку матеріалу, м/с ;

S_{σ} – площа вихідного отвору, м^2 .

Швидкість витоку сипкого матеріалу визначається по відомим залежностям [4].

В подальшому визначається число секцій машини (Z), тобто на скільки частин необхідно поділити потік матеріалу, який витікає з бункера.

$$Z = \frac{q}{q_{\max}}, \quad (2)$$

де q_{\max} – максимальна можлива продуктивність одної секції:

$$q_{\max} = S_n \cdot V_{\sigma} \cdot \rho \cdot \varphi, \quad (3)$$

де S_n – площа завантажувального патрубку (залежить від ширини клапана);

V_{σ} – швидкість витоку матеріалу з завантажувального патрубку, м/с .

Дослідженнями встановлено, що для забезпечення необхідної повноти заповнення об'єму клапанного мішка $V_B \geq 3 \text{ м/с}$.

φ – коефіцієнт використання поперечного перетину вивантажувального патрубку (приймається $\varphi = 0,5 \dots 0,75$ із умови виключення гідравлічного стрибка сипкого матеріалу).

Визначивши число секцій, визначаємо площу вхідного отвору в лійку, або на формуємоу гравітаційну поверхню:

$$S_l = \frac{S_{\sigma}}{Z}. \quad (4)$$

Розглянемо процес проходження сипкого матеріалу через лійку (рис. 3).

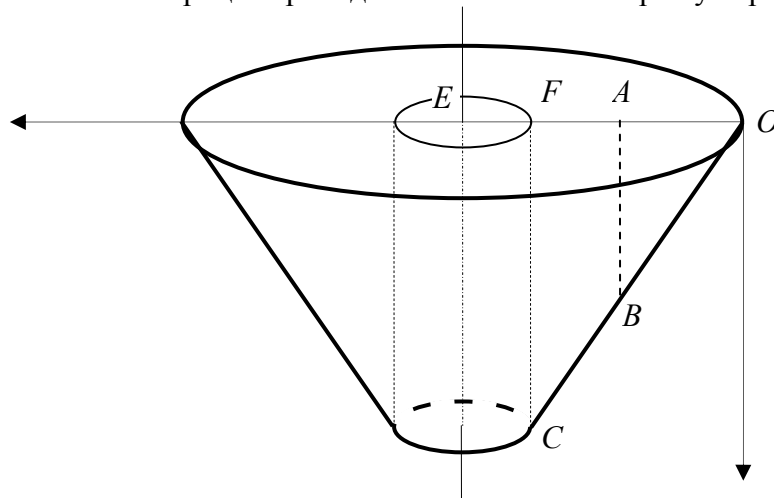


Рисунок 3 – Схема проходження сипкого матеріалу через подільно-формуємоу лійку

Виберемо довільну матеріальну точку A (рис. 3) на вході в конічну лійку і прослідкуємо за її рухом при проходженні через лійку. Нехай $\angle FOC = \alpha$, $OE = R$,

$EF = r$. Спочатку матеріальна точка здійснює вільне падіння (ланка AB). Потім відбувається удар по боковій стінці лійки в точці B , далі рух по боковій стінці лійки (ланка BC) і удар по вертикальному потоку матеріалу (точка C).

1) В початковий момент $V_A = V_0$.

2) Рух по ланці AB . З закону збереження енергії

$$V_B = \sqrt{V_0^2 + 2g \cdot AB} \quad \text{або} \quad V_B = \sqrt{V_0^2 + 2gx \operatorname{tg} \alpha},$$

де $x = OA$.

3) Удар в точці B . Швидкість після удару

$$V_1 = V_B (\sin \alpha - f \cos \alpha) \quad \text{або} \quad V_1 = C_1 \sqrt{V_0^2 + 2gx \operatorname{tg} \alpha},$$

де $C_1 = \sin \alpha - f \cos \alpha$, f – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні лійки.

4) Ланка BC . З закону збереження енергії:

$$V_C = \sqrt{V_1^2 + 2gH - 2f \cdot \frac{|\bar{N}|}{m} \cdot BC}, \quad (5)$$

де \bar{N} – реакція бокової стінки лійки, m – маса матеріальної точки.

З (5) маємо:

$$V_C = \sqrt{V_1^2 + 2g(R - r - x) \operatorname{tg} \alpha - f 2g \cos \alpha \frac{R - r - x}{\cos \alpha}},$$

або

$$V_C = \sqrt{V_1^2 + 2g(R - r - x)(\operatorname{tg} \alpha - f)}.$$

І з урахуванням п. 3)

$$V_C = \sqrt{C_1^2 V_0^2 + 2C_1^2 gx \operatorname{tg} \alpha + 2g(R - r - x)(\operatorname{tg} \alpha - f)},$$

або

$$V_C = \sqrt{C_1 \left[C_1 V_0^2 + 2g \left(\frac{R - r}{\cos \alpha} - x(f \sin \alpha + \cos \alpha) \right) \right]}.$$

5) Швидкість після зіткнення з вертикальним потоком (точки які знаходились на ланці FE)

$$V_2 = C_2 \sqrt{C_1 \left[C_1 V_0^2 + 2g \left(\frac{R - r}{\cos \alpha} - x(f \sin \alpha + \cos \alpha) \right) \right]},$$

де $C_2 = \sin \alpha - f_1 \cos \alpha$, f_1 – коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу.

6) Усереднена швидкість по усіх точках, що попадають на бокову поверхню лійки (ланка OF)

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{l}{\pi(R^2 - r^2)} \int_0^{R-r} C_2 \sqrt{C_1 \left[C_1 V_0^2 + 2g \left(\frac{R - r}{\cos \alpha} - x(f \sin \alpha + \cos \alpha) \right) \right]} 2x dx = \\ &= \frac{2C_2}{\pi(R^2 - r^2)} \int_0^{R-r} \sqrt{2gC_1(f \sin \alpha + \cos \alpha) \left[\frac{C_1 V_0^2 \cos \alpha + 2g(R - r)}{2g \cos \alpha(f \sin \alpha + \cos \alpha)} - x \right]} \cdot x dx = \end{aligned}$$

$$= \frac{2C_2 \sqrt{2gC_1(f \sin \alpha + \cos \alpha)}}{\pi(R^2 - r^2)} \int_0^{R-r} \sqrt{\frac{C_1 V_0^2 \cos \alpha + 2g(R-r)}{2g \cos^2 \alpha (f \operatorname{tg} \alpha + 1)}} - x \cdot x dx.$$

Нехай

$$C_3 = \frac{\sqrt{g}}{R^2 - r^2} \cdot \frac{2C_2}{\pi} \sqrt{2C_1(f \sin \alpha + \cos \alpha)}, \quad C_4 = \frac{V_0^2}{g} \cdot \frac{C_1 \cos \alpha + \frac{2g(R-r)}{V_0^2}}{2 \cos^2 \alpha (f \operatorname{tg} \alpha + 1)},$$

тоді, зробивши заміну $x = C_4 - t^2$, отримаємо:

$$V_c = C_3 \int_0^{R-r} \sqrt{C_4 - x} \cdot x dx = \left\langle \begin{array}{l} dx = -2t dt, \\ x = 0 \Rightarrow t = \sqrt{C_4}, \\ x = R-r \Rightarrow t = \sqrt{C_4 - R+r} \end{array} \right\rangle = 2C_3 \int_{\sqrt{C_4}}^{\sqrt{C_4 - R+r}} (t^4 - C_4 t^2) dt$$

Проінтегрувавши, отримаємо:

$$V_c = 2C_3 \left[\frac{1}{5} \left((C_4 - R+r)^{5/2} - C_4^{5/2} \right) - \frac{C_4}{3} \left((C_4 - R+r)^{3/2} - C_4^{3/2} \right) \right],$$

або

$$V_c = \frac{4}{15} C_3 C_4^{5/2} \left[1 - \left(1 + \frac{3}{2} \frac{R-r}{C_4} \right) \left(1 - \frac{R-r}{C_4} \right)^{3/2} \right],$$

де

$$C_3 C_4^{5/2} = \frac{V_0^5}{g^2 (R^2 - r^2)}.$$

Враховуючи центральну частину конуса (ланка FE), матеріал якої здійснював вільне падіння, отримаємо усереднену швидкість матеріалу на виході з лійки

$$V = \frac{\pi(R^2 - r^2)V_c + \pi r^2 \sqrt{V_0^2 + 2g(R-r) \operatorname{tg} \alpha}}{\pi R^2},$$

або

$$V = \frac{4}{15} C_5 C_4^{5/2} \left[1 - \left(1 + \frac{3}{2} \frac{R-r}{C_4} \right) \left(1 - \frac{R-r}{C_4} \right)^{3/2} \right] + V_0 \left(\frac{r}{R} \right)^2 \sqrt{1 + \frac{2g(R-r)}{V_0^2} \operatorname{tg} \alpha}, \quad (6)$$

$$\text{де } C_1 = \sin \alpha - f \cos \alpha, \quad C_5 = \frac{\sqrt{g}}{R^2} \frac{2C_2}{\pi} \sqrt{2C_1(f \sin \alpha + \cos \alpha)}.$$

7) Умову не закупорювання матеріалу на виході з бункера можна записати у вигляді:

$$V_0 S_0 \leq VS, \quad (7)$$

де $S_0 = \pi R^2$ – площа вхідного отвору лійки;

$S = \pi r^2$ – площа вихідного отвору лійки.

Підставивши швидкість (6) в умову (7), отримаємо:

$$\frac{4 C_5 C_4^{\frac{5}{2}}}{15 V_0} \left(\frac{r}{R}\right)^2 \left[1 - \left(1 + \frac{3 R - r}{2 C_4}\right) \left(1 - \frac{R - r}{C_4}\right)^{\frac{3}{2}} \right] + \left(\frac{r}{R}\right)^4 \sqrt{1 + \frac{2g(R-r)}{V_0^2} \operatorname{tg} \alpha} \geq 1. \quad (8)$$

Умова (8) є умовою, виконання якої дає вільний прохід потоку матеріалу через конічну лійку. Ліва частина нерівності залежить від п'яти параметрів R, r, α, V_0, f .

Результати розрахунків рівняння (8) представлені на рисунках 4,5.

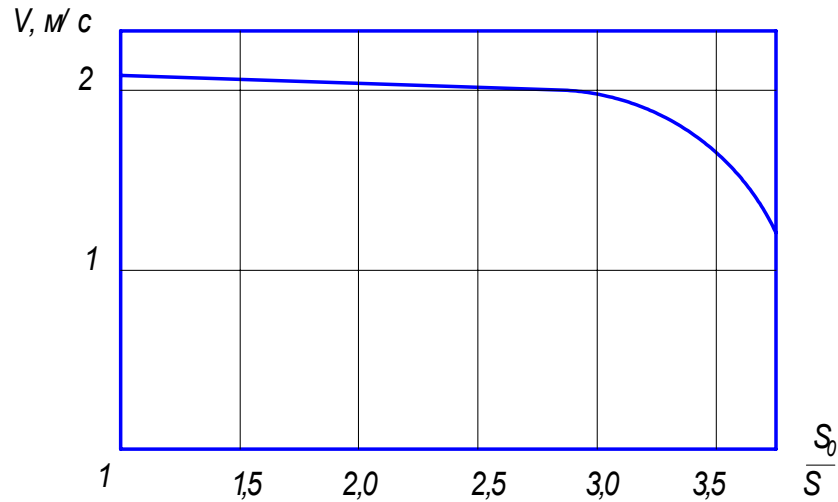


Рисунок 4 – Залежність вихідної швидкості сипкого матеріалу від відношення площ вхідного і вихідного отворів лійки ($V_0 = 2 \text{ м/с}$; $\alpha = 10^0$; $f = 0.3$; $f_1 = 0.5$)

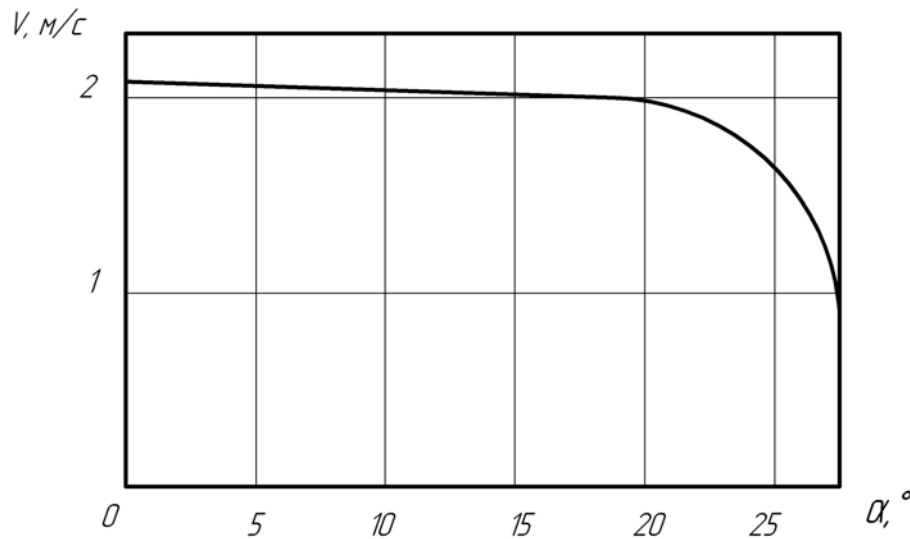


Рисунок 5 – Залежність вихідної швидкості сипкого матеріалу від кута нахилу поверхонь лійки ($V_0 = 2 \text{ м/с}$; $\frac{S_0}{S} = 2$; $f = 0.3$; $f_1 = 0.5$)

За результатами викладених теоретичних досліджень можна зробити висновок, що для забезпечення умов вільного проходження сипкого матеріалу через подільчо-формуючі постачальні пристрої кут нахилу поверхонь лійки і гравітаційної поверхні повинні бути в межах $5^0 \dots 15^0$, а співвідношення вхідної і вихідної площ отворів лійки

не повинно перевищувати ($\frac{S_g}{S_{вих.}} \leq 3$) при висоті розташування вхідного отвору лійки від вихідного отвору бункера не менше 100мм.

Список літератури

1. Орышака О.В., Момот А.Ф., Гончаров В.В. Анализ движения гибридной кукурузы в материалопроводе машины для затаривания сыпучих материалов в клапанные мешки. – Киев, УМК ВО, 1992. – С.12–23.
2. Оришака О.В., Гончаров В.В., Кравцов А.О. Теоретичні дослідження заповнення клапанного мішка сипким матеріалом / Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. – Вип. 35. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – С.390–399.
3. Оришака О.В., Гончаров В.В., Кравцова Г.В., Артюхов А.М. Динаміка руху сипкого матеріалу по криволінійним каналам змінного перерізу // Збірник наукових праць КІСМ. – Вип. 1. – Кіровоград: КІСМ, 1997. – С.27–35.
4. Зенков Р.Л., Гриневич Г.Н., Исаев В.С. Бункерные устройства. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.

О.Орышака, В.Гончаров, А.Артюхов, В.Орышака

Теоретическое исследование делительно-формирующих питательных устройств машин для загрузки сыпучих материалов

Теоретически обоснованы параметры делительно-формирующего питательного устройства машин для загрузки сыпучих материалов в клапанные мешки, а именно питательного устройства с воронками на выходных частях которых установлены выгружающие патрубки с возможностью совершать возвратно-поступательное движение и питательного устройства с формирующими гравитационными поверхностями, которые жестко установлены на корпусе, который смонтирован на материалопроводе с возможностью совершать возвратно-вращательное движение. Установлены оптимальные соотношения входных параметров воронки и угла наклона гравитационной поверхности.

O. Orishaka, V. Goncharov, A. Artyukhov, V. Orishaka

Theoretical research of division-forming nourishing device of machines for the load of friable materials

Parameters of the division-forming nutritious device of machines for loading loose materials in valvular sacks are theoretically proved, namely the nutritious device with funnel on which target parts unloading branch pipes with an opportunity to make back and forth motion and the nutritious device with forming gravitational surfaces which are rigidly established on the case which is mounted on materials handling with an opportunity to make return-rotary movement are established. Optimum parities of entrance parameters funnel and a corner of an inclination of a gravitational surface are established.

Одержано 14.09.09

УДК: 669.18.013

Т. Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

І.Т. Сабірзянов, інж.

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

До питання про потужність перемішування сталеплавильної ванни під час чистого кипіння

Одержано математичні моделі потужності перемішування сталеплавильної ванни мартенівської печі пухирцями CO в період чистого кипіння. Запропоновано спосіб знаходження точного значення середнього шляху спливання пухирців CO. Знайдено оптимальне співвідношення між садкою печі і площею дзеркала ванни.

сталеплавильні ванни, чисте кипіння, перемішування

Перемішування рідких металів газами відіграє значну роль в металургії та ливарному виробництві. Завдяки перемішуванню збільшується міжфазна поверхня, зменшується товщина дифузійного та теплового пограничних шарів, відбувається усереднення температури і хімічного складу фаз. Все це сприяє прискоренню тепло- і масообмінних процесів і підвищенню продуктивності металургійних агрегатів. Так, наприклад, в мартенівських та дугових електросталеплавильних печах під час чистого кипіння десятки тисяч пухирців CO щосекунди зароджуються на поду і відкосах ванни, відриваються і спливають, переходячи у газову фазу печі. При цьому відбувається інтенсивне перемішування ванни, що не тільки сприяє підвищенню продуктивності печі, а й очищенню металу від шкідливих газів (азот, водень та інш.) і неметалевих включень. Це пояснюється тим, що пухирець CO, що спливає, являє собою практично абсолютний вакуум по відношенню до розчинених у металі газів, внаслідок чого гази із металу переходять до об'єму пухирця і разом із ним видаляються із ванни. До пухирців CO, завдяки адгезійним силам, прилипають і видаляються із металу в шлак неметалеві включення, завдяки чому метал очищується і від останніх.

Ефективність барботажних процесів при чистому кипінні, очевидно, тим вища, чим більше потужність перемішування металу пухирцями CO, яка, таким чином, є додатковим важливим фактором, що суттєво впливає на продуктивність сталеплавильних агрегатів та якість металу.

Вітчизняними і зарубіжними вченими-металургами, переважно сталеплавильниками (Г. Шенк, І. Г. Казанцев, В.С. Кочо, С. Л. Левін, М. Я. Меджибожський та інш. [1, 2]), були запропоновані різні способи розрахунку потужності перемішування ванни пухирцями CO, однак досі немає ясності в деяких питаннях, таких, наприклад, як обґрунтованість ототожнювання роботи перемішування сталеплавильної ванни при чистому кипінні з роботою ізотермічного розширення пухирців CO, визначення розрахункової величини шляху спливання останніх тощо. Нижче, на основі використання нового підходу до розрахунку роботи перемішування, а саме визначення її як роботи архімедової сили, дано відповіді на зазначені запитання, а також сформульовано практичні рекомендації щодо оптимального співвідношення між ємністю подової сталеплавильної печі і площею дзеркала її ванни.

Виведемо формулу для розрахунку потужності перемішування $N_{\text{пер}}$ при використанні архімедової сили, діючої на пухирець в рідкому металі. На глибині H пухирець має потенційну енергію положення, яка чисельно дорівнює архімедовій силі, що діє на пухирець, помноженій на шлях H . При спливанні пухирця дана енергія частково витрачається на роботу перемішування $L_{\text{пер}}$, яке супроводжується хаотичним переміщенням макрооб'ємів металу і шлаку, збільшенням міжфазних поверхонь шляхом подрібнення рідких фаз на краплини, утворення газорідної емульсії і т. ін. Друга частина потенційної енергії заглибленого газу перетворюється у кінетичну енергію $E_{\text{кін}}$ останнього на виході із ванни.

Швидкість пухирців СО, що покидають ванну, становить приблизно 1 м/с [3], отже для 1 кг газу $E_{\text{кін}} = w^2/2 \approx 0,5$ Дж/кг.

При $T = 1873$ К, середньому тиску газу в пухирці $p = 1,5 \cdot 10^5$ Па, відносній молекулярній масі СО $M_{\text{СО}} = 28$ кг/кмоль і універсальній газовій сталій $R = 8314$ Дж/кмоль · К, згідно із рівнянням стану ідеального газу, записаним для 1 кг останнього, середній питомий об'єм становитиме $\bar{v} = RT/pM_{\text{СО}} = 8134 \cdot 1873 / (1,5 \cdot 10^5 \cdot 28) = 3,7076$ м³/кг СО.

Потенційна енергія заглиблення 1 кг СО при $H = 1$ м, густині рідкого металу $\rho_{\text{м}} = 7000$ кг/м³ і прискоренні сили тяжіння $g = 9,81$ м/с² становитиме

$$E_{\text{п}} = \bar{v} \rho_{\text{м}} g H = 3,7076 \cdot 7000 \cdot 9,81 \cdot 1 = 254600 \text{ Дж/кг газу.}$$

Порівнюючи $E_{\text{п}}$ з $E_{\text{кін}}$, бачимо, що величина $E_{\text{кін}}$ є дуже малою і нею можна знехтувати. Отже, можна вважати, що потенційна енергія заглибленого у метал газу практично повністю витрачається на перемішування ванни.

Таким чином, згідно з попереднім, робота перемішування при спливанні пухирця СО довільної маси визначається рівнянням

$$L_{\text{пер}} = \bar{V}_{\text{п}} \rho_{\text{м}} g H, \quad (1)$$

де $\bar{V}_{\text{п}}$ і H – середній об'єм і шлях спливання пухирця.

Величину $\bar{V}_{\text{п}}$ знаходимо шляхом ділення площі фігури 1-2- p_2 - p_1 -1 на відрізок p_1 - p_2 (рис. 1), враховуючи, що крива 1-2 є ізотермою.

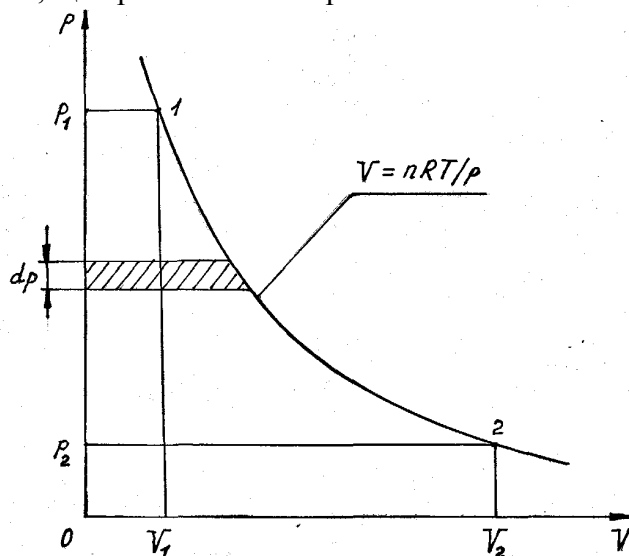


Рисунок 1 – Зміна стану газу у пухирці, що спливає

Запишемо рівняння Менделєєва-Клапейрона для пухирця, що спливає:

$$pV_{\text{п}} = nRT, \quad (2)$$

де p і $V_{\text{п}}$ – змінні значення тиску і об'єму газу в пухирці;

n – практично стала кількість кіломолив СО у пухирці.

Використовуючи рівняння (2), записуємо вираз для площі смуги шириною dp (див. рис. 1):

$$df = -V_n dp = -nRT dp/p. \quad (3)$$

Знак «мінус» у рівнянні (3) означає, що в напрямку 1-2 тиск газу зменшується, отже $dp < 0$.

Інтегрування рівняння (3) дає:

$$f = nRT \ln(p_1/p_2), \quad (4)$$

де p_1 і p_2 початковий і кінцевий тиски газу у пухирці.

Вираз для середнього значення об'єму пухирця знаходимо, поділивши рівняння (4) на різницю тисків $p_1 - p_2$ (див. рис. 1):

$$\bar{V} = nRT \ln(p_1/p_2)/(p_1 - p_2). \quad (5)$$

Підставивши рівняння (5) до (1), з урахуванням співвідношення

$$p_1 - p_2 = \rho_m gH, \quad (6)$$

одержуємо рівняння для роботи перемішування при спливанні одного пухирця:

$$L_{\text{пер}} = nRT \ln(p_1/p_2). \quad (7)$$

Рівняння (7) співпадає з відомою із термодинаміки формулою для розрахунку роботи ізотермічного розширення ідеального газу. Це свідчить про те, що у випадку чистого кипіння, дійсно, для визначення потужності перемішування ванни пухирцями СО можна користуватись формулою для роботи ізотермічного розширення газу. Слід в той же час зазначити, що метод розрахунку $N_{\text{пер}}$, який ґрунтується на використанні архімедової сили, є універсальним і дозволяє розв'язувати більш складні задачі, наприклад, задачу по розрахунку $N_{\text{пер}}$ при продувці металу нейтральним чи окислювальним газом через фурму.

При розрахунку потужності перемішування ванни в період чистого кипіння величина n представляє собою кількість кіломолив СО, що у вигляді пухирців відриваються щосекунди від поду та відкосів:

$$n = v_C M_T 1000/60 \cdot 100 \cdot 12 = 1,389 \cdot 10^{-2} v_C M_T \text{ кмоль СО/с}, \quad (8)$$

де v_C – швидкість окислення вуглецю, %/хв;

M_T – ємність печі, т.

Температуру газу T можна прийняти як таку, що дорівнює температурі металу.

Значення тиску газу p_1 і p_2 можна представити співвідношеннями

$$p_1 = p_0 + \rho_m gH; \quad (9)$$

$$p_2 = p_0, \quad (10)$$

де $p_0 = 1,01325 \cdot 10^5$ Па – атмосферний тиск;

H – висота стовпа металу над пухирцем СО в момент його відриву від поду чи відкосу, м.

Після підстановки співвідношень (8)...(10) у (7) одержуємо розрахункову формулу для потужності перемішування ванни при чистому кипінні:

$$N_{\text{пер}} = 0,1155 v_C M_T \ln(1 + 0,6777H) \text{ кВт}. \quad (11)$$

Певні труднощі пов'язані із визначенням середньої глибини H , з якої починається спливання пухирців СО, оскільки сталеплавильна ванна має складну форму, і її глибина змінюється від нуля по периметру дзеркала ванни до максимального значення H_{max} для центральної точки поду.

В.С. Кочо [2] рекомендував визначати H згідно із співвідношенням

$$H = (0,30 \dots 0,40) H_{\text{max}}. \quad (12)$$

С. Л. Левін [2], виконавши детальний математичний аналіз даного питання, запропонував графоаналітичний метод знаходження H , на основі якого М. Я. Меджибожський [2] склав наступну формулу для розрахунку $N_{пер}$:

$$N_{пер} = v_c M_T T (0,015 + 0,00384 H_{max}) \text{ кВт.} \quad (13)$$

Величину H природно визначати як відношення об'єму ванни до площі її дзеркала S :

$$H = 1000 M_T / \rho_m S. \quad (14)$$

Підставивши вираз (14) у рівняння (11), одержуємо дещо інший вигляд розрахункової формули для визначення потужності перемішування ванни спливаючими пухирцями СО:

$$N_{пер} = 0,1155 v_c M_T T \ln(1 + 0,09682 M_T / S) \text{ кВт.} \quad (15)$$

Якщо для знаходження H скористатись співвідношенням (12), то розрахункова формула матиме вигляд:

$$N_{пер} = 0,1155 v_c M_T T \ln(1 + 0,24 H_{max}) \text{ кВт.} \quad (16)$$

Результати розрахунків $N_{пер}$ за формулами (13), (15) і (16) наведені у табл. 1 і на рис. 2.

Таблиця 1 – Потужність перемішування у мартенівських печах різної ємності

M_T , т	50	85	130	200	250	380	500	600	
M_T/S , т/м ³	1,69	2,00	2,50	2,94	3,33	4,00	4,76	5,55	
H_{max} , м	0,60	0,70	0,80	0,85	0,95	1,10	1,20	1,35	
\bar{H} , м	0,241	0,286	0,357	0,420	0,476	0,571	0,680	0,793	
v_c , %/хв	0,0100	0,0090	0,0075	0,0060	0,0050	0,0035	0,0027	0,0023	
$v_{c, розр.}$, %/хв	0,0099	0,0089	0,0070	0,0062	0,0050	0,0041	0,0032	0,0028	
$N_{пер}$ кВт за форм.	(13)	16,21	25,34	33,00	41,05	43,66	47,89	49,58	52,17
	(15)	16,39	29,29	45,72	65,03	75,57	94,18	110,69	128,39
	(16)	14,55	25,70	37,04	48,19	55,54	67,41	73,91	83,79
$M_T v_c$	0,50	0,76	0,91	1,24	1,25	1,56	1,60	1,68	

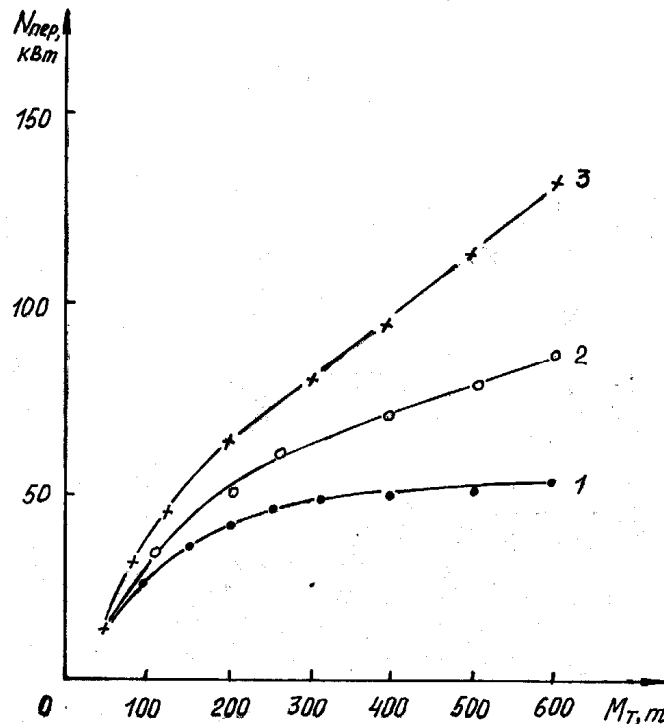


Рисунок 2 – Залежність $N_{пер}$ від місткості мартенівської печі:
1 – за формулою (13); 2 – (16); 3 – (15)

Аналіз одержаних даних дозволяє зробити наступні висновки.

Значення $N_{\text{пер}}$, розраховані за формулами (13), (15) і (16), близькі, особливо для печей ємністю менше 150 т.

Згідно з формулою (13) величина $N_{\text{пер}}$ для печей ємністю більше 250 т знаходиться на практично сталому рівні приблизно 50 кВт. Даній обставині важко знайти обґрунтування, враховуючи те, що при збільшенні садки печі відбувається безперервне збільшення і параметра $M_{\text{ТVC}}$, що характеризує кількість вуглецю, який окислюється за одиницю часу, і середньої висоти ванни \bar{H} (див. табл. 1).

Дані, що відповідають формулі (16), займають проміжне положення по відношенню до значень $N_{\text{пер}}$, одержаних за формулами (13) і (15). Перевагу слід віддати останній формулі, оскільки вона відрізняється від решти лише одним – використанням істинного значення параметра \bar{H} , який знаходиться як відношення об'єму ванни до площі її дзеркала.

Для техніко-економічного аналізу результатів виробництва більш важливим, ніж параметр $N_{\text{пер}}$, є питома потужність перемішування ванни $N_{\text{пер.пит}}$ – потужність, що припадає на одиницю маси металу. Щоб одержати вираз для розрахунку цієї величини, треба рівняння (15) поділити на M_{T} :

$$N_{\text{пер.пит}} = 0,1155v_{\text{C}}T \ln(1 + 0,09682M_{\text{T}}/S) \text{ кВт/т.} \quad (17)$$

Аналіз рівняння (17) вказує на те, що при $T = \text{const}$ величина M_{T}/S чинить протирічливий вплив на $N_{\text{пер.пит}}$. Дійсно, з одного боку, згідно із виразом, що стоїть у рівнянні (17) під знаком логарифма, при зростанні M_{T}/S величина $N_{\text{пер.пит}}$ теж зростає за рахунок збільшення середнього шляху спливання пухирців. З іншого боку, збільшення M_{T}/S неухильно приводить до зменшення швидкості вигорання вуглецю (див. табл. 1) за рахунок зменшення відносної поверхні дзеркала ванни, через яку здійснюється постачання кисню, що витрачається на окислення вуглецю. Отже, залежність $N_{\text{пер.пит}}$ від M_{T}/S повинна мати екстремальний характер. При дуже малих значеннях параметра M_{T}/S питома потужність перемішування із зростанням цього параметра буде збільшуватись до деякого максимального значення, а після досягнення точки максимуму почнеться зменшення $N_{\text{пер.пит}}$.

Для аналітичного визначення точки максимуму треба мати явний вигляд залежності $v_{\text{C}} = f(M_{\text{T}}/S)$, яка була знайдена шляхом статистичної обробки даних, представлених в табл. 1, у вигляді полінома 2-го степеня:

$$v_{\text{C}} = 0,0175 + (0,00046M_{\text{T}}/S - 0,0052)M_{\text{T}}/S. \quad (18)$$

Розрахункові дані, що відповідають рівнянню (18), уповні задовільно узгоджуються з фактичними величинами (див. табл. 1).

Підстановкою рівняння (18) до (17) при $T = 1873 \text{ К}$ одержуємо вираз для розрахунку $N_{\text{пер.пит}}$:

$$N_{\text{пер.пит}} = [3,7858 + (0,0995M_{\text{T}}/S - 1,125)M_{\text{T}}/S] \ln(1 + 0,09682M_{\text{T}}/S) \text{ кВт/т.} \quad (19)$$

Для знаходження оптимуму функції (19) її слід продиференціювати по M_{T}/S і одержаний результат прирівняти до нуля:

$$\frac{dN_{\text{пер.пит}}}{d(M_{\text{T}}/S)} = (0,199M_{\text{T}}/S - 1,125) \ln(1 + 0,09682M_{\text{T}}/S) + [3,7858 + (0,0995M_{\text{T}}/S - 1,125)M_{\text{T}}/S] 0,09682 / (1 + 0,09682M_{\text{T}}/S) = 0. \quad (20)$$

Розв'язавши трансцендентне рівняння (20) методом підбору, знаходимо $(M_{\text{T}}/S)_{\text{опт}} = 2,33$.

Аналогічно можна одержати оптимальні значення параметра M_{T}/S для інших подових сталеплавильних агрегатів, наприклад, для дугових електросталеплавильних

печей. Одержані у такий спосіб оптимальні значення параметра M_T/S повинні враховуватись при проектуванні та реконструкції подових сталеплавильних печей.

ВИСНОВКИ. При використанні архімедової сили одержані математичні моделі потужності перемішування ванни мартенівської печі пухирцями CO в період чистого кипіння (рівняння (15), (17) і (19)). Запропоновано спосіб знаходження точного значення величини \bar{H} – середнього шляху спливання пухирців CO (формула (14)). Знайдено оптимальне співвідношення між садкою печі і площею дзеркала ванни.

Список літератури

1. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. – М.: Металлургия, 1967. – 792 с.
2. Меджибожский М. Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. – К.; Донецк: Вища школа, 1986. – 280 с.
3. Сабирзянов Т. Г. Некоторые вопросы барботажа сталеплавильных ванн пузырями CO // Изв. высших учебн. заведений. Черн. металлургия. – 1975. – № 5. – С. 42-46.

Т. Сабирзянов, І. Сабирзянов

К вопросу о мощности перемешивания сталеплавильной ванны во время чистого кипения

Получены математические модели мощности перемешивания сталеплавильной ванны мартеновской печи пузырьками CO в период чистого кипения. Предложен способ нахождения точного значения среднего пути всплытия пузырьков CO. Найдено оптимальное соотношение между садкой печи и площадью зеркала ванны.

T. Sabirzyanov, I. Sabirzyanov

To the question about power of interfusion of steel-smelting bath during the clean boiling

The mathematical models of power of interfusion of steel-smelting bath of martin stove are got by bubbles CO in the period of the pure boiling. The method of finding of the exact meaning of middle way of emerging of bubbles is offered CO. Optimum correlation between a sadkoy stove is found and area of mirror of bath.

Одержано 28.09.09

УДК 62.505

О.К. Дідик, канд. техн. наук, М.С. Віхрова, асист.
Кіровоградський національний технічний університет

Ідентифікація параметрів динаміки руху зернозбирального комбайну за даними експерименту

За результатами експериментального дослідження гальмівних систем зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич», проведеного на базі Південно-Української філії УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, одержано функціональну залежність гальмівного шляху комбайна від початкової швидкості, маси, гальмівного зусилля і коефіцієнта динаміки комбайна та визначені динамічні характеристики прямолінійного руху зернозбирального комбайна.

зернозбиральний комбайн, динамічні характеристики, прямолінійний рух

Постановка проблеми. Для підвищення ефективності збору урожаю та зменшення втрат зерна необхідно управляти швидкістю руху комбайна з метою підтримання на оптимальному рівні продуктивності роботи комбайна. На швидкість руху комбайну, а відповідно і на продуктивність, впливає багато факторів. Комбайнер не в змозі одночасно контролювати їх та підтримувати оптимальне значення швидкості, тому виникає необхідність розробки автоматичної системи управління швидкістю руху комбайна. Для розробки такої системи потрібно оцінити динаміку комбайна та визначити параметри диференційного рівняння, що описує його рух.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В статті [1] наведені результати експериментального дослідження гальмівних систем зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич». При обробці результатів експерименту, з деякими припущеннями, рух комбайну розглядався як рівносповільнений, але аналіз літературних джерел [2-4], в яких описується рух колісних машин, показав, що така модель комбайна не враховує всі сили, задіяні під час руху, та не достатньо точно описує його динамічні характеристики.

Мета статті. Ідентифікація параметрів передаточної функції, що описує прямолінійний рух за результатами експериментального дослідження гальмівних систем зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич».

Основні матеріали досліджень. В статті [1] зазначено, що в якості об'єкта досліджень вибрано зернозбиральний комбайн КЗС-9 «Славутич» загальною масою $m = 17135$ кг. Комбайн має гідростатичну трансмісію ГСТ-112, 4-діпазонну механічну трансмісію моста ведучих коліс, фрикційні дискові гальмівні механізми між коробкою діапазонів і бортовими редукторами, з гідравлічним приводом від педалей управління, без систем підсилення. Комбайну надавалась постійна за величиною початкова швидкість $V_0 = 6,94$ м/с (25 км/год), яка відповідає максимальній проектній швидкості комбайна. Передача коробки діапазонів – 4 (транспортна). Швидкість повітря – 0,7-3,8 м/с. Покрытие випробувальної площадки – бетонне. Робоче гальмування виконувалося: гідростатичною трансмісією та комбінованим гальмуванням, при зусиллях 200 – 600 Н, які були прикладені до заблокованих педалей фрикційних гальм. При проведенні

експерименту, для різних значень зусилля на фрикційних гальмах вимірювався гальмівний шлях. Результати дослідження ефективності гальмування комбайна наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати дослідження ефективності гальмування комбайна КЗС-9 гідростатичною трансмісією і фрикційними гальмами одночасно

Характеристика	Значення характеристики при початковій швидкості гальмування $V_0 = 6,94$ м/с (25 км/год)					
Зусилля прикладене до заблокованих педаль фрикційних гальм, Н	200	250	300	400	500	600
Гальмівний шлях, м	17,35	16,82	15,75	12,27	9,53	7,96

Як відомо з [2], рівняння прямолінійного руху колісної машини може бути представлене у вигляді

$$m_M \delta_M \frac{dV_M}{dt} = \frac{M_D u_{TP} \eta_{TP}}{r_K} - P_C, \quad (1)$$

де m_M – маса машини;

δ_M – коефіцієнт приведеної маси;

V_M – швидкість машини;

M_D – момент на валу двигуна;

u_{TP} – передаточне число трансмісії;

η_{TP} – коефіцієнт корисної дії трансмісії;

r_K – радіус колеса;

P_C – сума зовнішніх та внутрішніх сил.

Для випадку гальмування комбайну складову, пов'язану з моментом на валу двигуна, можна замінити гальмівним зусиллям F , а суму зовнішніх та внутрішніх сил P_C (сила опору повітря, сила опору коченню, моменти опору коченню та ін.), яка є функцією швидкості руху комбайну, можна замінити з деяким наближенням добутком $k \cdot V$, де коефіцієнт k є характеристикою динаміки комбайну, який необхідно визначити. Якщо знехтувати інерційністю коліс та елементів трансмісії ($\delta_M = 1$), то рівняння руху комбайну при гальмуванні матиме наступний вигляд

$$m \frac{dV}{dt} = -F - k \cdot V. \quad (2)$$

Враховуючи початкові умови в момент часу $t = 0$: прискорення $\frac{dV_0}{dt} = 0$, початкова швидкість $V_0 = 6,94$ м/с, відстань $S_0 = 0$, виконаємо інтегрування рівняння (2) та в результаті одержимо вираз для швидкості руху комбайну

$$V = -\frac{F}{k} + \left(V_0 + \frac{F}{k} \right) e^{-\frac{k \cdot t}{m}}. \quad (3)$$

Оскільки $V = \frac{dS}{dt}$, то, виконавши інтегрування виразу (3), одержимо рівняння для визначення шляху

$$S = \frac{V_0 m}{k} + \frac{F m}{k^2} - \frac{F}{k} t - \left(\frac{V_0 m}{k} + \frac{F m}{k^2} \right) e^{-\frac{k \cdot t}{m}}. \quad (4)$$

Так як за результатами експерименту відомий лише гальмівний шлях, тому необхідно визначити час, за який комбайн зупиниться. Для цього у вираз (3) підставимо значення $V = 0$ та знайдемо час зупинки.

$$t_3 = -\frac{m}{k} \ln \left(\frac{1}{\frac{V_0 k}{F} + 1} \right). \quad (5)$$

Якщо підставити вираз (5) у формулу (4), матимемо шлях, який пройде комбайн до повної зупинки

$$S_3 = \frac{V_0 m}{k} + \frac{F m}{k^2} \ln \left(\frac{1}{\frac{V_0 k}{F} + 1} \right). \quad (6)$$

Отже, в результаті одержано функціональну залежність гальмівного шляху комбайна від початкової швидкості V_0 і маси комбайну m , які відомі, та гальмівного зусилля F і коефіцієнту k , що характеризує динаміку комбайна, які необхідно визначити. Функціонально виразити шукані невідомі через гальмівний шлях неможливо, тому необхідно застосовувати інші математичні методи для розв'язання даної задачі.

При проведенні експерименту були одержані шість значень гальмівного шляху при різних значеннях зусилля на гальмах, а так як комбайн використовувався один та зовнішні умови практично не змінювались, тому можна вважати, що коефіцієнт k для всіх випробувань залишався незмінним.

Для визначення коефіцієнту k та гальмівних зусиль F при різних значеннях гальмівного шляху S_3 була розроблена програма в середовищі Matlab. Варіюванням шуканих параметрів в широких межах, підбирались такі значення, при яких різниця розрахованого значення гальмівного шляху та визначеного експериментально досягала мінімуму для всіх шести випробувань. Результати розрахунків зведені в таблицю 2. На рисунках 1 та 2 зображені графіки зміни швидкості руху та пройдений шлях до повної зупинки комбайна для значень першого випробування.

Таблиця 1 – Результати розрахунків динамічних параметрів комбайна

Характеристика	Значення характеристики при початковій швидкості гальмування $V_0 = 6,94$ м/с (25 км/год)					
	Гальмівний шлях, м	17,35	16,82	15,75	12,27	9,53
Сумарна сила гальмування F , кН	21,84	22,6	24,26	31,69	41,35	49,89
Коефіцієнт k , кг/с	423					

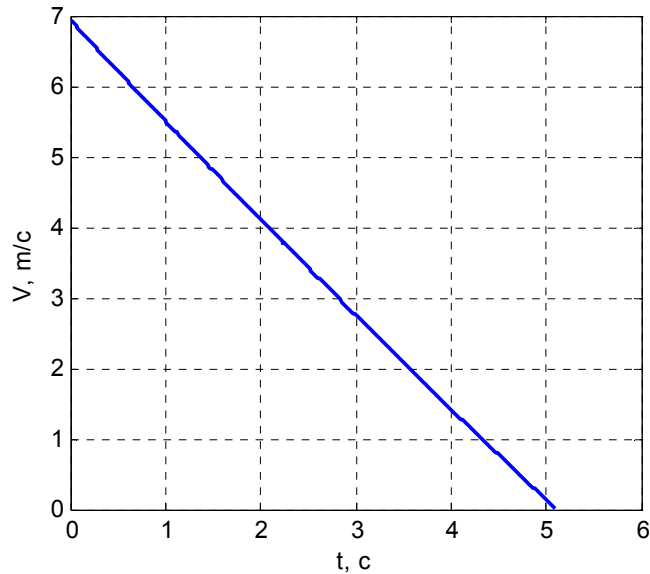


Рисунок 1 – Графік зміни швидкості руху комбайну при гальмуванні

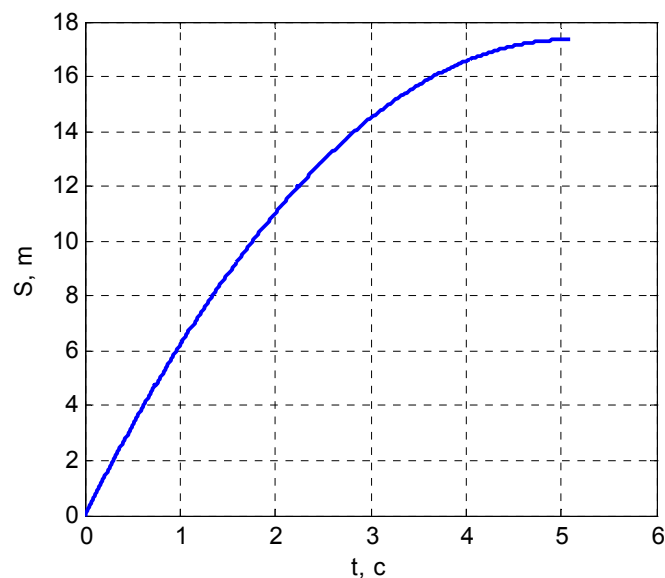


Рисунок 2 – Графік пройденого шляху до повної зупинки комбайну

Висновок. В результаті проведених розрахунків на основі експериментальних досліджень, виконаних на базі Південно-Української філії УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, визначені динамічні характеристики прямолінійного руху зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич».

Список літератури

1. Митрофанов О. Дослідження характеристик та особливостей взаємодії гальмівних систем самохідних сільгоспмашин з гідростатичним приводом ведучих коліс. // Зб. наук. праць УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – Вип.12(26).– Дослідницьке: УкрНДПВТ, 2008. – С.347-351.
2. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин: Учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
3. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель. /Под ред. А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.

4. Аксенов П.В. Многоосные автомобили. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 280 с.

А. Дидык, М. Вихрова

Идентификация параметров динамики движения зерноуборочного комбайна по данным эксперимента

По результатам экспериментального исследования тормозных систем зерноуборочного комбайна КЗС-9 «Славутич», проведенного на базе Южно-Украинского филиала УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого, получена функциональная зависимость тормозного пути комбайна от начальной скорости, массы, тормозного усилия и коэффициента динамики комбайна и определены динамические характеристики прямолинейного движения зерноуборочного комбайна.

O. Didyk, M. Vihrova

Authentication of parameters of motion dynamics of combine harvester from experiments data

On results experimental research of the brake systems of combine harvester KZS-9 «Slavutich», the conducted South-Ukrainian branch on a base UkrNIIPVT the name of L. Pogorelogo, is collected functional dependence of braking distance of combine from initial velocity, mass, brake effort and coefficient of dynamics of combine and dynamic descriptions of rectilinear motion of combine harvester are definite.

Одержано 25.09.09

УДК 631.514

А.А. Шиян, канд. техн. наук, С.В. Сорокун, асп.

Вінницький національний технічний університет

Моделювання впливу навчання операторів на ефективність багатостадійних технологічних процесів

Відображено загальну задачу про врахування індивідуальних характеристик навчання операторів на ефективність багатостадійних технологічних процесів (БСТП) з людино-машинним управлінням. Побудовано три моделі для врахування впливу навчання операторів на загальну тривалість БСТП. Наведена теорема, яка вирішує узагальнену задачу оптимізації. Розроблено методи для ідентифікації індивідуальних характеристик навчання операторів.

багатостадійний технологічний процес, модель оператора, навчання операторів, задача ідентифікації, вплив операторів

Багатостадійні технологічні процеси широко застосовуються в умовах сучасної України. Прикладами їх є процеси хімічного та нафтохімічного синтезу, атомна енергетика, літако- та автомобілебудування тощо. Розробка універсальних моделей, які виявляють спільне для широкого кола таких процесів, є важливою науковою та прикладною задачею, рішення якої дозволить сформувати системи автоматизованого управління та підтримки прийняття рішень нового покоління.

Багатостадійний технологічний процес (БСТП) – це сукупність однакових (в тому чи іншому смислі) зв'язаних між собою окремих стадій, які пов'язані між собою

4. Аксенов П.В. Многоосные автомобили. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 280 с.

А. Дидык, М. Вихрова

Идентификация параметров динамики движения зерноуборочного комбайна по данным эксперимента

По результатам экспериментального исследования тормозных систем зерноуборочного комбайна КЗС-9 «Славутич», проведенного на базе Южно-Украинского филиала УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого, получена функциональная зависимость тормозного пути комбайна от начальной скорости, массы, тормозного усилия и коэффициента динамики комбайна и определены динамические характеристики прямолинейного движения зерноуборочного комбайна.

O. Didyk, M. Vihrova

Authentication of parameters of motion dynamics of combine harvester from experiments data

On results experimental research of the brake systems of combine harvester KZS-9 «Slavutich», the conducted South-Ukrainian branch on a base UkrNIIPVT the name of L. Pogorelogo, is collected functional dependence of braking distance of combine from initial velocity, mass, brake effort and coefficient of dynamics of combine and dynamic descriptions of rectilinear motion of combine harvester are definite.

Одержано 25.09.09

УДК 631.514

А.А. Шиян, канд. техн. наук, С.В. Сорокун, асп.

Вінницький національний технічний університет

Моделювання впливу навчання операторів на ефективність багатостадійних технологічних процесів

Відображено загальну задачу про врахування індивідуальних характеристик навчання операторів на ефективність багатостадійних технологічних процесів (БСТП) з людино-машинним управлінням. Побудовано три моделі для врахування впливу навчання операторів на загальну тривалість БСТП. Наведена теорема, яка вирішує узагальнену задачу оптимізації. Розроблено методи для ідентифікації індивідуальних характеристик навчання операторів.

багатостадійний технологічний процес, модель оператора, навчання операторів, задача ідентифікації, вплив операторів

Багатостадійні технологічні процеси широко застосовуються в умовах сучасної України. Прикладами їх є процеси хімічного та нафтохімічного синтезу, атомна енергетика, літако- та автомобілебудування тощо. Розробка універсальних моделей, які виявляють спільне для широкого кола таких процесів, є важливою науковою та прикладною задачею, рішення якої дозволить сформувати системи автоматизованого управління та підтримки прийняття рішень нового покоління.

Багатостадійний технологічний процес (БСТП) – це сукупність однакових (в тому чи іншому смислі) зв'язаних між собою окремих стадій, які пов'язані між собою

спільною ціллю функціонування. Окремі стадії, як правило, потребують здійснення управління оператором. В свою чергу, діяльність операторів потрібно узгоджувати – координувати. Таким чином, отримуємо БСТП з людино-машинним управлінням (ЛМУ).

Вперше БСТП досліджувалися у фундаментальних роботах [1, 2], де були поставлені та вирішені задачі моделювання та оптимізації для широкого кола окремих процесів.

Роль оператора в сучасних БСТП з ЛМУ є вирішальною, так як саме він здійснює первинний контроль за окремими стадіями та стискання інформації до рівня, який потрібен координатору для управління «в цілому».

Моделі оператора розвивалися переважно в рамках автоматизованих систем управління [3].

Важливе значення відіграє навчання оператора, внаслідок якого характеристики операторів змінюються із часом (в бік тих значень, які потрібні для підвищення ефективності процесу). Моделі навчання операторів розглянуто в [4-6], де показано [5], що найбільш поширеною є експоненціальна модель. Але в роботах [4-6] основна увага зосереджена лише на самому процесі навчання, тоді як клас задач про оптимізацію виконання спільної роботи сукупністю операторів, які мають індивідуальні властивості навчання, залишився без розгляду.

Мета статті – побудова математичної моделі для опису впливу індивідуальних особливостей навчання операторів на ефективність БСТП з ЛМУ.

Метод вирішення задачі.

Розглядаючи характерні часові проміжки, можна виділити два різні класи моделей для операторів у БСТП з ЛМУ. Перший клас моделей – це є власне моделювання специфіки здійснюваного операторами управління етапами БСТП. Другий клас задач – це моделювання зміни характеристик оператора внаслідок навчання.

Ці два класи задач вирішувалися окремо. Однак можна, використовуючи відомий у синергетиці метод [7] виділення «швидких» та «повільних» перемінних, об'єднати ці задачі в єдину. Поточна робота оператора є «швидкими» перемінними, які проявляються під час виконання ними функціональних обов'язків. Зміна індивідуальних характеристик оператора внаслідок навчання є «повільною» перемінною, яку можемо вважати незмінною протягом певного періоду їх роботи в БСТП.

Таким чином, модель БСТП з ЛМУ виглядає так. Оператори, спостерігаючи «свій» етап БСТП, опрацьовують інформацію, стискаючи її у відповідності до поточного рівня навчання, який є незмінним протягом декількох циклів виконання ними роботи. опрацьовану інформацію вони передають до координатора – людини або групи людей, які опрацьовують отриману від операторів інформацію та узгоджують її із метою діяльності БСТП з ЛМУ.

Модель оператора.

Завданням оператора є управління певною окремою стадією БСТП. Для цього він спостерігає велику кількість параметрів та характеристик, агрегує інформацію та стискає її до порівняно невеликої кількості параметрів, які повідомляє координатору.

В [5] показано, що, як правило, процес стискання інформації досить непогано можна описати за допомогою експоненціальної функції, тобто

$$I(t) = I_0 \exp(-A(\tau) \cdot t), \quad (1)$$

де I_0 – початкове значення характеристики;

$A(\tau)$ – ефективність стискання інформації, яка залежить від рівня навченості оператора і яка є константою протягом часу стискання t . Звичайно, $A(\tau)$ є зростаючою функцією, тобто $A'(\tau) > 0$, що відповідає ситуації, коли із навчанням швидкість стискання інформації оператором зростає.

Нехай i нумерує стадії БСТП, а j – операторів ($i, j \in 1, \dots, n$). Тоді $A_{ij}(\tau)$ є ефективність стискання інформації j -им оператором, який працює на i -ій стадії. Початкове значення інформації I_{0i} теж буде залежати від стадії БСТП.

Подальший розгляд задачі проведемо за умови виконання такого припущення.

Припущення 1. Ефективність стискання інформації операторами не залежить від стадії БСТП, якою вони керують, тобто $\forall i: A_{ij}(\tau) = A_j(\tau)$.

Це припущення відповідає тому, що ефективність стискання інформації є якраз тією характеристикою оператора, яка відповідає його індивідуальним особливостям. До того ж, сучасні оператори працюють в умовах, коли вони виконують одну й ту ж роботу по управлінню незалежно від свого робочого місця. Фактично, вони мають справу сьогодні із характеристиками технологічного процесу, які виражаються в умовній, символічній, піктографічній чи кольоровій формі.

В якості моделі для функції навчання оператора виберемо таку

$$A_j(\tau) = a_j^\infty + (a_j^0 - a_j^\infty) \cdot e^{-k_j \tau}, \tau \geq 0, \quad (2)$$

де a_j^0 – початкове значення рівня навченості j -го оператора;

a_j^∞ – найвище (асимптотичне) значення, а $k_j > 0$ характеризує швидкість навчання даного оператора.

Як показано в [4,5], така модель описує основні закономірності процесу навчання людини.

Моделі впливу навчання операторів на ефективність управління БСТП.

Координатор задає цільову функцію для БСТП з ЛМУ. Нижче розглянуто декілька найбільш часто використовуваних моделей для завдання цілей для таких систем. Ці моделі відповідають свого роду «послідовній» агрегації координатором інформації, отриманої від операторів: оператори повідомляють йому заданим чином опрацьовану інформацію, яку він узагальнює.

Модель 1. Координатор надає всім операторам однаковий час для того, щоб опрацювати отриману інформацію. В цьому випадку підвищення ефективності управління БСТП полягає в тому, що повинна мінімізуватися кількість інформації, яка повідомляється координатору від усіх операторів, тобто

$$\min \sum_{j \in P} p_i \cdot \exp(-A_j(\tau) \cdot t), \quad (3)$$

де p_i – доля інформації, яка приходить на i -ту стадію.

Мінімізація проводиться за всіма можливими перестановками операторів між стадіями БСТП.

Оскільки змінюється з часом τ , операцію оптимізації (3) потрібно час від часу повторювати. Відповідні результати будуть описані нижче.

Модель 2. Координатор надає операторам час, достатній для того, щоб стиснути відкинути певний відсоток інформації – наприклад, передати йому всього 10% від інформації, яку оператор отримує в якості характеристики тієї стадії БСТП, якою він управляє. Використовуючи співвідношення (1), неважко побачити, що ця умова може бути записана у вигляді такого співвідношення:

$$\forall j: A_j(\tau) \cdot t_j = \text{const} = c. \quad (4)$$

При цьому константа c однакова для всіх операторів.

Природною цільовою функцією оператора є мінімізація сумарного часу роботи операторів, що приводить до умови

$$\sum_{j=1}^n \frac{1}{A_j(\tau)} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Умова (5) по суті означає, що «операторів потрібно навчати» – що якраз і відповідає умові $A'(\tau) > 0$. тобто досягається *завжди* (і саме тому «нецікаво» з точки зору математичного моделювання).

Модель 3. Будемо тепер вимагати, щоб оператор стискав отримувані від стадії БСТП інформацію до певного *заданого координатором* рівня, однакового для всіх операторів. Ця вимога відповідає широкому класу виробничих умов, де від оператора найчастіше якраз і вимагається, щоб він сповістив координатору *загальну* інформацію про стадію БСТП (це задається, наприклад, форматом звітних документів).

В цьому випадку, як неважко бачити із (1), кожен із операторів вирішує таку задачу:

$$\forall j: A_j(\tau) \cdot t_j = c_i = \ln\left(\frac{I_0^i}{I_i}\right). \quad (6)$$

Тут величина c_i задається координатором як характеристика даної стадії (тобто даного робочого місця оператора).

Для цієї задачі цільова функція задається як мінімізація загального часу, який витрачають оператори на обробку інформації, тобто

$$\min \sum_{j \in P} c_i \cdot \frac{1}{A_j(\tau)}. \quad (7)$$

Аналіз моделей 1-3.

Як ми вже зазначали, модель 2 є тривіальною.

Моделі ж 1 та 3 приводять до тієї ж самої задачі оптимізації, яка формулюється таким чином.

Задача. Задано дві рівнопотужні множини чисел $x_i \in X$, $y_i \in Y$, $x_i, y_i \in R$, $i=1, \dots, n$. Потрібно мінімізувати добуток

$$I = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \quad (8)$$

для усіх можливих перестановок множників x_i при незмінному порядку множників y_i .

Методом математичної індукції легко довести, що задача (8) вирішується таким чином.

Впорядкуємо числа $x_i \in X$ в порядку спадання, а числа $y_i \in Y$ – в порядку зростання. Тобто сформуємо із чисел $x_i \in X$ та $y_i \in Y$ такі послідовності

$$x_1 > x_2 > x_3 > \dots > x_n, \quad (9)$$

$$y_1 < y_2 < y_3 < \dots < y_n. \quad (10)$$

Тоді має місце така теорема.

Теорема. Для впорядкованих у відповідності до (9) та (10) множин чисел $x_i \in X$, $y_i \in Y$, $x_i, y_i \in R$, $i=1, \dots, n$ задача мінімізації величини (8) має рішення

$$I = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i. \quad (11)$$

Задача ідентифікації індивідуальних характеристик навчання оператора.

Мета ідентифікації – визначити рівень навченості операторів з метою подальшого їх впорядкування для виконання умов наведеної вище теореми.

Задача ідентифікації індивідуальних характеристик навчання оператора вирішується за допомогою організації «паралельної» обробки координатором інформації, отриманої від операторів.

Так як функція навчання кожного оператора має три параметри, то для її повної ідентифікації необхідно визначити значення $A(\tau)$ для трьох довільних значень τ_1 , τ_2 і τ_3 : це дозволить, використовуючи (2), знайти a_j^0 , a_j^∞ , і k_j .

Дуже важливою обставиною є та, що функція $A(\tau)$ допускає багатоваріантну ідентифікацію. Зокрема, значення k_j можна визначити взагалі із довільного процесу навчання, так як ним задається *темп* (швидкість) засвоєння оператором будь-яких навичок [4]. Відзначимо, що саме ця обставина покладена в основу використання рівня освіти оператора (бакалавр, магістр) в економіці [8]. Зокрема, вплив цього рівня на заробітну плату (тобто на виконання оператором покладених на нього функціональних обов'язків).

Таким чином, можна розбити задачу ідентифікації індивідуальних характеристик навчання оператора на два незалежних методи.

Перший метод – це визначення k_j . Його можна визначити, використавши набори стандартних задач чи тестів при засвоєнні оператором *загальних* знань, - тобто таких, які не включають в себе спеціальних, потрібних для даного БСТП, навичок. Незавжди бачити, що, вимірюючи рівень засвоєння знань $A(\tau)$ протягом трьох різних послідовних моментів часу τ_1 , τ_2 і τ_3 , значення k_j знаходиться як рішення такого трансцендентного рівняння:

$$\frac{A_j(\tau_2) - A_j(\tau_1)}{A_j(\tau_3) - A_j(\tau_1)} = \frac{1 - \exp(-k_j(\tau_2 - \tau_1))}{1 - \exp(-k_j(\tau_3 - \tau_1))}. \quad (12)$$

В якості $A(\tau)$ може братися, наприклад, кількість балів, отриманих оператором в одному й тому ж тесті, який застосовується для визначення рівня його знань.

Другий метод – це визначення a_j^0 і a_j^∞ . Ці параметри характеризують рівень *специфічних* навичок, і тому повинні бути ідентифіковані виключно із діяльності операторів у *спеціалізованому* інтер'єрі. Причому цей інтер'єр повинен відповідати саме тій діяльності, яку оператори здійснюють в заданому БСТП. Тут також, у загальному випадку, потрібно знати $A(\tau)$ протягом трьох різних послідовних моментів часу τ_1 , τ_2 і τ_3 : тоді задача зводиться до рішення системи трьох алгебраїчних трансцендентних рівнянь, які випливають із (2).

Однак у випадку, коли значення k_j відомо (наприклад, із застосування першого методу), задача зводиться до рішення системи двох лінійних алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} A_j(\tau_1) = a_j^\infty + (a_j^0 - a_j^\infty) \cdot e^{-k_j \cdot \tau_1} \\ A_j(\tau_2) = a_j^\infty + (a_j^0 - a_j^\infty) \cdot e^{-k_j \cdot \tau_2} \end{cases} \quad (13)$$

Як видно із (13), задача спрощується в тому сенсі, що потрібна інформація про рівень виконання оператором його *функціональних* обов'язків (*професійних* знань) всього в *два* різні моменти часу. Для цього потрібно значно менше часу, аніж для вимірювання рівня професійних знань для трьох послідовних моментів часу.

Метод вимірювання *загальних* знань оператора може бути реалізований в школі або вищому навчальному закладі, - власне, оцінки оператора протягом часу навчання можуть бути легко використані для цього.

Натомість метод вимірювання *професійних* навичок може бути використано тільки на робочому місці оператора, та ще й за використання специфічних для розглянутої БСТП способів виконання роботи. для цього підійдуть такі методи, як «ділові ігри», тренінги із спеціальності, виконання *стандартизованих* завдань тощо.

Висновки.

1. Поставлено загальну задачу про врахування індивідуальних характеристик навчання операторів на ефективність багатостадійних технологічних процесів з людино-машинним управлінням.

2. Побудовано три моделі для врахування впливу навчання операторів на загальну тривалість БСТП. Показано, що одна модель є тривіальною, а дві зводяться до однієї моделі для перестановок операторів між стадіями БСТП. Наведена теорема, яка вирішує отриману узагальнену задачу оптимізації.

3. Розроблено методи для ідентифікації індивідуальних характеристик навчання операторів. Наведено способи реалізації таких методів.

Список літератури

1. Зубарев В.В. Моделирование различения стадий многостадийного технологического процесса / В. В. Зубарев, В. Н. Лысогор, Р. В. Селезнева // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1994. - №1. – С. 13-17.
2. Лысогор В.М. Моделі керування технологічними процесами в аварійних ситуаціях: монографія / В. М. Лысогор, Р. В. Селезньова. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1997. – 92 с.
3. Кузьмин И.В. Основы моделирования сложных систем / И. В. Кузьмин. –К: Вища школа, 1981. – 360 с.
4. Новиков Д.А. Закономерности итеративного научения / Д.А. Новиков. – М.: Институт проблем управления РАН, 1998. – 77 с.
5. Новиков Д.А. Модели обучения в процессе работы // Управление большими системами / Сб. тр. – Вып. 19.– М.: ИПУ РАН, 2007. – С.5–22.
6. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 2007. – 584 с.
7. Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен. – М: Мир, 1980. – 406 с.
8. Spence M. Job Market signalling // Quarterly Journal of Economics. – 1973. – Vol.87. – P.355-374.

А. Шиян, С. Сорокун

Моделирование влияния обучения операторов на эффективность многостадийных технологических процессов

Отображена общая задача о использовании индивидуальных характеристик обучения операторов на эффективность многостадийных технологических процессов (МСТП) с человеко-машинным управлением. Построено три модели для учета влияния обучения операторов на общую длительность МСТП. Приведена теорема, которая решает общую задачу оптимизации.

A. Shiyanyan, S. Sorokun

Modelling of influence of training of operators on efficiency of manystages technological processes

The general problem about use of individual characteristics of training of operators on efficiency of manystages technological processes (MSTP) with man-machines management is displayed. It is constructed three models for the account of influence of training of operators on the general duration MSTP. The theorem which solves the general problem of optimisation is resulted.

Одержано 22.09.09

УДК 621.73+658.56

Б.Б. Кришкін, доц., канд. техн. наук, Д.В. Москаленко, магістрант
Кіровоградський національний технічний університет

Інженерний моніторинг точності процесів багатопозиційного холодного об'ємного штампування

У статті представлені результати експериментальних досліджень точності виробів, отриманих методом багатопозиційного холодного об'ємного штампування. Проведено аналітичне прогнозування параметрів точності деталей із використанням надбудов програмного редактора Microsoft Excel XP. Запропоновано практичне впровадження отриманих залежностей під час розробки та фахового супроводження процесів холодного висаджування виробів складної конфігурації
точність, деформація, холодне висаджування, регресія, жорсткість, інструмент

Задача визначення сталості проміжних наборів є однією із найскладніших при розробці технологічних процесів багатопозиційного холодного висаджування виробів складної конфігурації. Відомі діаграми граничної пластичності [1], розроблені лише для обмеженого класу сталей. Тому, враховуючи високу ефективність, продуктивність та низьку матеріаломісткість процесів холодного висаджування, доцільно мати надійну методику прогнозування сталості проміжних переходів. Аналітичні методи прогнозування, із застосуванням відповідних Microsoft Windows-сумісних редакторів, дозволяють швидко оптимізувати існуючі технології висаджування і підвищувати (у порівнянні із номографічними методами) точність розрахунків.

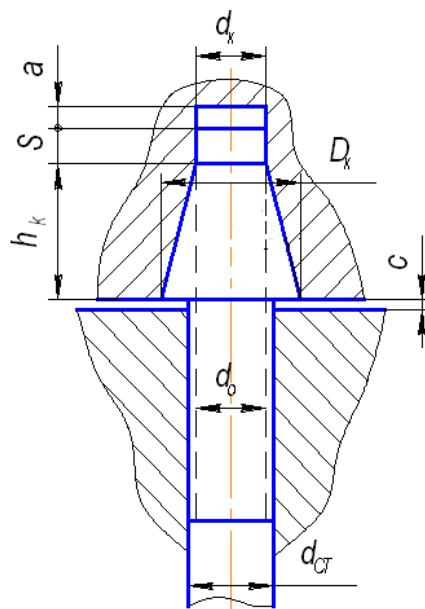


Рисунок 1 – Схема першого переходу висаджування стержньових виробів з однобічним защемленням заготовки

Під час прогнозування параметрів повздожньої сталості заготовок необхідно враховувати нелінійний характер зміцнення матеріалу в ході деформування [2], умови фіксації кінців заготовки, її розміри тощо.

Попереднє висаджування може виконуватися за двома основними схемами: з однобічним (див. рис. 1) та двобічним (рис. 2) защемленням заготовки.

Перший випадок характерний для співвідношення $h_k/d_0 \leq 2,5$. В цьому випадку критичне зусилля вигину деформованої частини заготовки можна визначити шляхом розв'язання диференційного рівняння повздожнього вигину

$$E'J \left(\frac{d^4 v}{dx^4} \right) + P_{kp} \left(\frac{d^2 v}{dx^2} \right) = 0,$$

де E – дотичний модуль пружності матеріалу заготовки;

J – осьовий момент інерції матеріалу заготовки;

v – функція можливого вигину матеріалу при висаджування.

В процесі моніторингу сталості проміжних переходів висаджування деталей сівалок СЗ-10,8 було з'ясовано, що найбільш точним вирішенням рівняння (що має задовільну відповідність практично отриманим даним) є залежність виду

$$P_{kp} = \frac{4\pi^2 E'J}{\beta^2 l_0^2},$$

де β – коефіцієнт защемлення.

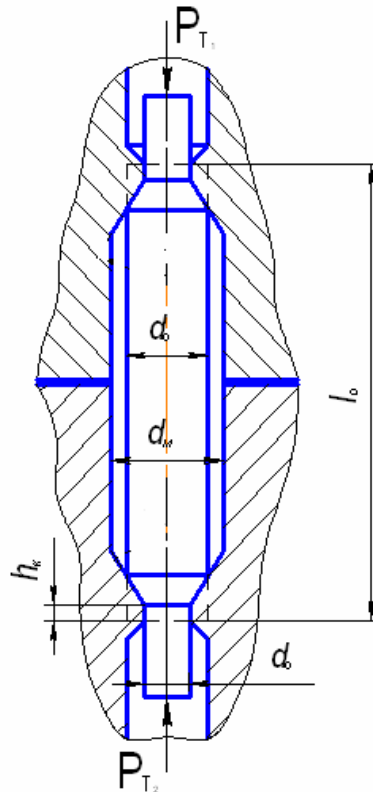


Рисунок 2 - Схема першого переходу висаджування стержньових виробів з двобічним защемленням заготовки

Далі необхідно визначити критичне напруження, при досягненні якого можна прогнозувати втрату повздовжньої сталості заготовки

$$\sigma_{кр} = \frac{4P_{кр}}{\pi d_0^2}.$$

Звідси граничне значення коефіцієнту висаджування для циліндричної заготовки можна визначити

$$[k_{зр}] = \frac{\pi}{4\beta} \sqrt{E' \sigma_{кр}}.$$

Сталість проміжного набору можна гарантувати, якщо проектоване значення коефіцієнту висаджування не буде перевищувати своїх граничних значень.

Щодо схеми із двобічним защемленням (див. рис. 2), то для неї степінь повздовжньої деформації заготовки

$$\varepsilon_i = \ln\left(\frac{l_0}{l}\right).$$

Тому в умовах зміцнення деформованого матеріалу в остаточний момент попереднього висаджування модуль пружності матеріалу досягне своїх максимальних значень

$$E'_{\max} = \frac{\sigma_s}{\ln\left(\frac{l_0}{l}\right)}.$$

Аналітична залежність степені повздовжньої деформації заготовки від геометричних параметрів процесу висаджування, як відомо, має наступний вигляд

$$\varepsilon_i^{\max} = \ln\left[\frac{2ktg\alpha}{\left(\sqrt[3]{1+6ktg\alpha}\right)-1}\right].$$

Таким чином, можна зробити висновок, що в розрахунках слід приймати допущення щодо постійності значення модулю пружності матеріалу заготовки. Моніторинг отриманих залежностей свідчить про те, що вони не враховують умови тертя в процесі холодного висаджування. Це призведе до появи відповідних похибок (попередньо їх рівень прогнозували в межах 10...15%). Втім, у подальшому було встановлено, що введення вищезазначених факторів у дослідження значно ускладнить підготовку та проведення експериментів, збільшить їх працемісткість, тому надалі вони не враховувались, тим більше в умовах відносно невеликих значень конусності головки виробу (до 12°). Подібне спрощення нами прийняте також і для висоти затиснутих частин заготовки. Значення істинного опору металу деформації приймали за вирішенням аналітичної залежності

$$\sigma_s = \sigma_i - C \exp(-\varepsilon) - C_1 \exp(N\varepsilon),$$

$$\text{де } \varepsilon = 2 \ln\left(\frac{d}{d_0}\right) \text{ (див. рис. 1,2).}$$

Емпіричні залежності, що увійшли до формули, були визначені за даними [2]. Внаслідок моніторингу прогнозування сталості процесу висаджування по схемі рис. 3 для розрахунку розмірів проміжного набору та подальшої технічної діагностики сталості процесу холодного об'ємного штампування необхідно попередньо вибрати діаметр вихідної заготовки. Для цього найбільше підходить залежність виду

$$\frac{d}{d_0} = \frac{1}{\sqrt[3]{1 + 6ktg\alpha}},$$

використовуючи яку, можна встановити всі необхідні для проектування оптимального варіанту технологічного процесу вихідні дані щодо заготовки;

Якщо під час фахового супроводження ставиться задача встановлення граничної степені деформації деформованого матеріалу з умови найповнішого заповнення конічної порожнини у пуансоні, то це можна зробити, використовуючи вже згадану раніше залежність

$$\varepsilon_i^{\max} = \ln \left[\frac{2ktg\alpha}{(\sqrt[3]{1 + 6ktg\alpha}) - 1} \right].$$

При цьому довжину конічної частини заготовки доцільно обчислювати за формулою

$$l = \frac{l_0}{\lambda},$$

де

$$\lambda = \left[1 + \left(\frac{d}{d_0} \right) + \left(\frac{d}{d_0} \right)^2 \right] / 3$$

За результатами практичної перевірки отриманих залежностей в умовах метизного цеху ВАТ «Червона Зірка» була також встановлена і емпірична формула, за допомогою якої можливо визначити граничне значення коефіцієнту висаджування k_{np} та співвідношення d/d_0 в залежності від решти параметрів проміжного набору

$$[k_{np}] = 82,2435 E^{-3,0415} \varepsilon^{-0,0337},$$

де E – модуль пружності деформованого матеріалу, ГПа;

ε – степінь деформації у відносних одиницях.

Інша емпірична залежність пов'язує вихідні параметри проміжного набору від значення кута конусності порожнини у пуансоні

$$k = 0,00046 \alpha^{5,6749} \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-0,5135}.$$

Залежність дійсна, якщо кут конусності задається в градусах, причому він не повинен перевищувати 15° .

Отже, якщо передбачається багатопозиційне холодне висаджування виробів по схемі рис. 2, моніторинг сталості проміжного набору доцільно проводити так:

- визначитися із схемою процесу, що підлягає фаховому супроводженню (при цьому жорсткість елементів заготовки по довжині слід приймати постійною); якщо знехтувати значенням недоходу блока пуансонів до блоку матриць c (див. рис. 1), то можна вважати, що максимальний діаметр порожнини зрізаного конуса відповідає $l = 1$;

- виходячи із отриманого раніше рівняння, визначаються осьові моменти інерції.

Наприклад, для циліндричної дільниці заготовки

$$J_1 = \pi \frac{d_0^4}{64}.$$

Для конічної дільниці

$$J_2 = \frac{\pi(r_0 + x \operatorname{tg} \alpha)^4}{4},$$

де x – плинне відносне значення довжини заготовки від 0 до 1:

- встановлюється граничне значення k із урахуванням коефіцієнта закріплення заготовки у пуансоні та/або матриці v

$$[k] = 2,24 \frac{\sqrt{n}}{v},$$

де n – показник зміцнення (його можна приймати за даними довідкової літератури). В спеціальній літературі існує і інша залежність для визначення вищезазначеного параметру

$$[k] = \frac{1,3}{v} \sqrt{\frac{b}{(\sigma_{so} + 0,28)b}},$$

однак вона вимагає для свого використання інформації по додатковим показникам деформованого матеріалу, що можливо отримувати лише за даними спеціальних експериментів, які практично неможливо коректно підготувати та провести у заводських умовах. Результати розрахунків водночас практично однакові;

- далі необхідно, в залежності від виду проміжного набору, сталість якого прогнозується, встановити оптимальний вигляд залежності для обчислення коефіцієнту висаджування. Якщо висаджуваний матеріал не піддавався попередньому калібруванню або волочінню, то

$$[k] = \frac{\pi}{4v} \sqrt{n} \frac{1}{u^3 \sqrt[3]{(1-u^2)}} + \frac{1}{6 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \frac{1-u^3}{u^3}.$$

Якщо конічні порожнини передбачаються і в матриці і в пуансоні, то

$$[k] = \frac{\pi}{4v} \sqrt{n} \frac{1}{u^3 \sqrt[3]{(1-u^2)}} + \frac{1}{3 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \frac{1-u^3}{u^3}.$$

В цих формулах

$$u = \frac{d_0}{D}.$$

Якщо вихідний діаметр заготовки відомий, то зазначений параметр неважко знайти із вирішення трансцендентних рівнянь

$$\frac{\pi}{4v} \sqrt{n} \frac{3-4v^2}{(1-v^2)^{1,5}} + \frac{1}{2 \operatorname{tg} \alpha} = 0$$

або відповідно

$$\frac{\pi}{4v} \sqrt{n} \frac{3-4v^2}{(1-v^2)^{1,5}} + \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = 0;$$

- у випадку, коли проміжний набір виконується послідовно двічі, слід попередньо задатися кутом конусності, а далі встановити граничне значення коефіцієнту висаджування на обох переходах

$$[k] = [k_1] + [k_2].$$

Було встановлено, що краще параметр k_1 розраховувати, а k_2 – приймати як (див. рис. 1)

$$k_2 = \frac{s+a}{d_0}$$

Подальше встановлення граничного значення коефіцієнту висаджування вже не являє собою складнощів

$$[k_1] = u + 2u^2 \operatorname{tg} \alpha + \frac{4}{3} u^2 \operatorname{tg}^2 \alpha$$

Далі було поставлене завдання практичної перевірки розробленої методики прогнозування. Моніторингові дослідження точності висаджуваних виробів по номенклатурі метизного цеху ВАТ «Червона Зірка» (м. Кіровоград) проводилися стосовно таких параметрів висаджуваних стержньових виробів як розбіжність по довжині стержня (див. рис.3, графік 1), розбіжність по висоті отримуваних головок (зона 2, рис.3) та розбіжність по діаметру головок (графік 3 на рис. 3).

Була виконана математична перевірка добротності отриманих емпіричних залежностей. З цією метою було вирішено застосувати програмну надбудову **Пакет аналізу** до програмного редактора Microsoft Excel [3].

Аналізуючи отримані результати (див. рис. 3), можна зробити наступні висновки:

- всі графіки надають достатньо високу кореляцію вихідних даних досліджень: коефіцієнти регресії практично наближаються до 1, що свідчить про чіткий та усталений взаємозв'язок параметрів фахового супроводження точності висаджуваних виробів;
- як видно із графіків нормального розподілу, у жодному із випадків (для параметру «висота головки» було проведено кореляційний аналіз пересічних значень вихідних даних) отримані результати не виходять за межу критичних значень (сіре поле на графіку), отже надалі можна керуватися принципом нормального розподілу і під час аналізу якості інших параметрів висаджуваних виробів;

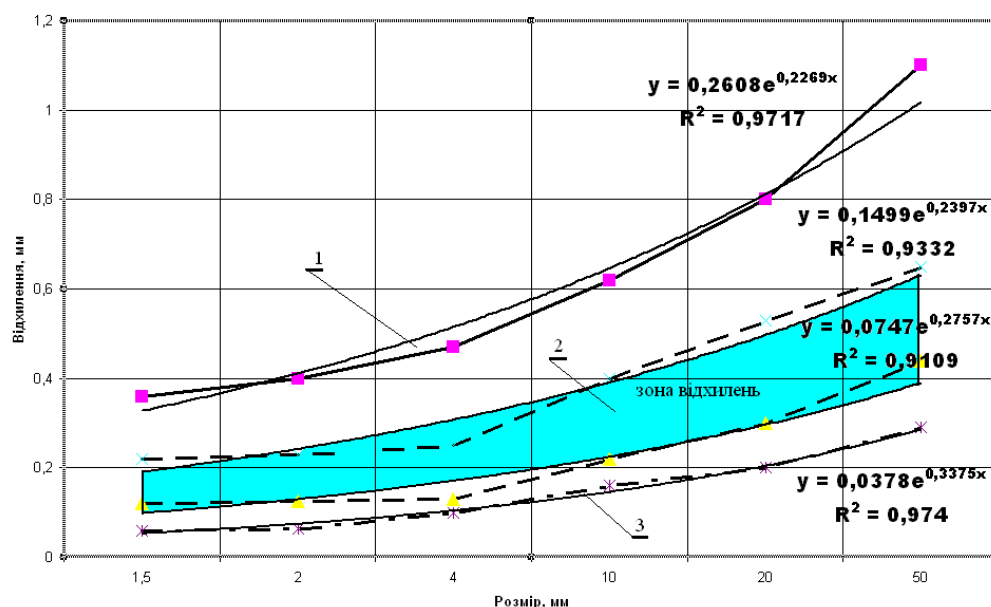


Рисунок 3 – Емпіричні залежності точності виробів після багатопозиційного висаджування від діаметру головки виробу

- порядок підрахованих решток (відхилень від кореляційного зв'язку між досліджуваними параметрами) настільки несуттєвий, що значеннями решток можна практично у подальшому нехтувати, що значно спрощує завдання кореляційного аналізу процесів багатопозиційного холодного висаджування;

Список літератури

1. Смирнов-Аляев Г.А., Чикидовский В.Н. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением. – Л.: Машиностроение, 1972. – 360с.
2. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке металлов давлением. – М.: Металлургия, 1973. – 221с.
3. Симонович С.В., Евсеев Г.А., Алексеев А.Г. Специальная информатика. – М.: АСТ-Пресс; Инфорком-Пресс, 1998. – 480с.

В. Кришкин, Д. Москаленко

Инженерный мониторинг точности процессов многопозиционной холодной объёмной штамповки

В статье представлены результаты экспериментальных исследований точности изделий, полученных методом многопозиционной холодной высадки. Проведено аналитическое прогнозирование параметров точности деталей с использованием надстроек программного редактора Microsoft Excel XP. Предложено практическое внедрение полученных зависимостей во время разработки и профильного сопровождения процессов холодной высадки изделий сложной конфигурации

B. Krishkin, D. Moskalenko

Engineering monitoring of exactness of processes of the multiposition cold by a volume stamping

The results of experimental researches of exactness of wares, got the metal of multiposition cold upsetting are presented in the article. Analytical prognostication of parameters of exactness of details is conducted with application of programmatic editor Microsoft Excel XP building up. Practical introduction of the got dependences is offered during development and type accompaniment of processes cold upsetting wares of the complicated configuration.

Одержано 04.12.09

УДК 621.7.073

Е.И. Чемерис, канд.техн.наук

Кировоградский институт регионального управления и экономики

Методологические принципы создания надежных конструкций прецизионных разделительных твердосплавных штампов

В результате исследования данных опыта проектирования, изготовления и эксплуатации прецизионных разделительных штампов последовательного действия предложены методологические принципы создания надежных конструкций данных штампов.
штампы, прецизионные, разделительные, конструкции, последовательное действие

Введение. Специфичными особенностями прецизионных разделительных штампов последовательного действия (ПРШПД) с твердосплавными сложноконтурными инструментами малых сечений (ТСИМС) являются следующие [1]:

Список літератури

1. Смирнов-Аляев Г.А., Чикидовский В.Н. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением. – Л.: Машиностроение, 1972. – 360с.
2. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке металлов давлением. – М.: Металлургия, 1973. – 221с.
3. Симонович С.В., Евсеев Г.А., Алексеев А.Г. Специальная информатика. – М.: АСТ-Пресс; Инфорком-Пресс, 1998. – 480с.

В. Кришкин, Д. Москаленко

Инженерный мониторинг точности процессов многопозиционной холодной объёмной штамповки

В статье представлены результаты экспериментальных исследований точности изделий, полученных методом многопозиционной холодной высадки. Проведено аналитическое прогнозирование параметров точности деталей с использованием надстроек программного редактора Microsoft Excel XP. Предложено практическое внедрение полученных зависимостей во время разработки и профильного сопровождения процессов холодной высадки изделий сложной конфигурации

В. Krishkin, D. Moskalenko

Engineering monitoring of exactness of processes of the multiposition cold by a volume stamping

The results of experimental researches of exactness of wares, got the metal of multiposition cold upsetting are presented in the article. Analytical prognostication of parameters of exactness of details is conducted with application of programmatic editor Microsoft Excel XP building up. Practical introduction of the got dependences is offered during development and type accompaniment of processes cold upsetting wares of the complicated configuration.

Одержано 04.12.09

УДК 621.7.073

Е.И. Чемерис, канд.техн.наук

Кировоградский институт регионального управления и экономики

Методологические принципы создания надежных конструкций прецизионных разделительных твердосплавных штампов

В результате исследования данных опыта проектирования, изготовления и эксплуатации прецизионных разделительных штампов последовательного действия предложены методологические принципы создания надежных конструкций данных штампов.
штампы, прецизионные, разделительные, конструкции, последовательное действие

Введение. Специфичными особенностями прецизионных разделительных штампов последовательного действия (ПРШПД) с твердосплавными сложноконтурными инструментами малых сечений (ТСИМС) являются следующие [1]:

- повышенное количество разделяемых контуров и, соответственно, пар инструментов;
- сложность разделяемых контуров;
- малые площади разделяемых контуров.

Уменьшение отказов данных штампов (разрушение и износ инструментов, отклонение от геометрической точности штампуемых деталей) требует повышенных требований к точности работы технологических пар инструментов, а также к их прочности [1]. Данные новые требования предполагают пересмотр имеющихся и создания принципиально новых методологических принципов проектирования ПРШПД.

В литературе по прецизионной разделительной штамповке твердосплавными штампами нет обобщенных сведений по рекомендации и систематизации данных принципов. Имеющиеся сведения включают данные о конструкциях отдельных узлов штампов, отдельных деталей, входящих в технологические и конструктивные узлы, сведения о материалах, из которых изготавливаются указанные детали.

Цель работы. Разработать методологические принципы создания надежных конструкций ПРШПД с ТСИМС.

Материал и результаты исследования.

На основании исследования данных об опыте проектирования, изготовления, эксплуатации рассматриваемых штампов, принципы создания надежных конструкций можно поделить на конструктивные, технологические и эксплуатационные.

К конструктивным принципам можно отнести:

1. Принцип приближения требований к функционированию деталей конструктивных узлов к одноименным требованиям к деталям технологических узлов.

Предусматривает ужесточение конструктивных требований к деталям конструктивных узлов до уровня одноименных требований к деталям технологических узлов (например, требования к точности изготовления матрицедержателя максимально приближены к точности изготовления вставной матрицы) [2].

2. Принцип совмещения функций деталей конструктивных узлов с функциями деталей технологических узлов.

Предусматривает создание конструкций, у которых имеются комплексные детали, выполняющие функции 2–3 отдельных деталей (например, комплексный съемник, выполняющий одновременно функции и собственно съемника, прижима и верхней плиты [2]).

3. Принцип наибольшего приближения горизонтальных периферических масс конструктивных и технологических деталей к линии, параллельной направлению раскроя и проходящей через центр давления штампа (например, верхняя плита и съемник-прижим в местах расположения направляющих узлов должны иметь минимум материала [3]).

4. Принцип наибольшего приближения вертикальных периферических масс конструктивных и технологических деталей одновременно к плоскости разделения (зеркалу матрицы) и к центру давления штампа. Данный принцип осуществляется преимущественно за счёт уменьшения длины рабочих верхних инструментов (пуансонов) и высоты матричных вставок до гранично-допустимых размеров [3].

5. Принцип граничной дифференциации технологических переходов штамповки. Предусматривает максимально возможное упрощение геометрической формы рабочего профиля инструмента (вставок и пуансонов) с целью уменьшения трудоемкости и стоимости их изготовления и ремонта, а также повышения их стойкости, т. е. надежности. Данный принцип означает увеличение количества инструментов, а, следовательно, и длины раскроя в гранично-допустимых пределах (ограничение по массе штампа), после которых наступает целесообразность создания нескольких блочных

конструкцій, замінюючих в сукупності один штамп.

К технологічним принципам можна віднести:

1. Принцип удосконалення контролю управляємих технологічних факторів. Даний принцип здійснюється шляхом удосконалення методів контролю характеристик штамуємого матеріала, а також характеристик матеріала інструментів [4].

2. Принцип обмеження кількості і меж змін впливаючих управляємих технологічних факторів. Здійснюється шляхом зведення до мінімуму впливу таких факторів (межа міцності розділюємого матеріала, товщина розділюємого матеріала, швидкість штампування [4]).

3. Принцип обмеження кількості і меж змін впливаючих трудноуправляємих факторів. Здійснюється зведенням до мінімуму впливу таких факторів (точність роботи обладнання (преса), погрешності руху заготовки розділюємого матеріала в напрямлюючих елементах штампа, коливання режущого зазору по контуру сопряження пуансон - матриця в процесі навантаження штампа, нестабільність тертя відходів і їх заклинювання в робочій порожнині матриці при їх проталкуванні; коливання загальної і локальної сили тиску прижиму на поверхню штамуємого матеріала; коливання локальної меж міцності твердого сплаву інструмента на вигин і інших його механічних характеристик [5].

К експлуатаційним принципам можна віднести:

1. Принцип обмеження порушень технологічного процесу точної штампування через вплив факторів, діючих поза технологічної системи преса-штамп. Здійснюється зведенням до мінімуму впливу факторів, діючих поза системи преса-штамп (поверхневі забруднення точної ленти іноземними включеннями різного походження; відсутність мастильно-охолоджуючого технологічного засобу (СОТС) або неефективне його підведення в зону розділення матеріала, невідповідність марки СОТС вимогам).

2. Принцип обмеження порушень технологічного процесу і правил експлуатації технологічної системи преса-штамп обслуговуваним персоналом. Здійснюється зведенням до мінімуму впливу факторів, що походять від порушень в роботі персоналу, обслуговуваним систему преса-штамп (неточна установка штампа на пресі, неправильна налагодка системи преса-штамп, порушення технологічних режимів експлуатації системи).

Фактори, що належать до експлуатаційних принципів, за своєю природою близькі до трудноуправляємих технологічних факторів. Дані принципи не є виснажливими і можуть бути доповнені новими в процесі створення нових конструкцій ПРШПД і технологій точної штампування.

Емпіричними залежностями, що вказують на зв'язок між окремими параметрами конструкції штампа, параметрами технологічного процесу точної штампування тонколистової деталі складного контуру (ТДСК) і експлуатаційними параметрами і відповідними вказаними принципами, можна рекомендувати наступне.

Конструктивні принципи:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{A_{ik}} &\approx \delta_{A_{im}} \\ k \cdot HRC_{ik} &\approx HRC_{im} \end{aligned} \right\} , \quad (1)$$

де $\delta_{A_{ik}}$ і $\delta_{A_{im}}$ – допуски розмірів, що визначають поверхні деталей конструктивних і технологічних вузлів;

HRC_{ik} і HRC_{im} – твердості матеріалів деталей конструктивних і

технологических узлов; k – коэффициент соответствия, $k=0,75\div 0,80$;

Второй принцип

$$\sum S_{ui} + S_{кр.} + S_{св} = S_{к}, \quad (2)$$

где S_{ui} – площади отдельных исполнительных поверхностей, выполняющих функции соответствующих деталей конструктивных и технологических узлов, совмещенных в одну комплексную деталь;

$S_{кр.}$ – общая площадь поверхностей под крепление комплексной детали;

$S_{св}$ – общая площадь свободных поверхностей комплексной детали;

$S_{к}$ – общая сумма площадей составляющих поверхностей комплексной детали.

Третий принцип

$$\sum B_i \rightarrow \sum B_{i\min}, \quad (3)$$

где B_i – габаритные размеры верхней и нижней плит, пуансонодержателя, съёмника и матрицы в направлении, перпендикулярном направлению раскроя;

$B_{i\min}$ – минимально допустимые указанные размеры.

Четвертый принцип

$$\sum h_i \rightarrow \sum h_{i\min}, \quad (4)$$

где h_i – толшины верхней и нижней плит, пуансонодержателя, съёмника и матрицы;

$h_{i\min}$ – минимально допустимые толшины.

Пятый принцип

$$p_i^2 / 4\pi F_i \rightarrow p_{i\min}^2 / 4\pi F_{i\min} \rightarrow 1, \quad (5)$$

где p_i – периметр контура поперечного профиля i -го инструмента;

F_i – площадь контура поперечного профиля данного инструмента;

$p_{i\min}$ и $F_{i\min}$ – минимальные значения этих параметров.

Последнее соотношение в пределе превращается в единицу, в случае, когда форма контура приближается к окружности.

Технологические принципы:

Первый принцип

$$\begin{aligned} k_s \cdot \Delta_s &\leq \delta_s, \\ k_{\sigma_e} \cdot \Delta\sigma_e &\leq \delta_{\sigma_e}, \\ k_{\sigma_u} \cdot \Delta\sigma_u &\leq \delta_{\sigma_u}, \end{aligned} \quad (6)$$

где Δ_s ; $\Delta\sigma_e$; $\Delta\sigma_u$ – погрешности измерения толщины штампуемого материала, предела его прочности и предела прочности на изгиб материала инструмента;

k_s ; k_{σ_e} ; k_{σ_u} – коэффициенты запаса точности измерений указанных величин;

δ_s , δ_{σ_e} , δ_{σ_u} – допуски на колебание значений указанных величин.

Значение величин k_s ; k_{σ_e} ; k_{σ_u} могут быть приняты равными в пределах 2–4.

Второй и третий принципы

$$\sum X_i \rightarrow \min, \quad (7)$$

где X_i – влияющий управляемый или трудноуправляемый технологический факторы.

Последнее выражение остается в силе и для первого и второго эксплуатационных принципов.

Выводы. Установлены методологические принципы создания надежных конструкций прецизионных разделительных штампов последовательного действия могут

быть использованы в процессе их проектирования, изготовления и эксплуатации.

Список литературы

1. Чемерис Е. И. Отказы прецизионных разделительных штампов последовательного действия с твердосплавными инструментами сложного контура и малого сечения // Вісник інженерної академії України. – Київ, 2007. – №3–4. – С. 252–255.
2. Чемерис Е. И. Оптимальные схемы и конструкции прецизионных разделительных штампов последовательного действия с твердосплавными сложноконтурными инструментами малых сечений // Вісник КДПУ. – Кременчук, 2006. – Вип 2. Ч. 2. –С. 49–51.
3. Патент 53372А, UA, 7B21D28/14. Розділювальний штамп / Чемерис Є.І. № 2002053813; Заяв. 08.05.2002; Опубл. 15.01.2003. Бюл. № 1. – 5 с.
4. Чемерис Е. И. Исследования стойкости твердосплавного инструмента разделительных штампов для изготовления сложноконтурных тонколистовых деталей с целью повышения его надежности: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук.– МГТУ «Станкин». – М., 1993. – 16 с.
5. Чемерис Е. И. Трудноуправляемые технологические факторы, влияющие на надежность работы прецизионных разделительных штампов последовательного действия с твердосплавными сложноконтурными инструментами малого сечения // Вісник інженерної академії України. –2007. – № 2. – С. 98–100.

Е.І. Чемеріс

Методологічні принципи створення надійних конструкцій прецизійних розділових твердосплавних штамсів

В результаті дослідження даних досвіду проектування, виготовлення і експлуатації прецизійних розділових штамсів послідовної дії запропоновані методологічні принципи створення надійних конструкцій даних штамсів.

E.I. Chemeris

Methodological principles creation of reliable constructions of precizionnykh dividing hard-alloy stamps

As a result of research of information of experience of planning, making and exploitation of precizionnykh dividing stamps of successive action methodological principles of creation of reliable constructions of these stamps are offered.

Одержано 11.12.09

УДК 631.331.54

Ф.І. Василенко, проф., канд. техн. наук, В.В. Свяцький, канд. техн. наук, Л.П. Свяцька, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

Керування якістю деталей, отриманих із склонаповнених поліамідів в ультразвуковому полі

Представлене теоретичне і експериментальне дослідження, математичні моделі для проведення комплексної техніко-економічної оцінки маршрутної технології з метою отримання (або відновлення) деталей зі склонаповнених поліамідів з наперед заданими фізико-механічними властивостями.

поліаміди, склонаповнені, відновлення, модифікатор, функціональні пластмаси, лиття під тиском, ультразвук, математична модель

Підвищення надійності роботи сільськогосподарських машин, як однієї з найважливіших передумов для успішного зростання ефективності сільськогосподарського виробництва, можливе за рахунок використання нових конструкційних рішень, освоєння і впровадження зносостійких матеріалів, в тому числі із склонаповнених поліамідів, використання передових технологій виготовлення деталей і вузлів. Зазначене є особливо важливим відносно посівних машин, так як польові роботи проводяться в короткі терміни з дотриманням жорстких агротехнічних вимог. Реалізація на практиці цих вимог можлива при досягненні належного рівня безвідмовності роботи сівалок, зниженні трудомісткості їхнього технічного обслуговування, підвищенні термінів служби агрегатів, зменшенні номенклатури і числа запасних частин.

Важливим резервом підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки, економії матеріальних і трудових ресурсів є виготовлення деталей і вузлів з матеріалів з необхідними фізико-механічними характеристиками, а також можливість їхнього відновлення.

За даними статистичних досліджень від 65% до 75% деталей сільськогосподарської техніки підлягають відновленню [1]. Ефективність їхньої повторної експлуатації досить висока. Встановлено, що найбільш інтенсивно зношуються робочі поверхні деталей типу тіл обертання (до 52% від загальної кількості деталей різної форми) [2]. Деталі циліндричної групи – вали, а також підшипники ковзання, – є одними з найбільш поширених деталей сільськогосподарських машин, від технічного стану яких залежить працездатність тракторів, комбайнів і іншої техніки.

Одним з методів відновлення зношених поверхонь підшипників ковзання є нанесення тонкошарових полімерних покриттів з термопластичних матеріалів з використанням різних наповнювачів. Використання ультразвукового впливу в процесі відновлення дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики готового виробу [3].

В даний час прогноз розвитку поліамідних композиційних матеріалів в Україні оцінюється як сприятливий. На це вказують як загальні тенденції в промисловості, так і відносно невелике використання інженерних пластиків на душу населення, що складає приблизно 0,25 кг (у західній Європі ця величина складає приблизно 3,5 кг).

Стрімкий розвиток промисловості поліамідних склонаповнених композицій за останні десять років відбувається завдяки створенню спеціальних добавок, які

дозволяють поліпшити умови переробки полімерів і, як наслідок, підвищити фізико-механічні властивості пластмасових виробів. Так, наприклад, добавка модифікатора переробки пластмас КЭМПОЛ [4] в полімерні композиції в кількості від 0,005% до 0,3% дає можливість знизити температуру переробки; збільшити зміст наповнювача; підвищити плинність розплаву; переробляти вторинні полімери з одержанням кондиційних виробів; різко знизити, а у багатьох випадках, практично виключити спрацювання литкового устаткування і прес-форм. Останній фактор є особливо важливим при переробці склонаповнених матеріалів; з цієї причини до недавнього часу більшість споживачів відмовлялась від переробки склонаповнених поліамідів з-за швидкого спрацювання прес-форм, навіть незважаючи на переваги таких матеріалів над іншими полімерами.

Також необхідно відзначити, що більшістю виробників поліамідів взятий курс на власні рецептурно-технологічні розробки і створення на їхній основі фірмового марочного асортименту пластмас, які мають яскраво виражені спеціальні властивості, що не є характерними для базових полімерів (так звані „функціональні пластмаси” [5]).

Водночас, перед конструкторами і технологами стає нелегкий вибір марки матеріалу для виробу, що проектується (або відновлюється). Утруднене проведення комплексної техніко-економічної оцінки проекту, основними критеріями якої є: можливість одержання якісного виробу на наявному або доступному устаткуванні, продуктивність процесу і мінімальна вартість виробу. При цьому ціна матеріалу не є однозначним критерієм. Мінімізація витрат може бути забезпечена, наприклад, при використанні більш дорогих, але більш міцних матеріалів, що дозволяють зменшити товщину стінки (ваги) виробу. Таким чином, вибір матеріалу пов'язаний не тільки із задачею оптимізації конструкції виробу, а і з вибором найкращого технологічного маршруту переробки і конструкції прес-форми.

Відповідно до вище наведеного у Кіровоградському національному технічному університеті проведено комплексне теоретичне і експериментальне дослідження процесу виготовлення і відновлення деталей із поліамідної сировини литтям під тиском під впливом ультразвуку [6]. Використання ультразвукового впливу на прес-форму під час формування в ній деталі (або нанесення покриття на зношені поверхні деталі) дозволяє значно поліпшити експлуатаційні характеристики готового (або відновленого) виробу.

Об'єктом даного дослідження є технологічний процес виготовлення (або відновлення) деталей із склонаповнених поліамідів литтям під тиском в ультразвуковому полі.

Поставлена задача – підвищення якості виробів із склонаповнених поліамідів в ультразвуковому полі. Вирішення її зводилося до побудови і використання математичної моделі процесу отримання (або відновлення) деталей із склонаповнених поліамідів литтям під тиском в ультразвуковому полі із залученням математичного апарату [7]. Аргументами при побудові математичної моделі для склонаповнених поліамідів КПС-30, ПА12 ВС, П68 ВС є технологічні параметри ультразвукового впливу, при цьому коефіцієнти регресії були представлені через функціональні залежності від фізико-механічних характеристик полімерної сировини. Вхідні параметри: A – амплітуда коливальних ультразвукових випромінювачів (мкм), t – час озвучування (с), Hb – твердість полімерної сировини ($\times 10^7$, Н/м²), G – межа міцності при вигині полімерної сировини ($\times 10^5$, Н/м²), Z – ударна в'язкість полімерної сировини ($\times 10^3$, Нм/м²), Tct – теплостійкість по Мартенсу полімерної сировини (°С). Вихідні характеристики: HV – твердість полімерного покриття відновленого виробу ($\times 10^7$, Н/м²), $\sigma_{ст}$ – межа міцності при стиску ($\times 10^5$, Н/м²), α – ударна в'язкість ($\times 10^3$,

Нм/м²), I – спрацювання (мкм), k – коефіцієнт тертя, T – температура в зоні тертя (°C).

Застосування методики математичної обробки даних експериментальних досліджень [6, 8] дозволяє одержувати рівняння регресії для розглянутих функцій відгуку. Ці рівняння встановлюють функціональний зв'язок між значеннями трьох груп показників: фізико-механічними характеристиками полімерної сировини, технологічними параметрами ультразвукового впливу і фізико-механічними показниками виробу, і дозволяють керувати властивостями деталей, які виготовляють (або відновлюють) із полімерів в ультразвуковому полі.

Так, наприклад, була отримана формула, що дозволяє зв'язати твердість як функцію подвійної амплітуди ультразвукових коливань з фізико-механічними властивостями вихідного матеріалу:

$$HB(a, Hb, Tct, Z, G) = (A_Z - B_Z \cdot Z) \cdot a^3 + (-A_{Tct} + B_{Tct} \cdot Tct) \cdot a^2 + (-A_G + B_G \cdot G) \cdot a - A_{Hb} + B_{Hb} \cdot Hb, \quad (1)$$

де $HB(a, Hb, Tct, Z, G)$ – твердість як функція подвійної амплітуди ультразвукових коливань і властивостей полімерної сировини;

$A_{Hb}, B_{Hb}, A_G, B_G, A_{Tct}, B_{Tct}, A_Z, B_Z$ – коефіцієнти.

Результати теоретичних досліджень відображені на рисунку 1.

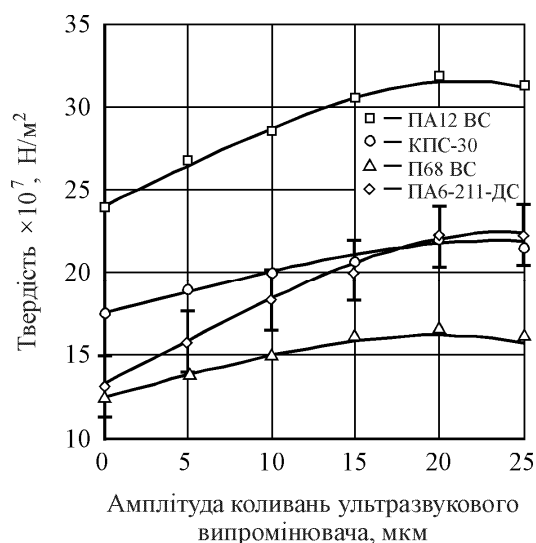
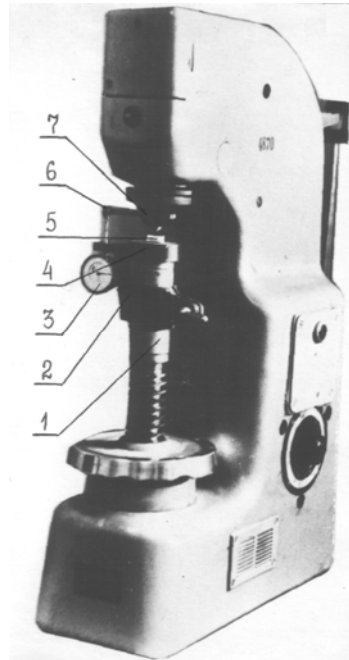


Рисунок 1 – Залежність „твердість – амплітуда коливань ультразвукового випромінювача”

Перевірку математичної моделі, представлені рівнянням (1), проводили на поліаміді марки ПА6-211-ДС ОСТ 6-11-498-79. При цьому були здійснені випробування на твердість поліамідних композицій за допомогою приладу ТШ-2, що обладнаний спеціально виготовленим пристроєм для виміру глибини вдавнення кульки (рис. 2).

При проведенні випробувань зразок 5 укладався так, щоб він щільно прилягав до столика 4 з метою уникнення вигинання при втискуванні сталеві кульки діаметром 5 мм. Гвинт 1 забезпечує підйом столика 4. Встановлювався контакт верхньої поверхні зразка з обмежувачем, що охоплює кулькову оправку 7. Створювалося попереднє навантаження до дотику упору 6 з індентором. Стрілка індикатора 3, який закріплено за допомогою тримача 2, виставлялася на нуль шкали і плавно прикладався зусилля

961Н протягом 30 ± 2 с. Глибина втискування фіксувалася з точністю до 10^{-5} м через 60 с після прикладення основного навантаження. Твердість зразків розраховувалася за значенням глибини вдавнення кульки у зразку відповідно до вимог ГОСТ 4670-91 (ИСО 2039/1-87) [9].



- 1 – гвинт прибору;
- 2 – державка;
- 3 – індикатор ИЧ10;
- 4 – столик пристрою;
- 5 – зразок, який випробують;
- 6 – упор;
- 7 – кулькова оправка

Рисунок 2 – Твердомір кульковий ТШ-2 із пристосуванням для вимірювання твердості поліамідних виробів

На рисунку 1 представлені результати перевірки математичної моделі твердості як функції подвійної амплітуди ультразвукових коливань A і фізико-механічних властивостей вихідного матеріалу ($Hb = 22 \times 10^7 \text{ Н/м}^2$; $G = 2100 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$; $Z = 45 \times 10^3 \text{ Нм/м}^2$; $T_{ct} = 190 \text{ }^\circ\text{C}$). Аналіз теоретичної кривої твердості, побудованої для поліаміду марки ПА6-211-ДС ОСТ 6-11-498-79 відповідно до математичної моделі (1), і результатів експериментальних даних впливу ультразвукового випромінювання на твердість виробів з поліаміду ПА6-211-ДС свідчить про достатній збіг теоретичних і практичних даних.

Таким чином, представлене теоретичне і експериментальне дослідження, математичні моделі, розроблені на базі цих досліджень, можуть вдало використовуватись інженерами, конструкторами, технологами при виборі марки матеріалу для виробу, проведення комплексної техніко-економічної оцінки маршрутної технології з метою отримання (або відновлення) деталей зі склонаповнених поліамідів з наперед заданими фізико-механічними властивостями.

Список літератури

1. Черновол М.И., Поединок С.Е., Степанов Н.Е. Повышение качества восстановления деталей машин. – К.: Техніка, 1989. – 168 с.
2. Черновол М.И. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники. – К.: УМК ВО, 1989. – 256 с.
3. Василенко Ф.И. Восстановление изношенных деталей сельскохозяйственных машин полиамидными композициями в ультразвуковом поле. Автореферат дис. канд. наук 05.20.03. – Минск, 1985. – 24 с.
4. Симонов-Емельянов И.Д. Специальные добавки для повышения качества литевых изделий из полимерных композиционных материалов // Литье под давлением изделий из термопластов (Материалы семинара). – М.: ЦРДЗ, 2002. – С. 4 – 7.
5. Криваткин А.М. Функциональные пластмассы // Литье под давлением изделий из термопластов (Материалы семинара). – М.: ЦРДЗ, 2002. – С. 8 – 12.
6. Лукьяненко Л., Василенко Ф., Федунец А. Моделирование процесса восстановления деталей сельско-хозяйственной техники полимерами в ультразвуковом поле // Конструювання, виробництво і експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КДТУ, 2000. – Вип. 29. – С. 288 – 293.
7. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.
8. Василенко Ф.И., Лук'яненко Л.П., Свяцкий В.В. Перевірка математичної моделі процесу відновлення деталей сільськогосподарської техніки полімерами в ультразвуковому полі // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2001. – Вип. 8. – С. 308 – 311.
9. ГОСТ 4670-91 (ИСО 2039/1-87). Пластмассы. Определение твердости. Метод вдавливания шарика. Введ. 01.01.1993. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1992. – 12 с.

Ф. Василенко, В. Свяцкий, Л. Свяцкая

Управление качеством деталей, полученных из стеклонаполненных полиамидов в ультразвуковом поле

Представлено теоретическое и экспериментальное исследование, математические модели для проведения комплексной технико-экономической оценки маршрутной технологии с целью получения (или восстановления) деталей со стеклонаполненных полиамидов с заданными физико-механическими свойствами.

F. Vasilenko, V. Svjatskiy, L. Svjatska

Quality management of the details made of glass-nylon composite in ultrasonic machining

Theoretical and experimental research, mathematical models for the complex technical-economic appraisal of technology realization with the object of the glass-nylon composite details manufacture (or restoration) with given physical and mechanical characteristic are presented.

Одержано 21.05.09

УДК 621.9.048

В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук., П.М. Великий, інж., Ю.М. Гращенко асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Технологічні характеристики процесу поділу пруткового металу на мірні заготовки способом розмірної обробки електричною дугою

Описано технологічні характеристики процесу поділу пруткового металу на мірні заготовки способом розмірної обробки електричною дугою тонкостінним видовженим пластинчатої форми електродом-інструментом, зокрема продуктивність, шорсткість обробленої поверхні і знос електрода-інструмента. Визначено вплив змінних факторів, таких як сила струму, статичний тиск рідини і робоча напруга, на продуктивність процесу, шорсткість обробленої поверхні, знос електрода-інструмента, та визначено основні керуючі фактори. Побудовано математичні моделі та графіки залежності технологічних характеристик від основних керуючих факторів, якими є сила струму I та статичний тиск рідини P_s .

поділ, спосіб, обробка електричною дугою, технологічні характеристики, продуктивність, шорсткість, знос електрода-інструмента

До 90% пруткового прокату, що надходить на машинобудівні підприємства, підлягає поділу на мірні заготовки. Для цього застосовують різання на сортових ножицях, різання на пресах в штампах, холодне ламання, різання на металоріжучому обладнанні, різання на пилках тертя, вогневе різання, електричні способи різання. Перераховані способи поділу не дозволяють одночасно отримати високу продуктивність процесу та забезпечити достатньо високу точність розмірів і незначну шорсткість обробленої поверхні, особливо при поділі важкооброблюваних металів [1].

В цьому зв'язку науковий і практичний інтерес являє процес розмірної обробки електричною дугою (РОД), який відрізняється високою продуктивністю та забезпечує достатньо високу точність розмірів і незначну шорсткість обробленої поверхні та, при необхідності, може забезпечити відсутність зони термічного впливу, зокрема за умов поділу пруткового металу на мірні заготовки [1].

Опис технологічних прийомів і послідовність технологічної схеми поділу представлено в роботі [1], проте невизначеними залишаються якісні і кількісні технологічні характеристики, дослідження і опис яких дозволить ефективно реалізувати запропонований процес.

В цьому зв'язку для розробки та реалізації конкретних технологічних процесів, необхідно визначити технологічні характеристики процесу поділу пруткового металу способом РОД, зокрема, продуктивність процесу M , шорсткість обробленої поверхні R_a , знос електрода-інструмента (EI) залежно від статичного тиску робочої рідини на вході в міжелектродний зазор P_s та сили струму I . Для цього доцільно використати математичне моделювання і статистичні методи планування та обробки результатів експериментів.

При цьому треба враховувати, що геометричні і енергетичні характеристики дуги, фізичний механізм процесу і технологічні характеристики РОД визначаються перш за все такими факторами як матеріал і полярність електродів, склад і динамічний

тиск потоку робочої рідини в зоні обробки, міжелектродний зазор, струм і напруга дуги. Склад робочої рідини, матеріал і полярність електродів в умовах РОД визначаються технологічною і експлуатаційною доцільністю і отже є заданими. Міжелектродний зазор коливається у вузьких межах, складає 0,1...0,2 мм і, в першому наближенні, може розглядатись як фактор, що помітно не впливає на характеристики процесу. Напруга при заданих умовах процесу (матеріал і полярність електродів, склад робочої рідини, приблизно постійна величина міжелектродного зазору) повністю визначається струмом і динамічним тиском потоку робочої рідини в зоні обробки. Таким чином, основними факторами, що обумовлюють геометричні та енергетичні характеристики дуги, фізичний механізм процесу і технологічні характеристики РОД, є струм і динамічний тиск потоку робочої рідини в зоні обробки. Саме тому надалі геометричні і енергетичні характеристики дуги, фізичний механізм процесу і технологічні характеристики РОД будуть, перш за все, розглядатись як функція цих двох незалежних змінних – струму I і динамічного тиску потоку робочої рідини P_d в зоні обробки.

Зазначимо, що швидкість потоку робочої рідини є недостатньо зручним та визначеним параметром для поточного контролю та керування характеристиками процесу. Тому для заданих умов експерименту, замість динамічного тиску потоку P_d доцільно користуватись статичним тиском робочої рідини на вході в міжелектродний зазор P_s , який легко контролюється і опосередковано визначає динамічний тиск потоку P_d .

Осцилограма зазначеного процесу приведена на рис. 1, яка підтверджує його стабільність.

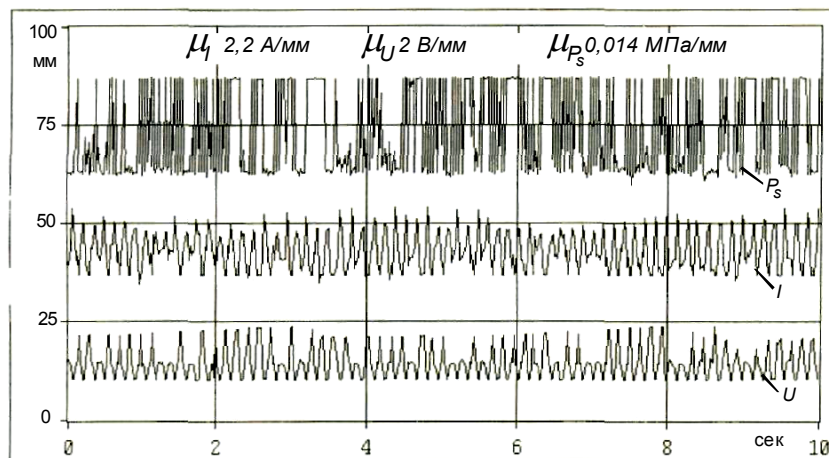


Рисунок 1 – Осцилограма струму, напруги і статичного тиску рідини

Дослідження поділу прутка на мірні заготовки тонкостінним видовженим пластинчатої форми ЕІ виконувалося у визначеній послідовності на універсальному копіювально-прошивному верстаті “Дуга-8Г” і сконструйованому та виготовленому пристрої. Умови експерименту: матеріал заготовки Сталь 20, та діаметр 20мм; матеріал ЕІ – графіт МПГ 7, при товщині 3мм; полярність електродів зворотна. Проведено серію експериментів при варіюванні керуючих факторів P_s та I на трьох рівнях, на підставі яких, з використанням методів статистичного аналізу, отримано математичні моделі, які показують вплив зазначених факторів обробки на продуктивність, шорсткість та знос ЕІ в умовах поділу пруткового металу на мірні заготовки способом РОД. Межі варіювання керуючих факторів обумовлені потребою забезпечити якість обробленої поверхні деталей.

Планування експерименту, статистична обробка отриманих результатів, побудова та аналіз математичних моделей виконані за допомогою програмного пакету STATISTICA 6.0, зокрема таких модулів як Планування експерименту, Основні статистики і таблиці, Множинна регресія, Нелінійне оцінювання.

На рис. 2 показано ступінь впливу на продуктивність процесу M змінних факторів: сили струму $I = 50 \dots 200$ А, статичного тиску рідини $P_s = 0,6 \dots 1$ МПа, робочої напруги $U = 25 \dots 30$ В.

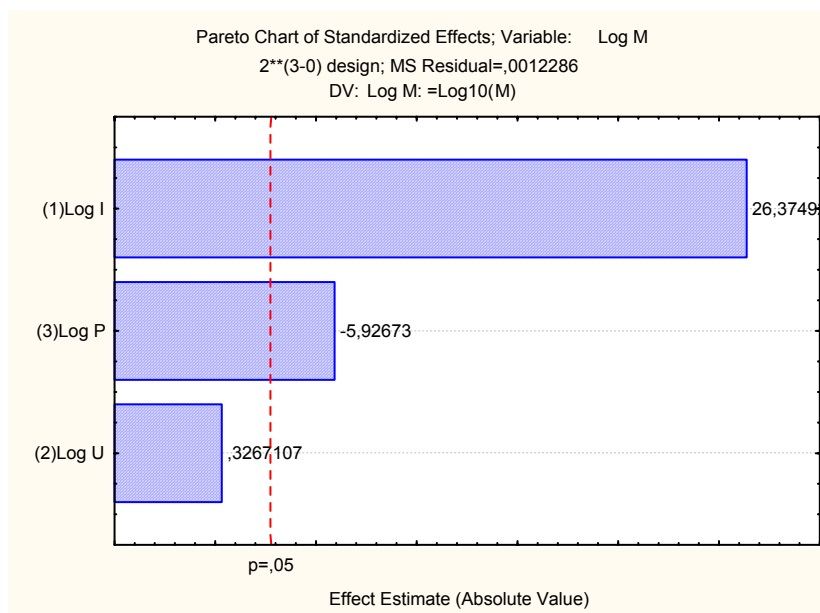


Рисунок 2 – Влив змінних факторів на продуктивність процесу поділу M

Рівняння регресії згідно коефіцієнтів:

$$y_1(M) = -0,47 + 0,97x_1 + 0,012x_2 - 0,22x_3. \quad (1)$$

Відповідно, математична модель в функції трьох факторів, $\text{мм}^2/\text{хв}$:

$$M = 0,34I^{1,086}U^{0,1}P_s^{-0,66}. \quad (2)$$

Згідно перевірки моделі за t-критерієм значущими факторами є сила технологічного струму I та статичний тиск рідини P_s . Отже, основними керуючими факторами, що впливають на продуктивність процесу, є сила технологічного струму $I = 50 \dots 200$ А, $P_s = 0,6 \dots 1$ МПа. На практиці для визначення продуктивності в залежності від режиму обробки доцільно користуватись графіками в функції двох факторів, якими об'єктивно є I та P_s . Побудовано матрицю плану 2^2 з для двох факторів: $I = 50 \dots 200$ А та $P_s = 0,6 \dots 1$ МПа.

На рис. 3 показано графік продуктивності в залежності від сили струму та статичного тиску рідини, побудований за формулою, $\text{мм}^2/\text{хв}$.

$$M = 0,5I^{1,08}P_s^{-0,66}. \quad (3)$$

Продуктивність обробки прямо пропорційна силі струму і зменшується із підвищенням тиску робочої рідини. При силі струму 200 А досягає $220 \text{ мм}^2/\text{хв}$.

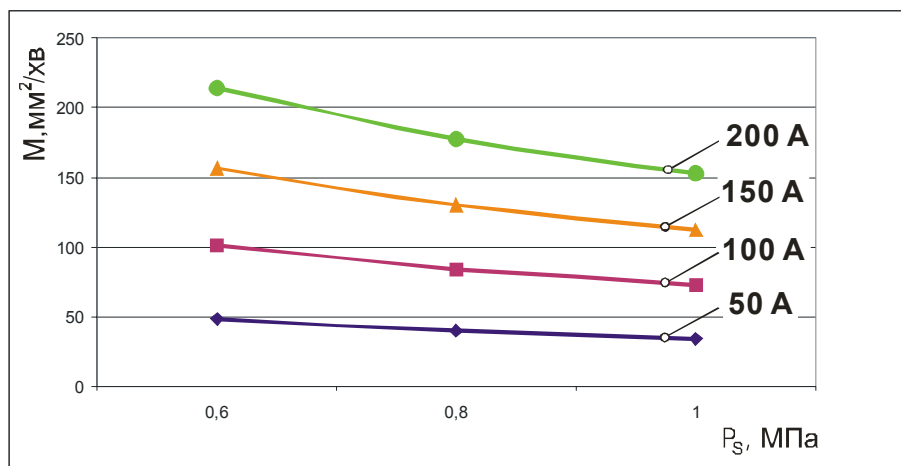


Рисунок 3 – Графік залежності продуктивності процесу від технологічного струму I та статичного тиску рідини Ps

На рис. 4 показано ступінь впливу на шорсткість Ra змінних факторів: сили струму I = 50...200 A, статичного тиску рідини Ps = 0,6...1 МПа, робочої напруги U = 25...30 В.

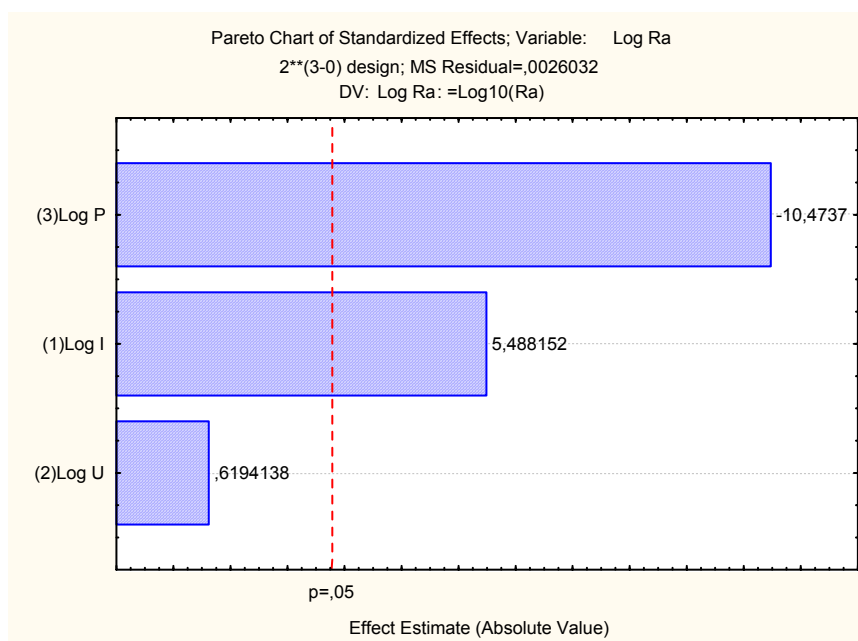


Рисунок 4 – Вплив змінних факторів на шорсткість обробленої поверхні Ra

Рівняння згідно коефіцієнтів регресії:

$$y_2(Ra) = 0,092 + 0,46x_1 + 0,52x_2 - 0,87x_3. \quad (4)$$

Математична модель в функції трьох факторів, мкм:

$$Ra = 1,24I^{0,33}U^{0,28}P_s^{-1,7}. \quad (5)$$

Згідно перевірки моделі за t-критерієм значущими факторами є сила технологічного струму I та статичний тиск рідини Ps. Отже, основними керуючими

факторами, що впливають на шорсткість обробленої поверхні, є сила технологічного струму $I = 50 \dots 200$ А, $P_s = 0,6 \dots 1$ МПа. Побудовано матрицю плану 2^2 з для двох факторів: $I = 50 \dots 200$ А та $P_s = 0,6 \dots 1$ МПа.

На рис. 5 показано графік шорсткості в залежності від сили струму та статичного тиску рідини, побудований за формулою, мкм

$$Ra = 3,39I^{0,32}P_s^{1,66} \quad (6)$$

На рис. 5 показано що шорсткість обробленої поверхні прутка Ra , зменшується при збільшенні тиску робочої рідини та зменшенні сили струму.

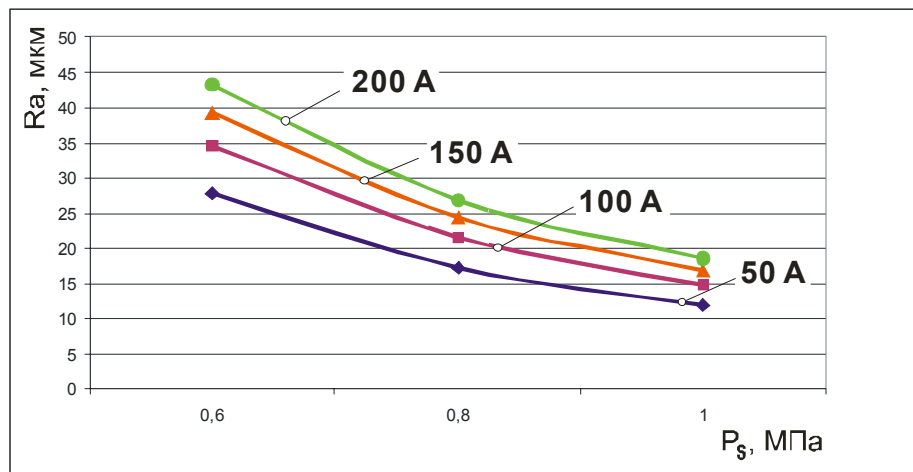


Рисунок 5 – Графік залежності шорсткості обробленої поверхні від технологічного струму I та статичного тиску рідини P_s

На рис. 6 показано ступінь впливу на знос EI змінних факторів: сили струму $I = 50 \dots 200$ А, статичного тиску рідини $P_s = 0,6 \dots 1$ МПа, робочої напруги $U = 25 \dots 30$ В.

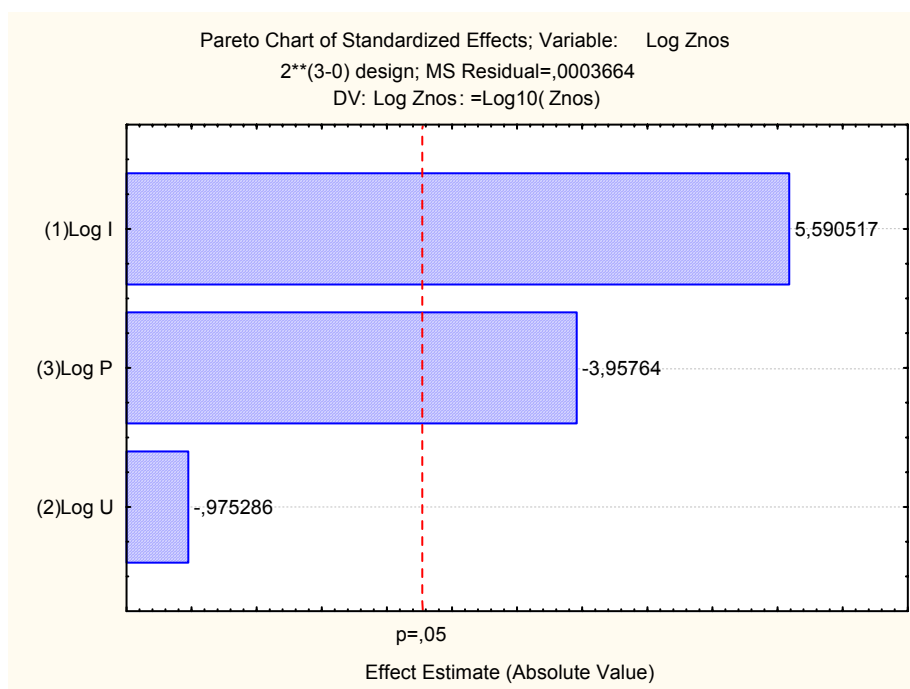


Рисунок 6 – Вплив змінних факторів на знос EI

Рівняння згідно коефіцієнтів регресії:

$$y_3(\gamma) = 0,425 + 0,78x_1 - 0,135x_2 - 0,55x_3. \quad (7)$$

Математична модель в функції трьох факторів, %

$$\gamma = 2,66I^{0,126}U^{-0,167}P_s^{-0,24}. \quad (8)$$

Згідно перевірки моделі за t-критерієм значущими факторами є сила технологічного струму I та статичний тиск рідини P_s . Отже, основними керуючими факторами, що впливають на знос ЕІ, є сила технологічного струму $I = 50 \dots 200$ А, $P_s = 0,6 \dots 1$ МПа. Побудовано матрицю плану 2^2 з для двох факторів: $I = 50 \dots 200$ А та $P_s = 0,6 \dots 1$ МПа.

З графіка на рис. 7 видно, що із підвищенням тиску робочої рідини і зменшені сили струму знос ЕІ зменшується. Графік зносу ЕІ при поділі прутка в залежності від статичного тиску рідини P_s та сили струму I , побудовано за формулою, %

$$\gamma = 1,62I^{0,114}P_s^{-0,175}. \quad (9)$$

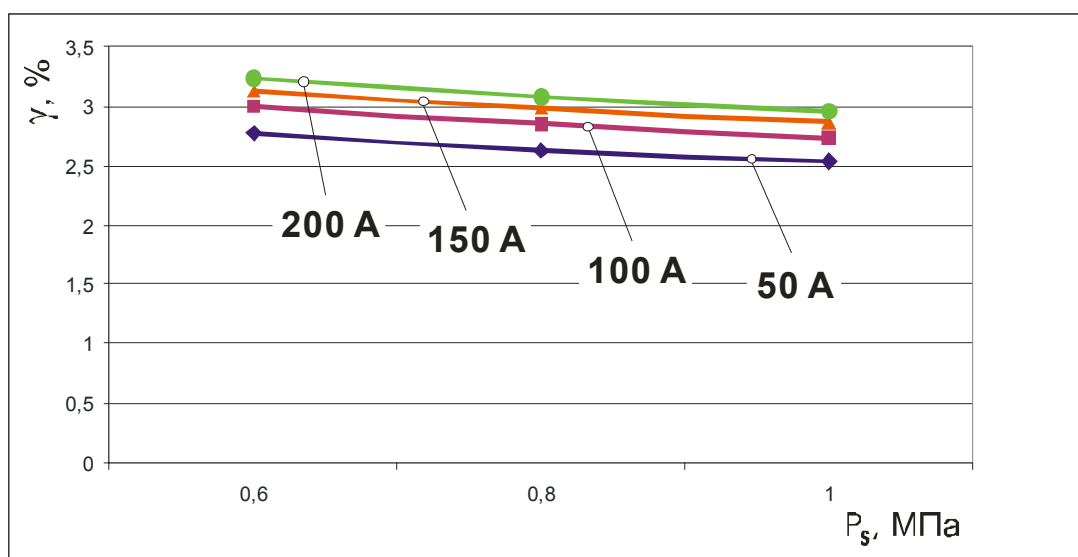


Рисунок 7 – Графік залежності зносу електрода-інструмента від технологічного струму I та статичного тиску рідини P_s

Таким чином, при заданому значенні шорсткості обробленої поверхні R_a , за величиною сили струму I і тиском P_s визначають продуктивність M і час обробки, розраховують знос ЕІ.

Досліджені і описані технологічні характеристики поділу пруткового металу на мірні заготовки способом РОД із застосуванням тонкостінного видовженого пластинчастої форми ЕІ в функції основних керуючих факторів дозволяють здійснити розробку технологічних процесів, виконати розрахунки продуктивності, трудомісткості, стійкості інструменту, керувати якістю отриманих деталей.

Отримані технологічні характеристики процесу поділу: Продуктивність процесу поділу при силі струму $I = 50$ А, складає $M = 30 \dots 50$ мм²/хв.; при $I = 100$ А, $M = 70 \dots 100$ мм²/хв.; при $I = 150$ А, $M = 110 \dots 160$ мм²/хв.; при $I = 200$ А, продуктивність знаходиться в межах $M = 150 \dots 220$ мм²/хв, зростає при збільшені сили струму і

зменшені тиску робочої рідини. Шорсткість обробленої поверхні заготовок при статичному тиску рідини $P_s = 0,6\text{МПа}$, складає $Ra\ 27\dots44\text{мкм}$; при $P_s = 0,8\text{МПа}$, $Ra\ 17\dots27\text{мкм}$; при $P_s = 1\text{МПа}$, $Ra\ 11\dots19\text{мкм}$, зростає при збільшенні сили струму і зменшенні тиску робочої рідини. Знос ЕІ при силі струму $I = 50\text{А}$, знаходиться в межах $\gamma = 2,5\dots2,8\%$; при $I = 100\text{А}$, $\gamma = 2,7\dots3\%$; при $I = 150\text{А}$, $\gamma = 2,8\dots3,1\%$; при $I = 200\text{А}$, $\gamma = 2,9\dots3,3\%$, збільшується при збільшенні сили струму і зменшенні тиску робочої рідини. Забезпечена більш висока продуктивність в порівнянні з відомим електроерозійним процесом різання дротиною.

Список літератури

1. Фотеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980, 184 с. ил.
2. Носуленко В.И. Электрическая дуга в поперечном потоке среды-диэлектрика как источник тепла для новых технологий // Электронная обработка материалов.- 2005.- №2.
3. Носуленко В.И. Розмірна обробка металів електричною дугою: Автореф. дис. д-ра техн. наук: Кіровоградський держ. техн. університет. Київ, 1999.
4. Носуленко В.І., Великий П.М., Гаращенко Ю.М. Поділ пруткового металу на мірні заготовки способом розмірної обробки дугою //Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / - Вип. 38. - Кіровоград: КНТУ, 2008. – С. 109-113.

В. Носуленко, П.Великий, Ю. Гаращенко

Технологические характеристики процесса деления пруткового металла на мерные заготовки способом размерной обработки электрической дугой

Описаны технологические характеристики процесса деления пруткового металла на мерные заготовки способом размерной обработки электрической дугой тонкостенным удлиненным пластинчатой формы электродом-инструментом, в частности производительность, шероховатость обработанной поверхности и износ электрода-инструмента. Определенно влияние переменных факторов, таких как сила тока, статическое давление жидкости и рабочее напряжение, на производительность процесса, шероховатость обработанной поверхности, износ электрода-инструмента, и определено основные управляющие факторы. Построены математические модели и графики зависимости технологических характеристик от основных управляющих факторов, которыми является сила тока I и статическое давление жидкости P_s .

V. Nosulenko, P. Velikiy, Y. Garashenko

Technological descriptions of process division of twig metal on the measured purveyances by the method of dimensional arc treatment

Technological descriptions of process of division metal of small twig are described on the measured purveyances by the method of dimensional arc treatment thin-walled extended plate form by an electrode-instrument, in particular the productivity, roughness of the treated surface and tearing down of electrode-instrument. Certainly poured in variable factors, such as strength of current, static pressure of liquid and working tension, on the productivity of process, roughness of the treated surface, tearing down of electrode-instrument, and certainly basic managing factors. Mathematical models and graphic arts dependence of technological descriptions from basic managing factors, which strength of current I and static pressure of liquid of P_s , are built.

Одержано 18.09.09

УДК 631.362.33

Г.О. Глобенко, доц., канд. техн. наук, С.М. Лещенко, асист., Д.І. Петренко, інж.,
Т.А. Коцур, магістрант

Кіровоградський національний технічний університет

Деякі аспекти виробництва круп

В цій статті наведені відомості виробництва круп, опис принципово нової конструкції шелушильно-шліфувальної машини для полірування пшона та шелушіння зернових культур в зернопереробній промисловості. Вказана її відмінність від аналогів, технологічна та економічна доцільність впровадження у виробництво.

круп, шліфування, полірування, ефективність

Крупа – один із цінних продуктів масового споживання. Вироби із різних видів круп мають високу калорійність, засвоюваність, смакові якості та інші споживацькі переваги. Крупа користується великим попитом у населення, її широко використовують в громадському харчуванні, харчо-концентратній і консервній промисловості, а також для дієтичного і дитячого харчування.

Відмінна особливість круп'яного виробництва – різноманітність видів сировини і виробляємої продукції. Вітчизняні круп'яні заводи виробляють продукцію із восьми зернових культур: рису, проса, вівса, ячменю, кукурудзи і твердої пшениці, а також із гречки і гороху. Різноманітність і специфічність фізико-механічних властивостей круп'яних культур привели до необхідності створення значної кількості різних конструкцій машин і технологічних прийомів, які б забезпечували високу якість крупи та іншої продукції в широкому асортименті. В нашій державі вирощують практично всі зернові культури, із яких виробляють крупу. Асортимент продукції круп'яного виробництва нараховує більше п'ятдесяти видів круп, якість яких регламентується державними стандартами, технічними умовами, або тимчасовими нормами якості.

Таблиця 1 – Асортимент продукції круп'яних підприємств

Зерно	Найменування та асортимент продукції	Номери і сорти
1	2	3
Рис	Крупи рисові шліфовані	Вищий, перший, другий, третій сорти
	Крупи рисові подрібнені шліфовані	На сорти не поділяються
	Крупи рисові шліфовані для дитячого харчування	Вищий, перший сорти
	Крупи рисові подрібнені дрібні	На сорти і номери не поділяються

Гречка	Крупи гречані ядриця	Перший, другий, третій сорти
	Крупи гречані проділ	На сорти не поділяються
	Крупи гречані ядриця швидкорозварювана	Перший, другий, третій сорти
	Крупи гречані проділ швидкорозварюваний	На сорти не поділяються
	Крупи гречані ядриця швидкорозварювана для дитячого харчування	Перший сорт
	Крупи гречані манні	На сорти і номери не поділяються
	Крупи гречані, що не потребують варіння Пластівці гречані, що не потребують варіння	На сорти не поділяються На сорти і номери не поділяються
Овес	Крупи вівсяні не подрібнені	Вищий, перший, другий сорти
	Крупи вівсяні плющені	Вищий, перший, другий сорти
	Крупи вівсяні для дитячого харчування	Вищий сорт
	Пластівці вівсяні «Геркулес»	На сорти і номери не поділяються
	Пластівці вівсяні «Екстра»	№1, 2, 3
	Толокно	На сорти не поділяються
	Толокно для дитячого харчування	На сорти не поділяються
Просо	Пшоно шліфоване	Вищий, перший, другий, третій сорти
	Пшоно шліфоване швидкорозварюване	Вищий, перший, другий сорти
Ячмінь	Крупи ячмінні перлові	№1, 2, 3, 4, 5
	Крупи ячмінні ячні	№1, 2, 3
	Крупи ячмінні швидкорозварювані	№1, 2, 3
	Крупи ячмінні перлові із скороченим терміном варіння	№1, 2, 3, 4, 5
	Крупи ячмінні перлові, що не потребують варіння	На сорти і номери не поділяються
	Пластівці ячмінні й перлові екстра	На сорти і номери не поділяються
Горох	Горох лущений цілий	Перший, другий сорти
	Горох лущений колений	Перший, другий сорти
	Крупи горохові швидкорозварювані	На сорти і номери не поділяються
	Крупи горохові подрібнені	№1 (сорти 1, 2), №2 (сорти 1, 2)
	Крупи манні із солоду гороху	№1, 2
Кукурудза	Крупи кукурудзяні шліфовані	№1, 2, 3, 4, 5
	Крупи кукурудзяні крупні для пластівців і «легких» зерен	На сорти і номери не поділяються
	Крупи кукурудзяні подрібнені	№1, 2, 3
	Крупи кукурудзяні дрібні для виробництва паличок	На сорти і номери не поділяються
	Борошно кукурудзяне	На сорти не поділяються
Пшениця	Крупи пшеничні «Полтавські» «Артек»	№1, 2, 3, 4
	Крупи із м'якої пшениці шліфовані	№1, 2

Крупи із м'якої пшениці подрібнені і шліфовані	№1, 2, 3
Крупи пшеничні швидкорозварювані	№1, 2, 3
Крупи підвищеної поживної цінності «Ювілейна», «Здоров'я», «Спортивна», «Піонерська», «Сильна», «Південна», «Флотська», «Союзна»	На сорти і номери не поділяються
Крупи пшеничні, що не потребують варіння	№1, 2

В технологічному процесі переробки круп'яних культур із зернівок видаляють квіткові плівки, плоді і насінневі оболонки. В залежності від структурно-механічних, фізико-хімічних властивостей і особливостей зерна, його біологічних особливостей шелушіння проводять в машинах різноманітних конструкцій та модифікацій.

Процес шліфування полягає в остаточному видаленні з поверхні ядра залишків після шелушіння оболонок (алейронового шару і частково зародку), а також в обробці крупок до встановленої форми (округлої, кулевидної) і потрібного зовнішнього вигляду.

Конструкція, матеріал і форма робочих органів машини визначає принципи її дії під час шелушіння і шліфування. При виробництві пшона після двох, трьох разового пропуску проса через вальцедековий станок пшоно не отримує необхідних якісних показників і потребує полірування.

Основними показниками ефективності шелушіння в круп'яному виробництві є коефіцієнти шелушіння і цілісності ядра (окрім ячменю, кукурудзи і пшениці). Коефіцієнт шелушіння визначається за формулою:

$$K_{ш} = \frac{k_1 - k_2}{k_1} \cdot 100 = \left(1 - \frac{k_2}{k_1}\right) \cdot 100, \quad (1)$$

де k_1, k_2 – кількість необшелушеного зерна в суміші до і після шелушіння, %.

Коефіцієнт цілісності ядра визначається за формулою:

$$k_{ц} = \frac{B}{B + D + M}, \quad (2)$$

де B – вихід цілого ядра за відрахуванням кількості розшелушеного зерна в початковій суміші, %;

D – вихід подрібненого зерна за відрахуванням кількості подрібненого ядра в початковій суміші, %;

M – вихід мучки на даній системі шелушіння за відрахуванням кількості мучки у вихідній суміші, %.

Для більш ефективного полірування пшона та шелушіння зернових культур нами разом із співробітниками ОНАХТ розроблено шелушильно-шліфувальну машину (рис. 1).

Ця машина може бути використана для шелушіння зерна злакових культур на зернопереробних підприємствах. Для підвищення ефективності і надійності машини обичайка виконана із зносостійкого елементного сита з вібратором, з розташованим в середині неї лопастним барабаном, який представляє собою горизонтальний вал з петлеподібними овальними лопатками. Дросельний пристрій складається із поворотної завитки, з тангенційно розташованим випускним патрубком, орієнтація в просторі якої фіксується гвинтовим механізмом відповідно заданому тиску в робочій зоні машини, площина перетину випускного патрубка регулюється грузовим клапаном.

Конструктивно-кінематична схема машини приведена на рис. 1. Машина включає корпус 1 з приймальним патрубком 2, роз'ємний елементно-ситовий циліндр 3, який складається із елементів 4, які стягнуті в ситові напівциліндри стяжками 5, з утвореними між ними клиновидними зазорами 6 для більш ефективного проходження відходів обробки. Циліндр встановлено співвісно з розташованим в ньому лопасним валом 7, на пальцях 8, в амортизаторах 9, забезпечений баланси́рним валом 10 з грузами-балансирами 11, який надає циліндру коливальний рух. Конструкція також включає дроселюючий випускний пристрій у вигляді поворотної завитки 12, з клапаном 13, який має змінні вантажі 14, положення в пристрої якої фіксується гайкою 15, а поворот в задане положення здійснюється рукояткою 16, і випускний патрубок 17.

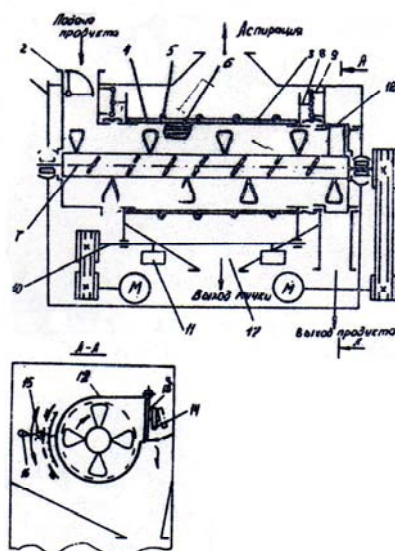


Рисунок 1 – Конструктивно-кінематична схема шелушильно-шліфувальної машини

Дана машина має продуктивність 4-6 т/год. Привід машини забезпечується електродвигуном потужністю 17 кВт, привід баланси́рного валу 0,75-1 кВт. При шліфуванні пшона вихід готової продукції в порівнянні з машинами А1-ЗШН 3 вищій на 10-15%.

Отже:

- в порівнянні з вітчизняними і зарубіжними аналогами дана машина дозволяє понизити зольність зерна на 0,1-0,15%;
- виключає руйнування зерна;
- забезпечує підвищену продуктивність порівняно з аналогічними машинами.

Дана машина введена на Криворізькому КХП №2, Кіровоградких КХП №№1,2, Ужгородському КХП. Орієнтовний економічний ефект при переробці проса складає 128 тисяч гривень на рік.

Список літератури

1. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах - К.: «Віпол», 1998 – 5с.
2. Бутковский В.А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства. – М.: Колос, 1981. – 147 с.
3. Мельник Б.Е., Лебедев В.Б., Бурсиан А.В. и др. Элеваторы и зерноперерабатывающие предприятия. – М.: Агропромиздат, 1985. – 325 с.
4. Информационный листок о передовом производственном опыте №113 – 90. Одесский ЦНТИ, 1990.

Г. Глобенко, С. Лещенко, Д. Петренко, Т. Коцур

Некоторые аспекты производства круп

В этой статье приведены сведения производства круп, описание принципиально новой конструкции шелушильно-шлифовальной машины для полирования пшена и шелушения зерновых культур в зерноперерабатывающей промышленности. Указано ее отличие от аналогов, технологическая и экономическая целесообразность внедрения в производство.

G. Globenko, S. Leschenko, D. Petrenko, T. Kocur

Some aspects production of groats

Information production of groats is resulted in this article, description of on principle new construction huller-whitener for polishing of millet and decorticating of grain-crops in grain of processing industry. Its difference is indicated from analogues, technological and economic expedience of applying in industry.

Одержано 29.10.09

УДК 631.331.024.2

Д.Ю. Артеменко, ст. викл., канд. техн. наук, О.С. Магопечь, доц., канд. техн. наук, П.М. Соломашенко, студ.

Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження і розробка удосконаленої конструкції сошника просапної сівалки

В статті наведені результати експериментальних досліджень характеру утворення посівної борозни серійним сошником, з'ясовані його недоліки та запропонована удосконалена конструкція сошника оснащеного дисковим ложеутворювачем. Обґрунтовані оптимальні параметри кута його загострення та визначено, що він здатний забезпечити рівномірне розміщення насіння в рядку.
сприятливі умови проростання, рівномірне розподілення насіння, дисковий ложеутворювач

На сьогоднішній день для виробництва цукру в Україні виробникам потрібно вкладати значні кошти. Основна стаття витрат це процес вирощування сировини – цукрових буряків. Тому важливим є забезпечення рентабельності виробництва, а це можливо при отриманих врожаях не менше 300 ц/га. Оскільки середня врожайність по Україні в останні роки не перевищує 280 – 320 ц/га то робота над підвищенням врожайності культури за рахунок покращання процесу посіву насіння цукрових буряків є досить актуальною і потрібною для впровадження більш продуктивних технологічних процесів вирощування.

Вітчизняними дослідниками [1,2,3] було встановлено, що розміщення насіння по глибині і довжині рядка напряму впливає на швидкість його проростання і, як наслідок, на врожайність культури. Висівні апарати, які використовуються на сучасних просапних сівалках для висіву цукрових буряків, забезпечують висів насіння із задовільною точністю. Але ж все таки при посіві насіння розміщується в борозні невпорядковано. Рівномірне розміщення насіння по дну борозни в більшості випадків залежить від конструкції сошника. На цей факт вказують дослідники [4,5,6]. Насіння, потрапивши на ущільнене дно борозни, відбивається і перерозподіляється.

© Д.Ю. Артеменко, О.С. Магопечь, П.М. Соломашенко, 2010

Г. Глобенко, С. Лещенко, Д. Петренко, Т. Коцур

Некоторые аспекты производства круп

В этой статье приведены сведения производства круп, описание принципиально новой конструкции шелушильно-шлифовальной машины для полирования пшена и шелушения зерновых культур в зерноперерабатывающей промышленности. Указано ее отличие от аналогов, технологическая и экономическая целесообразность внедрения в производство.

G. Globenko, S. Leschenko, D. Petrenko, T. Kocur

Some aspects production of groats

Information production of groats is resulted in this article, description of on principle new construction huller-whitener for polishing of millet and decorticating of grain-crops in grain of processing industry. Its difference is indicated from analogues, technological and economic expedience of applying in industry.

Одержано 29.10.09

УДК 631.331.024.2

Д.Ю. Артеменко, ст. викл., канд. техн. наук, О.С. Магопечь, доц., канд. техн. наук, П.М. Соломашенко, студ.

Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження і розробка удосконаленої конструкції сошника просапної сівалки

В статті наведені результати експериментальних досліджень характеру утворення посівної борозни серійним сошником, з'ясовані його недоліки та запропонована удосконалена конструкція сошника оснащеного дисковим ложеутворювачем. Обґрунтовані оптимальні параметри кута його загострення та визначено, що він здатний забезпечити рівномірне розміщення насіння в рядку.
сприятливі умови проростання, рівномірне розподілення насіння, дисковий ложеутворювач

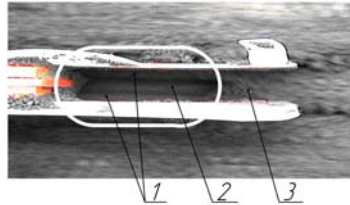
На сьогоднішній день для виробництва цукру в Україні виробникам потрібно вкладати значні кошти. Основна стаття витрат це процес вирощування сировини – цукрових буряків. Тому важливим є забезпечення рентабельності виробництва, а це можливо при отриманих врожаях не менше 300 ц/га. Оскільки середня врожайність по Україні в останні роки не перевищує 280 – 320 ц/га то робота над підвищенням врожайності культури за рахунок покращання процесу посіву насіння цукрових буряків є досить актуальною і потрібною для впровадження більш продуктивних технологічних процесів вирощування.

Вітчизняними дослідниками [1,2,3] було встановлено, що розміщення насіння по глибині і довжині рядка напряму впливає на швидкість його проростання і, як наслідок, на врожайність культури. Висівні апарати, які використовуються на сучасних просапних сівалках для висіву цукрових буряків, забезпечують висів насіння із задовільною точністю. Але ж все таки при посіві насіння розміщується в борозні невпорядковано. Рівномірне розміщення насіння по дну борозни в більшості випадків залежить від конструкції сошника. На цей факт вказують дослідники [4,5,6]. Насіння, потрапивши на ущільнене дно борозни, відбивається і перерозподіляється.

© Д.Ю. Артеменко, О.С. Магопечь, П.М. Соломашенко, 2010

Запропоновані різні способи зменшення розсіювання насіння (наближення висівного апарата до поверхні ґрунту; висів насіння на розрихлене дно борозни; надання насінню швидкості, яка відповідає поступовій швидкості сівалки, зміні конструкції сошника і т.д.). Але на сьогоднішній день вони не дали потрібного ефекту.

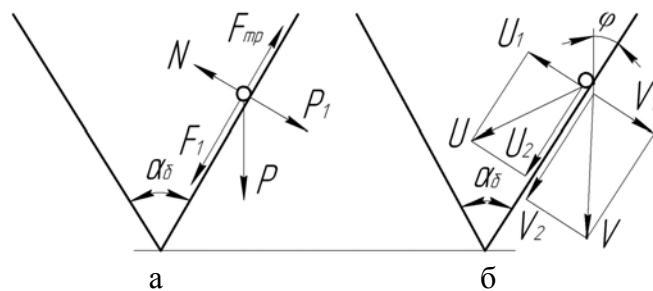
Проведені нами лабораторні дослідження процесу утворення борозни сошником просапної сівалки для посіву насіння цукрових буряків дали можливість з'ясувати, що наральник сошника в значній мірі ущільнює стінки борозни, а найбільшому впливу підлягає дно насінневого ложа.



1 – ущільнені стінки борозни; 2 – ущільнене насінневе ложе; 3 – ґрунт який закриває борозну
Рисунок 1 – Розкадрування цифрового відео процесу утворення борозни сошником просапної сівалки

Характерні зони ущільнення добре видно на розкадруванні відео процесу утворення борозни сошником (рис. 1, позиція 1,2). Також можна зробити висновок, що завдяки вирізу в нижній частині щік сошника відбувається швидке осипання ґрунту (рис. 1, позиція 3), що також може здійснювати вплив на перерозподілення насіння в борозні. Такий процес утворення борозни характерний для всього різноманіття сошників, які використовуються для посіву насіння цукрових буряків.

Цифровою відеозйомкою також було встановлено, що відбивання насіння від поверхні насінневого ложа відбувається не завжди. Якщо насіння отримує удар об ущільнену стінку борозни, то спостерігається не відбивання насіння від її поверхні, а його ковзання (рис.2).



F_{mp} – сила тертя; α_{δ} – кут між стінками борозни; P – вага насіння; N – реакція поверхні опору; φ – кут між напрямком швидкості ковзання насіння і стінкою борозни; V – швидкість ковзання насіння; U – швидкість руху насіння в площині стінки борозни

Рисунок 2 – Сили, які діють на насіння в момент дотику його зі стінкою посівної борозни (а), а також швидкості, які відповідають цьому моменту (б)

Диференційне рівняння руху насіння в цьому випадку можна записати так:

$$m_c \frac{dV}{dt} = P \cos \frac{\alpha_{\delta}}{2} - F_{mp} = m_c g \cos \frac{\alpha_{\delta}}{2} - F_{mp}, \quad (1)$$

де m_c – маса насіння;

g – прискорення вільного падіння.

Визначимо силу тертя

$$F_{mp} = P \sin(\alpha_{\delta} / 2) \cdot \operatorname{tg} \varphi = m_c g \sin(\alpha_{\delta} / 2) \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2)$$

Підставивши (2) в (1), маємо

$$m_c \frac{dV}{dt} = m_c g \cos \frac{\alpha_{\delta}}{2} - m_c g \sin \frac{\alpha_{\delta}}{2} \operatorname{tg} \varphi. \quad (3)$$

Вирішуючи його відносно V при початкових умовах $t = 0$, $V = V_0$, отримаємо

$$V = V_0 + (\cos(\alpha_{\delta} / 2 + \varphi) / 2 \cos \varphi) g t. \quad (4)$$

Із рівняння (4) визначимо шлях переміщення насіння в площині стінки борозни

$$S_{\delta} = V_0 t + \left(\cos \left(\frac{\alpha_{\delta}}{2} + \varphi \right) / 2 \cos \varphi \right) g t^2 = (V^2 - V_0^2) \cos \varphi / 2 g \cos \left(\frac{\alpha_{\delta}}{2} + \varphi \right). \quad (5)$$

Для випадку вільного падіння насіння в борозну $V_0 = \sqrt{2gh}$.

Підставляючи V_0 в формулу (5) та зробивши перетворення отримаємо:

$$V = \sqrt{2g \left[h + S_{\delta} (\cos(\alpha_{\delta} / 2) - f \sin(\alpha_{\delta} / 2)) \right]}, \quad (6)$$

де h – глибина борозни;

f – коефіцієнт перекочування.

Аналіз залежності (6) показує, що швидкість V ковзання насіння по стінці борозни залежить від кута $\alpha_{\delta} / 2$ нахилу її до вертикалі. Оптимальні значення кута α_{δ} визначаємо із наступних теоретичних передумов. В відповідності з теорією удару запишемо (рис. 2, б):

$$U_1 - U_2' = k(V_2' - V_1), \quad (7)$$

де k – коефіцієнт відновлення.

$$\text{Але так як } U_2' = U_2 = 0, \text{ то } U_1 = -kV_1. \quad (8)$$

$$\text{Якщо удар косий, то має місце рівняння } V_1 = V \sin(\alpha_{\delta} / 2), \quad (9)$$

$$\text{підставляючи (9) в (8), маємо } U_1 = -kV \sin(\alpha / 2). \quad (10)$$

Щоб визначити швидкість U_2 руху насіння в площині стінки борозни скористуємось виразом для імпульсу удару

$$I = m_c m_0 (V - V_2') (1 + k) / (m_c + m_0). \quad (11)$$

$$\text{Прийнявши } m_0 = \infty \text{ і } V_2' = 0,$$

$$\text{отримаємо } I = m_c V (1 + k). \quad (12)$$

Імпульс сили тертя визначаємо із рівності

$$I_{mp} = -fI, \quad (13)$$

а кількість руху

$$c = m_c (U_2 - V_2). \quad (14)$$

Тоді по закону рівності імпульсу сили кількості руху, отримаємо

$$U_2 - V_2 = -fV_1 (1 + k),$$

але так як $V_2 = V \cos(\alpha_{\delta} / 2)$, то швидкість

$$U_2 = V \cos(\alpha_\delta / 2) - fV \sin(\alpha_\delta / 2) \cdot (1 + k). \quad (15)$$

Умовою ковзання насіння в площині стінки борозни буде

$$U_2 > fU_1. \quad (16)$$

Підставляючи значення швидкостей U_1 і U_2 із виразів (10), (15) і (16) та виконавши відповідні перетворення, отримаємо

$$\alpha_\delta \leq 2(90^\circ - \varphi). \quad (17)$$

З рівняння (17) кут α_δ визначається без врахування коефіцієнтів відновлення і миттєвого тертя. Відомо, що останній рівний відношенню складових швидкостей, дотичних до нерухомої площини, після співудару з нею і до нього. На основі цього після відповідних перетворень отримаємо $\alpha_\delta \leq 2 \arctg(1 - f / f(1 + k))$.

Враховуючи гіпотезу сухого тертя про те, що взаємодія двох тіл (удар) залишається таким самим як при немиттєвих, так і при миттєвих силах ($f = \lambda$), отриману залежність запишемо:

$$\alpha_\delta \leq 2 \arctg(1 - \lambda / \lambda(1 + k)), \quad (18)$$

де λ – коефіцієнт миттєвого тертя.

Нижню межу кута α_δ між стінками борозни знайдемо виходячи із діаметра d насіння яке висівається і агротехнічно допустимої глибини h його загортання в ґрунті. Із трикутника ABC (рис. 3) маємо:

$$AB / \sin \alpha_\delta = BC / (\cos \alpha_\delta / 2). \quad (19)$$

Позначимо $AB = B = d$, $BC = h / (\cos \alpha_\delta / 2)$.

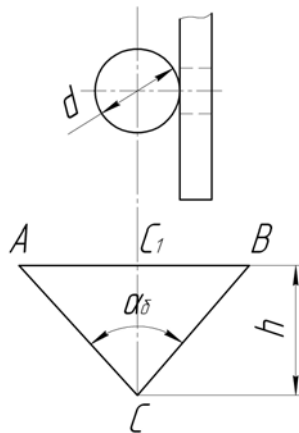


Рисунок 3 – Схема для визначення мінімального значення кута між стінками посівної борозни

Підставляючи значення AB і BC в формулу (19) після відповідних перетворень маємо:

$$\alpha_\delta = 2 \arcsin \frac{B}{\sqrt{B^2 + 4h^2}}. \quad (20)$$

Таким чином, оптимальне значення кута α_δ між стінками борозни визначається залежністю:

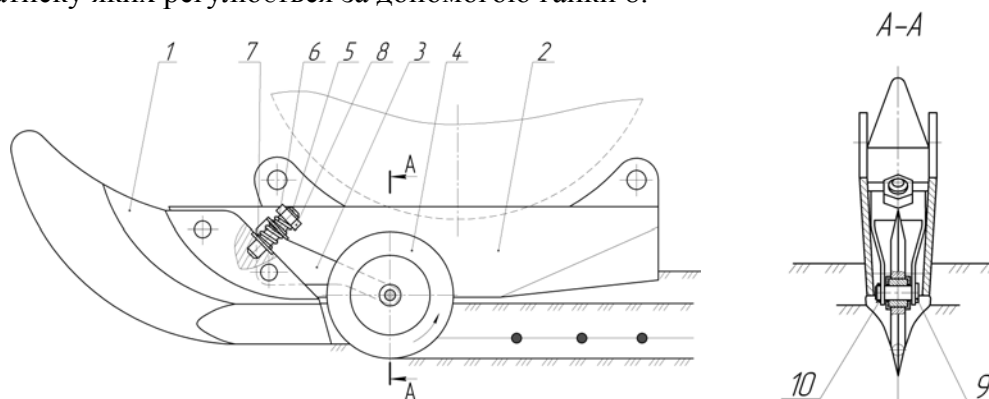
$$2 \arcsin \frac{B}{\sqrt{B^2 + 4h^2}} \leq \alpha_\delta \leq 2 \arctg \frac{1 - \lambda}{\lambda(1 + k)}. \quad (21)$$

Підставляючи в отриману залежність числові значення коефіцієнтів відновлення k , миттєвого тертя λ і встановленого агрономіями значення діаметра d насіння цукрових буряків і глибини h їх загортання, отримаємо:

$$10^\circ \leq \alpha_\delta \leq 45^\circ.$$

Для задоволення вимог отриманої залежності нами була розроблена удосконалена конструкція насінневого сошника сівалки УПС 12 для посіву насіння цукрових буряків [7]. Підвищення якості роботи запропонованого сошника досягається тим, що в задній частині наральника встановлений демпферний кронштейн в якому обертається дисковий ложеутворювач (рис. 4). Кут загострення дискового ложеутворювача менший суми двох кутів тертя насіння цукрових буряків об поверхню ґрунту. Запропонований сошник працює таким чином: наральник 1 відкриває борозну і готує ущільнене насінневе ложе, розміщений позаду в демпферному кронштейні 3

дисковий ложеутворювач 4 обертаючись розрізає його по центру утворюючи клиновий канал в який потрапляє висіане насіння і зашцимлюється між його стінками. Після проходження щік сошника 2 борозна з насінням закривається ґрунтом. Для компенсації зносу дискового ложеутворювача демпферний кронштейн 3 здійснює рух по штифту 5. Ефект демпфування досягається шляхом встановлення компенсуючих пружин 6 і 7, сила натиску яких регулюється за допомогою гайки 8.



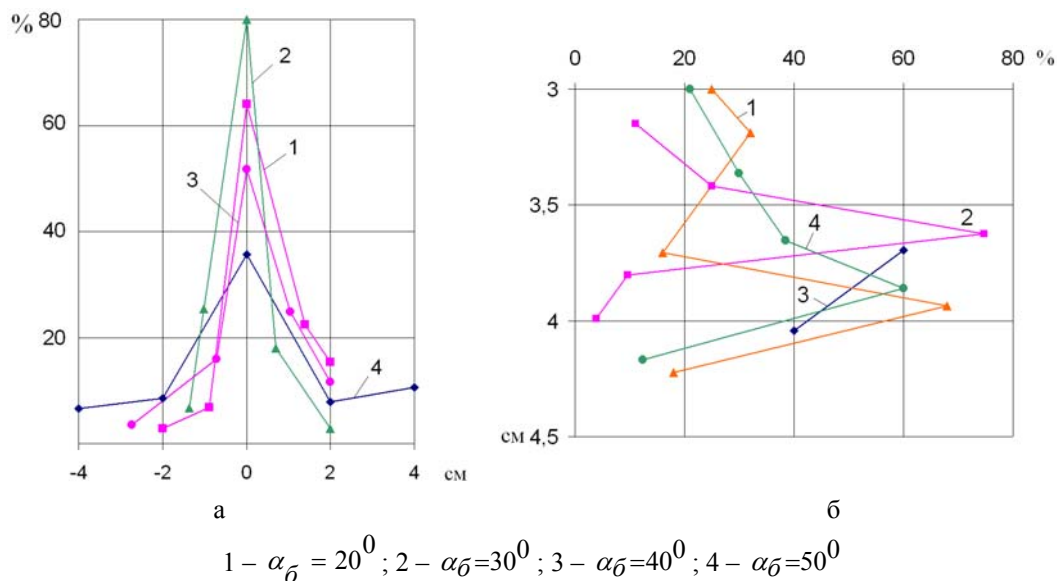
1 – наральник; 2 – щока; 3 – демпферний кронштейн; 4 – дисковий ложеутворювач; 5 – штифт; 6, 7 – натискні пружини; 8 – гайка; 9 – вісь; 10 – шплінт

Рисунок 4 – Удосконалена конструкція насінневого сошника сівалки УПС 12 для посіву насіння цукрових буряків

В ґрунтовому каналі нами були проведені лабораторні дослідження впливу зміни конструкції сошника для посіву насіння цукрових буряків. Для дослідження якості розподілення насіння вздовж рядка використовувався такий метод: з насінневого сошника знімали обидві щоки, а на їх місце монтувалися спеціальні відгортальники ґрунту з шириною 120 мм і висотою, рівній висоті встановлення щік сошника, який призначений для відведення достатньої кількості ґрунту з можливістю отримання відкритої борозни для візуального фіксування якості розподілення насіння по довжині рядка. Для вимірювання відстані між насінням в відкритій борозні використовувалась металева лінійка з ціною поділки 1 мм, довжиною 1 м.

Другим основним показником якості посіву є – розміщення насіння по глибині рядка. З цією метою нами було розроблене спеціальне пристосування, яке дає можливість зрізувати односантиметрові шари ґрунту з насінням в горизонтальній площині. Пристосування складається із рухомої опорної рамки, направляючих, регулятора заглиблення та совка. Принцип роботи пристосування полягає в наступному: направляючі встановлюються вздовж борозни, регулятором заглиблення виставляється глибина зрізу шару ґрунту і по направляючим переміщується опорна рамка з совком, який встановлений на глибину 1 см. Насіння враховували по кожному шару ґрунту окремо, глибина зрізу регулювалась від 1 до 5 см.

Для надійного защемлення насіння в борозні необхідно, щоб кут її розхилу α_6 був не більше суми двох кутів тертя ϕ , тобто $\alpha_6 \leq 2\phi$. Для визначення оптимальної величини кута α_6 нами були проведені лабораторні дослідження при глибині посіву 3,5 см та швидкості руху сошника 7,2 км/год було встановлено, що насіння цукрових буряків найбільш надійно защемляється при куті $\alpha_6 = 30^\circ$. При цьому куті і висоті падіння до 300 мм отриманий найменший розкид насіння від точки падіння (рис. 5, а) і найбільша стійкість по глибині (рис. 5, б).



1 – $\alpha_{\beta} = 20^{\circ}$; 2 – $\alpha_{\beta} = 30^{\circ}$; 3 – $\alpha_{\beta} = 40^{\circ}$; 4 – $\alpha_{\beta} = 50^{\circ}$
 а) (відхилення від точки падіння) при висіві в клинове насінневе ложе;
 б) по глибині борозни при різних кутах загострення дискового ложеутворювача

Рисунок 5 – Розподілення насіння

Із отриманих даних видно, що при куті $\alpha_{\beta} = 30^{\circ}$ отримано найкраще розподілення насіння як по довжині рядка так і по глибині загортання. Таким чином, для отримання рівномірно розміщеного рядка сходів цукрових буряків сошники сівалки УПС 12 необхідно оснащувати дисковим ложеутворювачем, який утворює клинову борозну з кутом $\alpha_{\beta} = 30^{\circ}$. Такий сошник може забезпечити нормальну якість роботи сівалки і необхідну точність посіву.

Висновки:

1. Експериментальні дослідження процесу роботи серійного сошника просапної сівалки для посіву насіння цукрових буряків показали, що наральник сошника значно ущільнює не тільки стінки борозни, а і дно насінневого ложа, що негативно впливає на якість розподілу насіння в процесі посіву.

2. Встановлено, що використовуючи сошник із дисковим ложеутворювачем (кут загострення робочої поверхні якого складає $\alpha_{\beta} = 30^{\circ}$) забезпечується рівномірне розміщення насіння яке фіксується між клиновими стінками борозни при першій зустрічі з ними не перекочуючись вздовж рядка і не перерозподіляючись по його глибині.

Список літератури

1. Гончарук Г.С. Якісна сівба цукрових буряків запорука високого врожаю / Гончарук Г.С. // Цукрові буряки. – 2001. – №2. – С. 8 – 9.
2. Ковтун Ю.И. Исследование и разработка агротехнических основ создания и совершенствования свекловичных сеялок точного высева: дис...канд. с.-х. наук: 05.538 / Ковтун Юрий Иванович. – Харьков, 1970. – 174 с.
3. Глуховский В.С. Разработка научных основ технологии выращивания сахарной свеклы без затрат ручного труда на формировании густоты насаждения: автореф. дис. на соискание науч. степени д-ра сельхоз. наук: спец. 06.01.14, 05.20.01 / Глуховский В.С. ВНИС. – К., 1982. – 42 с.
4. Валовиков А.П. Исследование технологии заделки обычных и шлифованных семян сахарной свеклы при посеве: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. сельхоз. наук: спец. 05.538 / Валовиков А.П. ВНИС. – К., 1971. – 19 с.
5. Пронько Л.Ю. Исследование работы сошников свекловичных сеялок точного высева / Пронько Л.Ю. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Вып. 12.- Мн., “Ураджай”, 1973. – С. 102 – 110.

6. Будагов А.А. Сошник для точного размещения семян пропашных культур / Будагов А.А., Петунин А.Ф. // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1965. – №6. – С. 4 – 6.
7. Позитивне рішення про видачу патенту. U200903546, Україна. А01С 7/20. Сошник / Артеменко Д.Ю., Магопець О.С., Ауліна Т.М.; заявник і патентовласник Кіровоградський нац. техн. унів.; Заявл. 13.04.2009; Висн. 03.07.2009. – 2с.

Д. Артеменко, А. Магопець, П. Соломашенко

Исследование и разработка усовершенствованной конструкции сошника пропашной сеялки

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований характера образования посевной борозды серийным сошником, определены его недостатки и предложена усовершенствованная конструкция сошника оборудованная дисковым ложеобразователем. Обоснованы оптимальные параметры угла его заострения и определено, что он способен обеспечить равномерное распределение семян в рядке.

D. Artemenko, O. Magopec, P. Solomashenko

Research and working out of an advanced design steel seeders

In article results researches of furrow formation process by serial steel are given. Failings are certain and the improved construction is offered equipped by a disk knife. The optimum parameters of his sharpening corner are grounded. It is certain that he is able to provide the even distributing of seed in a row.

Одержано 16.09.09

УДК 658.011.56

В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, М.О. Карчевська, ас.

Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичне дослідження системи з падаючим тілом при ідентифікації зразків твердого

У статті приведені результати теоретичних досліджень механічної системи з падаючим тілом (кулею), досліджуванім зразком твердого матеріалу та пружною пластиною, що знаходиться на двох опорах. Знайдена статична математична модель системи, яка зв'язує величину деформації пружної пластини з масою падаючого тіла, висотою падіння, жорсткістю пружної пластини, міцністю та об'ємом зразка твердого матеріалу. Дана залежність може слугувати для визначення об'єму шматків твердого і, як наслідок, для ідентифікації завантаження подрібнювальних агрегатів матеріалом.

падаюче тіло, пружна пластина, твердий матеріал, руйнування, деформація, ідентифікація, завантаження

В аграрному комплексі, збагачувальній та інших галузях промислового виробництва широке розповсюдження отримали процеси подрібнення твердих матеріалів. Технологічні агрегати, що здійснюють такі процеси, потребують оптимізації їх завантаження матеріалом. Технічні засоби визначення завантаження реалізують непрямі методи, які відрізняються низькою точністю вимірювання.

© В.О. Кондратець, М.О. Карчевська, 2010

6. Будагов А.А. Сошник для точного размещения семян пропашных культур / Будагов А.А., Петунин А.Ф. // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1965. – №6. – С. 4 – 6.
7. Позитивне рішення про видачу патенту. U200903546, Україна. А01С 7/20. Сошник / Артеменко Д.Ю., Магопець О.С., Ауліна Т.М.; заявник і патентовласник Кіровоградський нац. техн. унів.; Заявл. 13.04.2009; Висн. 03.07.2009. – 2с.

Д. Артеменко, А. Магопець, П. Соломашенко

Исследование и разработка усовершенствованной конструкции сошника пропашной сеялки

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований характера образования посевной борозды серийным сошником, определены его недостатки и предложена усовершенствованная конструкция сошника оборудованная дисковым ложеобразователем. Обоснованы оптимальные параметры угла его заострения и определено, что он способен обеспечить равномерное распределение семян в рядке.

D. Artemenko, O. Magopez, P. Solomashenko

Research and working out of an advanced design steel seeders

In article results researches of furrow formation process by serial steel are given. Failings are certain and the improved construction is offered equipped by a disk knife. The optimum parameters of his sharpening corner are grounded. It is certain that he is able to provide the even distributing of seed in a row.

Одержано 16.09.09

УДК 658.011.56

В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, М.О. Карчевська, ас.

Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичне дослідження системи з падаючим тілом при ідентифікації зразків твердого

У статті приведені результати теоретичних досліджень механічної системи з падаючим тілом (кулею), досліджуванім зразком твердого матеріалу та пружною пластиною, що знаходиться на двох опорах. Знайдена статична математична модель системи, яка зв'язує величину деформації пружної пластини з масою падаючого тіла, висотою падіння, жорсткістю пружної пластини, міцністю та об'ємом зразка твердого матеріалу. Дана залежність може слугувати для визначення об'єму шматків твердого і, як наслідок, для ідентифікації завантаження подрібнювальних агрегатів матеріалом.

падаюче тіло, пружна пластина, твердий матеріал, руйнування, деформація, ідентифікація, завантаження

В аграрному комплексі, збагачувальній та інших галузях промислового виробництва широке розповсюдження отримали процеси подрібнення твердих матеріалів. Технологічні агрегати, що здійснюють такі процеси, потребують оптимізації їх завантаження матеріалом. Технічні засоби визначення завантаження реалізують непрямі методи, які відрізняються низькою точністю вимірювання.

© В.О. Кондратець, М.О. Карчевська, 2010

Відсутність достатньо точних засобів визначення завантаження технологічних агрегатів матеріалом приводять до значних перевитрат енергії та матеріальних ресурсів, що наносить відчутні економічні збитки даним галузям. Такий стан подрібнення матеріалів не відповідає вимогам законодавства України про ресурсозберігаючі технології в енергетиці та промисловості. Зважаючи на це, тема статті, спрямованої на розв'язання даної задачі, є актуальною. Стаття, крім того, спрямована на розв'язання науково-дослідної роботи «Комп'ютеризована система ідентифікації завантаження кульового млина при управлінні подрібненням руди», яка є складовою частиною тематичного плану Кіровоградського національного технічного університету.

Теорію руйнування тіл і удару в різні роки розробляють Дж.Ф. Нотт, В.С. Бондар, В.І. Іонов, Н.Ф. Морозов, А.С. Андрейків, В.Е. Панін, Ю.В. Гриняєв, В.І. Данілов, В.З. Партон, Ю.В. Колесніков, Г.П. Черепанов, Я.Г. Пановко та ін. Глибоко розроблені основи теорії удару та руйнування твердих тіл сприяють розвитку прикладних досліджень. Наприклад, в галузі збагачення корисних копалин прикладні проблеми руйнування руд в технологічних агрегатах розробляють С.Е. Андрєєв, В.В. Звіревич, В.А. Перов, Ю.Е. Аккерман, Г.Б. Букати, Б.В. Кщевальтер, С.Ф. Шинкоренко, В.С. Маргуліс, В.П. Ніколаєнко, Г.С. Ходаков, Е.Е. Серго, М.Д. Вороб'їов та ін. Згадані автори удосконалюють технологічні агрегати для подрібнення матеріалів, однак не розробляють засобів визначення їх завантаження. У 2007 році Г.Г. Півняк, Л.А. Вайсберг, В.І. Кириченко, П.І. Пилов, В.В. Кириченко відмічають, що проблему автоматичної оптимізації завантаження технологічних агрегатів необхідно розв'язувати пошуком і обґрунтуванням параметрів, що піддаються автоматичному контролю, які безпосередньо характеризують енергетичну ефективність процесу руйнування матеріалу.

Метою даної роботи є розробка теоретичних передумов ідентифікації завантаження подрібнювальних технологічних агрегатів матеріалом на основі енергетичної ефективності процесу руйнування.

Багато твердих матеріалів відносять до крихких тіл, що руйнуються під впливом зовнішнього навантаження, яке створює в пористій масі пружні деформації та напруги, що перевищують їх межу міцності. У зв'язку з їх неоднорідністю, що характеризує ступінь деформації шматків і розподіл напруг при навантаженні, витрата енергії на руйнування значно менша поверхневої енергії, яка може бути теоретично визначена для ідеальних кристалічних ґрат. Різке зменшення міцності таких матеріалів можна пояснити наявністю та створенням мікротріщин в об'ємі тіла. Сучасна теорія руйнування твердих тіл базується на наявності та створенні тріщин [1]. Руйнування здійснюється під впливом зовнішніх сил.

В залежності від зміни в часі діючих на тіло зовнішніх силових факторів розрізняють статичне, динамічне та імпульсне навантаження. При динамічному навантаженні тіла поведінка його інша порівняно з статичним. Важливими тут є зміна швидкості навантаження та деформації і зв'язок між ними [2]. Зокрема, динамічний модуль пружності тіл з кристалічною структурою мало відрізняється від статичного. При збільшенні швидкості деформації межа текучості збільшується, збільшується і межа міцності. Зміцнення середовища при збільшенні швидкості деформації зменшується [3]. При руйнуванні таких матеріалів характерним є імпульсне навантаження, яке реалізується при ударі. На руйнування тіла крім типу навантаження впливають форма тіла, температура, швидкість деформації та механічні властивості середовища. Визначаючими параметрами руйнування є три константи матеріалу: статична міцність матеріалу, статична в'язкість руйнування (тріщиностійкість) та структурний час руйнування [4].

Розкриття або відносне зміщення верхньої і нижньої площини тріщини при її просуванні може відбутися лише по одному з наступних трьох механізмів руйнування (або їх поєднанні): нормальний відрив, поперечний зсув, повздовжній зсув [5]. Механізм зародження та розповсюдження тріщини досліджено в монографії [6]. В роботі відносно зародження та розповсюдження тріщини відмічено наступне:

- зародженню тріщини завжди повинно передувати протікання первинного ковзання;

- створенню тріщини повинна передувати фрагментація матеріалу в зоні первинного ковзання;

- оскільки тріщина не має кристалографічної спрямованості, попередні їй потоки первинного ковзання також у загальному випадку повинні розповсюджуватися незалежно від кристалографічної орієнтації ґрат;

- загальна ускладненість пластичних зсувів, необхідність фрагментації матеріалу, некристалографічний характер розповсюдження первинного ковзання вимагають для описання руйнування кристала притягнення нетрадиційної уяви про його стан в зоні тріщини. Звичайно роблять допущення, що руйнування можливо описати лише на підставі уяви про сильно збуджені стани ґрат, забезпечуючи некристалографічний характер пластичної течії;

- можливо стверджувати, що руйнуванню передують формування некристалографічних структурних рівнів деформації, вздовж яких відбувається зміщення (макрофрагментація). Потім по некристалографічним границям розподілу макрофрагментів розповсюджується (як релаксаційний механізм поворотного типу) тріщина [6];

Вивчення розповсюдження тріщин у кристалічних тілах [7] показало, що при зростанні напруги швидкість розповсюдження тріщини зростає і при 1,5...2,0 МПа досягає 2400 м/с. З наступним зростанням напруги швидкість розповсюдження тріщини стабілізується.

Згідно сучасній уяві, крихке руйнування твердого тіла відбувається у дві фази. У першій фазі виникає пружна деформація. При стисненні у товщі тіла з мікродфектів в наслідок виникнення поперечних розтягуючих напруг, створюючих граничні навантаження, виникають тріщини. У другій фазі відбувається руйнування тіла. Найбільш сприятливі умови для формування небезпечних тріщин створюються в поверхневих шарах на межі зіткнення частинки, що руйнується, з предметом, що наносить удар. Тут виникають найбільші напруги. Звичайно у шматках твердого матеріалу поблизу поверхні зосереджена основна кількість дефектів [8, 9].

Експериментально встановлено [10], що при досягненні певної швидкості удару сферичним ідентором по поверхні шматка матеріалу разом з утворенням герцівського конусу спостерігалось миттєве утворення та розповсюдження медіанних тріщин зі швидкостями 1500...3500 м/с. В момент відскоку кулі, тобто при повному розвантаженні, відбувається злиття цих двох видів тріщин, утворення фрагментів руйнування і вибухоподібний їх вихід з кратера зі швидкістю 70...100 м/с. Такий ефект отримав назву руйнування, що самопідтримується [10].

Механізм руйнування, що самопідтримується, полягає в переході потенціальної пружної енергії крихкого тіла в поверхневу та кінетичну енергію окремих частинок – пилинок зруйнованого тіла, нагадує механізм розповсюдження детонаційної хвилі, коли ударна хвиля підживлюється за рахунок запасу хімічної енергії в тілі. Руйнування крихкого тіла, що самопідтримується, супроводжується сильним звуком і розкиданням частинок зруйнованої речовини, що зовні нагадує слабкий вибух. Основним фактором, що визначає можливість крихкого тіла до руйнування, яке самопідтримується, є запас потенціальної пружної енергії в незруйнованому тілі. Найбільший запас потенціальної енергії в тілі можливо створити при всебічному стисненні або по деякому шляху

навантаження, близькому до всебічного стиснення, коли тіло залишається не зруйнованим тріщинами поперечного зсуву. Важливу роль у можливості створення запасу потенціальної пружної енергії в крихкому тілі відіграє міцність матеріалу [10]. Наприклад, у початковій зоні кульового млина, де здійснюють завантаження, знаходиться самий крупний матеріал і кулі найменшого розміру. За таких умов може не вистачати енергії куль для руйнування шматків шляхом створення деформації та напруги, що перевищує межу міцності матеріалу. Однак, враховуючи велику концентрацію крупних частинок та дрібних куль, які здійснюють зосереджений вплив на матеріал, практично здійснюючи об'ємне стиснення окремих тіл, цілком імовірно, що в даній зоні кульового млина руйнування твердого відбувається саме таким ефектом.

Багато технологічних агрегатів такого призначення створюють імпульсні навантаження частинкам твердого. Імпульсне навантаження зв'язано з розповсюдженням в тілі хвиль напруг. При цьому тіло поглинає значну частину переданої енергії, більша частка якої витрачається на непружну деформацію, що реалізується у вигляді пластичних деформацій або у вигляді руйнування [3]. Тобто, чим більший об'єм твердого, тим більшу кількість енергії поглинає матеріал в результаті руйнування. Оскільки енергія руйнування дорівнює виконаній при цьому роботі, можливо записати [12]

$$A_p = k \cdot k_1 \cdot V_p, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт пропорціональності, що залежить від міцності матеріалу;

k_1 – стала, що характеризує зв'язок між загальним і деформованим об'ємом шматка матеріалу;

V_p – об'єм шматка матеріалу.

Міцність шматків матеріалу залежить від їх крупності, виходячи з того, що чим більший розмір зразка, тим імовірніше наявність мікротріщин, по яким може відбутися руйнування. Цим, зокрема, пояснюють зміну відносної швидкості подрібнення матеріалу зі зменшенням його крупності, яку спостерігають в експериментах [13]. Однак ці закономірності стосуються більш тонкого подрібнення матеріалів. Як стверджується в [14], це стосується достатньо дрібних частинок. Міцність частинок, значно крупніших цих розмірів, незалежна від їх розмірів [14]. Експериментально також підтверджено, що міцність частинок неправильної форми слабо залежить від їх розмірів [14].

Оскільки енергетичні витрати прямо пропорційно залежать від об'єму шматків матеріалу при руйнуванні, а їх міцність практично не залежить від розміру, то концентрацію крупного твердого в технологічному агрегаті можливо визначати за енергетичними витратами при його руйнуванні.

При розв'язанні даної задачі стає питання: по яким параметрам робити судження про зруйнований об'єм твердого?

В процесі дослідження в роботі [4] зроблено висновок, що чим швидше необхідно викликати руйнування, тим більший імпульс слід прикласти. З іншого боку, при певному імпульсі, що забезпечує руйнування, швидкість процесу буде визначатись об'ємом матеріалу. Отже, одним з параметрів контролю концентрації крупних частинок матеріалу може бути тривалість руйнування твердого при певній енергії падаючої кулі.

Процес подрібнення матеріалу можна умовно подати як падаючу кулю з висоти, що забезпечує при певному розмірі подрібнюючого тіла достатню енергію, на площину у вигляді пружної пластини (рис. 1).

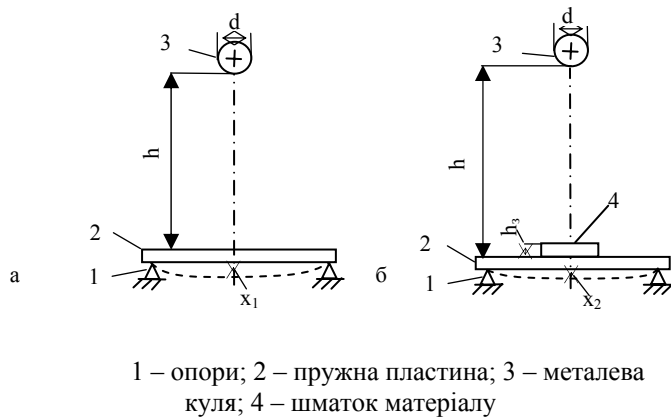


Рисунок 1 - Спрощена схема подрібнення шматків матеріалу падаючою кулею при непотрапленні шматка матеріалу на пластину (а) і розташуванні шматка матеріалу на осі падіння (б)

Характерними тут є два граничних випадки – шматок матеріалу в момент зіткнення на пластину не потрапив (рис. 1, а) і потрапив на пластину в точку, через яку проходить вісь падіння кулі (рис. 1, б).

При розв’язанні таких задач звичайно спрощують модель (рис. 1). Один з розповсюджених прийомів спрощення моделі полягає в нехтуванні інерційними властивостями деяких елементів конструкції [15]. Така постановка задачі передбачає, що масою володіє лише тіло, яке наносить

удар, тобто, кулі. У даній ситуації це буде справедливо, оскільки порівняно з кулею шматок матеріалу володіє малою масою. Порівняно малою масою може володіти і елемент, що знаходиться під даним шматком матеріалу. У теоретичному варіанті задачі можливо взяти пластину що володіє малою масою порівняно з масою падаючої кулі. При цьому рух падаючої кулі на пружному зв’язку, що раптово виник, можливо знайти за допомогою теорії вільних коливань [16].

Приймаючи момент першого контакту тіла 3 з пластиною 2 (рис. 1, а) за початок відліку часу, можливо на підставі другого закону Ньютона для наступного руху записати

$$-c \cdot x = m \cdot a, \quad (2)$$

де x – поточне значення відхилення центра пластини від стану спокою;

c – коефіцієнт жорсткості пружної пластини;

m – маса кулі;

a – прискорення.

Подавши прискорення a через координату x , рівняння (2) можна переписати у вигляді

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -c \cdot x, \quad (3)$$

де t – поточний час.

При розв’язанні рівняння (3) необхідно врахувати наступні умови: координата відхилення центра пластини при $t = 0$ дорівнює нулю, тобто, $x(0) = 0$; перша похідна $\frac{dx}{dt}$ в момент зіткнення кулі з пластиною ($t = 0$) дорівнює швидкості кулі перед ударом.

Рівняння (3) легко складати, однак воно не повністю описує процес, який відбувається при зіткненні кулі з пружною пластиною. Якщо врахувати втрати енергії на деформацію пластини, то рівняння прийме в цілому наступний вид

$$a_0 \frac{d^2 x}{dt^2} + a_1 \frac{dx}{dt} + a_2 x = 0. \quad (4)$$

Якщо a_0, a_1, a_2 – дійсні, то при $a_1^2 - 4a_0 a_2 < 0$ корені S_1 і S_2 будуть комплексними.

В цьому випадку розв’язок рівняння (4) буде мати вигляд [17]

$$X = e^{\delta t} (A \cos \omega t + B \sin \omega t) = \text{Re} e^{\delta t} \sin(\omega t + \alpha), \quad (5)$$

де величини

$$\delta = -a_1 / 2a_0, \quad \omega = \sqrt{4a_0a_2 - a_1^2} / 2a_0 \quad (6)$$

називають відповідно сталою затухання та власною коловою частотою. Сталі A, B, R, α визначають з початкових умов.

В реальних умовах процес буде описуватися рівнянням (4), яке буде мати розв'язок (5). Однак в конкретному випадку необхідні дані можливо отримати по рівнянню (3), яке не враховує затухання процесу і втрати при деформаціях пружної пластини. При відсутності втрат в (4) коефіцієнт $a_1 = 0$ і $\delta = 0$. Тоді розв'язок спроститься і складе

$$x = R \sin(\omega t + \alpha), \quad (7)$$

де власна колова частота ω визначена, а R і α необхідно знайти з початкових умов.

Власна колова частота ω при $a_1 = 0$ буде дорівнювати

$$\omega = \frac{\sqrt{4a_0a_2}}{2a_0} = \sqrt{\frac{a_2}{a_0}}. \quad (8)$$

З врахуванням рівняння (3) власна колова частота дорівнює $\omega = \sqrt{c/m}$.

Враховуючи, що $x(0) = 0$ при $t = 0$ з рівняння (7) маємо $0 = R \sin \alpha$. Оскільки R не може дорівнювати нулю, тоді $\sin \alpha = 0$ і $\alpha = 0$. З другої початкової умови отримуємо $R = v_0 \sqrt{m/c}$. Тоді розв'язок рівняння (3) буде дорівнювати

$$x = v_0 \sqrt{\frac{m}{c}} \cdot \sin \sqrt{\frac{c}{m}} t. \quad (9)$$

Отже, при падінні кулі пружна пластина деформується на величину $v_0 \sqrt{m/c}$ - це початкова амплітуда коливань, яка за умовою задачі і знайденого розв'язку не змінюється, а фактично в наслідок втрат на деформацію буде затухати до нуля. Однак вона однозначно характеризує силову взаємодію в даній механічній системі. Як видно з (9), амплітуда коливань визначається швидкістю кулі перед зіткненням з пружною пластиною, масою кулі та жорсткістю пластини. Власна колова частота є незмінною і залежить від жорсткості пластини та маси падаючої кулі.

Амплітудні властивості даної механічної системи (рис. 1, а) краще досліджувати за допомогою рівняння енергії. При відсутності шматка матеріалу на пластині (перший граничний випадок) падаюча з висоти h куля 3 взаємодіє з пластиною 2, що знаходиться на опорах 1. Роботу, яку здійснює сила тяжіння кулі від початку її падіння до моменту досягнення найбільшого прогину x_1 , можливо визначити за залежністю

$$A = mg(h + x_1), \quad (10)$$

де g – сила земного тяжіння;

h - висота, з якої падає куля;

x_1 – найбільший прогин пружної пластини.

Виконана при падінні кулі робота A переходить в потенціальну енергію деформації пружної пластини 2, яка буде дорівнювати

$$E_{II} = \frac{cx_1^2}{2}. \quad (11)$$

Ці дві величини однакові, тому їх можливо прирівняти

$$mg(h + x_1) = \frac{cx_1^2}{2}. \quad (12)$$

Після перетворення виразу (12) отримаємо рівняння

$$cx_1^2 - 2mgx_1 - 2mgh = 0. \quad (13)$$

Розв'язком рівняння (13) відносно x_1 буде

$$x_1 = \frac{mg \pm \sqrt{mg(mg + 2ch)}}{c}. \quad (14)$$

Рівняння (14) при $h = 0$ описує статику механічної системи. При цьому $x_1 = 0$, якщо перед коренем буде стояти знак « - ». Такий стан не відповідає фізичному змісту вимірювання додатного прогину x_1 пружної пластини. Якщо ж взяти знак « + », то при $h = 0$ буде певний додатний прогин пружної пластини під дією маси кулі. Тому в залежності (14) необхідно прийняти знак « + ». В динаміці це буде відповідати додатнім прогинам x_1 . Якщо взяти знак « - », то залежність (14) буде характеризувати зворотні відхилення амплітуди. З врахуванням сказаного залежність (14) прийме наступний вигляд

$$x_1 = \frac{mg + \sqrt{mg(mg + 2ch)}}{c}. \quad (15)$$

З залежності (15) витікає, що при певній жорсткості пружної пластини чим більша маса кулі та висота, з якої вона падає, тим більше переміщення центральної частини пластини x_1 . В певних умовах при $h = const$, $c = const$, $m = const$ переміщення x_1 характеризує початковий стан механічної системи.

У випадку наявності подрібнюваного матеріалу на пластині (рис. 3.1, б) (другий граничний випадок) падаюча з висоти h куля 3 взаємодіє з пружною пластиною 2, розташованою на опорах 1, через шматок матеріалу 4. В процесі руйнування матеріалу витрачається частка кінетичної енергії кулі та певний проміжок часу. Пружна пластина в даний відрізок часу отримує лише невелику частину енергії кулі, яка змінюється в процесі руйнування твердого. В таких умовах пружна пластина здійснює вимушені коливання і вони можуть, в залежності від умов взаємодії кулі і шматка матеріалу, відбуватися зі змінною частотою і амплітудою, яка має тенденцію до зростання. Після руйнування шматка матеріалу куля наносить по пружній пластині удар з енергією, яка залишилася після руйнування. Ця взаємодія кулі і пружної пластини після відскоку часток зруйнованого матеріалу практично нічим не відрізняється від розглянутого першого граничного випадку без шматка твердого. Коливання будуть здійснюватися на тій же частоті $\omega = \sqrt{c/m}$, а амплітуда буде меншою і затухаючою в часі. Отже, вимушена частота коливань на протязі руйнування твердого фактично є випадковою величиною і практично не несе інформації про процес руйнування. Власна колова частота характеризує лише механічну систему і визначається її сталими c і m . Амплітудні характеристики механічної системи повинні залежати від процесу руйнування руди.

Оскільки кінетична енергія, що витрачається на подрібнення шматка матеріалу, дорівнює роботі, яка виконується при його руйнуванні, то можна записати $E_{кп} = Ag$ [18]. Робота, виконана при дробленні шматка руди, виражається залежністю (1) [12].

З балансу енергій (рис. 1, б) можливо записати

$$mg(h + x_2) - kk_1V_p = \frac{cx_2^2}{2}. \quad (16)$$

Після перетворення виразу (16) отримаємо рівняння

$$cx_2^2 - 2mgx_2 + 2(kk_1V_p - mgh) = 0. \quad (17)$$

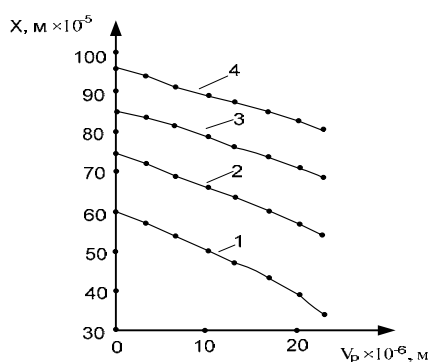
Розв'язком рівняння (17) буде

$$x_2 = \frac{mg \pm \sqrt{m^2g^2 - 2c(kk_1V_p - mgh)}}{c}. \quad (18)$$

Враховуючи знак перед коренем з раніше приведених міркувань і перетворивши вираз (18), отримаємо

$$x_2 = \frac{mg + \sqrt{mg(mg + 2ch) - 2ckk_1V_p}}{c} \quad (19)$$

З залежності (19) видно, що при відсутності матеріалу на пружній пластині ($V_p = 0$), x_2 відповідає x_1 (15). При зростанні об'єму шматка матеріалу V_p зміщення пружної пластини x_2 буде зменшуватись. Крім того, величина x_2 залежить від маси падаючої кулі, жорсткості пружної пластини, висоти падіння та міцності матеріалу. При певній масі кулі, жорсткості пружної пластини, міцності та об'ємі матеріалу прогин пружної пластини x_2 залежить від висоти падіння тіла h . На рис. 2 показані залежності величини деформації пружної пластини від об'єму матеріалу за певних умов при різних висотах падіння кулі.



1 – $h = 1,0$ м; 2 – $h = 1,5$ м;
3 – $h = 2,0$ м; 4 – $h = 2,5$ м

Рисунок 2 - Залежність прогину пружної пластини перетворювача від об'єму матеріалу, що руйнується, при різних висотах падіння кулі

З рис. 2 видно, що деформація центральної частини пружної пластини сильно залежить від висоти падіння кулі. При зростанні об'єму шматків матеріалу V_p прогин пружної пластини x_2 зменшується. Залежність має практично лінійний характер. Чутливість при зменшенні висоти падіння кулі дещо зростає, оскільки при порівняно малій величині початкової енергії падаючої кулі частка її витрати на руйнування зразка буде більш вагомою порівняно з часткою енергії, що залишилася на деформування пружної пластини. Тому більш доцільно працювати при порівняно малих енергіях кулі, яких достатньо для гарантованого руйнування матеріалу. При цьому висоту падіння h необхідно забезпечувати незмінною і бажано мінімальною, але достатньою для гарантованого руйнування матеріалу.

Отже, в умовах незмінності маси падаючої кулі, висоти падіння та жорсткості пружної пластини можливо визначати об'єм шматків матеріалу певного типу подрібнюваності. Можна стверджувати, що залежність (19) є статичною моделлю процесу руйнування твердого матеріалу падаючими тілами і її доцільно застосовувати при ідентифікації завантаження технологічних агрегатів даного призначення.

На підставі проведених досліджень відкривається перспектива розробки пристроїв ідентифікації завантаження подрібнювальних технологічних агрегатів твердим матеріалом, які задовольняють вимогам даного процесу.

Список літератури

1. Нотт Дж. Ф. Основы механики разрушения / Нотт Дж.Ф.: пер. с англ. Д.В. Лаптева. – М.: Металлургия, 1978. – 256 с.
2. Бондарь В.С. Неупругость. Варианты теории / Бондарь В.С. – М.: Физматлит, 2004. – 144 с.
3. Ионов В.И. Динамика разрушения деформируемого тела / В. Ионов, В. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
4. Морозов Н.Ф. Проблемы динамики разрушения твердых тел / Н. Морозов, Ю. Петров. – Санкт - Петербург: Изд. С. – П-б. ун-та, 1997. – 132 с.
5. Андрейкив А.Е. Метод акустической эмиссии в исследовании процессов разрушения / А. Андрейкив, Н. Лысак. – К.: Наукова думка, 1989. – 176 с.
6. Структурные уровни пластической деформации и разрушения / [В.Е. Панин, Ю.В. Гриняев, В.И. Данилов и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 255 с.
7. Партон В.З. Динамика хрупкого разрушения / В. Партон, В. Борисковский. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

8. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы / [Аккерман Ю.Э., Букаты Г.Б., Кщевальтер Б.В. и др.]. – М.: Недра, 1982. – 366 с.
9. Шинкоренко С.Ф. Технология измельчения руд черных металлов / Шинкоренко С.Ф. – М.: Недра, 1982. – 212 с.
10. Колесников Ю.В. Механика контактного разрушения / Ю. Колесников, Е. Морозов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 224 с.
11. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения / Черепанов Г.П. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. – 640 с.
12. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / Андреев С.Е., Зверевич В.В., Перов В.А. – М.: Недра, 1966. – 396 с.
13. Справочник по обогащению и агломерации руд черных металлов / [Шинкоренко С.Ф., Маргулис В.С., Николаенко В.П. и др.]: под ред. С.Ф. Шинкоренко.- М.: Недра, 1964. – 527 с.
14. Ходаков Г.С. Физика измельчения / Ходаков Г.С. – М.: Наука, 1985. – 307 с.
15. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Пановко Я.Г. – Л.: Политехника, 1990. – 272 с.
16. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики: учебник [для студ. высш. техн. учеб. завед.] / Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. – 544 с. (у 2 томах, т. II. Динамика).
17. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн : пер. со втор. америк. перераб. изд. И.Г. Арамановича, А.М. Березмана, И.А. Вайнштейна, Л.З. Румшицкого, Л.Я. Цлафа: под общ. ред. И.Г. Арамановича. – [5-е изд.]. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 832 с. – (Определения, теоремы, формулы).
18. Лободюк В.А. Справочник по элементарной физике / Лободюк В.А., Рябошапка К.П., Шулишова О.И. – К.: Наукова думка, 1978. – 448 с.

В. Кондратец, М. Карчевская

Теоретическое исследование системы с падающим телом при идентификации образцов твердого

В статье приведены результаты теоретических исследований системы с падающим телом (шаром), исследуемым образцом твердого материала и упругой пластиной, которая находится на двух опорах. Найдена статическая математическая модель системы, которая связывает величину деформации упругой пластины с массой падающего тела, высотой падения, жесткостью упругой пластины, крепостью и объемом образца твердого материала. Данная зависимость может служить для определения объема кусков твердого и, как следствие, для идентификации загрузки измельчительных агрегатов материалом.

V. Kondratec M. Karchevskaya

Theoretical research of the system with a falling body during authentication of standards of hard

In the article the results of theoretical researches of the system are resulted with a falling body (by a ball), probed standard of hard material and resilient plate which is on two supports. The static mathematical model of the system, which binds the size of deformation of resilient plate to mass of falling body, height of falling, inflexibility of resilient plate, fortress and volume of standard of hard material, is found. This dependence can serve for determination of volume of pieces of hard and, as a result, for authentication of load of grinding down aggregates material.

Одержано 02.11.09

УДК 631.3-182

М.П. Артёмов

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

До дослідження динаміки колісного сільськогосподарського машинно-тракторного агрегату

В статті розглянуто чинники, які впливають на динаміку колісного сільськогосподарського машинно-тракторного агрегату (МТА), їх вплив на функціональну стабільність під час виконання агротехнічних операцій.

динаміка, функціональна стабільність, машинно-тракторний агрегат

Вступ

Зміни, що відбуваються в сільськогосподарському виробництві: поява невеличких трудових колективів і приватних господарств, впровадження нових технологій та методів організації робіт – вимагають подальшої універсалізації тракторів, як енергетичних засобів, а також розширення меж їх діяльності.

Сучасні трактори отримали нові функціональні якості, це пов'язано із збільшенням можливостей їх агрегування, поєднанням декількох технологічних операцій, використанням машин і обладнання з активними робочими органами, використанням нових компоновальних схем.

Прикладом можуть бути, так звані, інтегральні, або системні трактори: вітчизняні ХТЗ-121, ХТЗ-161, російського виробництва – ЛТЗ-155, Deutz і високоенергонасичені засоби багатоцільового призначення Steyr-8300, Djon Deer. Із збільшенням енергонасиченості і функціональних можливостей тракторів змінюється їх динаміка під час роботи у складі сільськогосподарського МТА, що на сучасному етапі потребує додаткових досліджень.

Проблема

Здебільшого до господарств України потрапляють трактори, що відпрацювали певний моторесурс. Скільки такий трактор відпрацює на ланах фермерського або державного господарства – питання лишається відкритим. У зв'язку з цим було проаналізовано багато варіантів контролю технічного стану енергозасобів, що надходять до України. Одним з методів визначення, як технічного стану так і ресурсу роботи енергозасобу у складі МТА є оцінка використання розвиненої потужності за зміною величини прискорення.

Аналіз досліджень і публікацій

Динамічні властивості трактора в значній мірі визначають його експлуатаційні, агротехнічні показники, через які визначається надійність, строки безвідмовної роботи. Виходячи з цього необхідно зробити висновок - створення нових сільськогосподарських енергетичних засобів вимагає подальшого розвитку як методів досліджень, так і самих досліджень в області динаміки цих машин. За рахунок збільшення вимог до якості виконання робіт, екологічної безпеки, підвищення врожайності, виникає необхідність створення прогресивних форм організації праці,

нових технологічних процесів, вдосконалення трактора, як основного енергетичного засобу та технологічної частини МТА.

Наукові основи досліджень і випробувань сільськогосподарської техніки закладені академіком В.П. Горячкіним, який назвав новий напрямок у науці – ”землеробська механіка” [1]. П.М. Василенко в подальшому за допомогою рівнянь Лагранжа другого роду описав процес появи випадкових збурень руху сільськогосподарської машини [2]. У своїх чисельних працях з землеробської механіки вони звертали увагу на імовірний, випадковий характер показників роботи сільськогосподарських агрегатів через змінність зовнішніх умов. Питання теорії руху машино-тракторних агрегатів, як об’єктів систем автоматичного регулювання і керування детально були розглянуті в роботах О.Б. Лур’є, але оптимальні механічні і динамічні параметри не визначаються [4]. Також не були досліджені умови роботоздатності МТА, оскільки припускалось, що всі функції з оптимізації руху будуть покладені на систему автоматичного регулювання.

На сучасному етапі досліджень все більше уваги звертається на необхідність встановлення співвідношень між діючими на МТА силами, з одного боку, їх масою, швидкостями і режимами роботи – з іншого [3]. Як з’ясовується, всі дослідження проводяться заради того, щоб знайти оптимальне співвідношення між механічними параметрами машин в агрегаті та швидкісними режимами роботи.

Мета досліджень

Не однаково впливає на динамічні показники агрегата та стійкість руху, розташування сільськогосподарських машин по відношенню до енергетичного засобу (трактора): попереду, збоку, або ззаду. Також певним чином на функціональну стабільність роботи МТА впливає технічний стан енергетичного засобу, розподіл крутних моментів, що підводяться до ведучих коліс та випадковість сил опору робочих органів сільськогосподарських знарядь. Необхідно розглянути, як впливає на ефективність роботи МТА використання потужності енергозасобу і крутних моментів під час перехідних процесів.

Вирішення задачі

Динамічні властивості виявляються під час розгону або гальмування МТА і у випадках коли сільськогосподарський агрегат рухається на прямолінійній ділянці, або виконує маневр згідно агротехнічних вимог.

Рух сільськогосподарського машино-тракторного агрегату, як механічної системи, є визначеним, якщо відомі сили, що на нього впливають, і початкові умови руху. Однак, між тим в реальних умовах поряд з основними факторами завжди існують додаткові випадкові збурюючі сили, які виводять систему із стану усталеного руху. Існують два різновиди сталого руху механічних систем (до яких ми відносимо сільськогосподарські МТА). У першому з них початкові збурення у продовж певного часу асимптоматично зменшуються до нуля і зникають; у цьому випадку рух МТА є асимптоматично сталим. У другому випадку збурення, залишаючись малим, повністю не зникає, така сталість визначається, як несимптоматична [5].

Динамічні властивості при різних видах маневрування проявляються через керованість і стійкість руху агрегату. Тому необхідно провести дослідження та надати оцінку потенційних динамічних можливостей сільськогосподарських мобільних енергетичних засобів. Ми визначали, що динамічні властивості МТА інтенсивно проявляються під час перехідних процесів: зміни швидкості руху, зміни сили опору сільськогосподарського знаряддя, потужності, яку розвиває двигун, і в залежності від цього відбувається зміна ефективності роботи, тобто ККД всього агрегату. Коефіцієнт корсної дії ми можемо використовувати, як кваліметричну характеристику агрегату. В дослідженнях автомобілів за останні роки приділяється багато уваги вивченню цього показника багатьма авторами в своїх роботах. [6,7,8,9], оскільки ККД стає не тільки

економічним критерієм якості автомобілів, а й діагностичним параметром їх технічного стану.

Максимальна потужність двигуна мобільного енергетичного засобу реалізується під час його рушання. В цей час потужність двигуна, що підводиться до коліс, витрачається на подолання сили опору коченню, сили опору сільськогосподарського знаряддя, буксування. Надлишок, або запас потужності, що використовується для рушання МТА визначає його динамічність

$$N_e = N_T + \sum N_O, \quad (1)$$

де N_T - тягова потужність, яка використовується на подолання опору знарядь кВт;

$\sum N_O$ - сума втрат потужності на подолання різноманітних опорів, кВт.

$$N_e = N_T + N_f + N_\delta + N_{TP}, \quad (2)$$

де N_f - втрати потужності на перекочування коліс, кВт;

N_δ - втрати потужності на буксування, кВт;

N_{TP} - втрати потужності в трансмісії, кВт.

Після підстановки значень втрат потужності до (1) отримаємо формулу ефективної потужності енергозасобу при роботі на рівній ділянці поля:

$$N_e = \frac{P_T V_P + P_f V_P + P_{пуш} (V_T - V_P)}{3,6} + N (1 - \eta_{TP}). \quad (3)$$

Використання ефективної потужності на рівній ділянці не викриває динамічні можливості сільськогосподарського колісного агрегата. Тому спробуємо записати ефективну потужність двигуна, що реалізується під час розгону агрегату і може бути визначена як

$$N_e = \frac{(m_T + m_3)gV_T(f_T + f_3) + (m_T + m_3)gV_T K_{зч} \varphi \frac{S_x}{1 - S_x} + (m_T + m_3)V_T \delta \frac{dV}{dt}}{\eta_{TP}(1 - S_x)}, \quad (4)$$

де m_T - маса енергетичної установки (трактора);

m_3 - маса сільськогосподарського знаряддя;

V_T - лінійна швидкість трактора;

f_T - коефіцієнт опору коченню коліс енергоустановки;

f_3 - коефіцієнт опору сільськогосподарського знаряддя;

$K_{зч}$ - коефіцієнт використання зчпної ваги енергоустановки під час рушання, що враховує схему приводу ведучих коліс та ступінь реалізації можливої тягової сили;

φ - коефіцієнт зчеплення коліс з поверхнею поля;

P_T - сила тяги енергетичного засобу;

S_x - відносне буксування ведучих коліс

$$S_x = \frac{\omega_k r_\delta - V_T}{\omega_k r_\delta} = 1 - \frac{V_T}{\omega_k r_\delta}; \quad (5)$$

ω_k - кутова швидкість ведучих коліс;

η_{TP} - ККД трансмісії;

r_d - динамічний радіус ведучих коліс;

δ – коефіцієнт, що враховує маси двигуна і трансмісії, які обертаються

$$\delta = 1,03 + 0,05 \cdot u_{kn}^2; \quad (6)$$

де u_{kn} – передатне число коробки передач.

Коли в енергетичній установці використовується безступінчаста трансмісія, δ є безперервною функцією від u_{kn} або швидкості V_T руху агрегату.

Лінійне прискорення МТА визначається за допомогою наступної залежності за умови якщо $K_{зч} < 1$

$$\frac{dV_T}{dt} = K_{зч} (\varphi + f_T) \cdot g - f_T \cdot g - \frac{f_3 \cdot P_T}{(m_T + m_3)} \cdot V_T^2. \quad (7)$$

З виведеного рівняння можна зробити висновок, що лінійне прискорення залежить прямопропорційно від сили тяги, яку розвиває мобільний енергетичний засіб, і швидкості з якою виконується агротехнічна операція та обернено пропорційна залежність із збільшенням маси МТА. Таким чином, можна зробити висновок, прискорення залежить від сили тяги, яку розвиває двигун мобільного енергетичного засобу, і його технічного стану.

Відношення N_T - теоретичної потужності і N_e - ефективної потужності дає дійсний результат використання мобільного енергетичного засобу у складі МТА і є тяговим коефіцієнтом корисної дії

$$\eta_T = \frac{N_T}{N_e}. \quad (8)$$

Значення тягового ККД в основному залежать від конструктивних параметрів мобільного енергетичного засобу і ґрунтових умов.

Висновки

Динамічні властивості МТА інтенсивно проявляються під час перехідних процесів: зміни швидкості руху, зміни сили опору сільськогосподарського знаряддя, потужності, яку розвиває двигун, і в залежності від цього відбувається зміна ефективності роботи. Оцінку технічного стану МТА і можливості його подальшого використання можна надати за двома показниками, що впливають на функціональну стабільність: інтенсивністю зміни швидкості, зміною тягового ККД.

Список літератури

1. Горячкин В.П. Собрание сочинений.- Т.2. – М.: Колос, 1968. – 240с.
2. Василенко П.М. Универсальные математические модели функционирования машинных агрегатов и их применение. – К.: Изд-во УСХА, 1990. – 14с.
3. Надикто В.Т., Крижачківський М.Л., Кюрчев В.М., Абдула С.Л. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві.: Навчальний посібник / Міністерство аграрної політики України. Мелітополь. 2005. – 338с.
4. Лурье А.Б. Автоматизация сельскохозяйственных агрегатов.- Л.: Колос. 1967. 263с.
5. Гячев Л.В. Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов. – М.: Машиностроение, 1981. – 206 с.
6. Закин Я. Х. Маневренность автомобиля и автопоезда. -М.: Транспорт, 1986. – 136с.
7. Чайковский И. П., Саломатин П. А. Рулевое управление автомобилей. -М.: Машиностроение, 1987.– 176 с.
8. Подригало М.А. Волков В.П., Бобошко А.А., и др. Динамика автомобиля. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 426 с.
9. Legouis T., Gosselin C., Bourassa P., Laneville A. Etude parametrique de la stabilite dynamique du systeme venicule / pilote. Yndenieur automobile, 1985, p.78-83.
10. Певзнер Я. М. Теория устойчивости автомобиля. - М.: Машгиз, 1947.– 156 с.

М.Артьомов

Об исследовании динамики колёсного сельскохозяйственного машинно-тракторного агрегата

В статье рассмотрены факторы, влияющие на динамику колёсного сельскохозяйственного машинно-тракторного агрегата (МТА), их влияние на функциональную стабильность во время выполнения агротехнических операций.

M. Artemov

About research of dynamics of the wheel agricultural mashinno-tractor unit

In article the factors influencing dynamics of the wheel agricultural mashinno-tractor unit, their influence on functional stability during performance of agrotechnical operations are considered.

Одержано 29.10.09

УДК 539.4+621.793.1

Е.К.Соловых, проф., канд. техн. наук,

Кировоградский национальный технический университет, Кировоград, Украина

Б.А.Ляшенко, проф., д-р техн. наук,

Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

Оптимизация технологий поверхностного упрочнения по критериям прочности

Установлено, что механические характеристики покрытий зависят от технологических режимов нанесения. Предложена методика оптимизации и управления технологическим процессом по критериям прочности и материалоемкости.

покрытия, прочность, оптимизация, механические характеристики, критерии, материалоемкость

Введение. Разработка любого технологического процесса (ТП) неизбежно связана с решением оптимизационных задач. В области создания упрочняющих защитных покрытий (УЗП) вопросы оптимизации занимают ключевое место. Это обусловлено тем, что многочисленные способы нанесения покрытий в сочетании с обширной номенклатурой материалов, из которых их формируют, и большое количество влияющих факторов предоставляют технологам ряд альтернативных вариантов. В таком случае эффективность принимаемых решений будет зависеть от наличия критериев прочности для управления технологическим процессом.

Состояние проблемы. Высокая чувствительность механических характеристик покрытий и основы к режимам их нанесения предъявляет особое требование к оптимизации и ведению технологического процесса по критериям прочности. Относительно влияния технологических режимов на служебные свойства УЗП имеются противоречивые данные [1]. Поэтому предпринимались попытки систематизировать технологические параметры в виде карт источников влияния на свойства покрытий [2] и иерархических схем параметров [3]. Поискам оптимума и установлению связей между технологическими режимами и свойствами посвящены работы [4-8]. В связи с этим актуальной становится разработка математических моделей и программного

М.Артьомов

Об исследовании динамики колёсного сельскохозяйственного машинно-тракторного агрегата

В статье рассмотрены факторы, влияющие на динамику колёсного сельскохозяйственного машинно-тракторного агрегата (МТА), их влияние на функциональную стабильность во время выполнения агротехнических операций.

M. Artemov

About research of dynamics of the wheel agricultural mashinno-tractor unit

In article the factors influencing dynamics of the wheel agricultural mashinno-tractor unit, their influence on functional stability during performance of agrotechnical operations are considered.

Одержано 29.10.09

УДК 539.4+621.793.1

Е.К.Соловых, проф., канд. техн. наук,

Кировоградский национальный технический университет, Кировоград, Украина

Б.А.Ляшенко, проф., д-р техн. наук,

Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

Оптимизация технологий поверхностного упрочнения по критериям прочности

Установлено, что механические характеристики покрытий зависят от технологических режимов нанесения. Предложена методика оптимизации и управления технологическим процессом по критериям прочности и материалоемкости.

покрытия, прочность, оптимизация, механические характеристики, критерии, материалоемкость

Введение. Разработка любого технологического процесса (ТП) неизбежно связана с решением оптимизационных задач. В области создания упрочняющих защитных покрытий (УЗП) вопросы оптимизации занимают ключевое место. Это обусловлено тем, что многочисленные способы нанесения покрытий в сочетании с обширной номенклатурой материалов, из которых их формируют, и большое количество влияющих факторов предоставляют технологам ряд альтернативных вариантов. В таком случае эффективность принимаемых решений будет зависеть от наличия критериев прочности для управления технологическим процессом.

Состояние проблемы. Высокая чувствительность механических характеристик покрытий и основы к режимам их нанесения предъявляет особое требование к оптимизации и ведению технологического процесса по критериям прочности. Относительно влияния технологических режимов на служебные свойства УЗП имеются противоречивые данные [1]. Поэтому предпринимались попытки систематизировать технологические параметры в виде карт источников влияния на свойства покрытий [2] и иерархических схем параметров [3]. Поискам оптимума и установлению связей между технологическими режимами и свойствами посвящены работы [4-8]. В связи с этим актуальной становится разработка математических моделей и программного

обеспечения. Однако разрабатываемые математические модели для САПР ТП и АСУ

ТП не охватывают многих явлений, определяющих эксплуатационные свойства УЗП. Они, как правило, рассматривают отдельные характеристики покрытий, оптимизацию отдельных свойств. В теории, технологии и практике УЗП сложилось и успешно развивается новое направление – оптимизация технологических процессов по критериям прочности [9]. Применение многопараметрической оптимизации методом факторного планирования эксперимента позволяет определить технологические параметры, обеспечивающие максимально возможную прочность и долговечность детали с покрытием.

Особенность нового направления заключается в проведении исследования по единой матрице планирования эксперимента с учетом технологических факторов, комплекса механических и эксплуатационных характеристик.

Согласно технологическим условиям достижение максимальной прочности и долговечности должно сопровождаться снижением энергетических и других материальных затрат. Поэтому при многокритериальной оптимизации кроме критериев прочности используют экономические критерии.

Цель работы заключается в создании для покрытий методики оптимизации технологических процессов по критериям прочности, обеспечивающей достижение максимально возможной прочности и долговечности детали с покрытием при минимальных затратах на процесс его нанесения. Научная часть работы состоит в разработке математических моделей, базирующихся на критериях прочности, которые используются как основа для программного обеспечения САПР ТП.

Результаты исследований. В качестве критерия оптимизации при газотермическом напылении принята когезионная прочность покрытия σ_k . Однако, учитывая условия снижения материалоемкости технологического процесса, в качестве критерия оптимизации также принят коэффициент использования материала (КИМ).

На первом этапе исследования поставлен полный факторный эксперимент типа 2^4 . Однако исследуемые зависимости нельзя с достаточной точностью аппроксимировать полиномами первой степени. Поэтому выбран четырехфакторный симметричный некомпозиционный план второго порядка [10], который представляет собой комбинацию двухуровневых (-1, +1) полных факторных экспериментов с неполноблочным сбалансированным планом. Отметим, что данный план имеет нулевое значение фактора несферичности, т.е. он является рототабельным, что позволяет с одинаковой точностью предсказывать значение функции отклика в любом направлении. Кроме того, план имеет сравнительно малое количество опытов: 27.

Расчет коэффициентов уравнений регрессии и проверка адекватности построенных моделей проводились по известным методикам [10]. После математической обработки матрицы планирования при 5%-ном уровне значимости коэффициентов полиномов получены уравнения регрессии:

$$Y_1 = 188,3 + 43,71X_1 - 16,58X_2 + 18,45X_4 + 26,25X_1X_4 + 18,72X_1 + 48,14X_2^2 + 10,62X_3^2 + 37,88X_4^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = 71,7 + 12,83X_1 - 6,73X_2 - 7,715X_3 - 8,33X_1X_2 + 2,74X_1X_3 + 10,06X_1X_4 - 4,14X_1^2 - 6,89X_2^2 + 5,28X_3^2 - 9,75X_4^2. \quad (2)$$

Относительную степень влияния факторов на выходные параметры процесса можно представить в виде диаграмм для Y_1 (рис.1) и Y_2 (рис.2).

После канонических преобразований уравнение для Y_1 имеет вид

$$Y_1 - 236,2 = 18,95X_1^2 + 17,09X_2^2 + 9,44X_3^2 + 14,37X_4^2. \quad (3)$$

Каноническое уравнение для параметра КИМ запишем следующим образом:

$$Y_2 - 92,85 = -9,21X_1^2 - 3,99X_2^2 - 8,57X_3^2 - 3,41X_4^2. \quad (4)$$

Рассчитанные значения критериев оптимизации σ_k и КИМ в центре поверхности функции отклика Y_{1S} таковы:

- $\sigma_{k,1S}=236,2$ (максимальное значение);
- КИМ_{1S}=69,98%,

в центре поверхности функции отклика Y_{2S} :

- $\sigma_{k,2S}=164,7$ МПа;
- КИМ_{2S}=92,15% (максимальное значение).

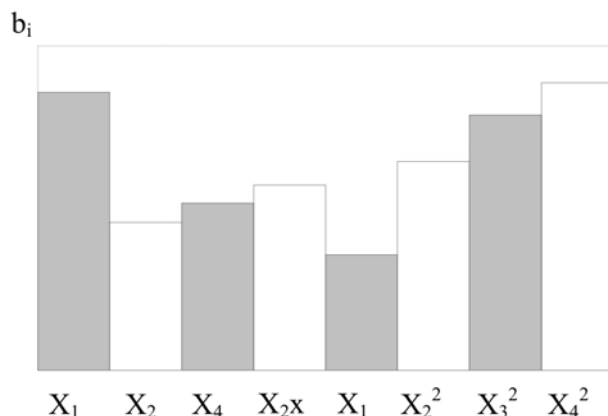


Рисунок 1 - Относительная степень влияния входных факторов на когезионную прочность σ_k .

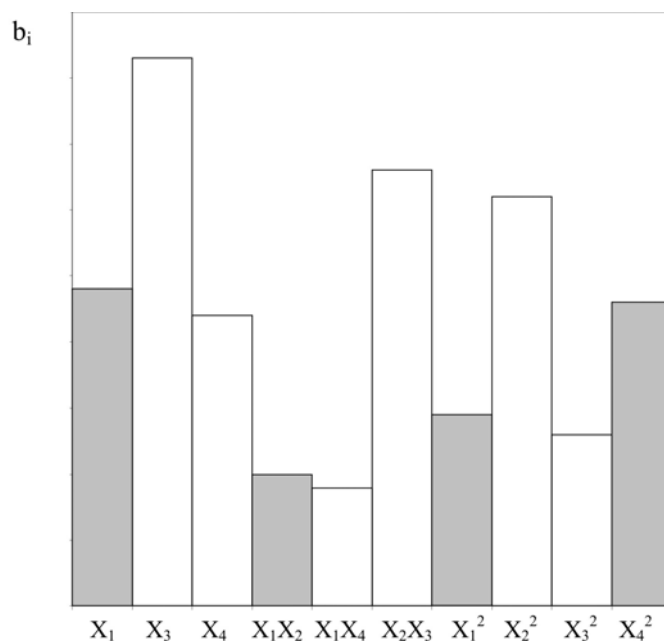


Рисунок 2 - Относительная степень влияния входных факторов на КИМ

При выборе режимов напыления принималось компромиссное решения: получение оптимально высокой когезионной прочности при обеспечении по возможности более высокого коэффициента использования напыляемого материала.

Как и следовало ожидать, базовый вариант промышленной технологии газотермического напыления, принятой на эмпирически интуитивной основе,

оказывается неоптимальным как по прочности (σ_k), так и по экономической характеристике (КИМ).

Выводы. На примере газотермического напыления покрытий предложена методика оптимизации технологического процесса по критериям прочности. При математическом планировании эксперимента в качестве функции отклика принимают когезионную прочность покрытия σ_k при соблюдении оптимального соотношения с адгезионной прочностью τ . Исходя из условий снижения материалоемкости, в качестве еще одного критерия оптимизации принят коэффициент использования материала. В качестве нулевого плана эксперимента принята промышленная технология, режимы которой установлены на эмпирической основе. Из уравнений регрессии рассчитывают условия получения максимальной прочности σ_k при максимальном КИМ. Стендовые испытания покрытий, нанесенных по оптимальным технологическим режимам, показывают, что долговечность покрытия увеличивается в два раза за счет коррекции технологических параметров.

Список литературы

1. Будилов В.В.. Защитные свойства вакуумных ионно-плазменных покрытий на лопатках компрессоров ГТД / Будилов В.В., Мухин В.С., Минаева О.Б.// Авиаци. пром-сть. – 1995. № 3-4. – С.41-45.
2. Huston R.P. Role of designed experiments to evaluate factors that influence measured properties of sprayed coatings // Proc. of NTSC'90. –1990. –P.675-680.
3. Heiman R.. Parameter optimization of alumina-titania coatings by a statistical experimental design / Heiman R., Lamy D., and Sopkow T.N. // Proc. of NTSC'90.- 1990.–P.491-496.
4. Steeper T.. Design of Experiment study of plasma Sprayed coatings / Steeper T., Riggs W., and Tagushi A. //Proc. of NTSC'93. –1993.–P.31-36.
5. Bisgaard S. Optimizing thermal spray processes – going beyond tagushi methods // Proc. of NTSC'90. – 1990. –P.661-665.
6. Vuoristo P. Optimization and monitoring of spray parameters by a CCD camera based imaging thermal spray monitor / Vuoristo P. and Ahmaniemi S. et al. // Proc. of ITSC'2001.– 2004.–P.727-735.
7. Bulancea D.. The optimizing of the superficial cold-burst hardening process of the inner cylindrical metallic surface by knocking with centrifuged balls / Bulancea D., Bukancea V., Alexandru I., and Condurache D. // Proc. of ITSC'2000. –2000.–P.957-962.
8. Blein F.. Experimental design based on McLean and Anderson modeling applied to the prediction of plasma properties / Blein F., Roussel E., and Freslon A. // Proc. of 15th ITSC'1998. –1998. –P.881-886.
9. Оптимизация технологических процессов по критериям прочности: Межвуз. темат. науч. сб. – Уфа, 1987. –166 с.
10. Новик Ф.С.. Оптимизация процессов технологии металлов методом планирования экспериментов. / Ф. Новик, Я. Ар соф.– М.; София: Машиностроение; Техника, 1980. –340 с.

Е.Соловях, Б.Ляшенко

Оптимізація технологій поверхневого зміцнення по критеріях міцності

Установлено, що механічні характеристики покриттів залежать від технологічних режимів нанесення. Запропоновано методику оптимізації й управління технологічним процесом за критеріями міцності і матеріалоемності.

Е. Solovykh, B. Lyashenko

Optimization technologies of the superficial work-hardening on the criteria of durability

It is set that mechanical descriptions of coverages depend on the technological modes of causing. The method of optimization and technological process control is offered on the criteria of durability and resource-demanding.

Одержано 12.11.09.

УДК 631.331

С.І. Шмат, проф., канд. техн. наук, В.В. Гончаров, доц., канд. техн. наук,
В.А. Дейкун, викладач

Кіровоградський національний технічний університет

Удосконалений сошник прямого посіву зернових культур

Для підвищення схожості насіння і розвитку рослин запропонований сошник прямого посіву зернових культур. У статті розглянуті теоретичні передумови розміщення насіння після сошника та його переваги перед існуючими конструкціями.

сівалка прямого посіву, стрілчаста одностороння лапа, сошник, смуговий посів

В останні роки велику увагу за кордоном приділяють зменшенню енергетичних витрат на вирощування сільськогосподарських культур. Одним із заходів енергозберігаючих технологій є використання сівалок прямого посіву. Такі сівалки не потребують обробітку ґрунту, їх дискові чи полозкові сошники здатні проробляти борозенку для загорання насіння на визначеній глибині. Але недоліком таких сошників є неможливість розміщувати насіння у вологий прошарок ґрунту, як того потребують агротехнічні вимоги до посіву [1]. При проробленні борозни та висіву насіння загортається більш сипучим сухим ґрунтом, який має менші коефіцієнти внутрішнього тертя ковзання і швидше переміщуються в зону розміщення насіння, ніж вологі частки ґрунту. Це призводить до погіршення схожості насіння, а при тривалій відсутності дощів до затримання розвитку рослин і зниження урожайності.

Дещо покращують умови загорання насіння сошники у вигляді стрілчастих лап, які мають трубки для транспортування насіння від висівного апарату до сошника. Лапа при цьому підрізує і розпушує ґрунт, на нижню поверхню обробленої смуги потрапляє насіння, яке розподіляється по всій ширині смуги, що збільшує індивідуальні зони живлення кожної зернини, внаслідок чого рослини краще розвиваються. Іншою перевагою таких сошників є їх можливість працювати по стерньовому (необробленому) полю, тобто вони не потребують додаткової обробітку перед посівом. Але існуючі сошники такого типу мають істотний недолік – проходячи по центру рядка, стояк сошника розгортає верхній сухий прошарок ґрунту, який потім падає на висіяне зерно. Іншим недоліком сошника є те, що стояком відкидається вбік стерня та рослинні залишки, усувати таким чином мульчу з рядка та погіршуючи умови вегетації культури в зимовий період (відбувається інтенсивне промерзання сходів) та в літній період, коли сонячне проміння інтенсивно прогріває ґрунт.

Для усунення вказаних недоліків нами запропонований односторонній лаповий сошник, у якого стояк і трубка для транспортування насіння розміщені збоку лапи [2]. На рис. 1 показана запропонована конструкція лапового сошника.

Сошник складається з стояка 1, насінневої трубки 2, односторонньої лапи 3 та розподільника насіння 4. Трубка 2 прикріплена позаду стійки 1, а внизу до трубки кріпиться розподільник 4, який служить дном трубки і напрямником насіння під лапу 3 (рис. 2).

Процес загортання насіння відбувається таким чином. При русі сівалки лапа 3 розпушує шар ґрунту в зоні рядка, підрізаючи при цьому корені бур'янів і залишаючи на поверхні рядками незруйновану стерню та рослинні залишки. Насіння з трубки 2 потрапляє на розподільник 4 і направляється вбік від стояка 1 під лапу 3, де розміщується смугою завширшки 3–7 см на ущільненому лапою дні борозенки.

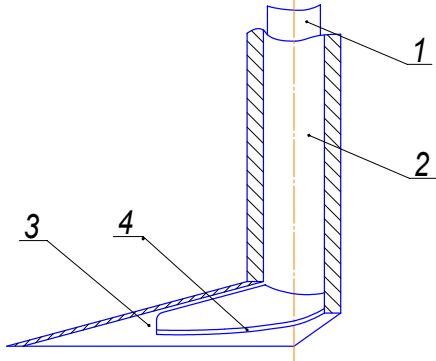


Рисунок 1 - Удосконалений сошник

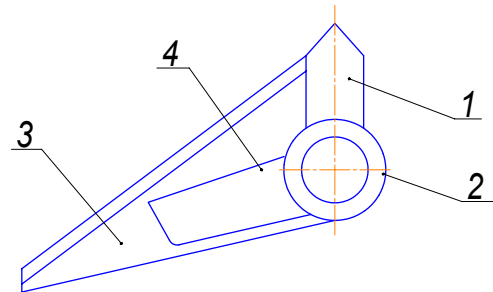


Рисунок 2 – Схема розташування елементів лапи

Після проходження лапи верхній розпушений шар ґрунту без перемішування з нижнім шаром падає на насіння, при цьому усувається винос в зоні рядка нижніх більш вологих шарів на поверхню.

Обґрунтуємо форму поверхні відбивача-напрячника насіння під лапу. Вихідним положенням буде розкидання насіння по максимально можливій ширині смуги, яку утворює лапа. Насіння після насіннепровода попадає на поверхню напрямника і скочується по цій поверхні до дна борозни.

Для спрощення розрахунків розглянемо вказану задачу при умові, коли вертикальна складова швидкості насіння буде сталою (рис. 3).

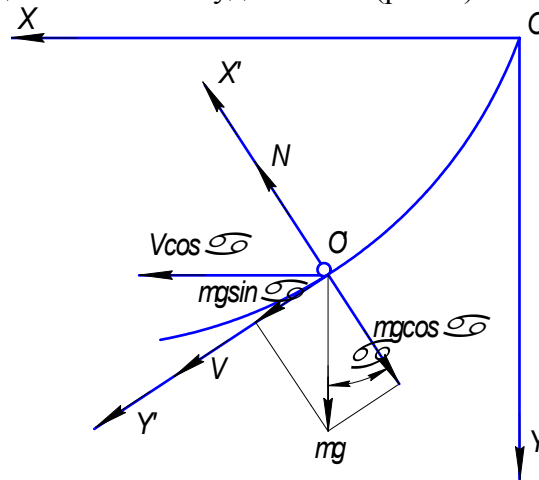


Рисунок 3 – Схема сил, що діють на насінину на поверхні напрямника

Запишемо диференціальне рівняння руху насіння по кривій поверхні напрямника:

$$\begin{cases} m \frac{dV}{dt} = mg \sin \alpha - fN \\ N = mg \cos \alpha - m \frac{V^2}{\rho} \end{cases} \quad (1)$$

де ρ – радіус кривизни напрямника.

При постійній складовій по осі OY будемо мати:

$$\frac{dy}{dt} = Y' = Y'_0 = V \sin \alpha = const$$

або

$$V = \frac{Y'_0}{\sin \alpha}. \quad (2)$$

Підставимо вираз (2) у рівняння (1).

$$\frac{dV}{dt} = g \sin \alpha - fg \cos \alpha \pm f \frac{(Y'_0)^2}{\rho \sin^2 \alpha}. \quad (3)$$

Враховуючи, що:

$$\sin \alpha = \frac{y'_t}{V}; \quad \cos \alpha = \frac{x'_t}{V} \quad \rho = \frac{V}{\alpha}, \quad (4)$$

отримаємо:

$$\frac{dV}{dt} = g \frac{y'_t}{V} - fg \frac{x'_t}{V} + f \frac{(Y'_0)\alpha'_t}{V \sin^2 \alpha}$$

або

$$V \frac{dV}{dx} = g(y' - f) + f(Y'_0)^2 \frac{y''}{y'^2}. \quad (5)$$

Продиференціюємо рівність (2) по змінній x :

$$\frac{dV}{dx} = -Y'_0 \frac{\cos \alpha d\alpha}{\sin^2 \alpha dx} \quad (6)$$

і помножимо отриману рівність (6) на (2):

$$V \frac{dV}{dx} = -(Y'_0)^2 \frac{\cos \alpha d\alpha}{\sin^3 \alpha dx} = -(Y'_0)^2 \frac{y''}{y'^4}. \quad (7)$$

Підставимо (7) в (5):

$$-(Y'_0)^2 \frac{y''}{y'^4} = g(y' - f) + f(Y'_0)^2 \frac{y''}{y'^2}.$$

Звідки

$$y'' = -\frac{g}{(Y'_0)^2} \frac{y'^4(y' - f)}{1 + fy'^2}. \quad (8)$$

Зробимо заміну $y' = \frac{dy}{dx} = P$

$$\frac{dP}{dx} = -\frac{g}{(Y'_0)^2} \frac{P^4(P - f)}{1 + fP^2}. \quad (9)$$

З (9), розподіляючи змінні інтегруючи, отримаємо

$$\int \frac{1 + fP^2}{P^4(P - f)} dP = -\frac{g}{(Y'_0)^2 x} + C_6. \quad (10)$$

Розкладемо підінтегральну функцію на найпростіші дроби

$$\frac{1 + fP^2}{P^4(P - f)} \equiv \frac{A}{P^4} + \frac{B}{P^3} + \frac{C}{P^2} + \frac{D}{P} + \frac{E}{P - f}. \quad (11)$$

З (11) знаходимо

$$A = -\frac{1}{f}, \quad B = -\frac{1}{f^2}, \quad C = -\frac{1}{f^3}, \quad D = -\frac{1}{f} - \frac{1}{f^4}, \quad E = \frac{1}{f^4} + \frac{1}{f}.$$

І рівність (10) приймає вигляд

$$\frac{1}{3fP^3} + \frac{1}{2f^2P^2} + \left(1 + \frac{1}{f^3}\right) \frac{1}{P} + \left(\frac{1}{f} + \frac{1}{f^4}\right) \ln\left(1 - \frac{f}{P}\right) = -\frac{g}{(Y'_0)^2} x + C_6, \quad (12)$$

де C_6 – стала інтегрування.

З початкової умови $P=P_0$ при $x=0$ випливає

$$C_6 = \frac{1}{3fP_0^3} + \frac{1}{2f^2P_0^2} + \left(1 + \frac{1}{f^3}\right) \frac{1}{P_0} + \left(\frac{1}{f} + \frac{1}{f^4}\right) \ln\left(1 - \frac{f}{P_0}\right) \quad (13)$$

Підставимо (13) в (12)

$$x = \frac{(Y'_0)^2}{g} \left[\frac{1}{3f} \left(\frac{1}{P_0^3} - \frac{1}{P^3} \right) + \frac{1}{2f^2} \left(\frac{1}{P_0^2} - \frac{1}{P^2} \right) + \left(1 + \frac{1}{f^3}\right) \left(\frac{1}{P_0} - \frac{1}{P} + \frac{1}{f} \ln \frac{1 - \frac{f}{P_0}}{1 - \frac{f}{P}} \right) \right] \quad (14)$$

Тепер знайдемо залежність змінної y від параметра P . З (9) маємо

$$P \frac{dP}{dy} = -\frac{g}{(Y'_0)} \frac{P^4(P-f)}{1+fP^2} \quad (15)$$

або

$$\frac{1+fP^2}{P^4(P-f)} dP = -\frac{g}{(Y'_0)} dy \quad (16)$$

Розкладемо дріб в лівій частині рівності (16) на найпростіші

$$\frac{1+fP^2}{P^3(P-f)} = \frac{A}{P^3} + \frac{B}{P^4} + \frac{C}{P} + \frac{D}{P-f} \quad (17)$$

З (17) знаходимо

$$A = -\frac{1}{f}, \quad B = -\frac{1}{f^2}, \quad C = -1 - \frac{1}{f^3}, \quad D = 1 + \frac{1}{f^3} \quad (18)$$

Підставивши (17), (18) в (16) знаходимо і інтегруючи останнє отримаємо

$$\frac{1}{2fP^2} + \frac{1}{f^2P} + \left(1 + \frac{1}{f^3}\right) \ln\left(1 - \frac{f}{P}\right) = -\frac{g}{(Y'_0)} y + C_7 \quad (19)$$

де C_7 – стала інтегрування.

З умови $P(0)=P_0$ випливає

$$C_7 = \frac{1}{2fP_0^2} + \frac{1}{f^2P_0} + \left(1 + \frac{1}{f^3}\right) \ln\left(1 - \frac{f}{P_0}\right) \quad (20)$$

Підставивши (20) в (19) знайдемо

$$y = \frac{(Y'_0)^2}{g} \left[\frac{1}{2f} \left(\frac{1}{P_0^2} - \frac{1}{P^2} \right) + \frac{1}{f^2} \left(\frac{1}{P_0} - \frac{1}{P} \right) + \left(1 + \frac{1}{f^3}\right) \ln \frac{1 - \frac{f}{P_0}}{1 - \frac{f}{P}} \right] \quad (21)$$

Функції (14), (21) – задають в параметричному вигляді криву напрямника при сталій вертикальній складовій швидкості руху насіння.

Графік функцій $y=y(x)$, заданої у вигляді (14), (21), показані на рис. 4.

Викладені обґрунтування дають можливість вибрати раціональні параметри елементів сошника, які приймають участь в транспортуванні насіння до борозни.

Запропонований сошник має такі переваги:

- насіння укладається в зону, над якою верхній шар ґрунту не руйнується, не

змішується з нижнім шаром, залишаючи мульчу для створення «теплих» умов;

- насіння укладається на ущільнене лапою дно борозни, загортається нижніми більш вологими шарами ґрунту, що сприяє підвищенню його схожості та розвитку рослин;

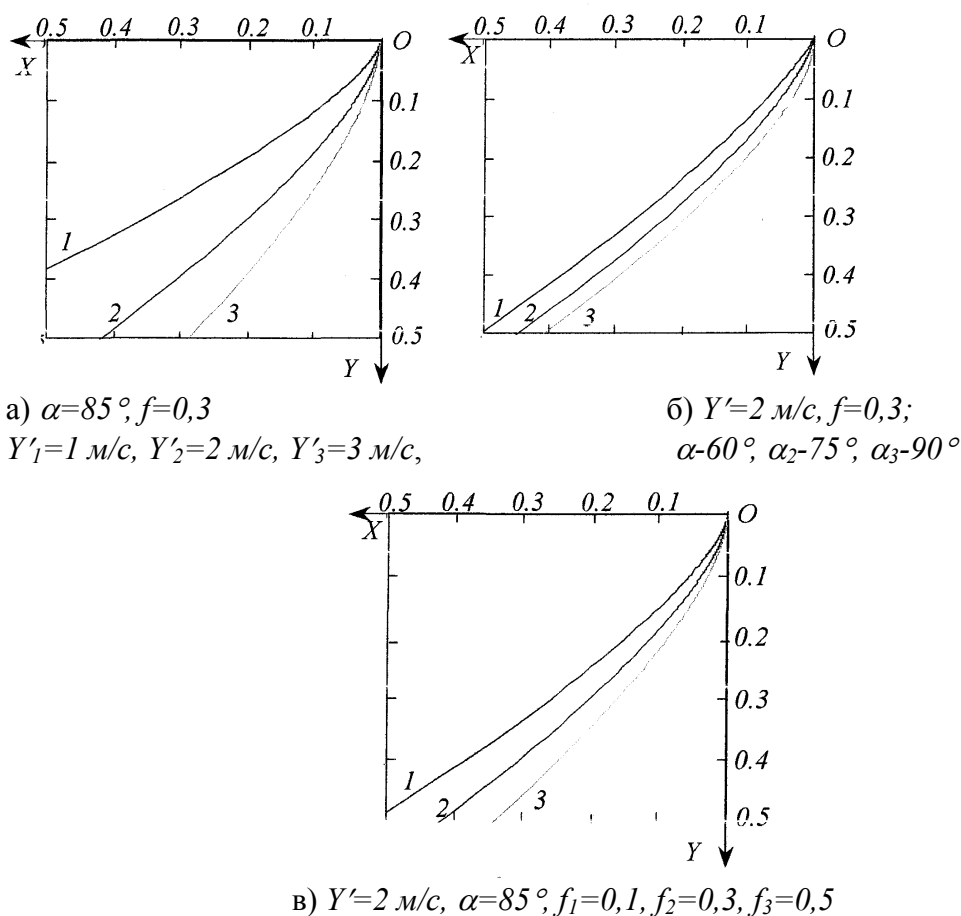


Рисунок 4 – Крива напрямника руху насіння при сталій вертикальній складовій швидкості при різних параметрах напрямника

- насіння в борозні розміщується смугою, що підвищує рівномірність площі живлення кожної рослини.

Список літератури

1. Сисолін П.В., Бойко А.І. Нові сошники для якісної сівби зернових культур. // Техніка АПК.– 2005.– №3–4.– С. 6–8.
2. Пат. 2226 Україна. Сошник прямого посіву / Шмат С.І., Свірень М.О., Дейкун В.А., 2009. – Бюл. №12.
3. Василенко П.М. Определение кинематических элементов перемещения частицы по стандартным шероховатым поверхностям. // Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 1973.– №10.

С. Шмат, В. Гончаров, В. Дейкун

Усовершенствованный сошник прямого посева зерновых культур

Для повышения схожести семян и развития растений предложен сошник прямого посева зерновых культур. В статье рассмотрено устройство сошника и его преимущества перед существующими конструкциями.

S. Shmat, V. Goncharov, V. Dejgun

Improved soshnik of the direct sowing of corn cultures

For the rise of likeness of seeds and development of plants soshnik of the direct sowing of corn cultures is offered. In the article the device of soshnik and his advantage before existent constructions is considered.

Одержано 25.10.09

УДК 631.364.5

О.М. Гайденко, канд. техн. наук

Кіровоградський інститут АПВ УААН

Дослідження роботи важільно-амортизаційного прижимного пристрою поршневого ущільнювача

Наведено результати експериментальних досліджень роботи важільно-амортизаційного прижимного пристрою поршневого ущільнювача. На основі експериментальних даних отримано рівняння регресії для визначення взаємозалежності сили протидії руху мішка з субстратом від конструкційних параметрів важільно-амортизаційного прижимного пристрою.

важільно-амортизаційний прижимний пристрій, поршневий ущільнювач, діапазон щільності, сила протидії, якість роботи, субстрат

Проблема. При вирощуванні сільськогосподарських культур у сівозмінах утворюється значна кількість рослинної біомаси у вигляді соломи, полови та інших рослинних залишків. На сьогоднішній день існує декілька технологій подальшого її використання, одна з яких передбачає переробку соломи у субстрати для вирощування істівних грибів. Але впровадження у виробництво даних технологій потребує розробки нових та удосконалення існуючих технічних засобів для виробництва субстратів. Існує необхідність створення технічних засобів для ущільнення та пакування субстратів з робочими органами, які б забезпечували виконання технологічних операцій з заданими показниками якості при мінімальних питомих енергетичних витратах.

В даний час недостатньо досліджень щодо параметрів ущільнювачів та супутнього обладнання для вирощування гливи, які забезпечують одночасно з ущільненням і пакування субстрату в мішки. Недостатньо також науково-обґрунтованих показників якості процесу ущільнення субстрату, та їх взаємозв'язку з параметрами технічних засобів для ущільнення та пакування субстрату. Це стримує подальше підвищення ефективності виробництва субстрату для вирощування гливи на основі удосконалення технічних засобів для ущільнення та пакування субстрату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні закономірності, які пов'язують конструкційно-технологічні параметри робочих органів ущільнювачів та показники якості й енергоємності процесу ущільнення наведені в роботах [1, 2]. За результатами обробки експериментальних даних та теоретичних досліджень було запропоновано ряд рівнянь, які пов'язують тиск із щільністю матеріалу. Встановлено також закономірності ущільнення пастеризованого субстрату для вирощування гливи та його фізико-механічних властивостей [3, 4].

S. Shmat, V. Goncharov, V. Dejkun

Improved soshnik of the direct sowing of corn cultures

For the rise of likeness of seeds and development of plants soshnik of the direct sowing of corn cultures is offered. In the article the device of soshnik and his advantage before existent constructions is considered.

Одержано 25.10.09

УДК 631.364.5

О.М. Гайденко, канд. техн. наук

Кіровоградський інститут АПВ УААН

Дослідження роботи важільно-амортизаційного прижимного пристрою поршневого ущільнювача

Наведено результати експериментальних досліджень роботи важільно-амортизаційного прижимного пристрою поршневого ущільнювача. На основі експериментальних даних отримано рівняння регресії для визначення взаємозалежності сили протидії руху мішка з субстратом від конструкційних параметрів важільно-амортизаційного прижимного пристрою.

важільно-амортизаційний прижимний пристрій, поршневий ущільнювач, діапазон щільності, сила протидії, якість роботи, субстрат

Проблема. При вирощуванні сільськогосподарських культур у сівозмінах утворюється значна кількість рослинної біомаси у вигляді соломи, полови та інших рослинних залишків. На сьогоднішній день існує декілька технологій подальшого її використання, одна з яких передбачає переробку соломи у субстрати для вирощування істівних грибів. Але впровадження у виробництво даних технологій потребує розробки нових та удосконалення існуючих технічних засобів для виробництва субстратів. Існує необхідність створення технічних засобів для ущільнення та пакування субстратів з робочими органами, які б забезпечували виконання технологічних операцій з заданими показниками якості при мінімальних питомих енергетичних витратах.

В даний час недостатньо досліджень щодо параметрів ущільнювачів та супутнього обладнання для вирощування гливи, які забезпечують одночасно з ущільненням і пакування субстрату в мішки. Недостатньо також науково-обґрунтованих показників якості процесу ущільнення субстрату, та їх взаємозв'язку з параметрами технічних засобів для ущільнення та пакування субстрату. Це стримує подальше підвищення ефективності виробництва субстрату для вирощування гливи на основі удосконалення технічних засобів для ущільнення та пакування субстрату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні закономірності, які пов'язують конструкційно-технологічні параметри робочих органів ущільнювачів та показники якості й енергоємності процесу ущільнення наведені в роботах [1, 2]. За результатами обробки експериментальних даних та теоретичних досліджень було запропоновано ряд рівнянь, які пов'язують тиск із щільністю матеріалу. Встановлено також закономірності ущільнення пастеризованого субстрату для вирощування гливи та його фізико-механічних властивостей [3, 4].

Наявність припущень та передумов вказує на складність фізичних явищ, які мають вплив на процес ущільнення сіно-соломистих матеріалів, тому ні одна із отриманих залежностей не може в достатній мірі повністю описати процес ущільнення соломистих сумішей, що і зумовлює необхідність проведення експериментальних досліджень направлених на встановлення взаємозв'язку між фізико-механічними властивостями соломистих матеріалів та різними конструкційно-технологічними параметрами на показники якості процесу ущільнення.

Мета досліджень. Встановити залежність сили протидії руху мішка з субстратом від конструкційних параметрів важільно-амортизаційного прижимного пристрою поршневого ущільнювача.

Результати досліджень. Дослідження процесу ущільнення вологого соломистого субстрату для вирощування гливи проводилося з використанням експериментального зразка поршневого ущільнювача [5, 6]. При цьому постійними були такі конструкційно-технологічні параметри ущільнювача: продуктивність масляного насоса гідростанції $0,00037 \text{ м}^3/\text{с}$; внутрішній діаметр горизонтальної камери $0,257 \text{ м}$; об'єм порції субстрату $0,006 \text{ м}^3$. Під час проведення випробувань за допомогою контрольно-вимірвальних приладів фіксували технологічні параметри машини та розмірно-вагові параметри отриманої продукції – ущільнених мішків із субстратом. Середнє значення об'ємної маси та вологості субстрату відповідно становили $110 \text{ кг}/\text{м}^3$ та $81,7 \%$. Середньозважена довжина часточок субстрату досліджуваної партії становила $142,8 \text{ мм}$. Середнє значення коефіцієнта бокового тиску та коефіцієнта тертя субстрату по сталі відповідно становили $0,58$ та $0,28$. Середнє значення коефіцієнта поперечного розширення ущільнених блоків субстрату становило $1,22$ відносних од.

При цьому постійними були такі конструкційні параметри поршневого ущільнювача: зовнішній діаметр камери основного ущільнення $D_{ЗКО}=0,273 \text{ м}$, довжина вивантажувальної горловини $L_I=0,2 \text{ м}$.

Для встановлення взаємозв'язку впливу ширини прижимного ролика L (мм), мінімального діаметра ролика d (мм) та величини прикладеного зусилля на важелі P (Н) на силу протидії руху мішка з субстратом $F_{ПР}$ (Н) у виробничих умовах було проведено експеримент за планом Бокса-Бенкіна. Статистичне оцінювання отриманих результатів включало перевірку на однорідність дисперсій за критерієм Кохрена. Адекватність отриманої математичної моделі та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Визначення значущості коефіцієнтів регресії проводили за критерієм Стьюдента. Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів при випробуванні важільно-амортизаційного прижимного пристрою ущільнювача

№ п/п	Найменування фактора та його позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
		-1	0	+1	
1	Ширина прижимного ролика, мм	60	90	120	30
2	Мінімальний діаметр прижимного ролика, мм	29	42	55	13
3	Прикладене зусилля на важелі, Н	5	15	25	10

За результатами багатфакторних експериментів було отримано математичну модель – рівняння регресії у вигляді поліному другого порядку.

$$F_{\text{ПР}} = 7,2359 + 0,0111L + 0,481d + 4,7087P - 0,0001L^2 - 0,0097d^2 - 0,0642P^2 + 0,0004LP - 0,0071dP. \quad (1)$$

Аналіз залежностей (рис. 1) показує, що зі зміною ширини прижимного ролика L сила протидії руху мішка з субстратом $F_{\text{ПР}}$ залишається практично незмінною та дорівнює 55,6; 62,9 та 66,9 Н для відповідних значень діаметра ролика 55; 42 та 29 мм, що вказує про недоцільність в подальшому врахування впливу даного фактору.

Було встановлено зменшення сили протидії руху мішка з субстратом $F_{\text{ПР}}$ в залежності від збільшення діаметра ролика d , що пояснюється наявністю додаткового опору кочення, при мінімальному діаметрі ролика, та відповідного зменшенні його по мірі збільшення діаметра ролика, що пов'язане з подоланням перешкод (збрижів), які мають місце при одягнутому мішку на вивантажувальну горловину камери. Зокрема, при діаметрі ролика 29 мм сила протидії руху мішка з субстратом $F_{\text{ПР}}$ на 17 % більша, в порівнянні до варіанту роботи з діаметром ролика 55 мм. Відмічено максимальне значення сили протидії руху мішка з субстратом при діаметрі ролика 29 мм, яка змінюється від 66,8 до 66,9 Н при всіх значеннях ширини ролика.

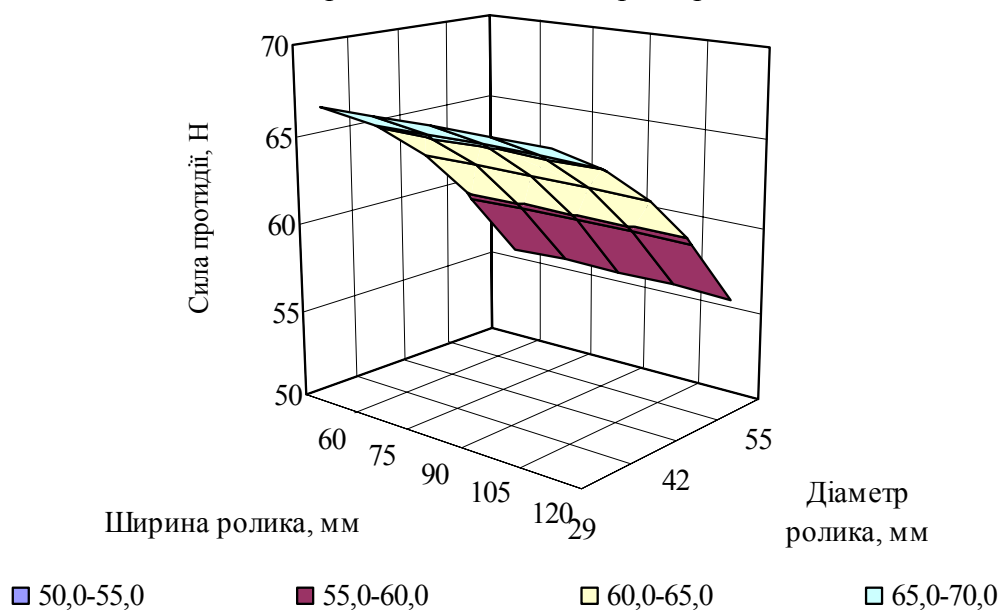


Рисунок 1 - Залежність сили протидії руху мішка з субстратом від ширини та діаметра ролика

Аналіз залежностей (рис. 2) показує, що зі збільшенням величини прикладеного зусилля на важелі P сила протидії руху мішка з субстратом $F_{\text{ПР}}$ збільшується і має максимальне значення при силі протидії руху мішка 25 Н та змінюється від 81,5 до 81,7 Н при всіх значеннях ширини ролика, що пов'язане зі створенням додаткового опору кочення ролика при утримуванні мішка, одягненого на вивантажувальну горловину камери.

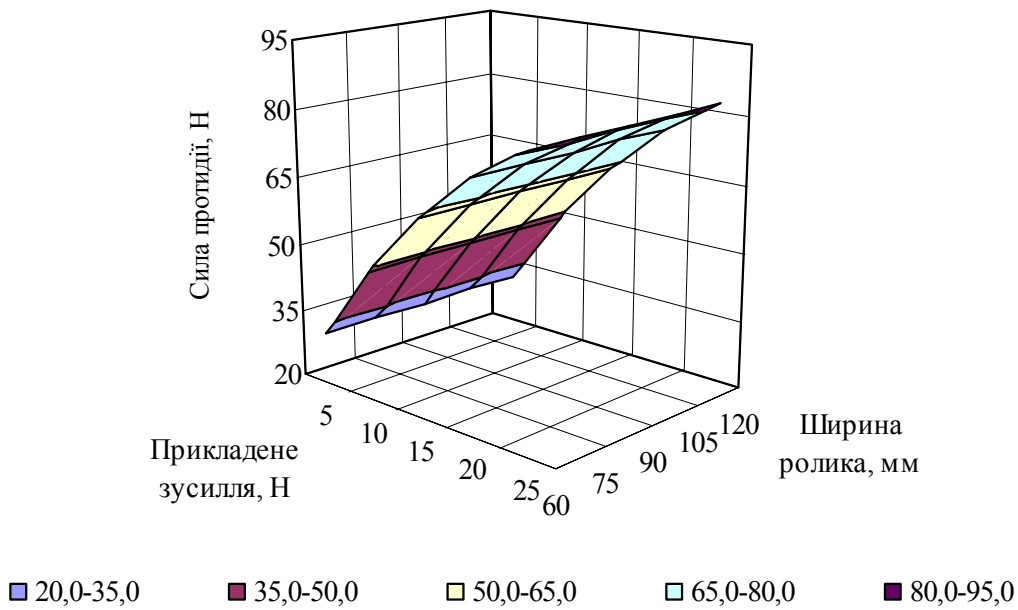


Рисунок 2 - Залежність сили протидії руху мішка з субстратом від прикладеного зусилля на важелі та ширини ролика

Було встановлено, що зі збільшенням ширини прижимного ролика L сила протидії руху мішка F_{PP} залишається незмінною та дорівнює 31,3; 62,9 та 81,7 Н, для відповідних значень величини прикладеного зусилля на важелі 5; 15 та 25 Н.

Аналіз залежностей (рис. 3) показує, що зі збільшенням діаметра ролика d відбувається зменшення сила протидії руху мішка з субстратом F_{PP} . Зокрема, при діаметрі ролика 29 мм сила протидії на 18,1 % більша, порівняно до варіанту роботи при діаметрі ролика 55 мм, та дорівнює 34,35; 66,92 та 86,65 Н для відповідних значень прикладеного зусилля на важелі 5; 15 та 25 Н.

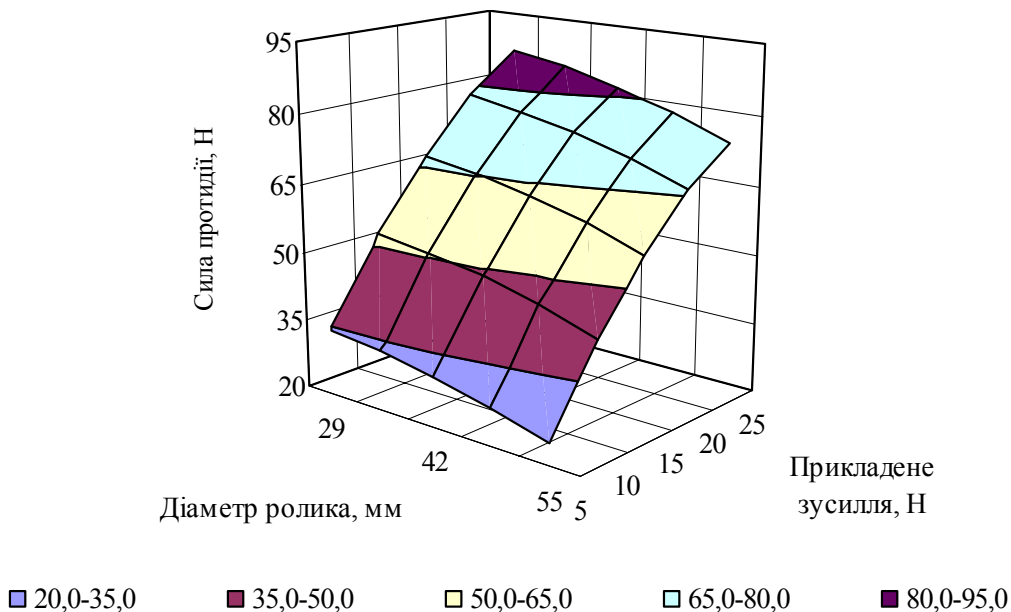


Рисунок 3 - Залежність сили протидії руху мішка з субстратом від діаметра ролика та прикладеного зусилля на важелі

Було встановлено, що зі збільшенням величини прикладеного зусилля на важелі P від 5 до 25 Н сила протидії руху мішка з субстратом $F_{\text{ГПР}}$ збільшується на 62,6 %. При величині прикладеного зусилля на важелі 25 Н сила протидії руху мішка з субстратом має максимальне значення, що становить 73,5; 81,7 та 86,7 Н, для відповідних значень діаметра ролика 55; 42 та 29 мм.

Провівши оптимізаційний розрахунок на основі рівняння (1) було встановлено, що сила протидії руху мішка з субстратом приймає оптимальне значення при ширині прижимного ролика 120 мм, а величина прикладеного зусилля на важелі може змінюватися від 10 до 15 Н, при мінімальному діаметрі ролика від 35 до 55 мм.

Висновок. На основі експериментальних даних отримано рівняння регресії для визначення взаємозалежності сили протидії руху мішка з субстратом від конструкційних параметрів важільно-амортизаційного прижимного пристрою. Встановлено, що сила протидії руху мішка з субстратом приймає оптимальне значення при ширині прижимного ролика $L=120$ мм, а величина прикладеного зусилля на важелі може змінюватися від 10 до 15 Н, при мінімальному діаметрі ролика від 35 до 55 мм.

Список літератури.

1. Особов В. И. Машины и оборудование для уплотнения сено-соломистых материалов / В. И. Особов, Г. К. Васильев, А. В. Голяновский. – М. : Машиностроение, 1974. – 231 с.
2. Гайденко О. М. Особливості технічних засобів для ущільнення і пакування соломистих матеріалів / О. М. Гайденко // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 11. – С. 76–79.
3. Голуб Г. А. Аналіз взаємодії поршня із субстратом під час його попереднього ущільнення / Г. А. Голуб, О. М. Гайденко // Сільськогосподарські машини : зб. наук. статей.– Луцьк : Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2007. – Вип. 15. – С. 82–88.
4. Голуб Г. А. Аналіз безпорного ущільнення субстрату для вирощування гливи / Г. А. Голуб, О. М. Гайденко // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К. : НАУ. – 2007. – Вип. 117. – С. 393–397.
5. Патент 82928 Україна, МПК А 01 F 15/00. Ущільнювач субстрату / Голуб Г. А., Гайденко О. М. ; заявник та власник патенту Кіровоградський інститут агропромислового виробництва УААН. – № а 2006 08008 ; заявл. 17.07.06 ; опубл. 26.05.08, Бюл. № 10. – 7 с.
6. Патент 83562 Україна, МПК А 01 F 15/00. Ущільнювач субстрату / Гайденко О. М., Голуб Г. А. ; заявник та власник патенту Кіровоградський інститут агропромислового виробництва УААН. – № а 2006 11216 ; заявл. 24.10.06; опубл. 25.07.08, Бюл. № 14. – 7 с.

О. Гайденко

Исследование работы рычажно-амортизационного прижимного устройства поршневого уплотнителя

Приведены результаты экспериментальных исследований работы рычажно-амортизационного прижимного устройства поршневого уплотнителя. На основе экспериментальных данных получено уравнение регрессии для определения зависимости силы противодействия движению мешка с субстратом от конструкционных параметров рычажно-амортизационного прижимного устройства.

O. Gaydenko

Research work of lever-cushioning platen piston seal

The results experimental researches work of lever-cushioning platen piston seal are resulted. On the basis of experimental information equalization of regression is got for determination of dependence of counterforce to motion of sack with the substrate from the construction parameters of lever-cushioning platen piston seal.

Одержано 03.11.09

УДК 621.891

В.А. Гончар, асп., В.Г.Каплун, проф., д-р техн. наук
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

Підвищення довговічності матеріального циліндра екструдера для переробки фуражного зерна з добавками сапоніту

У статті представлено конструктивний метод підвищення довговічності вузла екструдювання екструдера К24-127 шляхом виконання його матеріального циліндра секційної конструкції. Зношені секції легко замінювати на нові. Необхідний для екструдювання профіль внутрішньої поверхні напівкорпусів утворюється з допомогою змінних призматичних планок, що забезпечує швидке відновлення працездатності вузла екструдювання при зношуванні пари шнек – циліндр заміною зношених планок на нові.

матеріальний циліндр, шнек, екструдер

Створення нових конкурентноздатних технологій і обладнання для виготовлення високоефективних комбікормів для тваринництва є одним із важливих завдань сільськогосподарського виробництва. Прогресивним напрямком у вирішенні цього завдання є застосування методу екструдювання. Цей метод полягає в переробці зерна зсувом при підвищеній температурі і тиску на екструдерах. (рис. 1)

Переробка фуражного зерна методом екструдювання з добавками мінералу сапоніту є перспективним напрямком виготовлення високоефективних комбікормів для тваринництва, які не тільки забезпечують збільшення приросту тварини в 1,5-2 рази, а також значно підвищують якість тваринницької продукції (м'яса і молока), очищуючи їх від радіонуклідів.

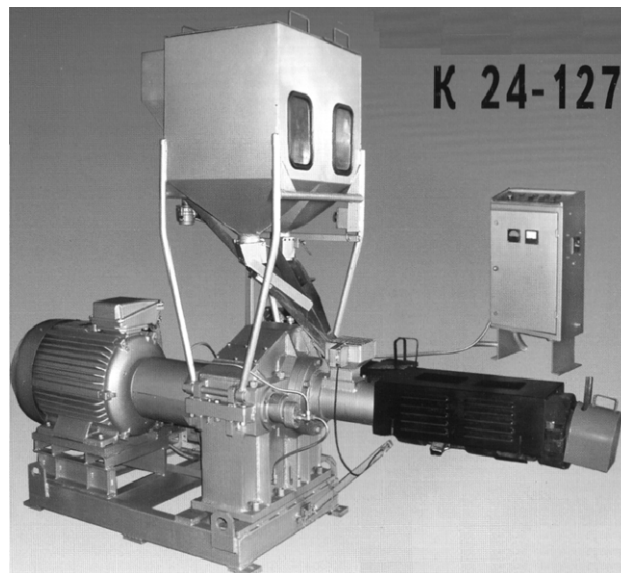
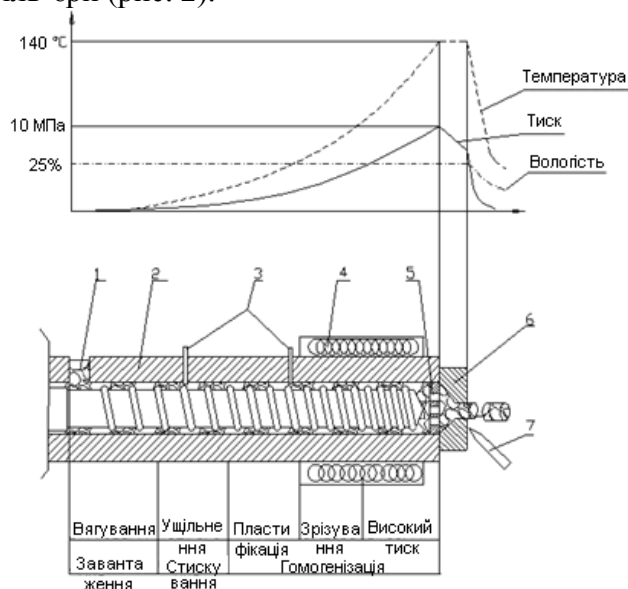


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд екструдера К24-127

Основою екструдювання є два процеси – механо-хімічна деформація і «вибух», або «декомпресійний шок», що відбувається на ділянці ударного розрядження.

© В.А. Гончар, В.Г. Каплун, 2010

Ці процеси здійснюються під дією деформаційних напружень і тепла при певних швидкостях підведення і відведення тепла і тиску [1]. Біополімери в процесі екструдювання зазнають фазових перетворень з крихкого стану у високоеластичний і потім у в'язкотекучий. Фазові перетворення стану продукту дозволяють весь процес екструдювання розділити на ряд технологічних зон: завантаження, стиск, гомогенізація, власне екструзія [1]. Інші дослідники [2] в екструдері розрізняють зони завантаження (втягування), ущільнення, пластифікації, змішування і зрізу, збільшення тиску і продавлювання через філь'єри (рис. 2).



1–подача сировини; 2–циліндр; 3–термопари; 4–обігрів; 5–перфорована пластина; 6–сопло; 7–ножі

Рисунок 2 – Технологічні зони по довжині робочої зони екструдера

Нами проведені дослідження складу і властивостей сировини, що поступає в екструдер при виготовленні комбікормів за різними рецептами. Дослідженнями встановлено, що вологість сировини коливається межах від 20 до 35 % в залежності від кількості та видів відходів зернового виробництва. До складу сировини з метою підвищення кількості корисних мікроелементів в комбікормах додається 10% сапоніту. Дослідження фрактографічного складу сапонітової муки показали, що вона містить до 1.67% кварцового піску розмірами від 250 до 600 мкм (рис. 3), який є абразивом.

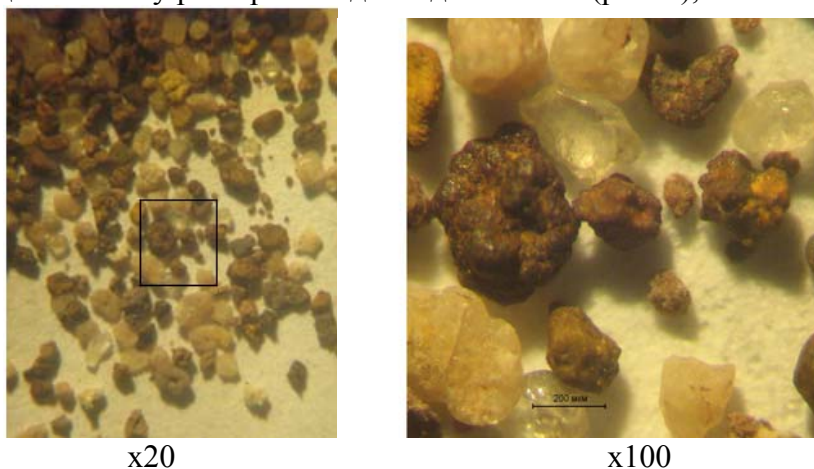


Рисунок 3 – Абразивні частинки в складі сапоніту

Досвід експлуатації екструдерів для виготовлення комбікормів показує, що циліндр і шнек вузла екструдування зношується нерівномірно по довжині. Максимальний знос шнеків відбувається в зоні максимального тиску і максимальних температур (рис.2) [2]. Характер і інтенсивність зношування залежить від властивостей середовища і наявність в ньому абразивних частинок значно інтенсифікує цей процес.

На рис.4 наведена поверхня шнека екструдера, що був виготовлений із сталі 40X (HRC 41–45), після 200 мотогодин експлуатації, при переробці фуражного зерна з добавками 10% сапоніту. З рис. 4 видно, що на поверхні мають місце глибокі риски, які виникли в результаті прямого процесу руйнування абразивними зернами та значна частина поверхні тертя з меншою шорсткістю, що утворилася в результаті змішаного процесу абразивного зношування. Наявність невеликої кількості впадин на поверхні обумовлена корозійною складовою середовища і свідчить про незначний вплив даного фактора на процес зношування матеріалу шнека.

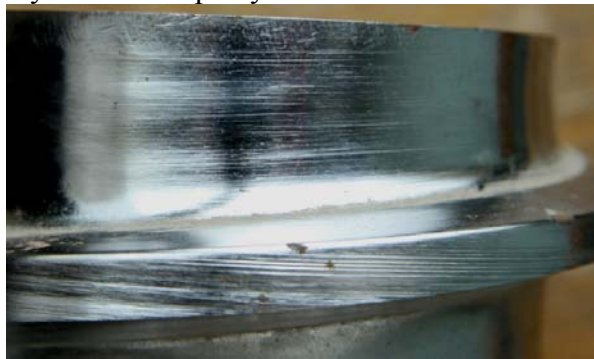
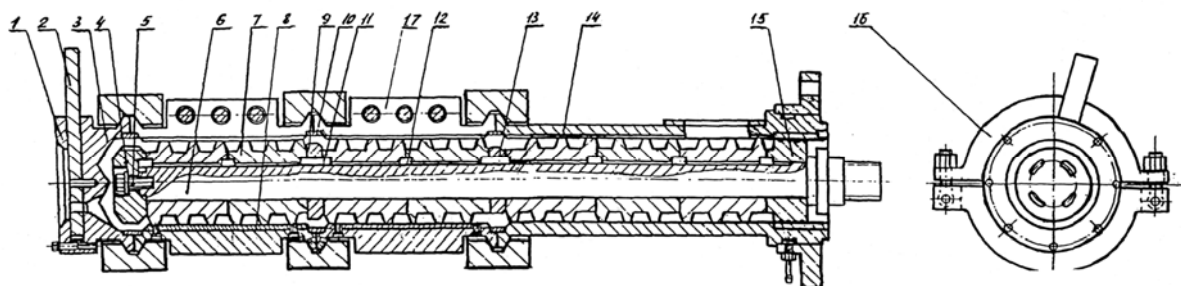


Рисунок 4 – Характер зношування поверхні шнека – фрагмент зношеної поверхні шнека

Для підвищення довговічності і надійності пар тертя існують технологічні і конструктивні методи. Пропонується один із конструктивних методів підвищення довговічності пари шнек – циліндр екструдера К 24 127 для переробки фуражного зерна.

З метою підвищення зносостійкості і довговічності екструдера пропонується пару шнек – циліндр виконувати секційної конструкції (Рис.5). Секції шнека(Рис.5) монтується на штанзі і утримуються в осьовому напрямку з допомогою гвинта, що нагвинчується на штангу. (поз 5) Циліндр екструдера складається із цільного завантажувального корпусу і двох пар напівкорпусів збірної конструкції, що розміщуються проти секцій шнека.



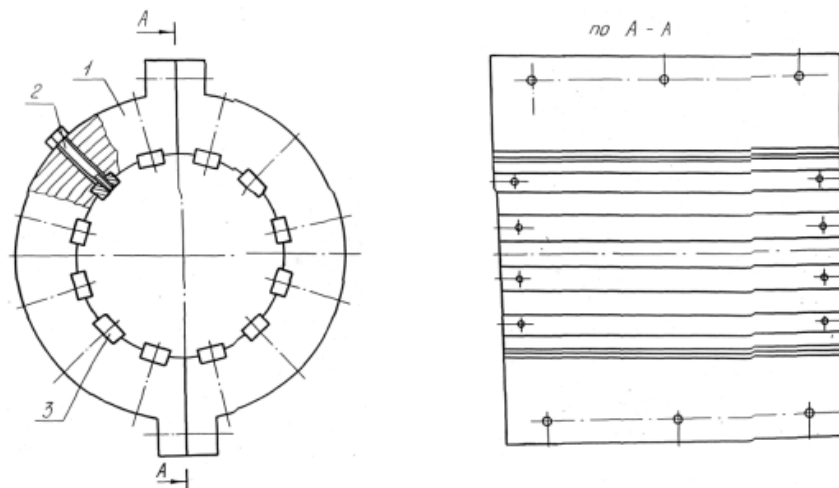
1 - кришка; 2 - диск поворотний; 3 - корпус; 4 - наконечник; 5 - болт стягуючий; 6 - штанга; 7 - букса; 8 - планка; 9 - шайба; 10 - кільце центруюче; 11, 12 - шпонки; 13 - шайба; 14 - завантажувальний корпус; 15 - букса спеціальна; 16 - хомут; 17 - напівкорпус

Рисунок 5 – Схема циліндра екструдера секційної конструкції



Рисунок 6 – Секція

Циліндр екструдера складається із цільного завантажувального корпусу і двох пар напівкорпусів збірної конструкції (рис. 7), що розміщуються проти секцій шнека. Необхідний для екструзії профіль внутрішньої поверхні напівкорпусів забезпечується з допомогою змінних призматичних планок, що кріпляться в пазах з допомогою гвинтів.



1 - напівкорпуси; 2 - гвинт; 3 - планка

Рисунок 7 – Корпус циліндра

Дана конструкція забезпечує швидке відновлення працездатності вузла екструзії при зношуванні пари шнек – циліндр заміною зношених планок на нові. Це дозволяє зберегти вартісний корпус циліндра і компенсувати знос шнека зміною товщини планок. Дослідження показали, що максимальний знос шнека і циліндра відбувається в зоні пластифікації сировини, де виникає максимальний тиск. Роз'ємна конструкція шнека дозволяє легко замінювати зношені секції на нові, або менш зношені з зони завантаження.

Дана конструкція матеріального циліндра не потребує великих затрат при виготовленні і забезпечує значну економію матеріальних ресурсів в процесі експлуатації екструдера.

Список літератури

1. Черняев И.П. Технология комбикормового производства. - М.: Агропромиздат, 1985г -255с.

2. Миллауэр Х. Экструдеры и экструзионные установки / Материалы семинара по технологии производства комбикормов, фирма Buhler-Buhler МІАС, 1989.

В. Гончар, В.Каплун

Повышение долговечности материального цилиндра экструдера для переработки фуражного зерна с добавками сапони та

В статье представлен конструктивный метод повышения долговечности узла экструдирования экструдера K24-127 путем выполнения его материального цилиндра секционной конструкции. Изношенные секции легко заменять на новые. Необходимый для экструдирования профиль внутренней поверхности полукорпусов образуется с помощью переменных призматических планок, что обеспечивает быстрое возобновление работоспособности узла экструдирования при изнашивании парашнек – цилиндр заменой изношенных планок на новые.

V. Gonchar, V. Kaplun

Increase of longevity of material cylinder of extruder for processing of cornmeal with additions of saponite.

In the article the structural method of increase of longevity of knot of extruding of extruder of K24-127 is presented by implementation of his material cylinder of sectional construction. It is easily to substitute threadbare sections by new. The necessary for extruding type of internal surface of semicorps appears by variable prismatic slats, that shnek provides rapid renewal of capacity of knot of extruding at the wear of steam – cylinder by replacement of threadbare slats on new.

Одержано 06.11. 09

УДК 631.363.023

К.Д. Матвеев, доц., канд. техн. наук, П.Г. Лузан, доц., канд. техн. наук, Р.В.Кісільов, здобувач, В.О. Матвеева, інж., О.В. Гончар, магістрант
Кіровоградський національний технічний університет

Обгрунтування конструктивних параметрів і режимів роботи лопатевої мішалки

В статті проведений аналіз останніх досліджень і публікацій по змішуванню кормів та запропонована вдосконалена конструкція лопатевого змішувача кормів. Теоретично обгрунтовано режими роботи лопатевої мішалки, конструктивні параметри та продуктивність. Приведені умови руху частки вздовж мішалки і в радіальному напрямку, що забезпечує потоково-контурну схему руху кормосуміші по поверхні лопаті і в зоні інерційного руху в режимі підвищеної динамічності процесу. Підвищення продуктивності експериментальної мішалки підтверджується обгрунтованою формулою продуктивності змішувача.

кормосуміш, змішувач, гранулометричний склад, компоненти, інерційний рух

В сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу країни велике значення має економія ресурсів, підвищення ефективності продуктивної віддачі кормів, як одного з важливих факторів інтенсифікації галузі тваринництва [1]. В кормовиробництві це стосується впровадження сучасних технологій виробництва,

2. Миллауэр Х. Экструдеры и экструзионные установки / Материалы семинара по технологии производства комбикормов, фирма Buhler-Buhler МІАС, 1989.

В. Гончар, В.Каплун

Повышение долговечности материального цилиндра экструдера для переработки фуражного зерна с добавками сапони та

В статье представлен конструктивный метод повышения долговечности узла экструдирования экструдера К24-127 путем выполнения его материального цилиндра секционной конструкции. Изношенные секции легко заменять на новые. Необходимый для экструдирования профиль внутренней поверхности полукорпусов образуется с помощью переменных призматических планок, что обеспечивает быстрое возобновление работоспособности узла экструдирования при изнашивании парашнек – цилиндр заменой изношенных планок на новые.

V. Gonchar, V. Kaplun

Increase of longevity of material cylinder of extruder for processing of cornmeal with additions of saponite.

In the article the structural method of increase of longevity of knot of extruding of extruder of K24-127 is presented by implementation of his material cylinder of sectional construction. It is easily to substitute threadbare sections by new. The necessary for extruding type of internal surface of semicorps appears by variable prismatic slats, that shnek provides rapid renewal of capacity of knot of extruding at the wear of steam – cylinder by replacement of threadbare slats on new.

Одержано 06.11. 09

УДК 631.363.023

К.Д. Матвеев, доц., канд. техн. наук, П.Г. Лузан, доц., канд. техн. наук, Р.В.Кісільов, здобувач, В.О. Матвеева, інж., О.В. Гончар, магістрант
Кіровоградський національний технічний університет

Обгрунтування конструктивних параметрів і режимів роботи лопатевої мішалки

В статті проведений аналіз останніх досліджень і публікацій по змішуванню кормів та запропонована вдосконалена конструкція лопатевого змішувача кормів. Теоретично обгрунтовано режими роботи лопатевої мішалки, конструктивні параметри та продуктивність. Приведені умови руху частки вздовж мішалки і в радіальному напрямку, що забезпечує потоково-контурну схему руху кормосуміші по поверхні лопаті і в зоні інерційного руху в режимі підвищеної динамічності процесу. Підвищення продуктивності експериментальної мішалки підтверджується обгрунтованою формулою продуктивності змішувача.

кормосуміш, змішувач, гранулометричний склад, компоненти, інерційний рух

В сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу країни велике значення має економія ресурсів, підвищення ефективності продуктивної віддачі кормів, як одного з важливих факторів інтенсифікації галузі тваринництва [1]. В кормовиробництві це стосується впровадження сучасних технологій виробництва,

заготівлі і зберігання різних видів якісних кормів та підготовки їх до згодовування [2]. Приготування кормів до згодовування і збалансованих кормосумішей з різних компонентів сприяє підвищенню продуктивності тварин, поліпшенню стану і вгодованості, зменшенню витрат кормів і покращенню якості продукції [3].

Постановка проблеми. Однією з відповідальних операцій при приготуванні збалансованих і повнораціонних кормосумішей є змішування різних кормів, компонентів, білково-вітамінних макро- і мікродобавок. В системі використання механізованих кормоцехів за кордоном і в Україні найбільш широко розповсюджені шнекові, стрічкові, лопатеві і комбіновані змішувачі різних конструкцій і взаємодії робочих органів з сировиною, але вони не відповідають встановленим вимогам за якістю кормосуміші. До цього часу не виявлені раціональні параметри робочих органів і режимів їх роботи.

Аналіз досліджень і публікацій. Великий фундаментальний вклад у створення і розвиток засобів комплексної механізації процесів приготування кормових сумішей, дозування і змішування кормів зробили відомі вітчизняні і зарубіжні вчені Кукта Г.М., Григорьев А.М., Зенкова Р.Л., Лапшин А.А., Макаров Ю.І., Войтюк Д.Г., Мяндр А.Е., Сироватка В.І., Резнік Є.І., Вагін Є.А., Завражнов А.І. і багато інших. В цих роботах сформульовані основні положення теорії змішування кормів, встановлені загальні залежності між факторами, що впливають на процес і конструктивно-режимні параметри змішувачів та основні технології приготування кормових сумішей [4, 5].

За останні роки в США, ФРН, Данії, Франції та інших країнах все більше приділяють уваги приготуванню багатокомпонентних кормосумішей безпосередньо на фермах [6, 7]. Прикладом виробництва сучасних найбільш поширених типів кормоцехів зі змішувачами можуть бути фірми Harvester, Шварц, Butler, KUHN, Stortis P.A., Siloking та інші. Незважаючи на значну кількість наукових напрацювань, актуальною залишається проблема вибору перспективних технічних рішень робочих органів, покращення якісних показників та їх обґрунтування.

Мета досліджень – підвищення якості і ефективності приготування кормосумішей на фермах ВРХ шляхом удосконалення лопатевої мішалки та визначення конструктивних і технологічних параметрів плоских і гвинтових лопатей. Предмет досліджень – технологічні та конструктивно-кінематичні параметри мішалки змішувача кормів.

Аналіз результатів досліджень. Сучасне сільськогосподарське машинобудування розширило виробництво одновальних змішувачів кормів періодичної дії із застосуванням шнекових, стрічкових і лопатевих механізмів, що характеризується відносною простотою, малою металомісткістю та підвищеною величиною корисної дії.

Робочий цикл змішувачів періодичної дії складається з таких послідовних операцій: завантаження віддозованих компонентів (силос, солома, сінаж, коренеплоди, концкорми тощо), перемішування їх і вивантаження готової кормосуміші, після цього цикл повторюється. У змішувачах періодичної дії склад суміші і тривалість процесу змішування змінюється для доведення компонентів у кормосуміші до однорідної маси. Аналіз якісних показників роботи існуючих змішувачів свідчить про недостатню стабільність і складність процесу, компоненти кормосуміші подаються нерівномірно, а однорідність змішування суміші не відповідає вимогам, що потребує тривалого часу (10...15 хв) на доведення кормосуміші до однорідної маси.

Для усунення вказаних недоліків пропонується потоково-контурна схема руху матеріалу в змішувачі за рахунок використання більш досконалої конструкції мішалки з плоскими або гвинтовими лопатями, що встановлені на горизонтальних трубах по периферії мішалки з різним напрямком кута нахилу їх до осі мішалки в парних

(сусідніх) рядах з відповідним кроком вздовж осі, а для інтенсифікації процесу і підвищення динамічності змішування компонентів в мікрооб'ємах та однорідності суміші на протилежній поверхні труб розміщені радіальні пальці (рис. 1).

Процес змішування кормів експериментальною мішалкою виконується таким чином. Лопаті верхнього ряду з правим кутом нахилу відокремлюють порцію кормосуміші по ширині лопаті і переміщують в радіальному, коловому і осьовому напрямку в правий кінець змішувача, а другий ряд з лівим кутом нахилу – в лівий кінець мішалки. Переміщення кормосуміші по поверхні лопаті і в зоні інерційного (вільного) руху здійснюється в режимі підвищеної динамічності процесу, що визначається формою атакуючої лопаті, кроком розташування і розмірами лопатей.

Режим роботи лопатевого змішувача повинен забезпечувати умови технологічного процесу змішування кормів у тихохідному ($K = \frac{\omega^2 R_l}{g} < 30$) або швидкохідному ($K > 30$) режимі. Швидкість руху лопатей мішалки розраховують з умови, що відцентрова сила $m\omega^2 R_l$, яка діє на частку вздовж лопаті, не повинна перевищувати силу ваги цієї частки, інакше вона зійде з лопаті і вийде із активного процесу перемішування компонентів суміші. Колова швидкість руху лопатевої мішалки визначається з формули:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R_l}}, \quad (1)$$

де R_l – найбільший радіус обертання лопаті, м.

Для забезпечення нормальної роботи мішалки при змішуванні кормів з гранулометричним складом часток компонентів кормосумішей для ВРХ і зменшення ударних навантажень на робочі органи мішалки кутова швидкість може бути прийнята $\omega = 0,5 \omega_{кр}$.

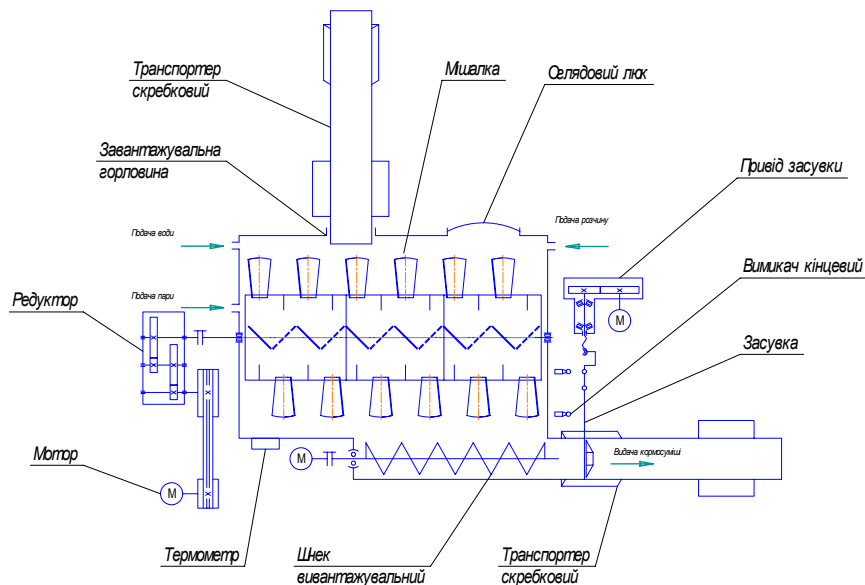


Рисунок 1 - Технологічна схема лопатевого змішувача кормів

Проекція лопаті на розгорнуту площину дна корпусу змішувача має вигляд

$$b = \frac{\rho^\circ \pi}{180} R_l = \rho R_l, \quad (2)$$

де ρ° , ρ - центральний кут лопаті в градусах і радіанах.

Крок між лопатями визначається з формули

$$t = \frac{\rho R_l \sin \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \quad (3)$$

де α – кут установки лопаті до осі мішалки;

φ – кут тертя суміші по лопаті.

Загальний напрям вектора швидкості руху часток потоку суміші (R_l) під дією лопаті мішалки складається з геометричних напрямків колової $v_{\text{кол.}}$, осьової $v_{\text{ос.}}$ та швидкості руху часток вздовж лопаті $v_{\text{лоп.}}$, значення яких визначається згідно таких залежностей:

$$v_{\text{кол.}}(R_l) = \omega R; \quad (4)$$

$$v_{\text{ос.}}(R_l) = v_{\text{кол.}}(R_l) \operatorname{tg} \alpha = \omega R_l \operatorname{tg} \alpha; \quad (5)$$

$$v_{\text{лоп.}}(R_l) = \frac{dS}{dt}. \quad (6)$$

Під час переміщення кормосуміші траєкторія руху матеріальної частки корму під дією поверхні лопаті мішалки представляє собою криву у просторі, яка аналогічна гвинтовій лінії з перемінним кроком і перемінним зовнішнім діаметром. Коли частка знаходиться на поверхні лопаті біля внутрішньої поверхні корпусу змішувача, вона рухається по дузі A_0A_1 та вздовж осі вала під дією сил: сила ваги mg , відцентрова сила $m\omega^2 R_l$, реакція поверхні корпусу змішувача N , сила тертя частки по поверхні корпусу F , реакція поверхні лопаті N_1 , сила тертя частки по лопаті мішалки F_0 і рушійна сила T (рис. 2).

Умови руху частки вздовж вісі мішалки буде забезпечена, коли $T > F_0$, тобто частка суміші рухається по поверхні лопаті мішалки:

$$(F + mg \sin \beta) \cos \alpha > (F + mg \sin \beta) \sin \alpha \operatorname{tg} \varphi_1. \quad (7)$$

Отже, геометричною умовою забезпечення руху частки буде тоді, коли $\alpha < 90^\circ - \varphi_1$.

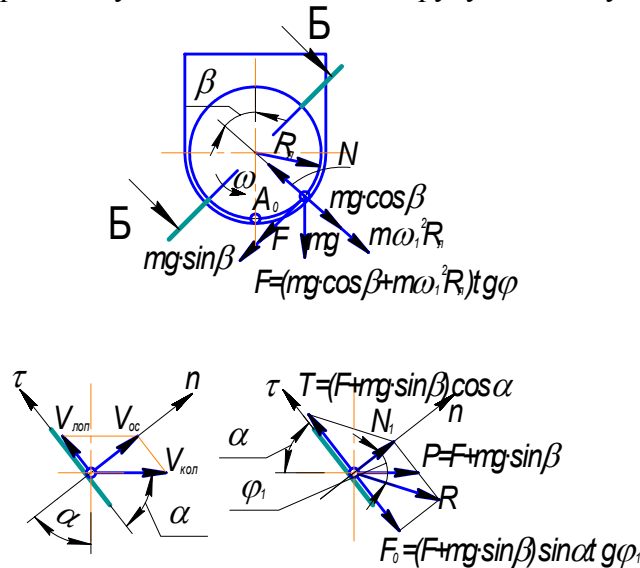


Рисунок 2 - Схема дії сил на частку при обертанні лопаті змішувача

У випадку, коли лопаті розташовані паралельно одна до одної і перпендикулярно до осі вала, поступальний рух часток вздовж осі вала практично припиняється. При $\alpha = 90^\circ$ лопаті розташовуються паралельно осі і мішалка перетворюється в барабан, в результаті чого маса корму може тільки обертатися. Якщо врахувати величину осьового відставання часток коефіцієнтом μ в залежності від кутів α і φ

$$\mu = \frac{\sin \alpha \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (8)$$

то область позитивних швидкостей змінюється таким чином: при $\alpha=0$, $\sin\alpha=0$, $\mu=0$ швидкість руху $v=v_{\max}=\omega R_{\text{л}}\text{tg}\alpha$, при $\mu=1$, $\alpha=90-\varphi$, $v=0$. У першому випадку корм рухається вздовж осі вала, а проміжок, в якому $v=0$, приймає вигляд:

$$\frac{\pi}{2} - \varphi < \alpha < \frac{\pi}{2} + \varphi. \quad (9)$$

Тобто, результуюча зовнішніх сил, які діють на частку, знаходиться у внутрішній частині конуса тертя і тому швидкість по відношенню до похилої поверхні лопаті дорівнює нулю, частки в осьовому напрямку не переміщуються, а обертаються разом з лопаттю навколо вала. Проведені розрахунки імпульсів зовнішніх сил показали, що максимальна їх величина досягає при $\alpha=45\dots50^\circ$ для плоских лопатей, а для гвинтових наближається до $46\dots47^\circ$.

При збільшенні висоти і ширини лопаті від $0,4 R_{\text{л}}$ до $0,75 R_{\text{л}}$ часткам прикладається $75\dots78\%$ максимального імпульсу. Збільшення площі лопаті недоцільно тому, що збільшуються енергетичні затрати.

Таким чином, загальна осьова швидкість руху корму у змішувачі буде визначатися

$$v_o = \frac{\rho}{2\pi} \omega R_{\text{л}} K_1 K_2, \quad (10)$$

де K_1 – коефіцієнт, який враховує обертання маси корму лопаттю і зону вільного (інерційного) руху, $K=0,9\dots0,95$;

$$K_2 = \frac{\sin \alpha}{1 + \text{tg}\alpha \text{tg}\varphi} \quad \text{– коефіцієнт, який враховує вплив кута тертя і кута}$$

встановлення лопаті до осі вала мішалки;

ρ – центральний кут лопаті.

Площа бокової поверхні секторної лопаті

$$F_{\text{л}} = \frac{\rho\pi(D^2 - d^2)}{4 \cdot 360} = \frac{\rho F_{\text{м}}}{360}, \quad (11)$$

де $F_{\text{м}} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$ – площа перерізу корпусу змішувача, м^2 ;

D і d – діаметр зовнішньої і внутрішньої кромки лопаті.

Співвідношення площ $\frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{м}}} = \frac{\rho}{360} = \beta_0$ характеризується коефіцієнтом

співвідношення бокової проекції площі лопаті до площі перерізу корпусу змішувача.

Продуктивність лопатевої мішалки

$$Q = \psi K F_{\text{л}} \omega R_{\text{л}} \gamma K_1 K_2 (Z-1) m, \quad (12)$$

де K – кратність обробітку однієї порції за 1 оберт вала мішалки;

ψ – коефіцієнт заповнення лопаті змішувача;

Z – кількість лопатей в рядах з кроком t ;

m – кількість рядів лопатей мішалки;

$F_{\text{л}}$ – площа бокової поверхні лопаті, м^2 ;

ω – кутова швидкість руху лопатей, с^{-1} ;

$R_{\text{л}}$ – радіус мішалки, м .

Годинна продуктивність лопатевої мішалки з урахуванням кількості повторних циклів змішування

$$Q_{зм}=3,6Q/p_{ц}, \text{ т/год.} \quad (13)$$

Висновки

1. Переваги розробленої конструкції вдосконаленого лопатевого змішувача забезпечують потоково-контурну схему руху кормосуміші в змішувачі по поверхні лопаті і в зоні інерційного руху в режимі підвищеної динамічності процесу, що покращує однорідність суміші, підвищує продуктивність і знижує енергетичні затрати.

2. Обґрунтовані конструктивно-технологічні параметри лопатей, що встановлені по периферії мішалки рядами з різним напрямком кута нахилу їх до осі мішалки в парних (сусідніх) рядах з відповідним кроком установки вздовж осі.

3. Теоретично визначено продуктивність вдосконаленої мішалки.

Список літератури

1. Кельнер В.Р., Коноплев Е.Г. Приготовление и использование полнорационных кормов в промышленном животноводстве. – М.: ВНИИТЭСХ, 1972.
2. Приготовление, хранение и раздача кормов на животноводческих фермах / Алябьев Е.В., Вагин Б.И., Красников В.В. и др. – М.: Колос, 1977.
3. Лысенко В.П. Приготовление кормовых смесей для КРС // Животноводство. – 1973. – №9.
4. Кукта Г.Т. Технология переработки и приготовления кормов. – М.: Колос, 1986.
5. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 304 с.
6. Резник Е.И., Рыжов С.В. Развитие зарубежной техники для заготовки и раздачи кормов // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – №1.
7. Новое в механизации приготовления кормов / Сыроватка В.И., Клычев Е.М., Карташов С.Г. – М.: ВНИИТЭИсельхозВАСХНИЛ, 1980.

К. Матвеев, П. Лузан, Р.Кисилев, В. Матвеева, О. Гончар

Обоснование конструктивных параметров и режимов работы лопастной мешалки

В статье проведен анализ последних исследований и публикаций по смешиванию кормов и предложена усовершенствованная конструкция лопастного смесителя кормов. Теоретически обоснованы режимы работы лопастной мешалки, конструктивные параметры и производительность. Приведены условия движения частицы вдоль мешалки и в радиальном направлении, которое обеспечивает поточно-контурную схему движения кормосмеси по поверхности лопасти и в зоне инерционного движения в режиме повышенной динамичности процесса. Повышение производительности экспериментальной мешалки подтверждается обоснованной формулой производительности смесителя.

K. Matveev, P. Luzan, R. Kisilev, V. Matveeva, O. Gonchar

Ground of structural parameters and modes operations of blade mixer

Studies are brought in article on mix provender. The advanced design of the blade mixer is offered. He consists of leading gross, rack, horizontal pipes with flat blade. The corner of the slopping of the blades different to axis of the mixer in fresh rows. For improvement of the process of the mix in designs are bolted radial finger. The technological scheme characterizes the principle robots mixer. The state of working mixer characterizes the angular velocity of the blades, step of the installing the blades, axial velocity of the motion stern, corner of the slopping of the blades. All are these factors raise capacity of the experimental mixer.

Одержано 13.09.09

УДК.621.791.92

**М.В. Красота, канд. техн. наук, А.М. Артюхов, канд. техн. наук, І.В. Шепеленко,
канд. техн. наук, В.О. Дубовик, канд. техн. наук**

Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження впливу параметрів циліндричних електродів на формування покриттів при контактному наварюванні порошків

Досліджено вплив геометричних співвідношень циліндричного електроду контактної зварювальної машини та діаметру деталі типу „вал” на процес ущільнення порошкового матеріалу при контактному наварюванні порошків, встановлено оптимальні співвідношення діаметрів електроду та поверхні для отримання мінімальної пористості порошкової формовки **контактне наварювання, порошок, електрод**

Умовні позначення

R_e, R_d – радіуси електроду та деталі;
 D_e, D_d – діаметри електроду та деталі;
 α – кут захвату;
 β – кут нахилу ліній ковзання;
 h – товщина покриття

При відновленні та зміцненні деталей типу „вал” перспективно використання методу контактного наварювання порошків [1, 2, 3] з використанням циліндричних електродів. Електроконтактне наварювання передбачає електронагрів металевого порошку, що засипається між деталлю і електродом, за рахунок теплової енергії, яка виділяється електричним струмом на активному опорі.

Енергія, необхідна для спікання порошку і наварювання його до поверхні деталі при контактному наварюванні, виділяється електричним струмом у вигляді тепла безпосередньо в порошковому шарі в основному на контактах між частинками порошку, поверхнею деталі і електрода. Процес наварювання забезпечується сумісною дією на порошковий шар високої температури (0,9...0,95 температури плавлення порошку) і тиску (до 100 МПа), при утворенні металевого покриття приймають участь як бездифузійні явища схоплення, так і дифузійні процеси спікання і зварювання в твердій фазі.

Процес спікання порошку в компактне тіло і його наварювання на заготовку з використання методу електроконтактного наварювання характеризується трьома етапами [1, 4].

На першому етапі холодного пресування порошок підготовлюється до наступного пропускання через нього електричного струму і відбувається стабілізація його електроопору. Ця стадія низьких тисків (до 100 МПа) практично закінчується через 0,2...0,8 с від початку пресування порошку. Подальше збільшення часу пресування не впливає на щільність і електроопір шихти. До моменту закінчення холодного пресування порошку питомий електроопір його повинен бути не вище $(10...15) \cdot 10^{-4}$ Ом·см, в іншому випадку ускладнюється електричне пробивання і знижується стабільність процесу.

На першому етапі процесу утворюється пористе порошокове тіло - пресовка. Воно володіє порівняно високим електроопором, значення якого визначає кінетику процесу і якість отриманого шару. Тому аналіз процесів, що відбуваються на даному етапі, необхідно виконувати з урахуванням основ теорії холодного контакту та з позицій механіки тіла, що деформується, металофізики, теорії тертя, пластичного і в'язкого деформування і інших суміжних наук.

З теорії холодного пресування металевих порошоків відомо [1, 5-11], що електроопір і інші фізико-механічні властивості пресованого матеріалу в значній мірі визначаються контактними явищами між частинками порошкового тіла. При вільному насипанні порошковий матеріал має малу щільність, так як утворює так звані містки або арки при хаотичному розташуванні контактних ділянок частинок. У такого тіла великий електроопір через малу густину і абсолютну площину струмопровідних контактів.

Вже при вільному насипанні порошку, коли відсутній зовнішній тиск на нього, дійсні тиски в окремих контактах частинок можуть досягати значень граничної напруги стану матеріалу і викликати місцеві руйнування частинок. При цьому матеріал характеризується значною пористістю, малою контактною поверхнею і високим питомим електроопором.

Зминання, зсув і руйнування частинок відбувається за рахунок комбінацій нормального і тангенціального навантажень, що виникають при дії електроду на порошковий матеріал. При збільшенні тиску пресування росте кількість плям контактування, оголюються ювенільні поверхні і можлива молекулярна їх взаємодія.

При ковзанні частинок відбуваються деякі руйнування мікронерівностей і їх мікрорельєф безперервно змінюється.

В результаті холодного пресування при відносно малих тисках (13...100 МПа), характерних для контактного наварювання, зростає щільність пресовки і знижується її питомий електричний опір.

В холодному контакті при малих тисках електричний опір окремого контакту складається з опору стягнення ліній струму, який проходить через контактну площину, і послідовного з ним опору поверхневих плівок [1].

Другий етап наварювання характеризується протіканням імпульсів електричного струму через порошок, який знаходиться під тиском. При цьому струмопровідні контакти частинок і їх приконтактні об'єми швидко нагріваються. Нагрів може досягати температур плавлення і навіть перегріву металу, можливе виникнення мікродугових розрядів, випаровування металу, зварювання і розрив контактів частинок. Електроопір порошку швидко знижується, так як в мікроконтактах частинок матеріал досягає пластичного стану, а прикладений тиск стискання приводить до збільшення щільності матеріалу. Ростуть кількість і площа контактів в струмопровідних поверхнях частинок, збільшуються діючі значення струму і температури нагріву всього об'єму порошкового матеріалу. При цьому активно протікають процеси рекристалізації, схоплювання, спікання, зварювання в мікроконтактах в твердій і рідкій фазах. В залежності від вибраного режиму можливо довести легкоплавкий компонент шихти до часткового або повного розплавлення, тоді формуванню щільного матеріалу сприяє рідка фаза. Імпульсний режим пропускання струму необхідний для стабілізації процесу і попередження перегріву, особливо при нагріванні до 670...720 °С.

Третій етап - час від моменту вимкнення струму до повного охолодження матеріалу.

Таким чином, можливо стверджувати, що саме перший етап є найважливішим у процесі формуванні покриття та значною мірою впливає на його якість.

З метою підвищення якості покриттів в даній роботі пропонується розглянути вплив параметрів електродів контактних зварювальних машин, що грають роль основного деформуючого та формуючого елементу.

При розгляді процесів ущільнення порошкових матеріалів, що відбуваються при контактному наварюванні порошків припускають, що формування порошкових матеріалів відбувається в симетричній зоні деформації, а саме за рівності діаметрів електроду та деталі, на яку наноситься покриття.

Метою роботи є дослідження характеру ущільнення та зони деформації порошкового матеріалу при різних параметрах деформуючого елементу (електроду), та виявити вплив співвідношення діаметрів електроду та деталі на процес ущільнення.

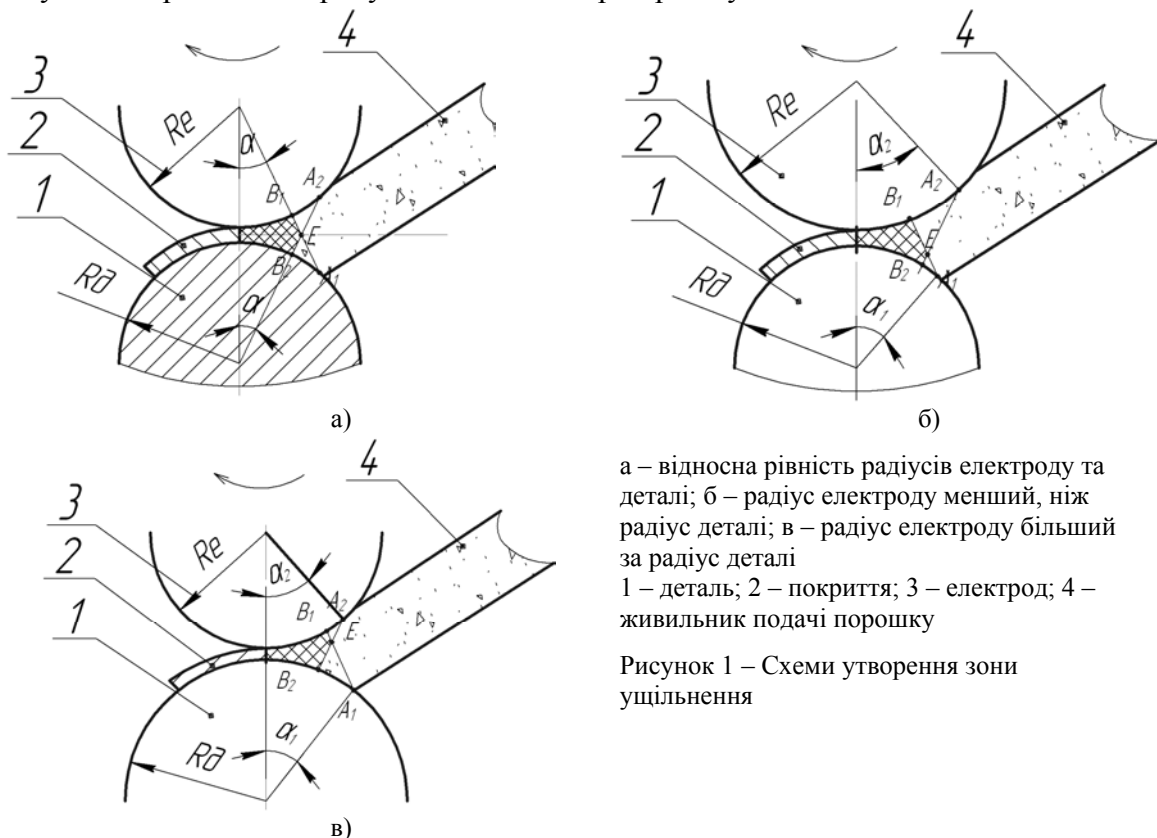
Для аналізу різних схем наварювання можливо навести три варіанти співвідношення розмірів деталі та електроду.

Перший варіант передбачає наварювання на поверхню деталі при близьких діаметрах електродів та деталі, на яку наноситься покриття. При другому варіанті діаметр електроду більший за діаметр деталі, а при третьому – менший.

Схеми нанесення покриттів за цими трьома варіантами будуть мати вигляд (рис. 1).

При збереженні незмінного коефіцієнту внутрішнього тертя (порошок-деталь, порошок-електрод), а також за умов, коли коефіцієнт зовнішнього тертя електроду та деталі приблизно рівні.

При рівних діаметрах електроду та деталі (рис. 1, а) зона деформації порошку обмежується зварювальною точкою (між електродом та деталлю) та ломаною B_1EB_2 , яка утворюється відрізками A_1B_1 та A_2B_2 , що лежать на лініях ковзання, які отримуються при дії електроду та деталі на шар порошку.



а – відносна рівність радіусів електроду та деталі; б – радіус електроду менший, ніж радіус деталі; в – радіус електроду більший за радіус деталі
1 – деталь; 2 – покриття; 3 – електрод; 4 – живильник подачі порошку

Рисунок 1 – Схеми утворення зони ущільнення

В реальних умовах при нанесенні покриття на конкретні деталі, як правило, діаметр електроду не дорівнює діаметру деталі. Номенклатура деталей, що відновлюються або змінюються, може бути досить широка, а отже, діаметри поверхонь також можуть змінюватися в широкому діапазоні. У зв'язку з цим умови ущільнення

при різних співвідношеннях діаметрів електроду та деталі (D_e/D_d) також будуть розрізнятися.

При радіусі $R_e > R_d$ (рис. 1, б) зона деформації порошку, що належить електроду і обмежена відрізком A_2B_2 , збільшується в порівнянні з першим варіантом, спільна зона деформації також дещо збільшується. Збільшення спільної зони деформації супроводжується порушенням її симетрії і по мірі збільшення радіуса R_e , її вершина E зміщується по напрямку до деталі.

У випадку, коли радіус електроду менший від радіусу деталі ($R_e < R_d$) зона ущільнення змінюється навпаки (рис. 1, в). Зона деформації деталі збільшується, спільна зона деформації також збільшується, а вершина зони зменшується в напрямку електроду.

Збільшення зони деформації є позитивним моментом, адже дозволяє краще ущільнити порошок перед наварюванням та в кінцевому випадку отримати покриття з низькою пористістю та відповідно високою якістю.

З рис. 1 видно, що при певному співвідношенні діаметрів електроду та деталі, кута нахилу ліній ковзання β та кута захвату α , точки E і A можуть співпадати. Це буде відповідати максимальній величині спільної для електроду та деталі зони деформації. Подальше збільшення діаметру електроду не приведе до збільшення товщини та щільності покриття.

Якщо розглянути геометричне співвідношення діаметрів з метою визначення граничного співвідношення діаметрів деталі та електроду, при яких отримується максимальна зона ущільнення.

Воно складе

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{(\sin \alpha - \beta) + \sin \beta(1 + h)}{\sin(\alpha + \beta) - \sin \beta} \quad (1)$$

Вплив збільшення діаметра електроду або деталі на якість покриттів досліджували експериментально.

При наварюванні використовували порошок на основі заліза з розміром частинок 60...100 мкм. Зусилля притиснення електродів до деталі складало 3 кН. Покриття наносили на модернізованій установці для контактного наварювання 011-1-12Н при частоті обертання деталі і електроду 10 хв^{-1} , матеріал електроду – бронза, діаметр електроду був постійним і складав 160 мм, діаметр деталі варіювався таким чином, щоб співвідношення діаметрів D_e/D_d змінювалося в межах 1,0...1,6, товщина покриття складала 0,5 мм. Привод здійснювався від шпинделя установки до деталі, ширина покриття відповідала ширині електроду та складала 8 мм. В електрод встановлювали месдозу з тензодатчиками, за допомогою якої визначали контактні напруження.

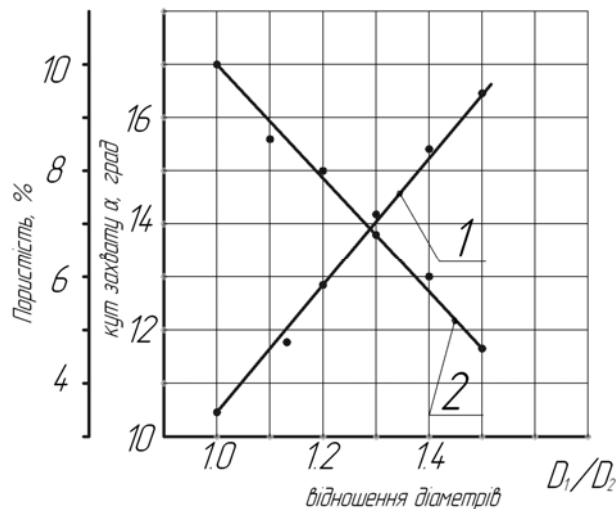
В результаті було отримано епюри контактних нормальних напруг, за якими визначали кут захвату α . Залежність між кутом захвату та співвідношенням діаметрів представлена на рис. 2.



Рисунок 2 – Залежність кута захвату від співвідношення діаметра електрода та деталі

Як видно з графіку (рис. 2), збільшення діаметра деталі до $D_1 \approx 1,5D_2$ припиняється збільшення зони ущільнення. Таким чином, на практиці не доцільно виконувати процес нанесення покриттів з співвідношенням діаметрів електрода та деталі більше як 1:1,5, також перевищення даного співвідношення може ускладнити підведення подачі покриттів в зону ущільнення.

Порівняльні значення досліджень параметрів покриттів виконували при одному значенні зусилля стиснення для різних співвідношень діаметрів, якість процесу ущільнення оцінювали за пористістю покриттів. Результати досліджень представлені на графіках рис. 3.



1 – кут захвату, 2 - пористість покриття

Рисунок 3 - Зміна пористості та кута захвату порошку залежно від співвідношення діаметрів електрода та деталі

За результатами експерименту можливо встановити, що при збільшенні співвідношення діаметрів електрода та деталі від 1 до 1,5 спостерігається зменшення пористості покриттів з 10 до 5% та відповідно збільшення кута захвату порошку.

Зменшення пористості можливо пов'язати із збільшенням зони ущільнення, яка спостерігається при несиметричній деформації порошкового шару при нерівних діаметрах електрода та деталі.

Збільшення протяжності зони деформації дозволяє краще ущільнити порошковий шар, а отже отримати покриття вищої якості.

При контактному наварюванні порошків доцільно наносити покриття при співвідношеннях діаметра деталі та роликового електрода від 1 до 1,5. В цьому

діапазоні вказаного співвідношення спостерігається несиметрична деформація порошкового матеріалу, збільшення протяжності зони деформації, а також покращення ущільнення порошку. При більших значеннях даного співвідношення ріст зони деформації припиняється. Нанесення покриття з вказаними розмірами дозволяє знизити пористість покриттів приблизно з 10 до 5%.

Список літератури

1. Ярошевич В.К., Генкин Я.С., Верещагин В.А. Электроконтактное упрочнение. – Минск: Наука и техника, 1982.- 256 с.
2. Дорожкин Н.Н., Миронов В.А., Верещагин В.А. Электрофизические методы получения покрытий из металлических порошков. – Рига: Зинатне, 1985.- 131с.
3. Лопата Л.А., Красота М.В., Голубев С.В., Василенко І.Ф. Основні напрямки створення основ електроконтактного нанесення покриттів//Проблеми підвищення надійності та довговічності машин. Збірник наукових праць., Кіровоград: КІСМ, 1996. - С 28-32.
4. Дорожкин Н.Н. Получение покрытий методом припекания. – Минск: Наука и техника, 1980.- 176 с.
5. Дорожкин Н.Н. Восстановление деталей с/х машин. – Минск: Ураджай, 1987.- 143 с.
6. Григорьев А.К. Рудской А.Н. Деформация и уплотнение порошковых материалов. – М.-Металлургия, 1992. – 190 с.
7. Каташинский В.П., Штерн М.Б., Напряженно-деформированное состояние прокатываемого порошка в зоне уплотнения. // Порошковая металлургия, 1983. - №11. – С. 17-21.
8. Степаненко А.В. Непрерывное формирование металлических порошков и гранул. – Минск: Наука и техника, 1980. – 256 с
9. Виноградов Г.А. Теория листовой прокатки металлических порошков и гранул.- М.: Металлургия, 1979.-284 с.
10. Жданович Г.М. Теория прессования металлических порошков.- М: Металлургия, 1969.- 265 с.
11. Целиков А.И., Гришков А.И. Теория прокатки.- М.: Металлургия, 1970.-260 с.

М. Красота, А. Артюхов, І. Шепеленко, В. Дубовик

Исследование влияния параметров цилиндрических электродов на формирование покрытий при контактной наварке порошков

Исследовано влияние геометрических соотношений электродов контактных сварочных машин и диаметров деталей типа „вал” на процесс уплотнения порошкового материала при контактной наварке порошков, установлено оптимальные соотношения диаметров электрода и поверхности с целью получения минимальной пористости порошковой формовки.

M. Krasota, A. Artjuhov, I. Shepelenko, V. Dubovik

Probe of influence of parametres of cylindrical electrodes on formation of coverings at contact welding of powders

Influence of geometrical parities of a cylindrical electrode of the contact welding mashine and diameter of a shaft on process of sealing of a powder material at contact welding of powders is investigated, optimum parities of diameters of a shaft and an electrode for reception of the minimum porosity of a covering are established.

Одержано 24.11.09

УДК 621.891.539.375.6

В.Н. Кропивный, проф., канд. техн. наук, И.В.Шепеленко, доц., канд. техн. наук, В.В.Черкун, инженер

Кировоградский национальный технический университет

Структура поверхностного слоя цапф шестерен шестеренных насосов при обработке ФАБВО

В статье приведены результаты исследований структуры поверхностного слоя цапф шестерен шестеренных насосов, обработанных ФАБВО.

ФАБВО, цапфа вала шестерни, структура, покрытие

Актуальность. Основой для реализации эффекта избирательного переноса в трибосопряжении цапфа шестерни гидронасоса - втулка, позволяющий повысить ресурс насоса за счет сокращения периода приработки, является наличие медьсодержащей структуры, образующейся в результате формирования покрытия на поверхности цапф шестерен. Получение таких покрытий возможно с помощью разработанного авторами способа финишной антифрикционной безабразивной вибрационной обработки (ФАБВО) [1]. Для объяснения сущности явлений, происходящих при ФАБВО, возникает необходимость в исследовании строения поверхностного слоя.

Методика проведения исследований. Для проведения эксперимента были отобраны шестерни шестеренных насосов НШ 50А-3 (рис.1), изготовленные из стали 18ХГТ ГОСТ 4543-71, цементированные с последующей закалкой и низким отпуском.

Для нанесения латунного покрытия на цапфы шестерен применялись специальная установка [2], монтируемая на токарно-винторезном станке 16К20 (рис.2) и технологическая жидкость [3].

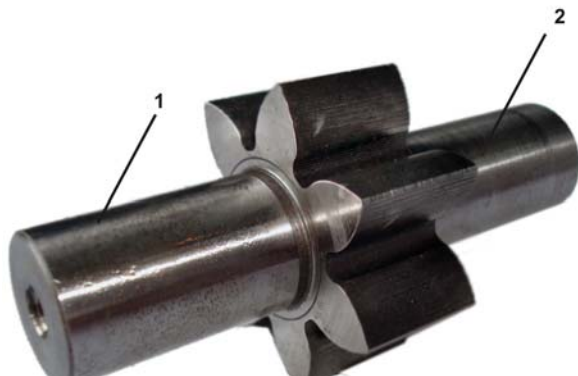


Рисунок 1 – цапфы шестерни, подверженные ФАБВО

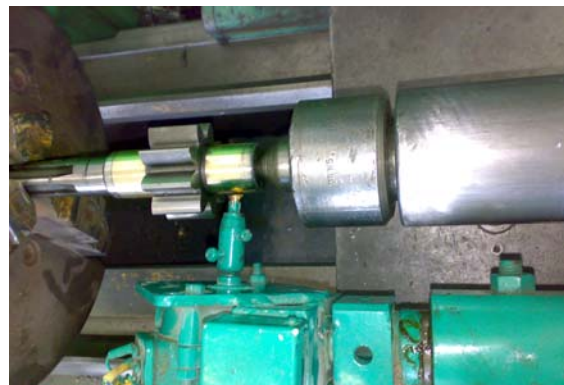
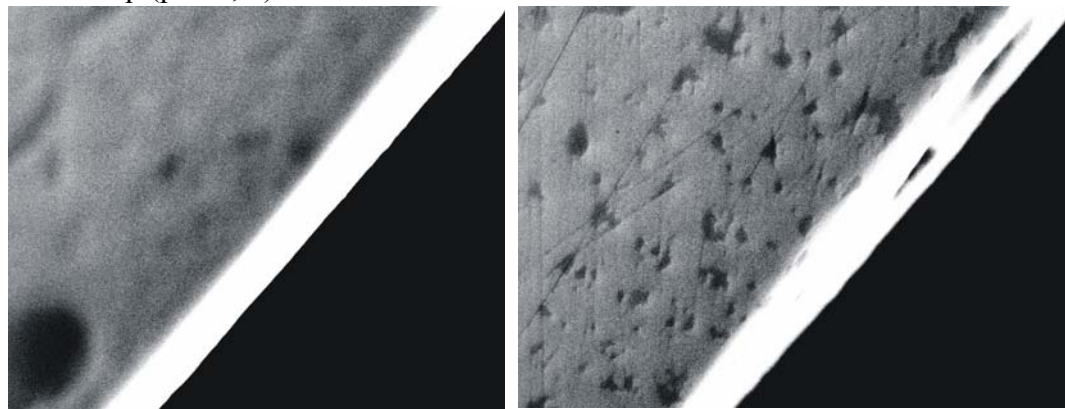


Рисунок 2 – Установка для ФАБВО

Исследования проводились на образцах, изготовленных из цапф шестерен, поверхность которых обработаны по традиционной технологии финишной антифрикционной безабразивной обработке (ФАБВО) и по разработанной авторами технологии с использованием осцилляции инструмента – ФАБВО. Микроструктуру изучали в поперечном сечении образцов с косым срезом на сканирующем электронном

микроскопе РЭМА-106И, оснащенного рентгеновским спектрометром на базе кремний литиевого полупроводникового детектора. Для выявления микроструктуры в качестве травителя использовали 5% раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

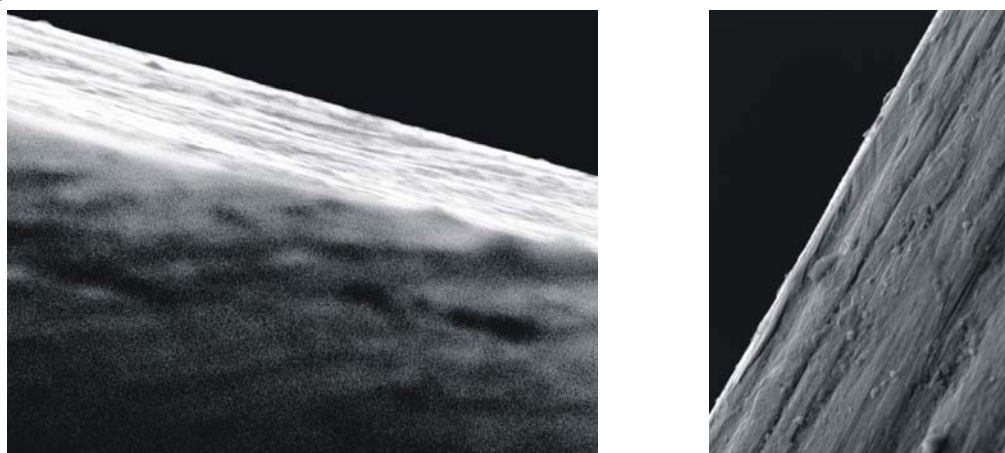
Результаты исследований. Покрытия, полученные при применении ФАБО, имеют плотное, однородное строение толщиной до 4 мкм (рис.3, а). Интенсификация процесса нанесения покрытия с целью повышения производительности и увеличения толщины покрытия приводят к появлению расслоения покрытия и образованию кольцевых пор (рис.3, б).



а) $V=0,1$ м/с, $S=0,06$ м/с, $P=70$ МПа; б) $V=0,22$ м/с, $S=0,15$ м/с, $P=70$ МПа

Рисунок 3 - Структура поверхности образца после ФАБО, $\times 3000$

Применение осцилляции инструмента (ФАБВО) приводит к стабильному увеличению толщины покрытия до 5-6 мкм и появлению слоистости (рис.4). Покрытие состоит из слоев разной плотности – появляются слои более темные, обогащенные цинком, который, как известно, имеет значительно меньшую плотность по сравнению с медью.



а) б)

а - $\times 3000$; б - $\times 600$

Рисунок 4 - Структура поверхности образца после ФАБВО ($P=6$ МПа; $V_{ск}=1,82$ м/с; $n_{дв.х}/n_{д}=57$; $L=7,12$ мм)

Образование слоистого строения покрытия связано с тем, что при формировании покрытия с использованием осцилляции инструмента возрастает роль микрорезания поверхности латунного инструмента и его механического переноса на поверхность детали, по сравнению с преобладающей ролью электрохимических процессов, протекающих при нанесении покрытий по традиционной технологии ФАБО.

Изучение поверхности образцов методом растрового сканирования показывает наличие на поверхности покрытия рыхлых очагов схватывания материала инструмента со стальной основой (рис.5, а, б). Поверхность покрытия, нанесенного с использованием ФАБО (рис.5, а), имеет меньшее количество очагов схватывания, а их размер значительно меньше (до 5 мкм) по сравнению с рыхлыми очагами схватывания покрытия, нанесенного способом ФАБВО (рис.5, б).

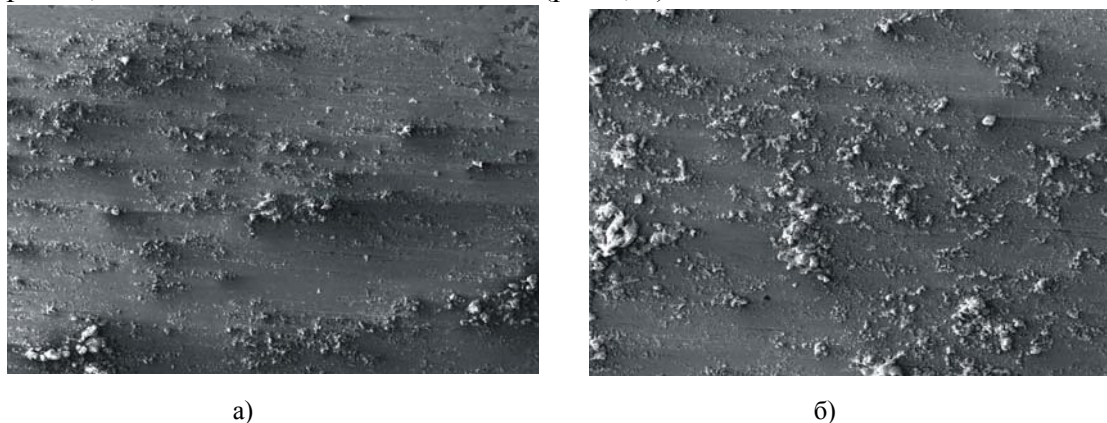


Рисунок 5 - Структура поверхности образцов обработанных методом ФАБО (а) и ФАБВО (б), $\times 80$

Малая толщина покрытия не позволяет с высокой точностью определить состав нанесенного покрытия методом микрорентгеноспектрального анализа, поскольку на результаты анализа значительное влияние оказывает близость расположения стальной основы. С целью установления закономерностей распределения химических элементов (Cu и Zn) в покрытии проводили корреляционный анализ зафиксированных микроанализатором значений содержания Fe, Cu и Zn.

Результаты исследований (рис.6) свидетельствуют, что между зафиксированными значениями содержания железа и меди существует тесная обратная корреляционная связь.

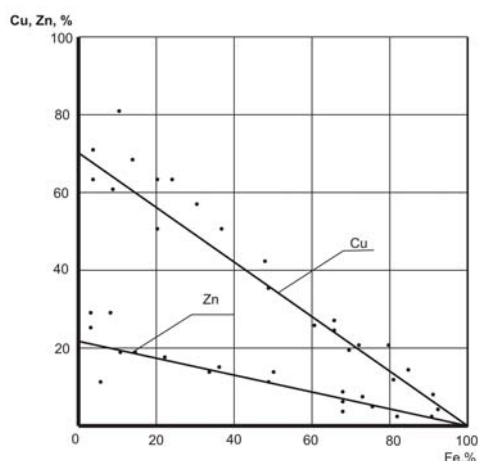


Рисунок 6 - Взаимосвязь между содержанием меди Cu и цинка Zn в составе покрытия и содержанием железа Fe.

В тоже время значения содержания цинка имеют больший разброс по сравнению с содержанием меди, что свидетельствует о неоднородности отдельных участков покрытия по содержанию цинка.

Более ясную картину о взаимосвязи между содержанием меди и цинка дает корреляционный анализ содержания в отдельных точках меди и цинка.

В покрытиях, полученных по традиционной технологии (рис.7), наблюдается тесная корреляционная связь, что свидетельствует об однородности покрытия, сформированного из двухфазной латуни Л62 преимущественно за счет электрохимических процессов переноса материала инструмента.

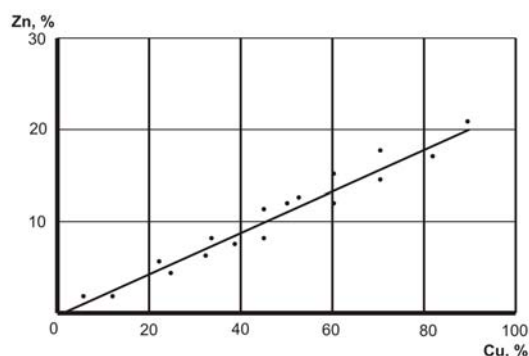
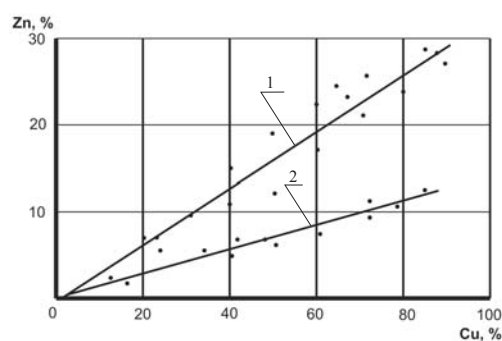


Рисунок 7 - Взаимосвязь между содержанием цинка Zn от содержания меди Cu в покрытии, полученного методом ФАБВО



1 – фаза с повышенным содержанием цинка;
2 – фаза с повышенным содержанием меди
Рисунок 8 - Взаимосвязь между содержанием цинка Zn от содержания меди Cu в покрытии, полученного методом ФАБВО

В то же время на генеральной выборке результатов точечного микрорентгеноспектрального анализа покрытия полученного с использованием ФАБВО можно выделить две линии регрессии (рис.8). Первая линия отвечает фазе с повышенным содержанием меди, а вторая – с повышенным содержанием цинка. Такой характер распределения Cu и Zn в структуре покрытия связан с их гетерогенным строением, за счет чего достигаются более высокие износостойкие и антифрикционные свойства.

Выводы. Результаты исследований структуры поверхностного слоя цапфы шестерни шестеренного насоса свидетельствуют о повышении качества обработки за счет использования ФАБВО. Дополнительная осциляция инструмента способствует получению гетерогенного двухфазного покрытия, обладающего повышенными маслоудерживающими свойствами. Это позволит значительно сократить период приработки насосов и повысить общий ресурс работы шестеренных насосов.

Список литературы

1. Декл. пат. 35859А Україна, МПК С23С20/00. Спосіб нанесення антифрикційних покриттів/ М.І.Черновол, В.В. Черкун, В.М. Наливайко, Є.К. Солових, І.В. Шепеленко, А.М. Щербина (Україна). – №99010210; заявл. 14.01.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл.№3.
2. Декл. пат. 35858А Україна, МПК С23С20/00. Пристрій для фрикційно-механічного нанесення покриттів/ М.І. Черновол, В.В. Черкун, В.М. Наливайко, Є.К. Солових (Україна). – №99010209; заявл. 14.01.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл.№3.
3. Пат. 41439 Україна, МПК С23С 22/05. Поверхнево – активне середовище для нанесення покриттів фрикційно – механічним методом/ В.М. Кропивний, І.В. Шепеленко, В.А. Павлюк-Мороз, В.В.Черкун, М.В. Красота, І.М. Соколенко (Україна). – №200814103; заявл. 08.12.2008; опубл. 25.05.2009, Бюл.№10.

В.Кропивний, І.Шепеленко, В.Черкун

Структура поверхневого шару цапф шестерень шестеренних насосів при обробці ФАБВО

У статті наведені результати досліджень структури поверхневого шару цапф шестерень шестеренних насосів, оброблених ФАБВО.

V.Kropivnyi, I.Shepelenko, V.Cherkun

Structura of superficial layer of pins of cog-wheels of cog-wheel pumps, treated FABVO

In article results are resulted of researches of structure of superficial layer of pins of cog-wheels of cog-wheel pumps, treated FABVO.

Получено 17.11.09

УДК 621.793.620.172

В.С. Ивашко, проф., д-р техн. наук, В.К. Ярошевич, проф., д-р техн. наук

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,

С. А. Довжук, инж., Ф.Й. Златопольский, проф., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет,

В. Н. Яропуд, асп.

Винницкий государственный аграрный университет

Триботехнические исследования борсодержащих материалов нанесенных газотермическим методом для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственной и автомобильной техники

Проведены триботехнические исследования покрытий из сплавов переходных металлов (Fe, Co, Mn, Cr, Ni и др.), в которые для образования аморфной структуры добавляют аморфообразующие элементы типа: B, C, Si, P, S. Покрытия получали газопламенным напылением. Наиболее мелкая структура покрытия обнаружена на дистанции напыления 80 мм. Именно на этой дистанции создаются благоприятные условия для формирования аморфной фазы.

газотермическое напыления, порошковые материалы, аморфизаторы, покрытие, износостойкость, триботехнические свойства, борсодержащие материалы

Введение. Выход из строя сельскохозяйственной и автомобильной техники в основном связан с износом базовых деталей, которые испытывают в процессе работы комбинированное влияние агрессивных сред, высоких удельных нагрузок, трения, вибраций и других факторов. В подавляющем большинстве случаев разрушается только рабочая поверхность детали, которую можно восстановить нанесением слоя материала со специальными свойствами. В результате нанесения покрытий не только восстанавливаются размеры деталей, но и упрочняется их поверхность. В особенности целесообразно использование защитных покрытий в ремонтном производстве.

Газотермическое напыления (ГТН) порошковыми материалами - один из широко распространенных в машиностроении способов нанесения покрытий. Методы ГТН позволяют формировать на поверхности деталей машин и конструкций покрытия с различным уровнем механических и физико-химических свойств, большинство из которых подлежат дальнейшей механической обработке для получения необходимых размеров и качества поверхности. Однако, высокие механические свойства покрытий, обеспечивая работоспособность деталей в эксплуатации, значительно снижают их обрабатываемость резанием, которая всегда более низкая, чем аналогичных по составу сплошных материалов. Преимущественно, это связано с тем, что покрытия характеризуются определенным разбросом физико-механических свойств, неоднородной структурой, что является причиной нестабильности процесса резания и приводит к ускоренному износу режущих инструментов. Структура материала покрытия, которая формируется при его нанесении на основу, ограничивает возможности по технологическому управлению шероховатостью обрабатываемой поверхности.

Матеріали на основі заліза Fe (Fe–B, Fe–Cr–B, і т.д.) являються переважними для отримання порошків, характеризуються аморфно-кристаллической структурою.

Для нанесення покриттів із сплавів системи Fe–Cr–B–Si застосовувалося газопламенне напылення з використанням як вихідного матеріала порошка.

При газопламенному напыленні покриттів з аморфною структурою застосовувалися додаткові технологічні прийоми, направлені на виключення перегріву основи і покриття в процесі напылення, а також окислення напыляемого сплаву, особливо при наявності в його складі елементів з підвищеним сродством до кисню.

Одною з причин, що обмежують використання захисних зносостійких покриттів з аморфно-кристаллической структурою, в промисловості, є недолік науково обґрунтованих рекомендацій по їх нанесенню і механічній обробці. Для борсодержащих матеріалів характерними є наступні особливості:

- наявність великої кількості структурних складових;
- поєднання аморфної і кристаллической фаз, що мають різні фізико-механічні властивості.

Тому з метою технологічного управління якістю поверхні виробів для формування належного стану поверхневих шарів виробів з аморфними покриттями потрібно проведення комплексу експериментальних і теоретичних досліджень. Вимога обов'язкового збереження вихідного складу аморфної фази, що впливає на експлуатаційні властивості, накладає певні обмеження на процеси нанесення і механічній обробці таких покриттів.

Основна частина. Аморфні металічні сплави (АМС) отримують швидким загартом розплавів і при умові, що сплав містить достатню кількість елементів-аморфізаторів. Практичний інтерес представляють сплави, для охолодження яких потрібні швидкості охолодження в межах 100-200К/с, а температура стекловання в декілька разів менше температури плавлення основного компонента.

Для практичного застосування зазвичай використовують сплави перехідних металів (Fe, Co, Mn, Cr, Ni і др.), в які для утворення аморфної структури додають аморфоутворюючі елементи типу: B, C, Si, P, S. Такі аморфні сплави зазвичай містять близько 80 ат. % одного або декількох перехідних металів і 20% металлоїдів, додаваних для утворення і стабілізації аморфної структури. Склад аморфних сплавів, що використовуються для відновлення деталей автомобілів близький до формули $M_{80}X_{20}$, де М - один або декілька перехідних металів, а Х - один або декілька аморфізаторів (наприклад, Fe₈₀B₂₀).

Аморфізатори знижують температуру плавлення і забезпечують достатньо швидке охолодження розплаву нижче його температури стекловання так, щоб в результаті утворилася аморфна фаза. На термічну стабільність аморфних сплавів найбільше впливають кремній і бор, найбільшій міцністю володіють сплави з бором і вуглеродом, а корозійна стійкість залежить від концентрації хрому і фосфору.

В умовах газопламенного напылення досягається принципова можливість отримання аморфних покриттів із металічних сплавів. Критична швидкість переходу цих сплавів в аморфний стан $V_{\text{охл}}^{\text{кр}} = 10^5 - 10^6 \text{ К/с}$.

Важким умовою збереження аморфної структури в процесі нарощування покриття є досягнення раціональних температурних режимів в системі «покриття-основа», що забезпечують певний вміст аморфної фази ($Z_{\text{АФ}}$) в

напыленном покрытии.

Повышение температуры основы приводит к уменьшению $Z_{\text{АФ}}$. Предварительный подогрев основы перед напылением приводит к снижению количества аморфной фазы: соответственно, при температуре подогрева $T=350\text{K}$ - $Z_{\text{АФ}}=70\%$; $T=460\text{K}$ - $Z_{\text{АФ}}=35\%$.

Изучалось влияние на температуру режимов и толщины покрытия. В зависимости от вида обрабатываемого материала и условий напыления температура имеет разные значения.

При газопламенном напылении покрытий с аморфной структурой применялись дополнительные технологические приемы направленные на исключение перегрева основы и покрытия в процессе напыления, а также окисления напыляемого сплава, особенно при наличии в его составе элементов с повышенным сродством к кислороду.

Аморфная фаза в покрытии изменялась от 65 до 80%. Для приближения условий лабораторных исследований к реальным условиям эксплуатации применили способ испытаний триботехнических свойств покрытий при граничной смазке. Образец с испытуемым покрытием вводили в контакт с контрообразцом, нагружали их и задавали скорость вращения. В зону контакта подавали капельным способом жидкую смазку - индустриальное масло И-20А. Образцы с покрытиями сравнивали с эталоном - литым образцом из стали 20Х. Результаты испытаний покрытий на задир приведены в табл. 1. В таблице 2 приведены результаты испытаний на износостойкость напыленных материалов

Таблица 1 - Результаты испытаний напыленных материалов на задир

Давление на образцы p , МПа	Коэффициент трения μ						
	Сталь 20Х	Покрытие					
		дистанция напыления, мм					
		40	80	120	40	80	120
0,16	0,032	0,022	0,018	0,018	0,018	0,017	0,018
0,50	0,025	0,015	0,014	0,014	0,013	0,013	0,015
0,92	0,010	0,010	0,009	0,009	0,008	0,008	0,009
1,33	0,015	0,007	0,009	0,009	0,008	0,007	0,009
1,75	0,065	0,006	0,008	0,008	0,007	0,007	0,008
2,16		0,011	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
2,58		0,015	0,006	0,007	0,007	0,007	0,006
3,00		0,035	0,007	0,008	0,008	0,006	0,007
3,42			0,008	0,012	0,015	0,005	0,007
3,83			0,011	0,027	0,026	0,006	0,013
4,25			0,020			0,006	0,020
4,66						0,015	
5,08						0,025	

Таблиця 2 - Результаты испытаний покрытий на износостойкость

Покрытия	Линейный износ материала покрытия за 10 часов испытаний при $p=3,42$ МПа Δh , мкм			Интенсивность изнашивания J_h , мкм/км (или 10^{-9})		
	дистанция напыления, мм					
	40	80	120	40	80	120
Fe-B	2,5	1,5	1,8	0,025	0,015	0,018

Заключення. Найбільш мелка структура покриття обнаружена на дистанції напылення 80 мм. Іменно на цій дистанції створюються сприятливі умови для формування аморфної фази.

Список литературы

1. Івашко В.С. Обоснование размеров структурных составляющих при упрочнении ножей измельчающих аппаратов кормоуборочной техники / Івашко В.С., Декевич П.А. // Материали 8-го Междунар. науч.-техн. семинара. Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте, Киев, 26-28 февраля 2008 г. / Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2008.
2. Астапчик С.А. Технология поперечно-клиновой прокатки в сельхозмашиностроении республики Беларусь. / Астапчик С.А., Івашко В.С. // Современные методы и технологии создания и обработки материалов.-Мн., 2006.- С.376–381.
3. Бетень Г.Ф. Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственной техники / Бетень Г.Ф., Буйкус К.В., Івашко В.С. и др.- Мн.: БГАТУ, 2006.
4. Абрамович Т.М. Влияние технологических факторов на сврйства покрытий при их электроконтактном припекании. Вопросы теории. / Абрамович Т.М., Донских С.А., Ярошевич В.К. // Материали Междунар. науч.-техн. конф. Модели и алгоритмы для имитации физико-химических процессов.- Таганрог, 2008.
5. Микроплазменное оплавление самофлюсующихся материалов при упрочнении ножей измельчающих аппаратов. / Івашко В. С., Декевич П.А. // «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка».- Минск, 2008.
6. Громыко Г.Ф. Моделирование процесса микроплазменной обработки деталей с нанесением порошковых материалов. / Громыко Г.Ф., Мацука, Н.П., Івашко, В.С., Декевич, П.А. // Сборник научных трудов VI международной научно-технической конференции «Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин» – Новополюцк, 2007.
7. Івашко В. С. Применение системы визуализации при лазерной и микроплазменной обработке деталей рабочих органов кормоуборочных машин / Івашко В. С., Декевич П.А., Інютин А.В. // Материали 8-го Междунар. науч.-технического семинара. Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте, Киев, 26-28 февраля 2008г. / Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2008.

В. Івашко, В. Ярошевич, С. Довжук, Ф. Златопольський, В.Яропуд

Триботехнічні дослідження матеріалів, які вмщують бор і нанесені газо термічним методом для зміцнення і відновлення деталей сільськогосподарської і автомобільної техніки

Приведені результати триботехнічних досліджень покриттів із сплавів перехідних металів (Fe, Co, Mn, Cr, Ni і др.), в які для утворення аморфної структури додають аморфообразуючі елементи типу B, C, Si, P, S. Покриття отримували газополуменевим напыленням. Найбільш дрібна структура покриття виникає на дистанції напылення 80 мм. На цій дистанції створюються найбільш сприятливі умови для отримання аморфної фази.

V. Ivashko, V. Yaroshevich, S. Dovzhuk, F. Zlatopolskiy, V. Yaropud

Tribological investigations of boron-containing material, coated by gas-thermal method for strengthening parts machines of agricultural and motor-car technique

Tribological investigations of boron-containing material, coated by gas-thermal method are conducted. The goal of investigations is to control surface quality by means application of amorphous-crystalline coatings. The finest structure of coating with amorphous phase is achieved under the application distance equal to 80 mm.

Получено 17.11.09

УДК 629.113.004.67

В.С. Ивашко, проф., д-р техн. наук, В.К. Ярошевич, проф., д-р техн. наук

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

А.В. Татаров, доц., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград

В.М. Лопата, доц., канд. техн. наук

Киевский национальный университет технологий и дизайна, г. Киев

Система автоматизированного проектирования технологических процессов ремонта и восстановления деталей машин

Разработана система автоматизации проектирования технологических процессов восстановления деталей машин. Созданная база данных интегрирована в САПР ТП «Компас-Автопроект». Разработана справочная система способов восстановления деталей машин, средств технологического оснащения ремонтно-обслуживающих предприятий, применяемых материалов и справочник средств дефектации.
автоматизированное проектирование, ремонт и восстановление, дефекты, дефектация, технология

Введение. В настоящее время ремонтно-обслуживающие предприятия столкнулись с проблемой отсутствия задачи технологической документации на ремонт и восстановление деталей машин. Степень проработанности и форма представления технологической документации должна соответствовать требованиям ГОСТов и международным стандартам оформления документации. Это же необходимо и для расширения производства - освоения ремонта новых изделий.

Использование САПР ТП ремонтно-обслуживающими предприятиями позволит:

- повысить качество технологической документации;
- сократить трудоемкость и сроки технологической подготовки производства (ТПП);
- организовать машинный архив проектной документации и безбумажный документооборот в сети ЭВМ;
- осуществить интеграцию с системами конструкторской подготовки производства и управления предприятием;

V. Ivashko, V. Yaroshevich, S. Dovzhuk, F. Zlatopolskiy, V. Yaropud

Tribological investigations of boron-containing material, coated by gas-thermal method for strengthening parts machines of agricultural and motor-car technique

Tribological investigations of boron-containing material, coated by gas-thermal method are conducted. The goal of investigations is to control surface quality by means application of amorphous-crystalline coatings. The finest structure of coating with amorphous phase is achieved under the application distance equal to 80 mm.

Получено 17.11.09

УДК 629.113.004.67

В.С. Ивашко, проф., д-р техн. наук, В.К. Ярошевич, проф., д-р техн. наук

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

А.В. Татаров, доц., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград

В.М. Лопата, доц., канд. техн. наук

Киевский национальный университет технологий и дизайна, г. Киев

Система автоматизированного проектирования технологических процессов ремонта и восстановления деталей машин

Разработана система автоматизации проектирования технологических процессов восстановления деталей машин. Созданная база данных интегрирована в САПР ТП «Компас-Автопроект». Разработана справочная система способов восстановления деталей машин, средств технологического оснащения ремонтно-обслуживающих предприятий, применяемых материалов и справочник средств дефектации.
автоматизированное проектирование, ремонт и восстановление, дефекты, дефектация, технология

Введение. В настоящее время ремонтно-обслуживающие предприятия столкнулись с проблемой отсутствия задачи технологической документации на ремонт и восстановление деталей машин. Степень проработанности и форма представления технологической документации должна соответствовать требованиям ГОСТов и международным стандартам оформления документации. Это же необходимо и для расширения производства - освоения ремонта новых изделий.

Использование САПР ТП ремонтно-обслуживающими предприятиями позволит:

- повысить качество технологической документации;
- сократить трудоемкость и сроки технологической подготовки производства (ТПП);
- организовать машинный архив проектной документации и безбумажный документооборот в сети ЭВМ;
- осуществить интеграцию с системами конструкторской подготовки производства и управления предприятием;

- готовить любые формы проектных документов;
- работать с нормативно-справочной информацией;
- в полной мере производить заимствование ранее принятых технологических решений.

Цель. Разработать базу данных для автоматизированного проектирования технологических процессов ремонта и восстановления деталей машин, а также произвести ее интеграцию в САПР ТП "КОМПАС-Автопроект".

Задачи. В результате анализа процесса проектирования ТП ремонта и восстановления сформировался ряд задач:

- разработать модель данных технологического процесса восстановления деталей машин;
- автоматизировать классификатор дефектов деталей и поверхностей по геометрической форме, условиям работы и изнашивания в соединении;
- разработать справочник средств дефектации деталей;
- разработать справочную систему способов восстановления и их характеристик;
- разработать справочную систему средств технологического оснащения ремонтного производства;
- разработать справочник материалов, которые нашли применение в ремонтном производстве.

Модель данных проектируемой системы имеет четыре основных уровня: деталь - дефект - операция - переход (рис. 1.).

На уровне деталь содержится информация о восстанавливаемой детали в целом (наименование, разработчик технологии, дата, материал, код дефектов детали, и т. д.).

На уровне дефект содержится перечень возможных дефектов детали, способах дефектации и восстановления каждого дефекта.

На уровне операции содержится перечень восстановительных операций, с указанием оборудования, норм времени, разряда работы и т.д.

На уровне переходы перечислены тексты переходов, режущие инструменты, приспособления, режимы резания и др., подчиненные одной операции.

Классификатор дефектов деталей и поверхностей. На базе классификации дефектов деталей и поверхностей по геометрической форме, условиям работы и изнашивания в соединении нами создана система интерактивного кодирования дефектов присущих детали в целом и отдельным ее поверхностям.

На основании кода дефектов и информации о методах и средствах контроля можно в автоматическом режиме получить технологический процесс дефектации, за исключением эскизов.

Полученный код используется также при поиске ТП-аналога, выборе способов и операций восстановления.

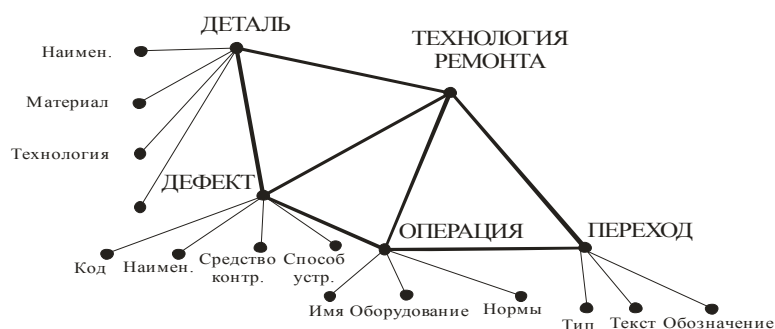


Рисунок 1 - Модель данных спроектированной системы

Справочник средств дефектации деталей состоит из шести разделов:

- средства измерения размеров деталей;
- средства контроля отклонения формы;
- средства контроля отклонения расположения поверхностей;
- средства контроля параметров шероховатости;
- средства контроля твердости поверхностей;
- средства контроля целостности деталей. Он имеет структуру, показанную на

рис. 2.



Рисунок 2 - Структура справочника средств дефектации

Система способов восстановления состоит из пятнадцати разделов:

- сварка;
- наплавка;
- нанесение газотермических покрытий;
- холодное пластическое деформирование;
- горячее пластическое деформирование;
- гальванические процессы;
- нанесение полимерных материалов;
- применение ремонтных размеров;
- применение дополнительных деталей;
- проведение химико-термических процессов;
- электромеханическая обработка;
- лектрофизическая обработка;
- электрохимическая обработка;
- пайка;
- термическая обработка.

Справочная система средств технологического оснащения состоит из пяти разделов:

- подготовка деталей к восстановлению;
- нанесение покрытий, формоизменение;
- механическая и упрочняющая обработка;
- контроль качества;
- консервация, упаковка, транспортирование и складирование.

Справочник материалов содержит сведения о материалах, применяемых при ремонте и восстановлении деталей машин:

- полимеры;
- электроды;
- флюсы;
- сварочная и наплавочная проволока;
- порошковая проволока и лента;
- порошки;
- защитные газы;
- растворы;
- эластомеры и клеевые составы;
- припой;

- сплавы;
- др.

Разработка ТП восстановления начинается с описания восстанавливаемой детали и кодирования дефектов ее поверхностей.

На основании кода дефектов и информации о методах и средствах контроля можно в автоматическом режиме получить технологический процесс дефектации за исключением эскизов.

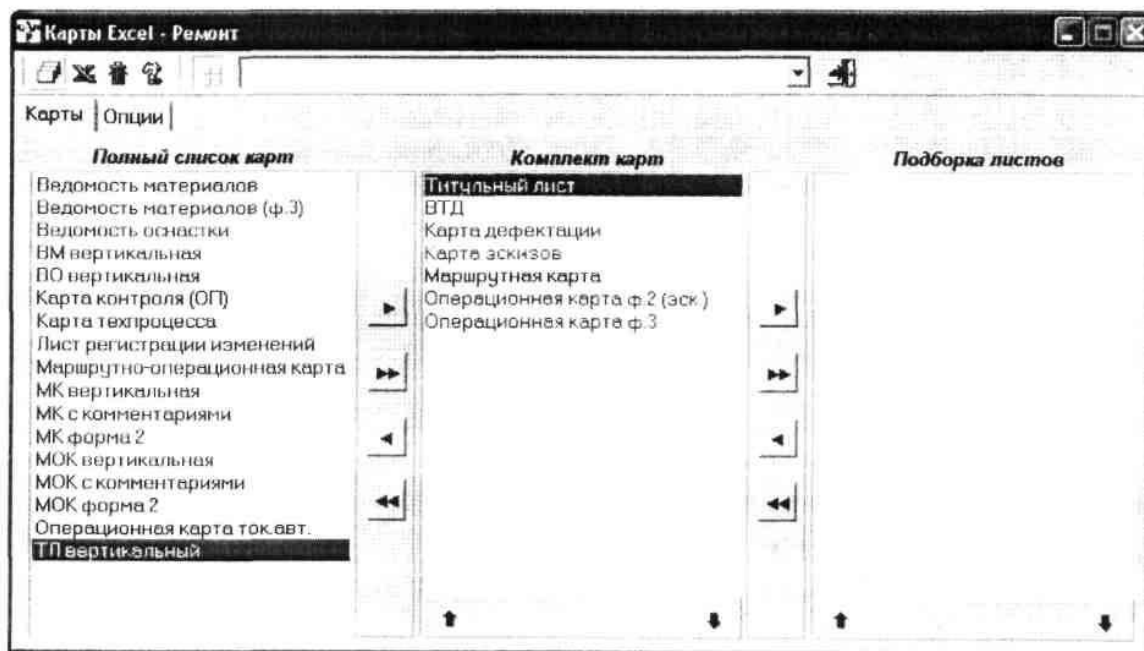
Затем, на основании кода дефекта поверхности, выбираются доступные способы устранения дефектов (по технологическому критерию). Пользователь, в интерактивном режиме, пользуясь информацией о характеристиках способов, подбирает рациональный способ для каждого дефекта.

Далее формируются технологические операции восстановления по признаку принадлежности операции к способу устранения дефекта, и устанавливается их последовательность.

Следующим этапом является формирование переходов, где пользователь указывает тексты переходов, используемые при выполнении операции, материалы, приспособления, а также режимы обработки.

При необходимости, к операции подключаются эскизы (указывается расположение файлов), указываются данные, на основе которых формируется карта технологического контроля, создаются комментарии в виде произвольного текста, на основе которого может быть сформирована маршрутная и маршрутно-операционная карта, и указывают информацию о применимости каждой операции в различных типах технологических карт.

После этого запускается процедура автоматического формирования комплекта технологической документации в формате MS EXCEL:



Создание базы данных начиналось с этапа анализа. Исходя из ГОСТ и ЕСТД были выделены сущности и установлены связи между ними.

Структура базы данных системы представлена в виде диаграммы «сущность-связь» на рис. 3.

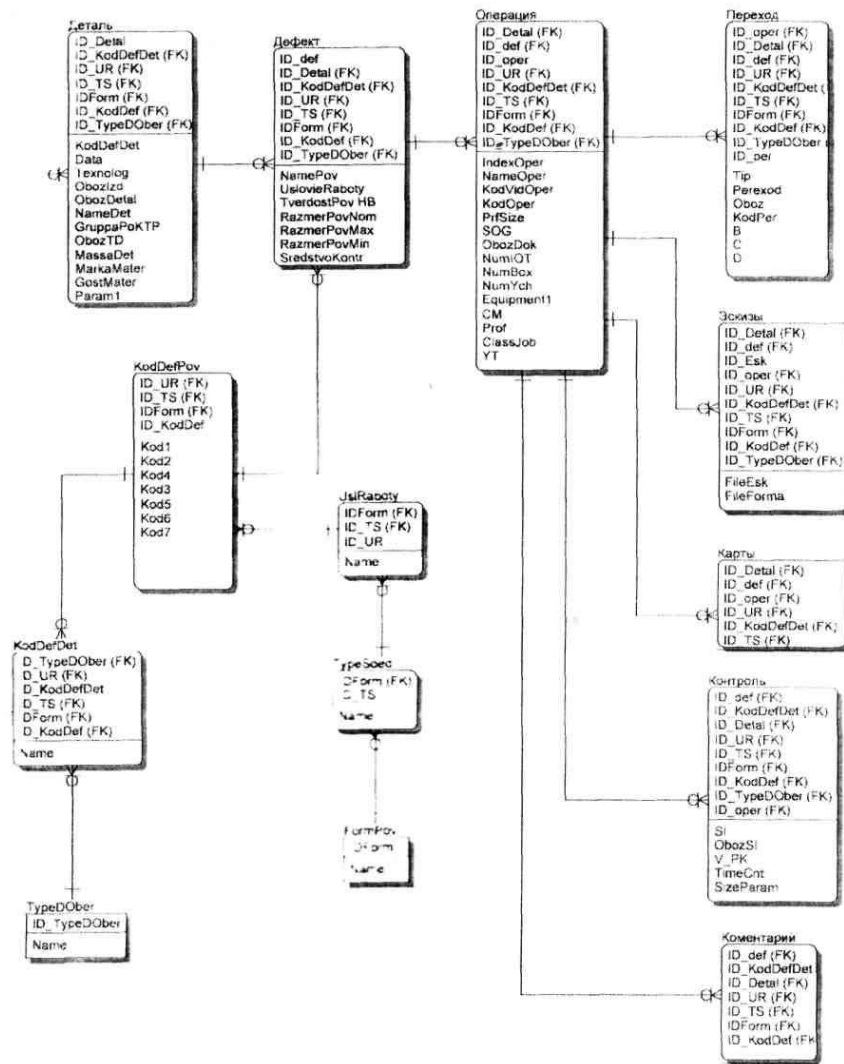


Рисунок 3 – Структура бази даних системи

Разработанная база данных интегрирована в качестве подсистемы в САПР КОМПАС «Автопроект».

Выводы. Система позволяет комплексно решить задачу формирования ТП ремонта и восстановления деталей машин, повысить качество проектов, за счет заимствования ранее принятых технологических решений, сократить трудоемкость и сроки ТПП, организовать машинный архив проектной документации и безбумажный документооборот в сети ЭВМ, осуществлять интеграцию с системами конструкторской подготовки производства и управления предприятием.

В.Івашко, В.Ярошевич., А.Татаров, В.Лопата

Система автоматизованого проектування технологічних процесів ремонту і відновлення деталей машин

Розроблена система автоматизації проектування технологічних процесів відновлення деталей машин. Створена база даних інтегрована в САПР ТП „Компас-Автопроект“. Розроблена довідкова система способів відновлення деталей машин, засобів технологічного оснащення ремонтно-обслуговуючих підприємств, вживаних матеріалів і довідник засобів дефектації.

V. Ivashko, V. Yaroshevich, A. Tatarov, V. Lopata

The system of computer-aided design of technological processes of renewal of details of machines

The system of computer-aided design of technological processes of renewal of details of machines The system of computer-aided design of technological processes of renewal of details of machines is developed. The created database is computer-integrated in CADD ОІ «Compass-Autoproject». The certificate system of methods of renewal of details of machines, facilities of technological equipment of repair-attendant enterprises, applied materials and reference book of facilities of defektatsyy is developed.

Одержано 24.11.09

УДК 621.4:629.113.01

М.В. Красота, канд. техн. наук., С.О. Магопєць, канд. техн. наук., О.В. Бєвз, канд. техн. наук., І.В. Шєпєлєнко, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Особливості вимірювання компресії бензинових двигунів при діагностуванні

В статті розглянуто вплив різних факторів на компресію бензинового двигуна, наведено ознаки типових несправностей циліндро-поршневої групи та способи їх виявлення. Наведена діаграма визначення несправностей ЦПГ за показниками компресії
компресія, бензиновий двигун, діагностування

На потужність двигуна внутрішнього згоряння впливають наступні фактори: зношування деталей циліндропоршневої групи, кривошипно-шатунного й газорозподільного механізмів; зношування й прогорання клапанів і сідел; несправності систем живлення, охолодження й мащення. Кількісним показником несправності двигуна є зниження його потужності на 6-8%.

У двигуні внутрішнього згоряння циліндропоршнева група працює в найбільш важких умовах (газове середовище, висока температура, високі циклічні навантаження). При цьому відбувається інтенсивне зношування деталей, що приводить до прориву газів з камери згоряння в картер, збільшення шуму й вібрації, забруднення моторного масла і його втраті на угар, зниження герметичності в надпоршневому просторі.

Діагностування циліндропоршневої групи проводиться за функціональними параметрами: зміною тиску стискання в циліндрах; прориванням газів у картер; вигоранням масла; втратам стисненого повітря, що подається в циліндри; розрідженням в камері згоряння; зміною шуму й вібрації; зміною параметрів моторного масла; величиною струму, який споживається стартером.

Велика кількість параметрів визначення технічного стану циліндропоршневої групи дозволяє поєднувати їх за трьома зонами вимірювань: камера згоряння, блок циліндрів, картер двигуна. У зоні камери згоряння перевіряють, як правило, тиск стискання (компресію), проривання газів у картер, втрати стисненого повітря, розрідження в камері згоряння.

Вимірювання компресії – самий популярний метод діагностики серед автомеханіків. Позитивні якості його очевидні - простота, доступність, універсальність.

The system of computer-aided design of technological processes of renewal of details of machines The system of computer-aided design of technological processes of renewal of details of machines is developed. The created database is computer-integrated in CADD ОІ «Compass-Autoproject». The certificate system of methods of renewal of details of machines, facilities of technological equipment of repair-attendant enterprises, applied materials and reference book of facilities of defektatsyy is developed.

Одержано 24.11.09

УДК 621.4:629.113.01

М.В. Красота, канд. техн. наук., С.О. Магопєць, канд. техн. наук., О.В. Бєвз, канд. техн. наук., І.В. Шєпєлєнко, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Особливості вимірювання компресії бензинових двигунів при діагностуванні

В статті розглянуто вплив різних факторів на компресію бензинового двигуна, наведено ознаки типових несправностей циліндро-поршневої групи та способи їх виявлення. Наведена діаграма визначення несправностей ЦПГ за показниками компресії
компресія, бензиновий двигун, діагностування

На потужність двигуна внутрішнього згоряння впливають наступні фактори: зношування деталей циліндропоршневої групи, кривошипно-шатунного й газорозподільного механізмів; зношування й прогорання клапанів і сідел; несправності систем живлення, охолодження й мащення. Кількісним показником несправності двигуна є зниження його потужності на 6-8%.

У двигуні внутрішнього згоряння циліндропоршнева група працює в найбільш важких умовах (газове середовище, висока температура, високі циклічні навантаження). При цьому відбувається інтенсивне зношування деталей, що приводить до прориву газів з камери згоряння в картер, збільшення шуму й вібрації, забруднення моторного масла і його втраті на угар, зниження герметичності в надпоршневому просторі.

Діагностування циліндропоршневої групи проводиться за функціональними параметрами: зміною тиску стискання в циліндрах; прориванням газів у картер; вигоранням масла; втратам стисненого повітря, що подається в циліндри; розрідженням в камері згоряння; зміною шуму й вібрації; зміною параметрів моторного масла; величиною струму, який споживається стартером.

Велика кількість параметрів визначення технічного стану циліндропоршневої групи дозволяє поєднувати їх за трьома зонами вимірювань: камера згоряння, блок циліндрів, картер двигуна. У зоні камери згоряння перевіряють, як правило, тиск стискання (компресію), проривання газів у картер, втрати стисненого повітря, розрідження в камері згоряння.

Вимірювання компресії – найпопулярніший метод діагностики серед автомеханіків. Позитивні якості його очевидні - простота, доступність, універсальність.

За відомою методикою тиск стискання (компресію) у кожному циліндрі перевіряють компресометром не менш трьох разів на прогрітому двигуні при обертанні колінчатого вала стартером або пусковим двигуном. Дросельна заслінка при цьому повинна бути повністю відкрита. Мінімально допустимий тиск стискання для двигунів з іскровим запалюванням дорівнює 0,6-0,7 МПа, для дизельних - 1,4 МПа. При цьому різниця показань у циліндрах не повинна бути більше 0,1 МПа. Зниження тиску на 40% указує на поломку або залягання кілець, або на граничне зношування кілець і гільзи, або на нещільність сполучення « клапан-гніздо». Несправність сполучень «кільце-гільза» визначається повторним вимірюванням тиску після додавання в камеру згоряння 20-25 см³ моторного масла. Збільшення тиску після додавання масла вказує на значне зношування кілець і гільзи.

Однак вимірювання компресії за стандартною методикою дозволяє лише визначити в основному наявність або відсутність компресії в циліндрі.

Одним виміром практично неможливо розділити втрати пов'язані з негерметичністю клапанів або компресійних кілець. Доводиться робити два заміри компресії по циліндрам із додаванням 3-5 мл масла для посилення масляного клина у сполученні компресійне кільце - гільза. При цьому похибка оцінки ЦПГ по тиску стискання (за компресією) може становити до 30%.

Компресометр являє собою манометр зі зворотним клапаном, який вставляється замість свічки запалювання в бензиновому двигуні або свічки накалювання в дизелі.

Простота й доступність цього приладу зробили його практично "універсальним" засобом і для визначення несправностей двигуна й для оцінки його технічного стану в цілому.

При всій простоті способу отримані результати нерідко вимагають певного пояснення, інакше можна зробити зовсім невірні висновки.

Метою даної роботи є встановлення особливостей вимірювання компресії та можливості отримання додаткових діагностичних параметрів.

Розглянемо вплив різних факторів на компресію. Очевидно, що максимальне її значення буде при мінімальних втратах газів із циліндра, що відповідає наступним умовам:

- циліндр ідеально круглий;
- поверхня циліндра не має поздовжніх рисок;
- поршневі кільця ідеально прилягають до поверхні циліндра;
- величина зазору в замках кілець близька до нуля;
- торцеві поверхні кілець ідеально відповідають торцевим поверхням канавок поршня;

- тарілки клапанів ідеально прилягають до сідел.

Зазначені фактори є експлуатаційними й визначають відсутність або наявність втрат повітря із циліндра.

З іншого боку, на кількість повітря, що надходить у циліндр, впливають (убік збільшення):

- повністю відкрите положення дросельної заслінки;
- чистий повітряний фільтр;
- тривалість фаз впуску й випуску, що залежить, наприклад, від зазорів в механізмі привода клапанів;
- мале перекриття клапанів (мається на увазі на тій частоті обертання, при якій виконується перевірка компресії).

Очевидно, чим більше повітря надходить у циліндр, тим менше впливають на компресію втрати, особливо при зростанні частоти обертання, коли зменшується час, протягом якого відбуваються ці втрати.

Крім зазначених, на тиск (компресію) впливають:

- температура двигуна (підвищує компресію);
- масло, що пройшло через маслоснімні ковпачки, поршневі кільця, ущільнення турбокомпресора (підвищує компресію, тому що ущільнює зазори в сполучених деталях);
- паливо, що надійшло в циліндр у вигляді крапель (знижує компресію, тому що змиває масло з деталей і не володіє, на відміну від масла, ущільнювальними властивостями через малу в'язкість);
- негерметичність зворотного клапана компресометра або магістралі від клапана до манометра (зменшує компресію).
- крім того, на показники компресії впливають пускові оберти колінчатого валу, які залежать від ступеню розрядженості акумуляторних батарей; при розрядженому акумуляторі втрата компресії становить у середньому 0,1-0,2 МПа;
- опір у впускному патрубку;
- температура масла;
- паразитний обсяг перехідного пристрою компресометра й т.інш.

Велика кількість факторів, що впливають на максимальний тиск у циліндрі, може істотно змінити результати вимірювань.

Зазначені фактори підтверджують необхідність певних застережень перед встановленням остаточного діагнозу стосовно результатів вимірювань, а також методикою вимірювання компресії. Розглянемо це питання більш докладно.

Очевидно, при вимірюванні компресії варто дотримувати кілька умов: двигун повинен бути "теплим"; бажано відключити подачу палива в циліндри (відключивши бензонасос, форсунки або іншим способом), особливо, якщо є ймовірність збагачення суміші; необхідно вивернути свічки у всіх циліндрах; акумуляторна батарея повинна бути повністю заряджена, а стартер справний.

Зважаючи на проведений аналіз можливо сформулювати певні рекомендації стосовно методики визначення компресії.

Вимірювання компресії можна виконувати як при повністю відкритій, так і закритій дросельній заслінці. Кожен із цих способів може визначати певні дефекти.

Якщо заслінка повністю закрыта, то в циліндри надходить мала кількість повітря. Максимальний тиск у циліндрі виявляється невеликим (близько 0,6-0,8 МПа) через малий тиск у колекторі (0,05-0,06 МПа замість 0,1 МПа при повністю відкритому дроселі). Втрати при закритій заслінці також виявляються малі через малий перепад тиску, але навіть при цьому порівнянні з надходженням повітря. Внаслідок цього величина компресії в циліндрі виявляється дуже чутливою до втрат - навіть через незначну причину тиск падає відразу в кілька разів.

При повністю відкритому дроселі цього не відбувається. Значне збільшення кількості повітря, що надійшло в циліндри, приводить і до зростання компресії, однак втрати, незважаючи на їхнє невелике зростання, вони стають значно менші подачі повітря. Внаслідок цього компресія навіть при серйозних дефектах може ще не впасти до неприпустимого рівня (наприклад, до 0,8-0,9 МПа в бензиновому двигуні).

Таким чином, виходячи з особливостей різних варіантів вимірювання компресії, можна дати деякі рекомендації з їхнього використання.

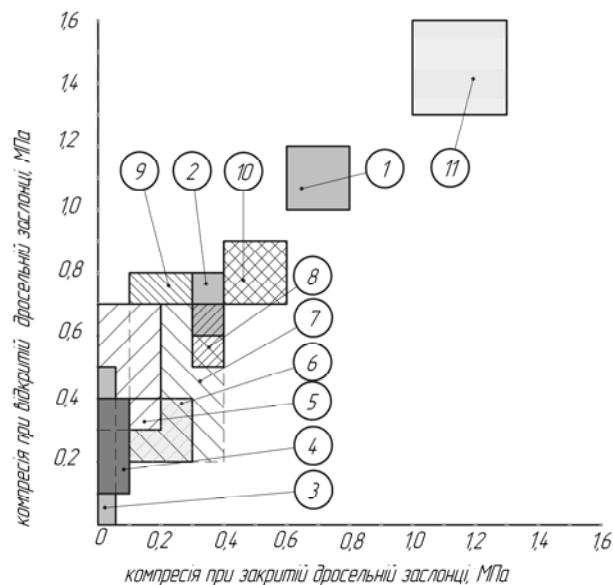
Вимірювання компресії з повністю відкритою заслінкою дозволяють виявити: поломки й прогорання поршнів; зависання (закоксовування) кілець у канавках поршня; деформацію або прогорання клапанів; серйозні ушкодження (задири) поверхні циліндра.

Вимірюючи компресію із закритою заслінкою, вдається визначити: не цілком задовільне прилягання клапана до сідла; зависання клапана (через неправильне складання механізму привода клапана з гідроштовхачем); дефекти профілю кулачка

розподільного вала в конструкціях з гідроштовхачами (наприклад, зношування, биття тильної сторони кулачка).

На прикладі двигуна ВАЗ 2110 побудовано діагностичну діаграму визначення дефектів (рис. 1).

При вимірюваннях варто враховувати динаміку зростання тиску. Так, якщо на першому такті величина тиску, який реєструється компресометром, низька (0,3-0,4 МПа), а при наступних тактах різко зростає - це свідчить про зношування поршневих кілець (перевіряється заливанням у циліндр через свічковий отвір 5-10 см³ свіжого масла). Навпаки, якщо на першому такті досягається помірний тиск (0,7-0,9 МПа), а при наступних тактах ця величина практично не росте - це побічно свідчить про наявність втрат (клапани, прокладка, тріщина в головці й т.п.).



1 – нормальний стан двигуна; 2 - тріщина в перемичці поршня (супроводжується синім димом вихлопу, великим тиском в картері); 3 – прогорання поршня (синій дим вихлопу, циліндр не працює на холостому ході); 4 – прогорання клапана (циліндр не працює на холостому ході); 5 – деформація клапана; 6 – залягання кілець (супроводжується синім димом вихлопу, підвищеним тиском в картері); 7 – задири на поверхні циліндра (циліндр не працює на холостому ході); 8 – перезбагачення суміші (ускладнений пуск, чорний дим випуску); 9 – дефект профілю кулачка (циліндр не працює на холостому ході); 10 – природний знос поршневих кілець і циліндрів (підвищена витрата масла, знижена потужність двигуна); 11 – підвищена кількість нагару в камері згорання у поєднанні з зношеними масло відбивними ковпачками

Рисунок 1 – Діагностична діаграма визначення дефектів ЦПГ бензинового двигуна ВАЗ

Проводячи вимірювання компресії, у більшості випадків варто розглядати отримані результати, як відносні, тобто несправні циліндри порівнюються зі справними, а абсолютне значення компресії не оцінюється. Це дозволяє виключити помилки, при оцінці технічного стану в цілому справного двигуна. Проте, вимірювання величини абсолютної компресії для одержання непрямої інформації про технічний стан двигуна може бути рекомендоване в наступних випадках:

а) наявності даних про величину компресії цього двигуна, отриманих на більш ранніх інтервалах його експлуатації (наприклад, 40 тис., 100 тис., 150 тис. км і т.п.) при повній справності систем паливободачі й пуску;

б) наявності великої бази статистичних даних (вимірювання компресії на різних інтервалах експлуатації) для даної моделі двигуна. При цьому вимірювання повинні бути виконані в однакових умовах (температура масла, частота обертання колінчастого

валу, температура навколишнього повітря, повна справність всіх систем двигуна й т.інш.).

Найшвидше й ефективно перевірку величини компресії дозволяють здійснити сучасні мотортестери. У цьому випадку відбувається вимірювання амплітуди пульсації струму, що споживається стартером при прокручуванні колінчастого валу.

Перевагою даного методу є швидкість, одночасне вимірювання по всіх циліндрах за один цикл (10-15 с прокручування стартером), відсутність необхідності викручування свічок, що особливо зручно при діагностиці багатоциліндрових двигунів. Недолік методу - одержання в більшості випадків тільки величини відносної (у відсотках до кращого циліндра) компресії. Лише найдорожчі мотортестери здатні вимірювати абсолютне значення піка струму на кожен циліндр, однак ця величина також має потребу в зіставленні з дійсним тиском.

Практика показує, що взаємний вплив великої кількості факторів на абсолютне значення компресії настільки велике, що результати вимірювання можуть бути неправильно або доволіно витлумачені й надати невірний результат при діагностуванні. Тому для визначення технічного стану в цілому справного й стійко працюючого двигуна тільки вимірювання компресії недостатньо. У таких випадках воно повинно застосовуватися в комплексі з іншими способами й засобами діагностики.

Висновки. При вимірюванні компресії на точність і достовірність діагностики впливає значна кількість факторів, які необхідно враховувати. Вимірювання компресії доцільно виконувати як при повністю відкритій, так і закритій дросельній заслінці. З аналізу результатів, отриманих за різними методами вимірювання компресії можливо точніше виявити несправність, ніж при використанні стандартної методики.

Список літератури

1. Дмитриев М.М. Практикум по устройству и техническому обслуживанию автомобилей. Учеб. пособие. – Минск.: Высшая школа, 1986. – 240 с.
2. <http://www.autodiagnos.com.ua>.
3. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. – К.: Знання, 2003. – 511 с.
4. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Організація і управління. – К.: Знання, 2004. – 478 с.
5. Шумик С.В. Основы технической эксплуатации автомобилей. – Минск.: Высшая школа, 1981.- 286 с.
6. Келер К.А. Диагностика автомобильного двигателя. – Ужгород: «Карпаты», 1977. - 160 с.
7. Аринин И.Н. Диагностирование технического состояния автомобиля.– М.: Транспорт, 1978. - 176 с.
8. Борц А.А. Диагностика технического состояния автомобиля.– М.: Транспорт, 1979.– 158 с.
9. Сергеев А.Г. Точность и достоверность диагностики автомобилей. – М.: Транспорт, 1980. – 186 с.

М. Красота, С. Магопец, О. Бевз, И. Шепеленко

Особенности измерения компрессии бензиновых двигателей при диагностике

В статье рассмотрено влияние разных факторов на компрессию бензинового двигателя, приведены признаки типовых неисправностей цилиндро-поршневой группы и способы их выявления. Приведена диаграмма определения неисправностей ЦПГ по показателям компрессии

M. Krasota, S. Magopez, O. Bevz, I. Shepelenko

Features of measuring of compression at diagnostics of petrol engines

In the article influence of different factors is considered on the compression of petrol engine, the signs of typical disrepairs are resulted cilindro-piston groups and methods of their exposure. The resulted diagram of determination of disrepairs of engine is on the indexes of compression.

Одержано 24.11.09

УДК 631.3:637.1

С.І. Осадчий, доц., канд.техн.наук, Ю.В. Версаль, асп.

Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження залежності між температурою молока та температурою навколишнього повітря для побудови системи підтримки прийняття рішень про фізіологічний стан лактуючих корів

В статті встановлено наявність впливу температури навколишнього повітря на температуру тіла та молока лактуючих корів. Проведено розрахунки коефіцієнтів кореляції між температурою навколишнього повітря та температурою молока на основі чотирьох досліджень з метою подальшого використання результатів для побудови системи підтримки прийняття рішень про фізіологічний стан лактуючих корів. Встановлено позитивну кореляцію та високу ступінь лінійної залежності цих параметрів.

фізіологічний стан, температура молока, температура навколишнього повітря, система підтримки прийняття рішень, коефіцієнт кореляції

Розвиток сучасних технологій виробництва продукції тваринництва неможливий без контролю якості виконання будь-якого технологічного процесу, фізіологічного стану тварин та умов навколишнього середовища.

Індикатором фізіологічного стану тварини є, перш за все, температура тіла [1], яка для здорових корів становить 38,3...38,9°C [2]. Постійний рівень температури тіла може бути порушений через умови навколишнього середовища, найбільший вплив з яких має температура повітря [3], що в оптимальному випадку дорівнює 0...+15°C [4]. Якщо температура навколишнього повітря перевищує +15°C, це призводить до підвищення температури тіла [1, 4], що, в свою чергу, призводить до зменшення надоїв молока [5]. Під впливом високих температур у корів менш помітно протікає стан статевої охоти, як наслідок – складність її виявлення [6].

Недоліком систем контролю фізіологічного стану корів на основі показань температури тіла [7...9] є наявність помилок від джерел вимірювання. Тому в якості індикатора температури тіла тварини використовують температуру молока [5, 10...12], яка для здорових корів в термонеутральному середовищі становить ~ 38.6°C [13, 14].

Розробці систем діагностики фізіологічного стану тварин за температурою молока присвячені дослідження багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених [13, 15, 16, 17], в яких обґрунтовано принципи діагностики маститу та стану статевої охоти у лактуючих корів. Однак, вони не враховують вплив температури навколишнього повітря, що, в багатьох випадках, призводить до постановки хибного діагнозу.

Задача даного дослідження - встановлення статистичної залежності між температурою навколишнього повітря та температурою молока лактуючих корів, а також визначення сили та направленості цієї залежності з метою підвищення точності діагностики при подальшому використанні отриманих результатів для побудови системи підтримки прийняття рішень про фізіологічний стан лактуючих корів.

Важливість вирішення поставленої задачі доводить дослідження [18], мета якого - вимірювання температури молока корів голштинської та джерсейської порід на протязі двох періодів: *Жаркого* (2 квітня-21 липня), під час якого температура навколишнього повітря становила 22,5...34,5°C та *Прохолодного* (28 квітня-2 квітня), під час якого температура навколишнього повітря становила 18...29,5°C. За результатами експерименту, що наведені в таблиці 1, встановлено, що температура молока підвищена на протязі *Жаркого періоду* та нормальна на протязі *Прохолодного періоду*, тобто має очевидну залежність від температури навколишнього повітря.

Таблиця 1 – Значення температури молока корів в дослідженні [18]

Порода	Період	Кількість спостережень	Час доїння	
			Ранок	Вечір
Температура молока, °C				
Голштинська	Прохолодний	792	38,8	38,9
	Жаркий	1078	39,3	39,4
Джерсейська	Прохолодний	288	38,5	38,5
	Жаркий	392	39,1	39,2

Ці результати підтверджуються дослідженням [5]. Зміна температури навколишнього повітря на протязі експериментального періоду дослідження [5] представлена на рисунку 1. Виділено 2 періоди: *Прохолодний* та *Жаркий*.

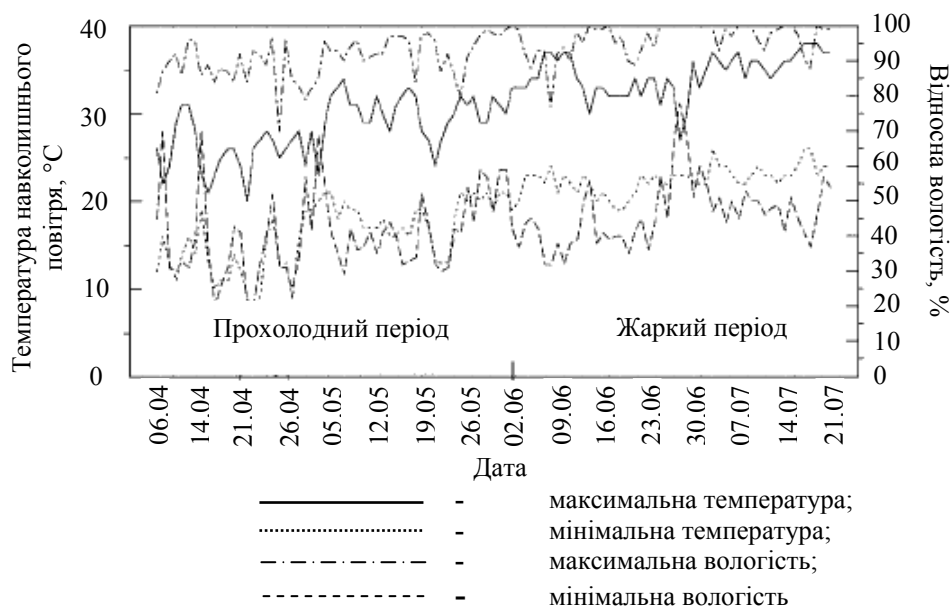


Рисунок 1 – Температура навколишнього повітря та відносна вологість на протязі дослідження [5]

На протязі *Прохолодного періоду* підвищення температури молока тварин не було виявлено, вона становила 38,6...38,8°C під час ранішнього і вечірнього доїнь відповідно (таблиця 2). Температура молока підвищилася під час *Жаркого періоду* (таблиця 2) і становила, в середньому, 39,1°C та 39,3°C під час ранішнього і вечірнього доїнь відповідно.

Таблиця 2 – Вплив навколишнього повітря на температуру молока лактуючих корів у дослідженні [5]

Час доби	Температура молока, °C			
	Прохолодний період		Жаркий період	
	Min	Max	Min	Max
Ранок	38,6	38,8	39,0	39,3
Вечір	38,6	38,8	39,0	39,6

Встановивши очевидну залежність між температурою навколишнього повітря та температурою молока лактуючих корів на основі вищенаведених досліджень, визначимо її характер та числове вираження. Для цього проведено чотири дослідження.

Дослідження 1. Присвячене визначенню впливу температури навколишнього повітря на високопродуктивних корів [18]. Дослідження проводилося на протязі п'яти місяців. Вплив кожної з наведених температур на тварину спостерігався на протязі 5-10 днів. Вимірювання температури проводилося двічі на день. Кормовий раціон – стандартний, можливість напування – необмежена. Результати дослідження наведені в таблиці 3 та зображені на рисунку 2.

Таблиця 3 – Вплив зміни температури навколишнього повітря на температуру молока в дослідженні 1

Температура навколишнього повітря θ , °C	4,4	10	15,6	21	26,7	29,4	32,2	35	37,8
Температура молока T , °C	38.45	38.45	38.45	38.65	38.95	39.15	39.45	39.95	40.75

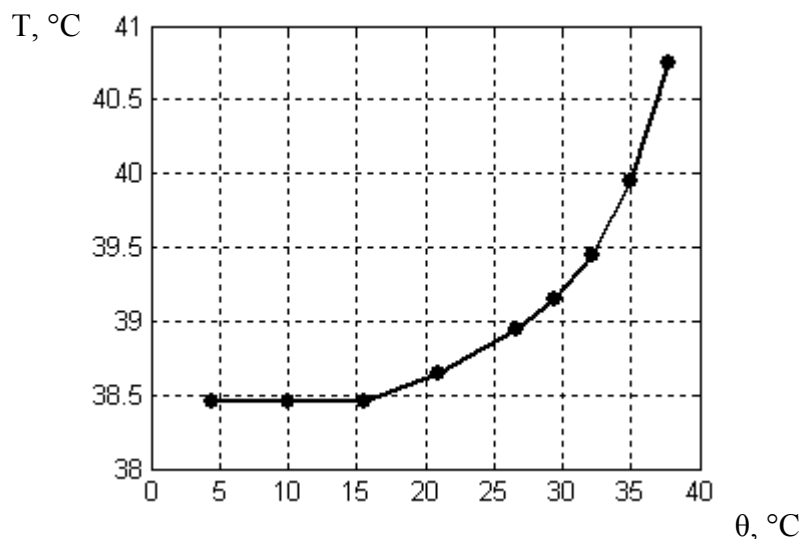


Рисунок 2 – Графік залежності температури молока від температури навколишнього повітря в дослідженні 1

Дослідження 2. Демонструє вплив літніх температур на 28-ми молодих телиць віком 11...17 місяців та 27 високопродуктивних лактуючих корів голштинської породи з тривалістю лактації 14 тижнів [6]. Дані для останніх наведені в таблиці 4 та зображені на рисунку 3.

Таблиця 4 - Вплив зміни температури навколишнього повітря на температуру молока в дослідженні 2

Температура навколишнього повітря θ , °C	20	22	26	28	30	32	34
Температура молока T , °C	38.85	39.05	39.3	39.45	39.73	39.95	40.15

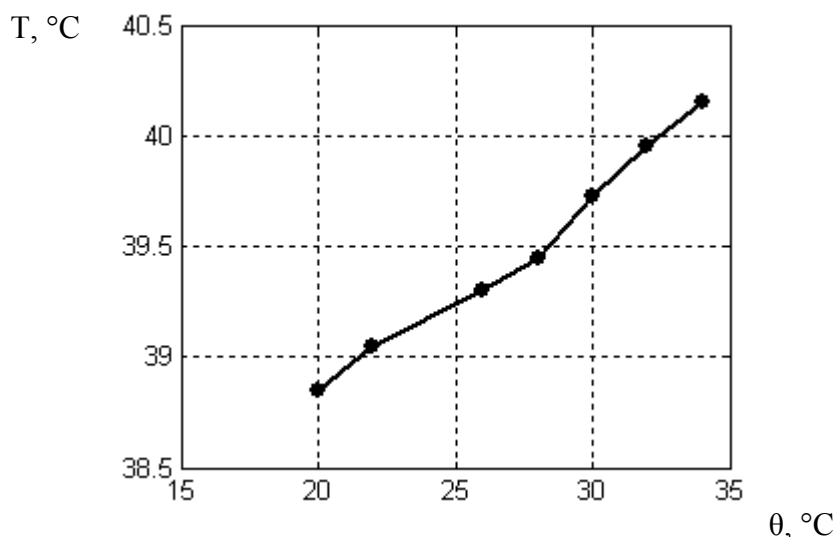


Рисунок 3 – Графік залежності температури молока від температури навколишнього повітря в дослідженні 2

Дослідження 3. Досліджено вплив літньої температури повітря на фізіологічні показники 66-ти лактуючих корів за двох умов: 1) з додатковим охолодженням тварин за допомогою затінь, омивання та напування їх прохолодною водою; 2) без додаткового охолодження тварин. Результати за другої умови наведені в таблиці 5 та зображені на рисунку 4. Середні температури повітря на протязі дослідного періоду становили: мінімальна - 26°C о 07:00 годині ранку і 19:00 годині вечора та максимальна - 32°C о 13:00 годині дня [19].

Таблиця 5 - Вплив зміни температури навколишнього повітря на температуру молока в дослідженні 3

Температура навколишнього повітря θ , °C	26	28	29.5	30	31.5	32
Температура молока T , °C	38.65	38.75	39.25	39.15	39.25	39.45

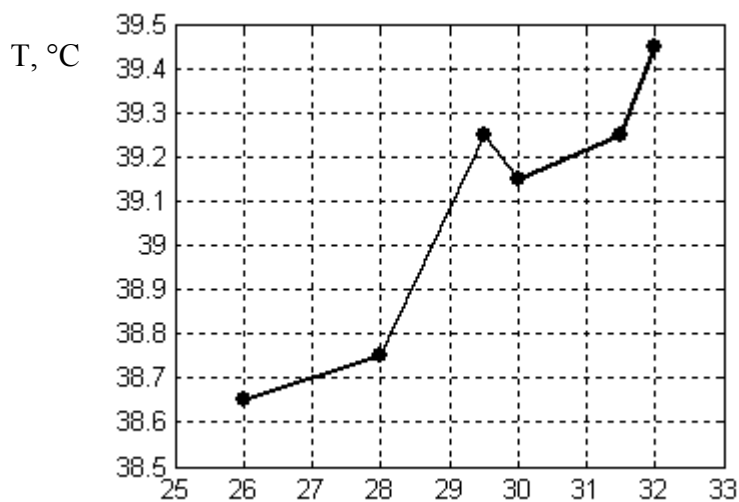


Рисунок 4 – Графік залежності температури молока від температури навколишнього повітря в дослідженні 3

Дослідження 4. Встановлено вплив температури навколишнього повітря на корів європейської та індійської зон проживання [4]. Результати для першої з них наведені в таблиці 6 та зображені на рисунку 5.

Таблиця 6 – Вплив зміни температури навколишнього повітря на температуру молока в дослідженні 4

Температура навколишнього повітря $\theta, ^\circ\text{C}$	10	15,6	21,1	26,7	32,2	37,8	38,9	40,6
Температура молока $T, ^\circ\text{C}$	38,55	38,55	38,65	38,75	39,85	41,25	41,55	42,16

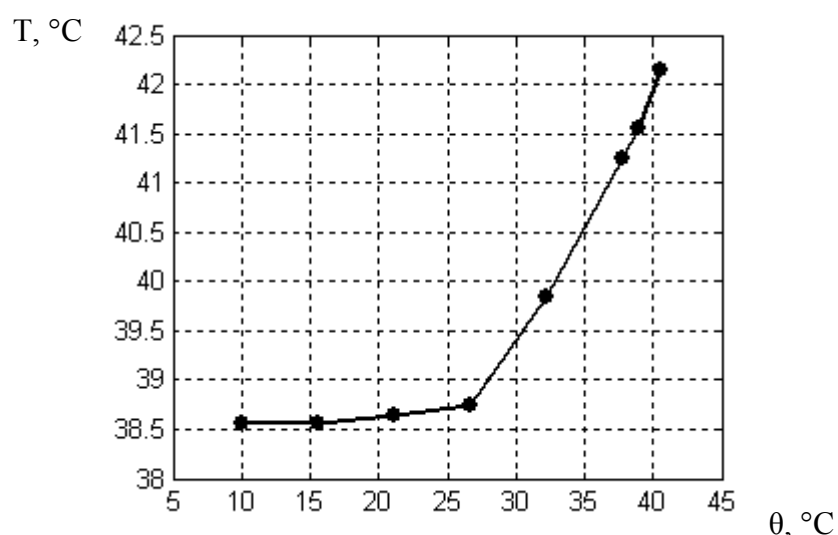


Рисунок 5 – Графік залежності температури молока від температури навколишнього повітря в дослідженні 4

В якості критерію кількісної оцінки залежності між змінними «температура навколишнього повітря» - «температура молока» прийнято *коефіцієнт кореляції* (міру зв'язаності). Ці змінні будуть корелювати між собою позитивно, якщо між ними існує

пряме, однонаправлене співвідношення. При однонаправленому співвідношенні малі значення однієї змінної відповідають малим значенням іншої змінної, великі значення - великим. Значення коефіцієнту кореляції завжди лежить в діапазоні від -1 до +1 [20].

Для визначення коефіцієнтів кореляції застосовуємо формулу (1) [21]:

$$r_i = \frac{\sum(\theta_{in} - \bar{\theta}_i)(T_{in} - \bar{T}_i)}{\sqrt{\sum(\theta_{in} - \bar{\theta}_i)^2 \sum(T_{in} - \bar{T}_i)^2}}, \quad (1)$$

$$\text{де } \bar{\theta}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \theta_j;$$

$$\bar{T}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j;$$

$i=1 \dots 4$ - номер дослідження;

$j=1 \dots n$, n - кількість вимірів в i -му дослідженні.

Обчислені коефіцієнти кореляції між значеннями температури навколишнього повітря та температурою молока для чотирьох вищенаведених досліджень зведені в таблицю 7.

Таблиця 7 – Коефіцієнти кореляції між значеннями температури навколишнього повітря та температурою молока для досліджень 1-4

Номер дослідження i	1	2	3	4
Коефіцієнт кореляції r_i	0,8648	0,9919	0,9397	0,908

Описання величин коефіцієнта кореляції здійснюється згідно таблиці 8 [20].

Таблиця 8 - Описання величин коефіцієнта кореляції

Значення коефіцієнта кореляції r_i	Інтерпритація
$0 < r_i \leq 0,2$	Дуже слабка кореляція
$0,2 < r_i \leq 0,5$	Слабка кореляція
$0,5 < r_i \leq 0,7$	Середня кореляція
$0,7 < r_i \leq 0,9$	Сильна кореляція
$0,9 < r_i \leq 1$	Дуже сильна кореляція

По даним таблиці можна зробити висновок, що кореляція між параметрами, в більшості випадків, дуже сильна.

Таким чином, в результаті проведених досліджень виконано поставлену задачу - встановлено факт існування статистичної залежності між температурою навколишнього повітря та температурою молока лактуючих корів, а також визначено силу та направленість цієї залежності: ці змінні корелюють між собою позитивно, так як між ними існує пряме, однонаправлене співвідношення. Близькість коефіцієнтів кореляції до одиниці вказує на високу ступінь лінійної залежності цих параметрів.

Результати даного дослідження отримані з метою подальшого використання при побудові системи підтримки прийняття рішень про фізіологічний стан лактуючих

корів, що може бути застосована у доїльних установках усіх типів на молочних підприємствах всіх форм власності.

Список літератури

1. Клиническая диагностика внутренних незаразных болезней животных/ А.М. Смирнов и др. – М.: Агропромиздат, 1988. – 511 с.
2. Regan W.M., Richardson G.A. Reactions of the dairy cow to changes in environmental temperature// Journal of animal science. – 1937. – № 21 (2). – P. 73-79.
3. Legates J.E., Farthing B.R., Casady R.B., Barrada M.S. Body temperature and respiratory rate of lactating dairy cattle under field and chamber conditions// Journal of Dairy Science. – 1991. – № 74. – P. 2491-2500.
4. Brody S. Climatic physiology of cattle// Journal of Dairy Science. – 1956. – № 39. – P. 715-725.
5. West J.W., Hill G.M., Fernandez J.M., Mandebuv P., Mullinix B.G.. Effects of dietary fiber on intake, milk yield, and digestion by lactating dairy cows during cool or hot, humid weather// Journal of Dairy Science. – 1999. – № 82. – P. 2455-2465.
6. Sartori R., Sartor-Bergfelt R., Mertens S. A., Guenther J. N., Parrish J. J., Wiltbank M. C. Fertilization and early embryonic development in heifers and lactating cows in summer and lactating and dry cows in winter// Journal of Dairy Science. – 2002. - Vol. 85. - № 11. – P. 2803-2812.
7. Lefcourt A.M., Bitman J., Wood D.L., Stroud B. Radiotelemetry system for continuously monitoring temperature in cows// Journal of Dairy Science. – 1986. – № 69. – P. 237-242.
8. Scott S., Kennedy A., Lacombe S. Development of an early detection method for mastitis using infrared thermography//ARDI Project № 00-404. – 2003.
9. Bitman J., Lefcourt A., Wood D.L., Stroud B. Circadian and ultradian rhythms of lactating dairy cows// Journal of Dairy Science. – 1984. – № 67. – P. 1014-1023.
10. Igono M.O., Johnson H.D. Steevens B.J., Krause G.F., Shanklin M.D. Physiological, productive and economic benefits of shade, spray and fan system versus shage for Holstein cows during summer heat// Journal of Dairy Science. – 1987. – № 70. – P. 1069-1079.
11. West J.W., Mullinix B.G., Johnson J.C.Jr, Ash K.A., Taylor V.N. Effect of bovine somatotropin on dry matter intake, milk yield, and body temperature in Holstein and Jersej cows heat stress// Journal of Dairy Science. – 1990. – № 73. – P. 2896-2906.
12. Hetzel D.J.S., Bennett I.L., Holmes C.R., Encarnacao R.O., Mackinon M.J. Description and evatuation of a telemetry system for measuring body temperature in cattle// Journal of Agriculture Science (Camb). – 1988. – № 110. – P. 233-238.
13. Oestrus detection in dairy cows by milk temperature measurement// Res Vet Science. – 1988. – № 44(3). – P. 366-374.
14. West J. W., Mullinix B. G. and Bernard J. K. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows// J. Dairy Sci. - 2003. - № 86. – P. 232-242.
15. А.с № 1790878 СССР мки. А 01 J 7/00, 1989 . Система діагностики функціонального стану корови фізіологічного стану лактуючих корів по температурі молока.
16. Fordham D.P., McCarthy T.T., Rowlinson P. An evaluation of milk temperature measurement for detecting oestrus in dairy cattle. II. Variations in body and milk temperature associated with oestrus// Veterinary Research Communications. – 1987. - № 11. – P. 381-391.
17. Caruolo E.V., Jarman R.F., Rosen M.B., Mochrie R.D. Mammary quarter milk temperatures, somatic cell concentrations and rectal temperature relationships// Journal of Dairy Science. – 1982. – № 65. – P. 191.
18. Regan W.M., Richardson G.A. Reactions of the dairy cow to changes in environmental temperature// Journal of dairy science. – 1938. – № 21. – P. 73-79.
19. Her E., Wolfenson D., Flamenbaum I., Folman Y., Kaim M., Berman A. Thermal, productive, and reproductive responses of high yielding cows exposed to short-term cooling in summer// Journal of Dairy Science. – 1988. – № 71. – P. 1085-1092.
20. www.spssbase.com.
21. www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/images/corr2.html.

С. Осадчий, Ю. Версаль

Исследование зависимости между температурой молока и температурой окружающего воздуха для построения системы поддержки принятия решений о физиологическом состоянии лактирующих коров

В статье установлено наличие влияния температуры окружающего воздуха на температуру тела и молока лактирующих коров. Проведены расчеты коэффициентов корреляции между температурой

окружающего воздуха и температурой молока на основании четырех исследований с целью дальнейшего использования результатов для построения системы поддержки принятия решений о физиологическом состоянии лактирующих коров. Установлена позитивная корреляция и высокая степень линейной зависимости этих параметров.

S. Osadchy, J. Versal

Milk temperature and air temperature correlation research for decision-making support system about lactating cows physiological state construction

In article air temperature influence presence on lactating cows body and milk temperature is established. Correlation coefficients calculations between air temperature and milk temperature are lead on the base of four researches with the purpose of further results using for decision-making support system about lactating cows physiological state construction. Positive correlation and a high degree of linear dependence of these parameters are established.

Одержано 24.11.09

УДК 621.795

О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Проектування інструменту для різних методів обробки пластично-поверхневим деформуванням

Запропонована методика проектування інструменту для обробки ППД. Приведені методи обробки та можливі схеми їх реалізації. Визначені основні чинники, що впливають на параметри інструменту

аналіз, інструмент, методи, поверхнево-пластичне деформування, шорсткість

Вступ. На даний час накопичений великий фактичний матеріал, що дозволяє у кожному окремому випадку обґрунтовано вибрати та призначати раціональні режими обробки, що забезпечують необхідну якість та продуктивність при виробництві деталей сільськогосподарських машин. Проте, єдність підходів у вирішенні завдань відсутня, не розроблено загальної методології, що дозволяє проектувати або вибрати інструмент для обробки заданої поверхні із необхідними параметрами якості поверхневого шару, а тому, немає алгоритму та програми автоматизованого вибору та проектування такого інструменту.

Аналіз літератури. В той же час є деякі літературні дані, що дозволяють вже сьогодні підійти до розробки загальної методології проектування інструменту для обробки поверхнево-пластичним деформуванням (ППД) [1, 2].

Алгоритм проектування інструменту виглядає наступним чином:

а) вибір схеми обробки на основі:

- 1) розмірів деталі, від яких залежить її жорсткість;
- 2) розмірів, форми та необхідної точності поверхні, що оброблюється;

окружающего воздуха и температурой молока на основании четырех исследований с целью дальнейшего использования результатов для построения системы поддержки принятия решений о физиологическом состоянии лактирующих коров. Установлена позитивная корреляция и высокая степень линейной зависимости этих параметров.

S. Osadchy, J. Versal

Milk temperature and air temperature correlation research for decision-making support system about lactating cows physiological state construction

In article air temperature influence presence on lactating cows body and milk temperature is established. Correlation coefficients calculations between air temperature and milk temperature are lead on the base of four researches with the purpose of further results using for decision-making support system about lactating cows physiological state construction. Positive correlation and a high degree of linear dependence of these parameters are established.

Одержано 24.11.09

УДК 621.795

О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Проектування інструменту для різних методів обробки пластично-поверхневим деформуванням

Запропонована методика проектування інструменту для обробки ППД. Приведені методи обробки та можливі схеми їх реалізації. Визначені основні чинники, що впливають на параметри інструменту

аналіз, інструмент, методи, поверхнево-пластичне деформування, шорсткість

Вступ. На даний час накопичений великий фактичний матеріал, що дозволяє у кожному окремому випадку обґрунтовано вибрати та призначати раціональні режими обробки, що забезпечують необхідну якість та продуктивність при виробництві деталей сільськогосподарських машин. Проте, єдність підходів у вирішенні завдань відсутня, не розроблено загальної методології, що дозволяє проектувати або вибрати інструмент для обробки заданої поверхні із необхідними параметрами якості поверхневого шару, а тому, немає алгоритму та програми автоматизованого вибору та проектування такого інструменту.

Аналіз літератури. В той же час є деякі літературні дані, що дозволяють вже сьогодні підійти до розробки загальної методології проектування інструменту для обробки поверхнево-пластичним деформуванням (ППД) [1, 2].

Алгоритм проектування інструменту виглядає наступним чином:

а) вибір схеми обробки на основі:

- 1) розмірів деталі, від яких залежить її жорсткість;
- 2) розмірів, форми та необхідної точності поверхні, що оброблюється;

3) початкових характеристик якості поверхневого шару, який оброблюється, що визначають можливості для обробки деталі ППД;

б) визначення геометричних параметрів робочої частини інструменту виходячи з картини формування номінальної площі контакту у зоні обробки;

в) вибір інструментального матеріалу на основі теорії адгезійної взаємодії з матеріалом деталі, що оброблюється;

г) призначення твердості, шорсткості, точності виготовлення робочої поверхні інструменту;

д) розробка конструкції інструменту.

На даний час існує велика кількість схем обробки різними методами ППД. Кожна з них має обмеження із застосування у тих чи інших умовах. Відповідно до вимог п. 1 можна вибрати одну або декілька схем, що якнайповніше відповідають початковим даним.

Початкові характеристики якості поверхневого шару, що оброблюється включають початкову твердість, початкову шорсткість, історію попередньої обробки (гартування, обробка різанням, ППД та ін.). Також необхідно знати пластичні властивості матеріалу, що оброблюється, його здатність до зміцнення. Всі ці параметри визначають можливості обробки деталі ППД, тобто зміна геометрії та розмірів деталі, зусилля обробки, досяжні значення зміцнення, глибини обробки, твердості, шорсткості.

Необхідні характеристики якості поверхневого шару включають шорсткість, твердість, розподіл твердості за глибиною, напрям та вид слідів обробки та ін.

Вони обумовлюються експлуатаційними вимогами до поверхні, наприклад зносостійкістю.

Жорсткість деталі, що оброблюється визначає гранично допустимі зусилля обробки, крутні моменти, тощо. Вона може суттєво впливати на точність та якість поверхні, що отримується (геометричні відхилення внаслідок коливання жорсткості деталі, значні коливання мікротвердості та шорсткості поверхні, що оброблюється внаслідок зміни зусиль обробки та ін.). Найбільш сильний вплив жорсткості деталі виявляється при обробці жорстким інструментом (жорсткі розкатники та накатники, дорни та ін.), оскільки при цьому система «інструмент – заготівка» має високу чутливість до зміни натягу. Частково жорсткість визначає схему інструменту (симетричність схеми навантаження деталі інструментом у процесі обробки).

Істотний вплив на вибір схеми роблять розмір та форма поверхні, що оброблюється. Під час аналізу літератури були виявлені наступні основні типи поверхонь: циліндричні зовнішні та внутрішні, плоскі та профільні. Розмір поверхні обмежує розмір робочої частини інструменту, а також робить вплив на схему обробки. Так, дуже маленька поверхня може привести до неможливості використання будь-якої схеми обробки, а дуже велика – до неефективності схеми.

Постановка задачі. На підставі аналізу літератури були визначені основні методи обробки ППД:

а) статичні:

- 1) наочення, обкатування, розкочування (що зміцнює, згладжує, калібрує);
- 2) вібронакатування;
- 3) випрасовування (діамантовим та твердосплавним інструментом);
- 4) ультразвукове зміцнення;
- 5) електромеханічна обробка;
- 6) дорнування та поверхневе редукування.

б) ударні:

- 1) імпульсна обробка (чеканка);
- 2) відцентрово-ударна обробка;

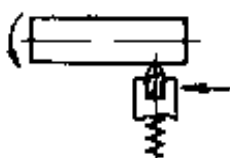
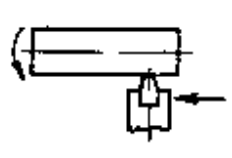
- 3) обробка механічною щіткою;
- 4) віброударна обробка;
- 5) ударно-барабанна обробка (галтовка);
- 6) обробка дробом та ін.

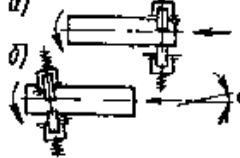
Для реалізації цих методів використовуються схеми, наведені нижче (таблиці 1 -4).

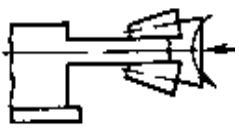

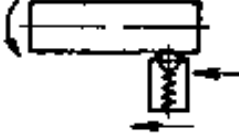

Основний зміст. Геометричні параметри робочої частини інструменту визначаються на підставі аналізу процесів в осередку деформації. Геометричні розміри та форма інструменту роблять найбільший вплив на процес ППД. Профіль інструменту визначає геометрію контакту «інструмент-деталь», а отже, і все, що із нею пов'язане: зусилля, що виникають, частково, шорсткість поверхні, що отримується, глибину зміцнення та ін. Найбільш ефективним методом аналізу на сьогоднішній день є метод кінцевих елементів [3].

Інструментальний матеріал також вибирається на підставі аналізу процесів в осередку деформації. Матеріал інструменту визначає насамперед стійкість інструменту. Його спорідненість із матеріалом, що оброблюється, впливає на якість поверхні, яка оброблюється, особливо, при різних методах випрасовування та дорнуванні, коли присутня висока вірогідність схоплювання матеріалу інструменту із поверхнею, що

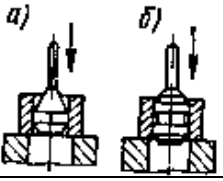


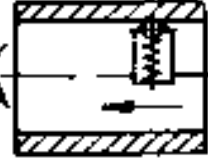
Таблиця 1 – Обробка зовнішніх циліндрових поверхонь

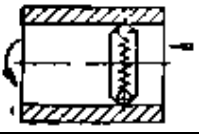
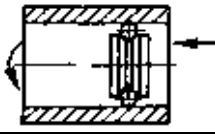
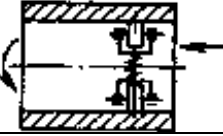
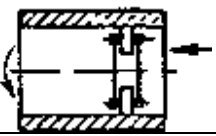
Спосіб обробки, інструмент, що використовується	1	Випрасовування гладилкою твёрдосплавною пластиною	3	Випрасовування гладилкою діамантовим накінецьником	3	Обкатування однороликовим обкатником пружної дії
Схема обробки	2					
Параметри поверхні, що отримується	точність	3	не розмірна	5-7	не розмірна	не розмірна
	Ra	4	0,32...0,63	0,04...0,08	0,08...0,63	0,08...0,63
	hц	5	до 600	до 1000	до 5000	до 5000

1	Обкатування однокульковим обкатником (dш < 10 мм) пружної дії	Обкатування багатоккульковими обкатниками пружної дії	Обкатування 3-х роликовим обкатником пружної дії: а – із примусовою подачею; б – із самоподачею заготовки	Обкатування жорсткими багатороликовими обкатниками
2				
3	не розмірна	не розмірна	не розмірна	6 – 8
4	0,08...0,63	0,08...0,63	0,08...0,63	0,04...0,63
5	до 5000	до 5000	до 15000	до 15000

1	Обкатування жорстким багатороликвим обкатником	Обкатування між роликми	Вібраційне обкатування пружним однокульковим обкатником	Ударна обробка кульковими голівками інерційної дії
2				
3	6–8	не розмірна	не розмірна	не розмірна
4	0,04...0,63	0,04...0,32	до 0,04	0,16...0,63
5	до 15000	до 100	до 5000	до 500

Таблиця 2 – Обробка отворів

1	Прошивка вигладжуючими прошивками: а – суцільними; б – наборами	Протягування вигладжуючими протяжками	Протягування вигладжуючими протяжками з накладенням вісьових коливань	Розкатування однокульковим розкатником пружної дії
2				
3	5 – 7	5 – 7	5 – 7	не розмірна
4	0,32...0,63	0,16...0,32	0,16...0,32	0,08...0,32
5	до 5000	до 5000	до 5000	до 2000

1	Розкатування багаткульковими регульованими розкатниками пружної дії	Розкатування жорсткими регульованими багаткульковими розкатниками	Розкатування багатороликвим розкатниками пружної дії	Розкатування багатороликвим жорсткими нерегульованими розкатниками з циліндричними роликми
2				
3	не розмірна	6-8	не розмірна	5 – 7
4	0,08...0,32	0,08...0,32	0,08...0,32	0,08...0,16
5	до 2000	до 5000	до 5000	до 5000

1	Розкатування жорсткими регульованими багатороликowymi розкатниками з циліндричними та конічними роликками	Розкатування жорсткими нерегульованими багатороликowymi розкатниками ударної дії	Розкатування вібруючим розкатником пружної дії	Ударна обробка кульковими голівками інерційної дії
2				
3	6 – 8	6 – 8	не розмірна	не розмірна
4	0,08...0,32	0,08...0,32	0,08...0,32	0,16...0,63
5	до 15 000	до 5 000	до 2 000	до 500

оброблюється. Крім того, матеріал інструменту впливає на його конструкцію. Найбільш перспективні тверді сплави, як правило, із високим вмістом кобальту: ВК8, Т15К10 та ін. Вони володіють найменшою спорідненістю із матеріалом, що оброблюється, та високою твердістю. Найбільш істотними недоліками твердих сплавів є крихкість та складність виробництва інструменту із них. При нерівномірному розподілі навантаження можливі великі зусилля, що здатні зруйнувати інструмент або його робочу поверхню. Тому із твердих сплавів виготовляють, в основному, інструмент для статичних методів обробки ППД. Широке застосування для виготовлення робочих частин інструменту знаходять кулькопідшипникові (для стандартних кульок та роликів), вуглецеві та леговані інструментальні сталі (У10А, 9ХС та ін.)

Призначення твердості, шорсткості, точності виготовлення робочої поверхні інструменту є важливим етапом при його проектуванні. Твердість робочої поверхні призначається для інструменту, виготовленого із різних сталей. При цьому необхідно враховувати, що чим вища твердість, тим більша стійкість інструменту. Проте, при надмірно високих для даного інструментального матеріалу твердостях можливе передчасне руйнування поверхні інструменту. Твердість робочої поверхні інструменту із твердих сплавів визначається мазкою сплаву.

Значний вплив на шорсткість поверхні деталі має шорсткість робочої поверхні інструменту. При обробці відбувається копіювання шорсткості поверхні інструменту на поверхню, що оброблюється, тому бажане її зменшення. При різних методах випрасовування та дорнуванні підвищена шорсткість поверхні інструменту істотно збільшує зусилля обробки, шорсткість обробленої поверхні, може призводити до схоплювання поверхонь в окремих точках та викидання частинок матеріалу деталі (появі задирань), значного зниження стійкості інструменту та, навіть, його поломки через надмірні зусилля.

Для жорстких накатників та розкатників, а також дорнів відчутний вплив на точність розмірів, що отримуються, має точність виготовлення інструменту. Причому важлива не лише точність діаметральних розмірів, але і биття, завдяки якому може сформуватися хвилястість на поверхні, що оброблюється.

Конструкція інструменту визначає зручність експлуатації, можливості інструменту з точки зору обробки важкодоступних місць деталі, надійність інструменту та, в значній мірі, його вартість.

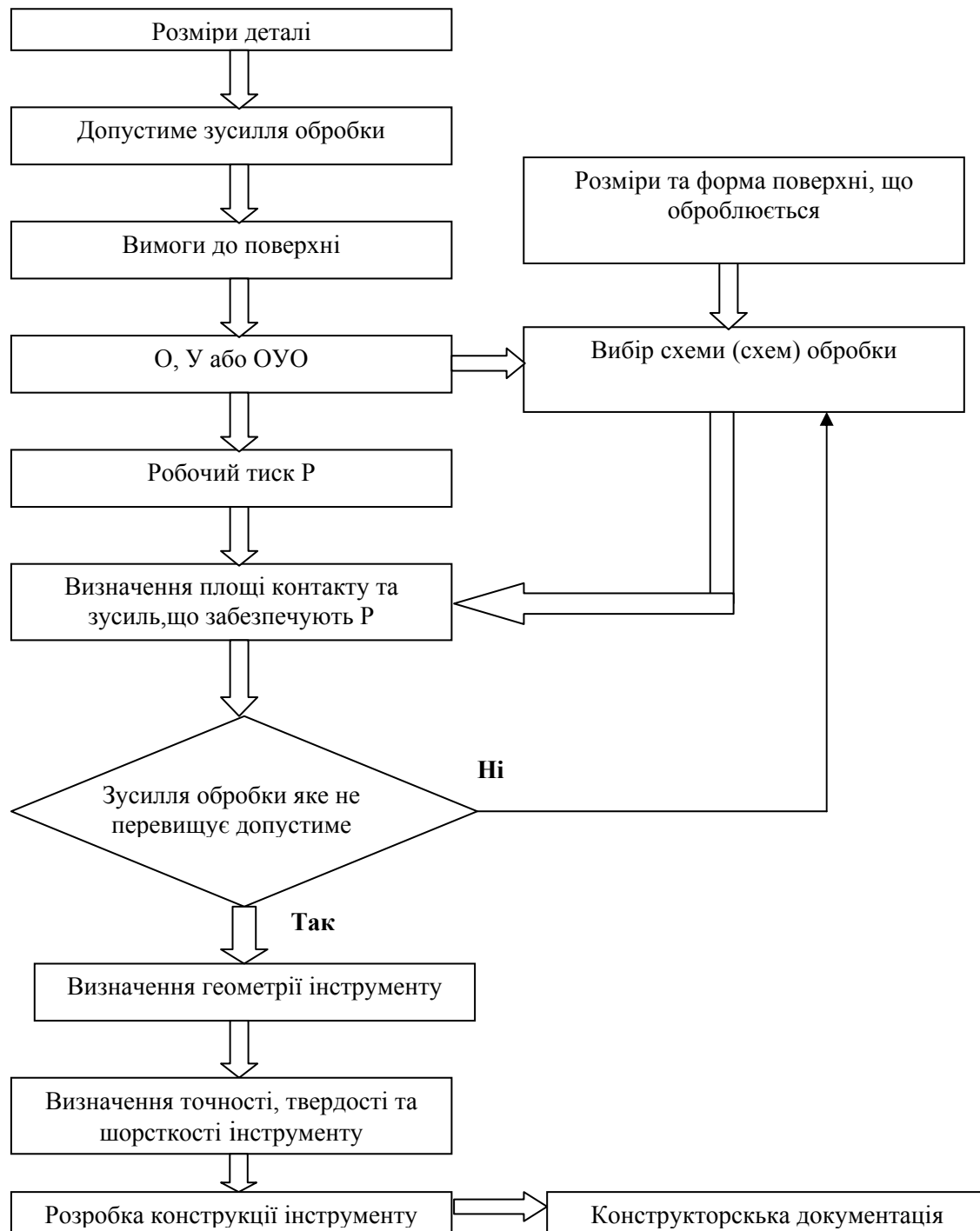


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритму проектування інструменту для ППД

Висновки: запропоновано схеми методів ППД, що доступні для впровадження у виробництво; для проектування інструменту запропоновано алгоритм, представлений на рисунку 1. Надалі на базі цього алгоритму планується розробка програмного забезпечення для автоматизованого вибору інструменту.

Список літератури

1. Шнейдер Ю.Г. Инструмент для чистовой обработки металлов давлением / Шнейдер Ю.Г. – М.: Машиностроение, 1970. – 248 с.

2. Розенберг А.М. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания / Розенберг А.М., Розенберг О.А.; отв. ред. Родин П.Р.; АН УССР, Ин-т сверхтвердых материалов. – К.: Наукова думка, 1990. – 320 с.
3. Страховская Л.Г. Об одном варианте метода конечных элементов / Страховская Л.Г., Федоренко Р.П.; ЖВМиМФ. – 1979. –Т. 19. – С. 950-960.
4. Гуров Р.В. Основы проектирования оборудования для различных методов отделочно-упрочняющей обработки поверхностно-пластическим деформированием / Гуров Р.В. //Вестник Брянского государственного технического университета. – 2006.– № 2 (10). – С.106-113.

А. Мажейка

Проектирование инструмента для различных методов обработки пластическо-поверхностным деформированием

Предложена методика проектирования инструмента для обработки ППД. Приведены методы обработки и возможные схемы их реализации. Определены основные факторы, влияющие на параметры инструмента, предложен выбор соответствующего материала для инструмента, разработана блок-схема алгоритма проектирования инструмента для ППД.

A. Mazheyka

Planning of instrument for the different methods of treatment plastic-superficial by deformation

A design technique instrument is offered for treatment of PPD. The methods of treatment and possible charts of their realization are resulted. Basic factors, influencing on the parameters of instrument are certain the choice of proper material is offered for an instrument, developed flow-chart of algorithm of planning of instrument for PPD.

Одержано 25.11.09

УДК 621.4:629.113.01

С.О. Магопечь, доц., канд. техн. наук, О.В. Бевз, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження впливу внутрішнього опору системи випуску відпрацьованих газів на ефективні показники роботи

В статті теоретично та експериментально досліджується вплив стану систем випуску відпрацьованих газів автомобілів на ефективні показники роботи їх двигунів, а саме: величини ефективної питомої потужності, ефективного крутного моменту, погодинної та питомої витрати палива. Проведені дослідження дозволили визначити границю допустимої величини зворотного тиску у випускній системі, яка обумовлює зниження величин ефективних показників до граничних значень та робить малоефективним подальшу експлуатацію двигуна (автомобіля).
двигун, опір, тиск, потужність, коефіцієнт наповнення, коефіцієнт залишкових газів, крутний момент, випускна система, відкладення, відпрацьовані гази, ефективні показники

На сьогодні, на жаль, для підвищення детонаційної стійкості бензинів окремі виробники або реалізатори нафтопродуктів додають до них спеціальні активні хімічні сполуки. Вищезгадані активні хімічні сполуки, які є основою залізовмісних домішок та входять до складу бензину, утворюють в результаті згорання нагар, який має червоно-коричневий відтінок.

© С.О. Магопечь, О.В. Бевз, 2010

2. Розенберг А.М. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания / Розенберг А.М., Розенберг О.А.; отв. ред. Родин П.Р.; АН УССР, Ин-т сверхтвердых материалов. – К.: Наукова думка, 1990. – 320 с.
3. Страховская Л.Г. Об одном варианте метода конечных элементов / Страховская Л.Г., Федоренко Р.П.; ЖВМиМФ. – 1979. –Т. 19. – С. 950-960.
4. Гуров Р.В. Основы проектирования оборудования для различных методов отделочно-упрочняющей обработки поверхностно-пластическим деформированием / Гуров Р.В. //Вестник Брянского государственного технического университета. – 2006.– № 2 (10). – С.106-113.

А. Мажейка

Проектирование инструмента для различных методов обработки пластическо-поверхностным деформированием

Предложена методика проектирования инструмента для обработки ППД. Приведены методы обработки и возможные схемы их реализации. Определены основные факторы, влияющие на параметры инструмента, предложен выбор соответствующего материала для инструмента, разработана блок-схема алгоритма проектирования инструмента для ППД.

A. Mazheyka

Planning of instrument for the different methods of treatment plastic-superficial by deformation

A design technique instrument is offered for treatment of PPD. The methods of treatment and possible charts of their realization are resulted. Basic factors, influencing on the parameters of instrument are certain the choice of proper material is offered for an instrument, developed flow-chart of algorithm of planning of instrument for PPD.

Одержано 25.11.09

УДК 621.4:629.113.01

С.О. Магопечь, доц., канд. техн. наук, О.В. Бевз, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження впливу внутрішнього опору системи випуску відпрацьованих газів на ефективні показники роботи

В статті теоретично та експериментально досліджується вплив стану систем випуску відпрацьованих газів автомобілів на ефективні показники роботи їх двигунів, а саме: величини ефективної питомої потужності, ефективного крутного моменту, погодинної та питомої витрати палива. Проведені дослідження дозволили визначити границю допустимої величини зворотного тиску у випускній системі, яка обумовлює зниження величин ефективних показників до граничних значень та робить малоефективним подальшу експлуатацію двигуна (автомобіля).
двигун, опір, тиск, потужність, коефіцієнт наповнення, коефіцієнт залишкових газів, крутний момент, випускна система, відкладення, відпрацьовані гази, ефективні показники

На сьогодні, на жаль, для підвищення детонаційної стійкості бензинів окремі виробники або реалізатори нафтопродуктів додають до них спеціальні активні хімічні сполуки. Вищезгадані активні хімічні сполуки, які є основою залізовмісних домішок та входять до складу бензину, утворюють в результаті згорання нагар, який має червоно-коричневий відтінок.

© С.О. Магопечь, О.В. Бевз, 2010

Осідаючи на електродах, керамічному конусі та корпусах свічок запалення, такий нагар сприяє витокам електрики, необхідної для іскроутворення. При появі збоїв в процесі пуску та при роботі двигуна, більшість автовласників традиційно втручаються в систему запалювання, яка дійсно перша починає давати збої, та практично не беруть до уваги той факт, що такі самі відкладення осідають й на внутрішній поверхні каналів системи випуску зменшуючи тим самим їх прохідний переріз та ускладнюючи вивільнення циліндра від них й відповідно зменшуючи кількість свіжої суміші, яка повинна надійти в циліндри двигуна.

Найчастіше ж втручання у систему випуску відбувається при виявленні зовнішніх дефектів таких як: осередків корозії та прогарів. Разом з тим, для сучасних автомобілів оснащених електронними системами контролю за роботою двигунів використання низькоякісного палива ступінь небезпеки підвищується в декілька разів, що обумовлюється накопиченням відкладень на робочих елементах лямбда-зондів та у каталізаторах. Через порушення в роботі цих вузлів блок електронного керування двигуном в кращому випадку може перейти в аварійний режим керування, а в гіршому починаються збої в процесі пуску та при роботі двигуна. При цьому частина палива в незгорілому стані потрапляє в каталітичний нейтралізатор системи випуску й за рахунок високої температури догорає в ньому. Результатом є оплавлення керамічних сот нейтралізатора й часткове або повне перекриття каналу випускної системи для проходження відпрацьованих газів. При такій ситуації, навіть після заливання якісного бензину, очищення свічок запалення та відновлення роботи системи запалення ефективні показники двигуна залишаються заниженими.

Причина цього полягає у тому, що конструктивно саме випускна система впливає на величини цих показників й обумовлює працездатність двигуна в цілому - конструкція випускного трубопроводу, впливаючи на ступінь очищення циліндрів від відпрацьованих газів, також оказується пов'язаною з наповненням циліндрів горючою сумішшю.

Конструкція випускного трубопроводу повинна відповідати наступним вимогам:

а) швидкість відпрацьованих газів у випускній трубі не повинна бути вище 30...35 м/с, для чого діаметр труби роблять рівним 0,5...0,6 діаметра циліндра або 1,5 перетину впускного трубопроводу;

б) вихідні відпрацьовані гази одного циліндра не повинні створювати протитиску для газів іншого (сусіднього) по роботі циліндра, що має місце в багатоциліндрових двигунах.

Відкладення ж на поверхнях каналів системи випуску відпрацьованих газів, втому числі й при обгоранні масла в камері згорання, поступово зменшують корисні площі перетину випускних трубопроводів та забивають соти нейтралізаторів, збільшують внутрішній тиск та опір виходу газів, призводять спочатку до "розбалансування" системи випуску – появі так званих прогарів, а потім й до повного виходу її з ладу за рахунок руйнування керамічних блоків каталізаторів, відокремлення елементів перегородок та забивання внутрішніх каналів глушників, відокремлення сполучень банок глушників із трубами в зоні зварних з'єднань.

Все вищесказане дає підстави зробити наступний висновок - несправності випускної системи серйозна проблема, яка вимагає дослідження та розробки практичних рекомендацій щодо доцільності й моменту втручання для ремонту.

На першому етапі нами було проведено теоретичні дослідження впливу опору випускної системи автомобіля на зміну ефективних показників його двигуна (на прикладів автомобіля ВАЗ 2106). Ефективні показники роботи двигуна визначалися для чотирьох швидкісних режимів його роботи (n_{xx}, n_M, n_N та n_{max}) використовуючи прикладну програму "MathCAD 2001" для двигуна нормальним - $P_{z1} = 1,18P_0$

($P_0 = 0,1 \text{ МПа}$ - атмосферний тиск) та із підвищеними опорами системи випуску - $P_{2,2} = 0,25 \text{ МПа}$ та $P_{2,3} = 0,5 \text{ МПа}$ за загальноприйнятою методикою після проведення теплового розрахунку [1, 2].

Результати проведених розрахунків в порівняльному вигляді надані в таблиці 1 та на рисунку 1 і 2.

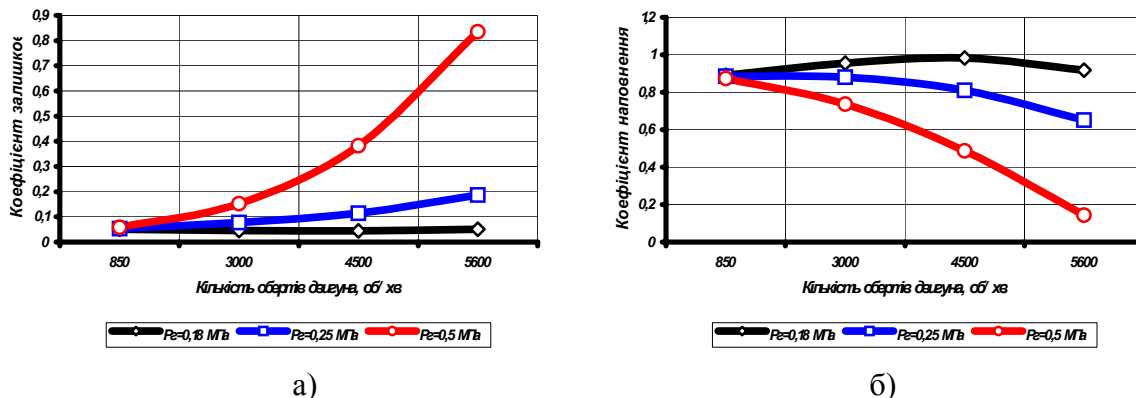


Рисунок 1 - Зміни коефіцієнтів залишкових газів γ_z (а) та коефіцієнта наповнення циліндрів свіжою сумішшю η_V (б) двигуна ВАЗ 2106 в залежності від збільшення опору випускної системи

Таблиця 1 - Результати теоретичного дослідження зміни ефективних показників роботи двигуна ВАЗ 2106 при різних ступенях внутрішнього опору випускної системи

Величина тиску у випускній системі, МПа	Кількість обертів колінчастого валу двигуна, об/хв	Коефіцієнт залишкових газів	Коефіцієнт наповнення	Ефективна потужність, кВт	Ефективний крутний момент, Нм	Питома витрата палива, г/(кВт год)	Погодинна витрата палива, кг/год
0,18	850	0,051	0,891	11,883	133,50	280,59	3,334
	3000	0,046	0,956	42,877	136,41	263,48	11,297
	4500	0,045	0,983	62,868	132,99	267,88	17,414
	5600	0,051	0,918	72,072	122,85	278,10	20,043
0,25	850	0,053	0,885	11,799	132,55	280,71	3,312
	3000	0,077	0,880	39,333	125,14	264,53	10,405
	4500	0,115	0,811	50,001	106,12	287,50	14,378
	5600	0,187	0,651	46,724	79,63	304,05	14,205
0,50	850	0,058	0,874	11,640	132,55	280,94	3,271
	3000	0,153	0,737	32,224	102,51	270,46	8,708
	4500	0,382	0,487	26,212	55,61	329,20	8,627
	5600	0,835	0,144	0,563	0,95	565,5	3,148

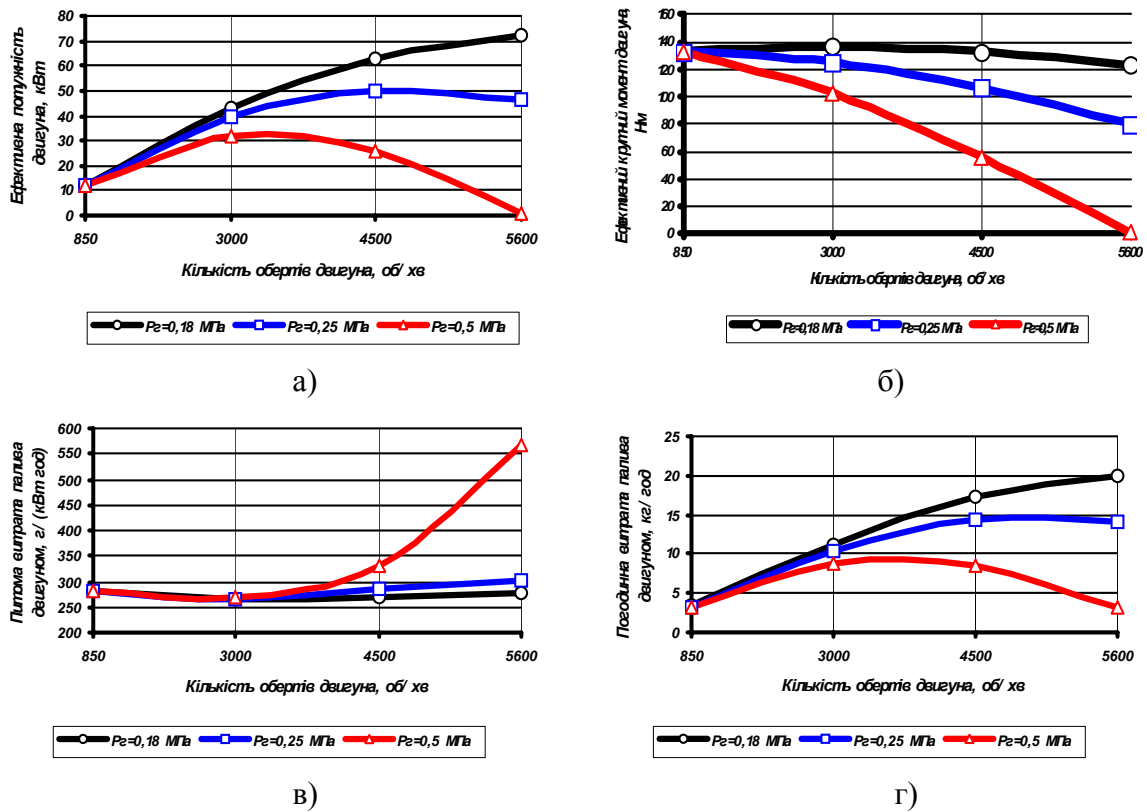


Рисунок 2 - Зміна ефективної потужності N_e (а), ефективного крутного моменту M_k (б), питомої витрати палива q_e (в) та погодинної витрати палива G_m (г) двигуна ВАЗ 2106 в залежності від збільшення опору випускної системи

Такі результати свідчать про те, що технічний стан системи випуску значною мірою впливає на ефективні показники роботи двигуна та обумовлює його працездатність. Теоретичною межею в даному дослідженні виступало значення внутрішнього тиску 0,50 МПа, хоча за таких значень, згідно величини зниження потужності двигуна, його працездатність (здатність провести повний цикл перетворення енергії палива в механічну роботу) загалом мало ймовірна.

Тому в якості рекомендацій слід вважати гранично допустимою величиною тиску в системі випуску відпрацьованих газів двигунів автомобілів ВАЗ значення $P_2 = 0,35$ МПа.

Для визначення технічного стану випускних систем та можливості їх подальшої експлуатації необхідно виміряти, який зворотний тиск (опір) створюється у випускній системі конкретного автомобіля. Проведені вище теоретичні дослідження впливу зміни величини тиску протидії відпрацьованих газів на ефективні показники роботи двигуна виявили необхідність контролю технічного стану випускних систем задля забезпечення високих експлуатаційних показників автомобіля.

Існує декілька різних за рівнем складності лабораторного обладнання методик виміру зворотного тиску у випускному трубопроводі. Найбільш простими засобами виміру тиску відпрацьованих газів у випускній системі є манометр, кілька з'єднувачів та трубок. Манометр повинний бути розрахований на вимір тиску порядку 0,7 МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$); в крайньому випадку, можна скористатися манометром для виміру тиску палива. Найкраще мати манометр із великою шкалою для полегшення вимірів.

Перш ніж приступити безпосередньо до вимірів величин тиску у випускних системах конкретних автомобілів, нами були проведені підготовчі операції, а саме -

вварені різьбові втулки у випускні систему перед глушниками (якщо автомобіль був обладнаний каталізатором, то додавали ще й додаткову втулку перед ним). Різьбова втулка представляла собою просту шестигранну гайку з різьбою для встановлення трубки діаметром 3,2 мм (або 6,3 мм). Через високі температури в системі, під'єднання манометра до різьбового отвору вимагало додаткових операцій. З цією метою ми просвердлювали маленький отвір через заглушку випускної труби (ця заглушка мала такий же розмір різьби, як й у привареній гайці) та впаювали високотемпературним припоєм шматок сталеві трубки довжиною 300...450 мм (внутрішнім діаметром 3,2 мм (1/8 дюйма)) у просвердлений отвір. Сталева трубка призначалася для розсіювати надлишкового тепла від гарячої випускної системи, що дозволяло приєднувати гумовий шланг, який йде до манометра, без всіляких перешкод.

Зворотний тиск вимірювали на нерухомому автомобілі розміщеному на підйомнику імітуючи його розгін із повністю відкритою дросельною заслінкою. Для цього в кабіні залишався оператор який натискав на педаль акселератора у необхідний момент. При цьому, динаміка зміни зворотного тиску простежувалася при регулярному підвищенні обертів за показниками манометра.

Слід зазначити, що загалом будь-який зворотний тиск є небажаним, але до цього потрібно підходити практично, так як неможливо домогтися нульового опору випускної системи потоку відпрацьованих газів, отже - необхідно орієнтуватися на допустимий інтервал зміни величини зворотного тиску. При цьому нами було враховано, що атмосферний тиск навколишнього середовища на виході із системи випуску є відмінним від нуля й складає 0,1 МПа.

Аналіз літературних джерел, хоча й не виявив даних щодо інтервалу зміни величин зворотного тиску у випускних системах різних автомобілів, дозволив поставити відповідні точки. Так, в літературі подається інформація, що іноді навіть стандартна випускна система нового автомобіля може створювати протитиск до 0,4 МПа (й навіть більше на деяких автомобілях); хоча, при ретельному підборі глушників, каталізаторів та вихлопних труб той самий двигун може мати зворотний тиск величиною не більш 0,15 МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$).

Отримані з теоретичного дослідження дані дозволили прийняти значення допустимої величини зворотного тиску за показниками манометра близько 0,35 МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$) при роботі з повністю відкритою дросельною заслінкою в області підвищених обертів. У випадку збільшення значень тиску понад зазначену величину випускна система потребує ремонту (або заміни окремих її елементів).

Вимір величини зворотного тиску для випускної системи кожного дослідного автомобіля проводили в двох точках: до першого допоміжного глушника (для систем із каталітичним нейтралізатором – перед каталізатором) та перед основним глушником. Перед проведенням досліджень зворотного тиску всі системи двигуна відповідальні за величини ефективних показників було перевірено; недоліки в роботі систем усунуто, а саме: перевірено величину компресії в циліндрах (у разі зменшення величини компресії понад 20 % від номінальної та за умови неможливості її підвищення шляхом регулювань двигуни не піддавалися тесту), перевірено та відрегульовано теплові зазори в механізмах газорозподілення, перевірено роботу системи запалення й наостанок, перевірено технічний стан повітроочисної системи та системи паливоподачі тощо.

Вибіркові дослідження були проведені для автомобілів марки ВАЗ різних моделей. При цьому загальна кількість досліджених автомобілів склала 12 одиниць. Дослідження проводили після попереднього прогріву двигунів до робочої температури 85...90 °С [3]. Результати досліджень величин тисків у випускних системах автомобілів ВАЗ в залежності від швидкісних режимів роботи їх двигунів представлені на рисунку 3.

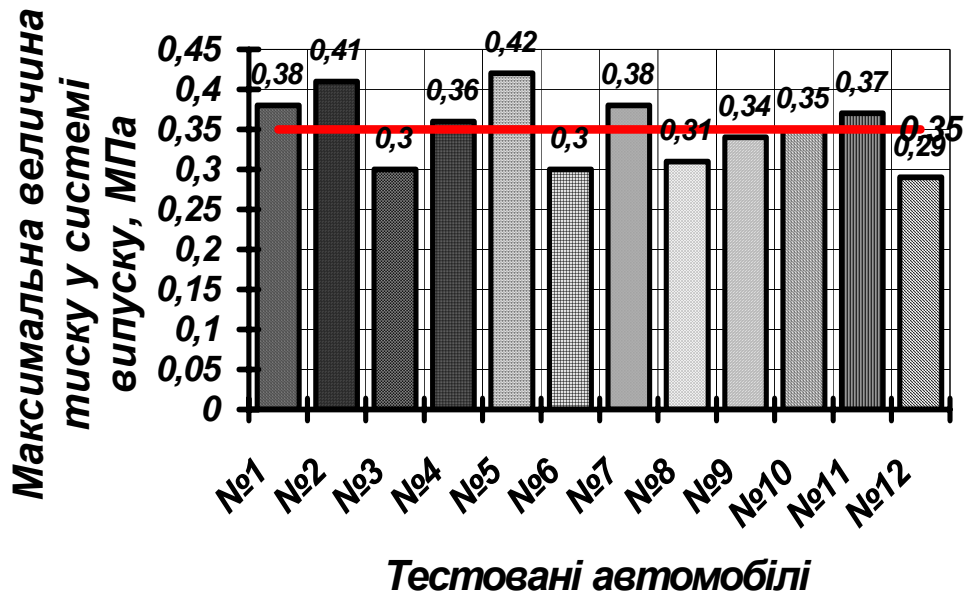


Рисунок 3 - Максимальні експериментальні величини зворотних тисків у випускних системах тестованих автомобілів ВАЗ

Аналіз отриманих експериментальних даних дає підстави зробити наступні висновки:

1. Практично 50% досліджених випускних систем автомобілів ВАЗ за показниками зворотного тиску не відповідають допустимому граничному рівню й потребують заміни.

2. Навіть зовнішня технічна справність елементів випускних систем не дає підстави гарантувати їх відповідність за показниками внутрішнього опору потоку відпрацьованих газів. Таку ситуацію можна пояснити двома причинами: по-перше, конструктивними недоліками та огріхами елементів випускних систем певних виробників на етапі їх проектування й виготовлення; по-друге, забиванням їх внутрішніх каналів рештками металевих, керамічних, звукопоглинальних структурних елементів самих випускних систем, які були зруйновані та відокремлені в процесі тривалої експлуатації під дією багаторазового ударного навантаження з боку потоку відпрацьованих газів.

3. Деякі власники транспортних засобів дотримуються стратегії лише зовнішнього відновлення цілісності випускної системи намагаючись тим самим відновити її працездатність. При цьому всі “зайві” елементи, які спричиняють підвищення рівня шуму (згадані у 2-му висновку відокремлені частини глушників, каталізаторів тощо) просто витрушуються з банок глушників через зроблений в їх боковинах отвір із наступним його заварюванням (або зашпарюванням). При цьому не береться до уваги той факт, що в середині глушників відпрацьовані гази повинні рухатися по чітко визначених траєкторіях, проходячи через певні стримуючі елементи; саме при такій організації досягається ефект зниження шумності при збереженні низького опору проходженню цих газів, що позитивно впливає в першу чергу на високі показники ефективної потужності двигуна.

4. Запропоновану методику можна рекомендувати для проведення оціночних досліджень технічного стану випускних систем та динаміки його зміни. Разом з тим, саме технології визначення внутрішнього тиску, хоча й відрізняється простотою проведення та доступністю застосованого вимірювального пристосування, має й стримуючі недоліки. В основному це стосується необхідності свердлування отворів у трубах із наступним приварюванням різьбових втулок; накриванням технологічних

отворів заглушками, які в процесі експлуатації автомобіля можуть втратити рухомість (“прикипіти”) та не надати можливості повторного під’єднання вимірювального інструменту через певний період часу.

Крім того, лише за показниками внутрішнього опору випускної системи (або її елементів) доволі важко визначити зміну таких показників роботи двигуна як ефективна потужність, ефективний крутний момент та ін. Для визначення величин означених показників доцільно застосовувати в комплексі пристосування для визначення тиску у випускній системі й сучасне діагностичне обладнання, яке дозволяє їх отримати, наприклад мотор-тестери або тягові стенди.

Список літератури

1. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. / А. Колчин, В Демидов. – М.: Высшая школа, 1980. – 400 с.
2. Розрахунок автомобільних двигунів / [Дяченко В.Г., Саловський В.С., Кропівний В.М., Магопець С.О. та ін.] – Кіровоград: КДТУ, 2003. – 266 с.
3. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию автомобилей ВАЗ. – М.: Атлас-пресс, 2003. – 223 с. – (официальное издание АО «АВТОВАЗ».)

С. Магопець, О. Бевз

Исследование влияния внутреннего сопротивления системы выпуска отработанных газов на эффективные показатели работы

В статье теоретически и экспериментально исследуется влияние состояния систем выпуска отработанных газов автомобилей на эффективные показатели работы их двигателей, а именно: величины эффективной удельной мощности, эффективного крутящего момента, почасового и удельного расхода топлива.

S. Magopec, O. Bevz

Research of influence of internal resistance of the system of issue of exhaust gases on the effective indexes of work

In the article theory and experimentally investigated influence of the state of the systems of issue of exhaust gases of cars on the effective indexes of work of their engines, namely: sizes of effective specific power, effective twisting moment, sentinel and specific expense of fuel.

Одержано 30.11.09

УДК 621.9.048.4

В. І. Носуленко, проф., д-р техн. наук, О. С. Чумаченко, доц., канд.техн.наук
Кіровоградський національний технічний університет

Розмірна обробка електричною дугою багат шарових листових деталей

Запропоновані технологічні схеми формоутворення отворів і зовнішніх контурів при обробці багат шарових листових деталей способом розмірної обробки електричною дугою. Описані технологічні характеристики продуктивності і якості розмірної обробки електричною дугою багат шарових листових деталей, представлені приклади реалізації процесу, сфери його раціонального застосування і економічна ефективність

електрична дуга, розмірна обробка, листовий метал, багат шарові деталі, технологія, інструмент, продуктивність

Вступ. Для виготовлення елементів конструкцій, що несуть значні навантаження, зокрема, в деталях гірничого обладнання “Гідрокріплення”, звичайно використовують листовий прокат зі спеціальних легованих конструкційних сталей, наприклад, сталь 16ХГМФТР. Високу міцність забезпечують зварюванням листів по декілька шарів. Проблемою є подальша обробка отворів в цих багат шарових деталях. Традиційно їх отримують за декілька переходів механічною обробкою. Механічна обробка отворів діаметром до 90-110 мм в декілька переходів є трудомісткою, супроводжується значними витратами енергії та інструменту.

Застосувати плазмове різання для чорнового вирізання отворів із подальшим чистовим зенкеруванням неможливо через високу міцність отриманої зони термічного впливу, що вимагає спеціального твердосплавного інструменту, який має високу вартість і низьку стійкість. Враховуючи, що місячна програма виготовлення таких отворів в деталях “Гідрокріплення” складає близько сорока тисяч отворів, постає питання пошуку більш ефективних способів їх обробки.

Високоєфективною альтернативою зазначеним процесам є спосіб розмірної обробки електричною дугою (РОД), який дозволяє високоякісно обробити порожнини, зовнішні та внутрішні контури деталей [1, 2] і порівняно з традиційними методами металообробки (різанням, тиском) забезпечує такі переваги:

– вихідний енергоносій (електроенергія) не перетворюється в силову (відсутні двигун і відповідні ланки кінематичного ланцюга верстата), а реалізується в зоні обробки безпосередньо, виконуючи відповідну операцію в потрібному місці, у визначений час та з необхідними якістю, продуктивністю і точністю обробки;

– відсутнє докладання механічних зусиль до інструмента та заготовки через систему „верстат-пристрій-інструмент-деталь”, що дозволяє помітно спростити та здешевити верстат в цілому;

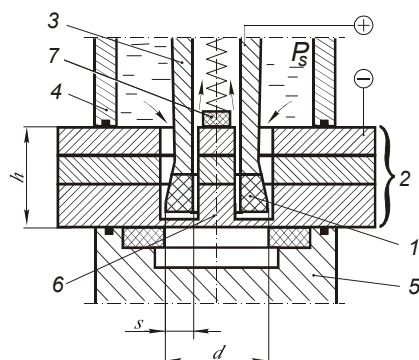
– інструмент для РОД – електрод (ЕІ) помітно простіший та дешевий, ніж інструменти, які застосовуються при традиційних методах металообробки (різець, свердло, фрези), оскільки не перевищує по твердості оброблюваний метал;

– на продуктивність обробки не впливають твердість та в'язкість металу заготовки, яку обробляють. Це важливо в умовах зростаючого застосування важкооброблюваних матеріалів.

Проте вимагають розробки і досліджень технологічні схеми формоутворення та якісні і кількісні технологічні характеристики процесу РОД багат шарових деталей.

Постановка задачі. Для ефективної реалізації РОД багат шарових деталей, згідно зазначеного, вимагають опису технологічні схеми формоутворення зовнішніх і внутрішніх контурів та технологічні характеристики процесу, зокрема, продуктивність обробки M , шорсткість обробленої поверхні Ra , стійкість і динаміка зносу EI . Для цього доцільно використати математичне моделювання і статистичні методи планування та обробки результатів експериментів.

Технологічні схеми формоутворення. Розроблена технологічна схема формоутворення для отворів (рис. 1), дозволяє ефективно реалізувати РОД багат шарових деталей і виконати дослідження технологічних характеристик процесу. Високу продуктивність забезпечує застосування порожнистого тонкостінного EI 1, який руйнує мінімальну кількість металу відповідно до товщини стінки s , відокремлюючи від $E3$ 2 відхід 6.

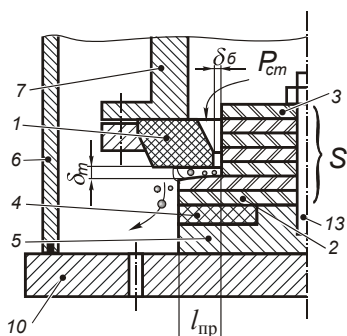


1 – EI ; 2 – заготовка; 3 – електродотримач;
4 – камера;
5 – електрод-опора; 6 – відхід; 7 – притискач
Рисунок 1 – Технологічна схема формоутворення отворів способом РОД

EI являє собою вставку із електроерозійного графіту МПГ- 7 загальною висотою 45 мм із робочою частиною 30 мм, закріплену на тримачі 3. Поступальним рухом EI вниз формують отвір в багат шаровій $E3$ 2, яка лежить на опорі 5. Зона обробки герметизована камерою 4, а відхід утримує притискач 7. Метал заготовки при формуванні отвору руйнує торцева поверхня EI . Відповідно, EI зношується по висоті, а розміри в плані залишаються стабільними. Стабільними є і розміри отримуваних отворів.

Обробку листових деталей пакетом можна реалізувати також по зовнішньому (рис. 2).

Особливості зазначеної схеми полягають в тому, що пластинчатий EI 1 товщиною 15...30 мм кріплять до електродотримача 7 гайкою, що має внутрішній конус і виконує роль обойми для EI , який витримує розтягуючі напруження від статичного тиску P_{cm} робочої рідини (напрямок руху показано стрілками), який складає від 0,7 до 2 МПа.



1 – EI ; 2 – $E3$; 3 – деталь; 4 – гумова підкладка;
5 – базовий елемент; 6 – герметизована камера;
7 – електродотримач; 8, 9 – гайки; 10 – підкладна плита; 11 – дуга; 12 – продукти ерозії; 13 – фіксатор заготовок
Рисунок 2 – Формоутворення при обробці пакетом

Для забезпечення стабільності процесу обробки заготовки 2 щільно набирають на оправку 13, фіксуючи гайкою 9. Контур заготовки розташовують симетрично до формоутворюючого отвору EI за допомогою спеціальних шаблонів чи фіксаторів для забезпечення рівномірності гідравлічного опору по периметру контуру і, відповідно, рівномірного розподілу робочої рідини. Висота пакета S обмежена лише висотою електродотримача. Для

уникнення зростання гідравлічного опору траси течії робочої рідини при заглибленні ЕІ необхідно, щоб твірна допоміжної поверхні ЕІ 1, на яку надходить робоча рідина (показано стрілкою) при вході в зазор δ_6 , мала нахил 14° [2] при висоті вертикального робочого пояса 5 мм. Гумова підкладка 4 забезпечує якісне формоутворення нижньої в пакеті деталі.

Результати досліджень. Встановлено [3, 4], що за умов визначеної геометрії ЕІ основними керуючими факторами процесу є сила струму I та статичний тиск робочої рідини P_s на вході в міжелектродний зазор. Напруга робочого ходу 28-30 В забезпечує оптимальний торцевий міжелектродний зазор.

Керуючі фактори, які визначають якісні і кількісні показники процесу – електричні (сила струму I , напруга U) і гідродинамічні (тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор P_s , який визначає динамічний тиск P_d) при експериментальних дослідженнях

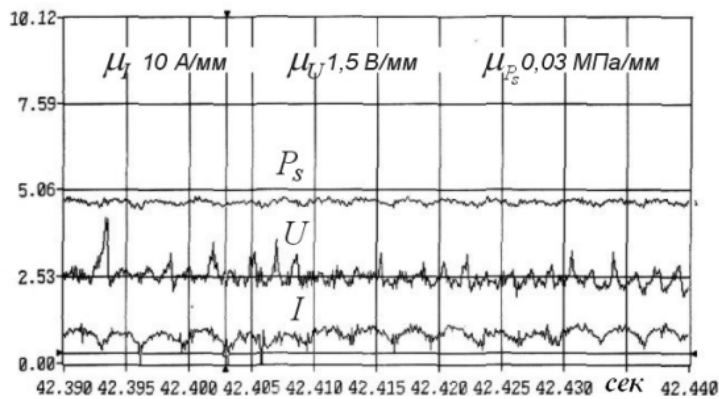


Рисунок 3 – Осцилограма РОД багат шарових деталей

осцилографувались (рис. 3).

Стабільність цих керуючих факторів характеризує стабільність процесу, а отже забезпечує показники якості і продуктивності. Спостерігається усталеність керуючих факторів при обробці суцільного листа і деякі порушення при переходах між листами, коли щілини заварюються видовженою дугою. Бажано забезпечити максимальне прилягання листів,

проте зазори між листами в межах десятих долей міліметра (до 1 мм) істотно не впливають на процес. При цьому зі збільшенням зазору зона термічного впливу в місці стику листів дещо зростає і може досягати 0,1...0,2 мм, що не впливає на точність обробки і шорсткість обробленої поверхні та не викликає ускладнень при необхідності подальшої механічної обробки.

Проведено серію експериментів при варіюванні зазначених керуючих факторів на трьох рівнях, в діапазоні ($I = 100-1000A$, $P_d = 0,01-0,5$ МПа). Побудовано експериментальні графіки залежності та методами статистичного аналізу отримано математичні моделі технологічних характеристик РОД отворів багат шарових деталей продуктивності M , шорсткості Ra , глибини зони термічного впливу (ЗТВ) H для умов: ЕЗ – сталь 45, ЕІ – МПГ-7, полярність зворотна, робоча рідина – масло „Індустріальне” (50%) і гас (50%). Продуктивність обробки M (рис. 4) в зазначених межах варіювання керуючих факторів становить 2-25 тис. $мм^3/хв$, прямо пропорційна силі струму і обернено пропорційна динамічному тиску середовища. Шорсткість обробленої поверхні Ra (рис. 5) отримано в межах 3-30 мкм: при збільшенні сили струму вона збільшується, при збільшенні динамічного тиску

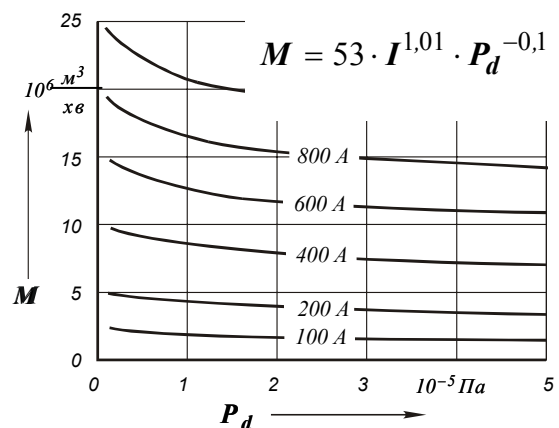


Рисунок 4 – Залежність продуктивності M від сили струму I і тиску рідини P_d

вона зменшується. Глибина ЗТВ H прямо пропорційна силі струму і обернено пропорційна динамічному тиску (рис. 6): при силі струму близько 1000А і динамічному тиску 0,01 МПа складає до 250 мкм, а при зростанні динамічного тиску до 0,5 МПа практично відсутня.

Підвищення динамічного тиску призводить до зниження продуктивності, шорсткості, глибини ЗТВ внаслідок зміни енергетичної структури розряду: при нижніх значеннях динамічного тиску видалення металу відбувається переважно за рахунок розмірного плавлення, а при підвищенні – за рахунок випаровування.

Розробку технологічного процесу здійснюють із врахуванням таких особливостей:

- визначають оптимальну товщину стінки ЕІ, виходячи з умов механічної і термічної міцності матеріалу;
- визначають допустиму I як добуток площі ЕІ в плані на питому густину струму $j = 1-2 \text{ А/мм}^2$;
- розраховують продуктивність M і тривалість обробки;
- визначають I , U , P_s , що забезпечують потрібні значення шорсткості R_a та допустиму величину ЗТВ;
- передбачають можливість високопродуктивної чорнової обробки при $I = 800-1000 \text{ А}$, залишають мінімальний припуск для наступної чистової обробки;
- розрахувати для вибраних режимів обробки знос ЕІ та його необхідні розміри по висоті.

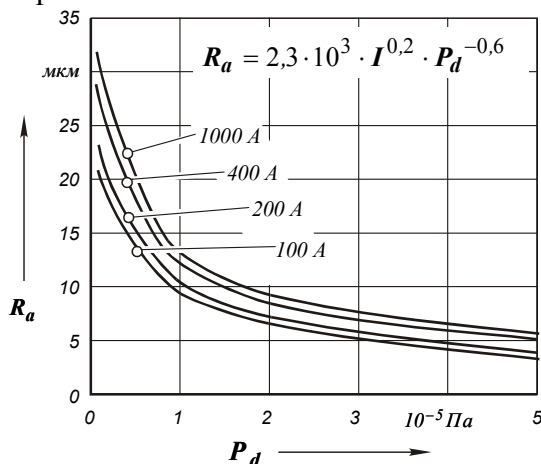


Рисунок 5 – Залежність шорсткості обробленої поверхні R_a від I і P_d

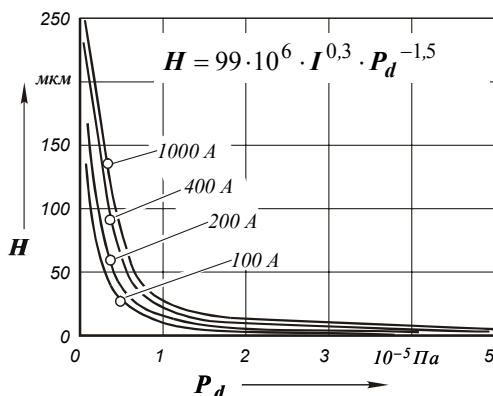


Рисунок 6 – Залежність глибини зони термічного впливу H від I і P_d

Конструкція робочої частини ЕІ визначає величину гідравлічного опору міжелектродного зазору [5] і режим руху рідини в ньому, а отже всі технологічні характеристики процесу, які залежать від динамічного тиску робочої рідини. Знос ЕІ при РОД складає не більше 1% товщини обробленої заготовки. При одержанні отвору глибиною 90 мм ЕІ стане коротшим на 0,9 мм. ЕІ довжиною робочої частини 20 мм дозволяє одержати отвори сумарною довжиною 2000 мм. При повторному використанні інструмента стабільність одержання розмірів отворів і контурів отворів забезпечується в межах допуску на виготовлення деталі до повного зносу ЕІ. З однієї графітової заготовки розмірами (мм) $120 \times 120 \times 40$ можна одержати одночасно інструменти для отворів діаметрами 110, 90, 70, 50 мм (4 інструменти). Середня питома вартість ЕІ складе близько 1 коп. на 1 мм прошитою отвору. Прикладами РОД багат шарових деталей є обробка круглих (рис. 7) і фасонних отворів (рис. 8) та деталей по зовнішньому контуру пакетом (рис. 9). На рис. 7 представлено

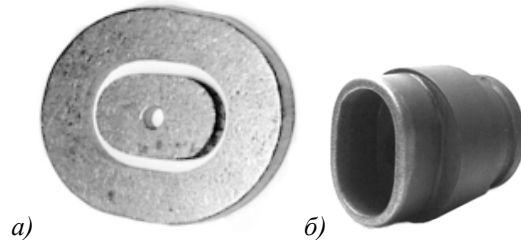
тришарову листову деталь (сталь 16ХГМФТР) товщиною 75 мм з отвором $\varnothing 110$ мм, оброблену способом РОД, отриманий відхід та ЕІ товщиною стінки 10 мм. Режими обробки: сила струму – 800 А; напруга – 30 В; тиск робочої рідини – 1 МПа. Результати обробки: час – 15 хв; продуктивність – 17 тис. мм³/хв; питома витрата електроенергії – 3,5 квт·год/кг, шорсткість – Ra 20; зона термічного впливу – до 0,03 мм.

РОД багатшарових деталей тонкостінним ЕІ можна застосувати не тільки для круглих, але і для фасонних отворів (рис. 8). Відходи при цьому можна використати як заготовки для інших деталей (рис. 9).



1 – ЕІ; 2 – електродотримач; 3 – деталь (отвір $\varnothing 110$ мм); 4 – відхід

Рисунок 7 – Результат прошивки отвору в багатшаровій листовій деталі:



а – деталь і відхід; б – ЕІ
Рисунок 8 – Обробка отворів фасонним тонкостінним ЕІ



а) б)
Рисунок 9 – РОД багатшарових деталей по зовнішньому контуру

РОД багатшарових деталей порівняно з традиційними процесами металообробки має високу економічну ефективність внаслідок зменшення кількості переходів від 5-6 при механічній обробці до 1 при РОД, зменшення вартості інструменту на 25-50% і трудомісткості із 1,42 годин при механічній обробці до 0,24 годин при РОД. Економічний ефект для деталі „Траверса” становить 1459 тис. грн./рік, при програмі випуску 6000 шт/рік, а термін окупності обладнання складає менше року, а отже запропонований процес має значну інвестиційну привабливість [6].

Висновки. Запропоновані і реалізовані технологічні схеми формоутворення отворів і зовнішніх контурів при розмірній обробці електричною дугою багатшарових листових деталей, які дозволяють підвищити продуктивність в 3-5 разів порівняно з традиційною механічною обробкою.

Встановлено, що в умовах РОД багатшарових деталей інструментом із матеріалу МПГ-7 на зворотній полярності в рідині масло „І-12” (50%) та гас (50%) при силі струму 100-1000 А, динамічному тиску 0,01-0,5 МПа, напрузі робочого ходу 25-30 В значення кількісних і якісних характеристик процесу прямо пропорційні струму і обернено пропорційні динамічному тиску. Продуктивність M складає від 2 до 25 тис. мм³/хв, шорсткість Ra складає від 2 до 35 мкм, глибина зони термічного впливу H складає від 0 до 250 мкм.

Список літератури

1. Носуленко В. І., Чумаченко О. С. РОД фасонних отворів в листовому металі // Збірник наукових праць КДТУ.– Вип. 7.– Кіровоград: КДТУ, 2000. – С. 216-221
2. Носуленко В. І., Чумаченко О. С. Розмірна обробка електричною дугою фасонних зовнішніх контурів листових деталей // Вісник НТУУ “КПІ”. – 2002. – № 45. – С. 158-165.
3. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.03.07 / Кіровоградський держ. техн. ун-т. - К., 1999. – 36 с.

4. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой // Электронная обработка материалов.– 2005.– № 1. – С. 8-17.
5. Чумаченко О. С. Оптимізація гідродинамічних характеристик потоку робочої рідини при обробці стаціонарною дугою отворів із фасками // Вісник НТУУ „КПІ”. – 2008. – № 52. – С. 170-177.
6. Чумаченко О. С. Економічна ефективність розмірної обробки дугою отворів у багатошарових товстостілових деталях // Наукові праці КДТУ. Економічні науки. –Вип. 13.– Кіровоград: КДТУ, 2005. – С. 67-72.

В. Носуленко, О. Чумаченко

Размерная обработка электрической дугой многослойных листовых деталей

Предложены технологические схемы формообразования отверстий и внешних контуров при обработке многослойных листовых деталей способом размерной обработки электрической дугой. Описаны технологические характеристики производительности и качества размерной обработки электрической дугой многослойных листовых деталей, представлены примеры реализации процесса, сферы его, рационального применения и экономическая эффективность

V. Nosulenko, O. Chumachenko

Dimension treatment of multi-layered sheet details a voltaic arc

The flowsheets of shape formation of openings and external contours are offered at treatment of multi-layered sheet details the method of dimension treatment a voltaic arc. Technological descriptions of the productivity and quality of dimension treatment of multi-layered sheet details a voltaic arc are described, the examples of realization of process, spheres of it, are presented, rational application and economic efficiency

Одержано 02.11.09

УДК 621.891

Б.В. Гупка, доц., канд. техн. наук

Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя

Трибологічна надійність важконавантажених пар тертя сільськогосподарських машин. Метод дослідження

В роботі досліджено можливість використання синтезатора металів "Форсан" в системі важконавантажених пар тертя сільськогосподарських машин з позиції структурно-енергетичної теорії тертя та зношування для управління процесами активації і пасивації. Проведені експериментальні дослідження триботехнічних властивостей пар тертя на стенді МТ-1. Показано, що найбільша ефективність застосування "Форсан" проявляється при введенні його в ЛИТОЛ.

синтезатор металів, зношування, пускові моменти, температура, пара тертя, коефіцієнт тертя

Вступ. Для сучасного машинобудування, в тому числі і сільськогосподарського, характерні: безперервний ріст енергонапруженості, більш важкі умови експлуатації, масовий характер випуску продукції з підвищеними вимогами до трибологічної надійності. Значна частина відмов (до 80%) в роботі машин та механізмів відбувається

4. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой // Электронная обработка материалов.– 2005.– № 1. – С. 8-17.
5. Чумаченко О. С. Оптимізація гідродинамічних характеристик потоку робочої рідини при обробці стаціонарною дугою отворів із фасками // Вісник НТУУ „КПІ”. – 2008. – № 52. – С. 170-177.
6. Чумаченко О. С. Економічна ефективність розмірної обробки дугою отворів у багатошарових товстостілових деталях // Наукові праці КДТУ. Економічні науки. –Вип. 13.– Кіровоград: КДТУ, 2005. – С. 67-72.

В. Носуленко, О. Чумаченко

Размерная обработка электрической дугой многослойных листовых деталей

Предложены технологические схемы формообразования отверстий и внешних контуров при обработке многослойных листовых деталей способом размерной обработки электрической дугой. Описаны технологические характеристики производительности и качества размерной обработки электрической дугой многослойных листовых деталей, представлены примеры реализации процесса, сферы его, рационального применения и экономическая эффективность

V. Nosulenko, O. Chumachenko

Dimension treatment of multi-layered sheet details a voltaic arc

The flowsheets of shape formation of openings and external contours are offered at treatment of multi-layered sheet details the method of dimension treatment a voltaic arc. Technological descriptions of the productivity and quality of dimension treatment of multi-layered sheet details a voltaic arc are described, the examples of realization of process, spheres of it, are presented, rational application and economic efficiency

Одержано 02.11.09

УДК 621.891

Б.В. Гупка, доц., канд. техн. наук

Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя

Трибологічна надійність важконавантажених пар тертя сільськогосподарських машин. Метод дослідження

В роботі досліджено можливість використання синтезатора металів "Форсан" в системі важконавантажених пар тертя сільськогосподарських машин з позиції структурно-енергетичної теорії тертя та зношування для управління процесами активації і пасивації. Проведені експериментальні дослідження триботехнічних властивостей пар тертя на стенді МТ-1. Показано, що найбільша ефективність застосування "Форсан" проявляється при введенні його в ЛИТОЛ.

синтезатор металів, зношування, пускові моменти, температура, пара тертя, коефіцієнт тертя

Вступ. Для сучасного машинобудування, в тому числі і сільськогосподарського, характерні: безперервний ріст енергонапруженості, більш важкі умови експлуатації, масовий характер випуску продукції з підвищеними вимогами до трибологічної надійності. Значна частина відмов (до 80%) в роботі машин та механізмів відбувається

через інтенсивне зношування деталей пар тертя, що впливає на надійність та довговічність трибоспряження. Першочерговою стає задача підвищення поверхневої міцності і зносостійкості деталей машин, а також застосування нових ефективних мастильних матеріалів, відповідних добавок, синтезаторів матеріалів. Все це в повній мірі відноситься до важконавантажених вузлів тертя сільськогосподарських машин, для яких характерні високі, з циклічною зміною, силові параметри навантаження, непостійний режим мащення, ймовірність потрапляння абразиву в зону тертя, обмеженість по вибору високоякісних вихідних матеріалів деталей пар тертя. Стало очевидним, що без використання результатів фундаментальних досліджень триботехніки, фізики твердого тіла, матеріалознавства, термодинаміки відкритих систем, синергетики, теорії системного аналізу, хімотології задачу не вирішити.

Технологічні та конструкторські методи зміцнювання необхідні, але недостатні для управління динамічною рівновагою процесів активації та пасивації: вони обмежені рівнем розвитку галузей техніки і технологій, які їх реалізують. У той же час недостатньо розвиваються способи експлуатаційного зміцнення поверхонь трибоелементів, не зважаючи на те, що вони дозволяють модифікувати тонкі поверхневі шари і тим самим забезпечити вимоги щодо зносостійкості, втомної міцності, антикорозійних та інших властивостей деталей. Актуальною є проблема розроблення структурно-енергетичних основ експлуатаційного зміцнення поверхонь тертя ковзання деталей сільськогосподарських машин як суб'єктивної форми необхідності отримання нових знань з метою удосконалення експлуатаційної ефективності сільськогосподарської техніки.

Метою роботи є дослідження можливості використання синтезатора металів "Форсан" в системі важконавантажених пар тертя сільськогосподарських машин з позиції структурно-енергетичної теорії тертя та зношування для управління процесами активації і пасивації.

Дослідження триботехнічних властивостей синтезатора металів "Форсан", при питомому тиску в парі тертя P від 1,0 до 30 МПа, постійній швидкості ковзання $V = 4,2$ м/с проводили на лабораторному стенді МТ-1 (рис. 1) і спеціально спроектованому та виготовленому трибометрі. Матеріали досліджуваних зразків – Сталь 45 ($HRC_{\text{с}}$ 35–38, $Ra = 0,32$), контртіла – сталь ХВГ ($HRC_{\text{с}}$ 46–48, $Ra = 0,63$). Вибрана відкрита плоска схема контакту (торець диска (контртіла) – торець пальчикового досліджуваного зразка), яка зручна для притирання зразків, подачі мастильного матеріалу, візуального контролю за процесом тертя, подальших металографічних досліджень. Після кожного етапу силового навантаження вимірювались: інтенсивність зношування J , коефіцієнт тертя μ , температура на поверхні тертя зразка T , величина контактної електроопору (KEO) пари тертя. Досліджувався і структурний стан поверхонь тертя з ідентифікацією типів вторинних структур по основних триботехнічних параметрах. В якості мастила використовували мастило-носій з синтезатором металів "Форсан", а також ЛИТОЛ-24 і ЛИТОЛ-24 з синтезатором металів "Форсан".

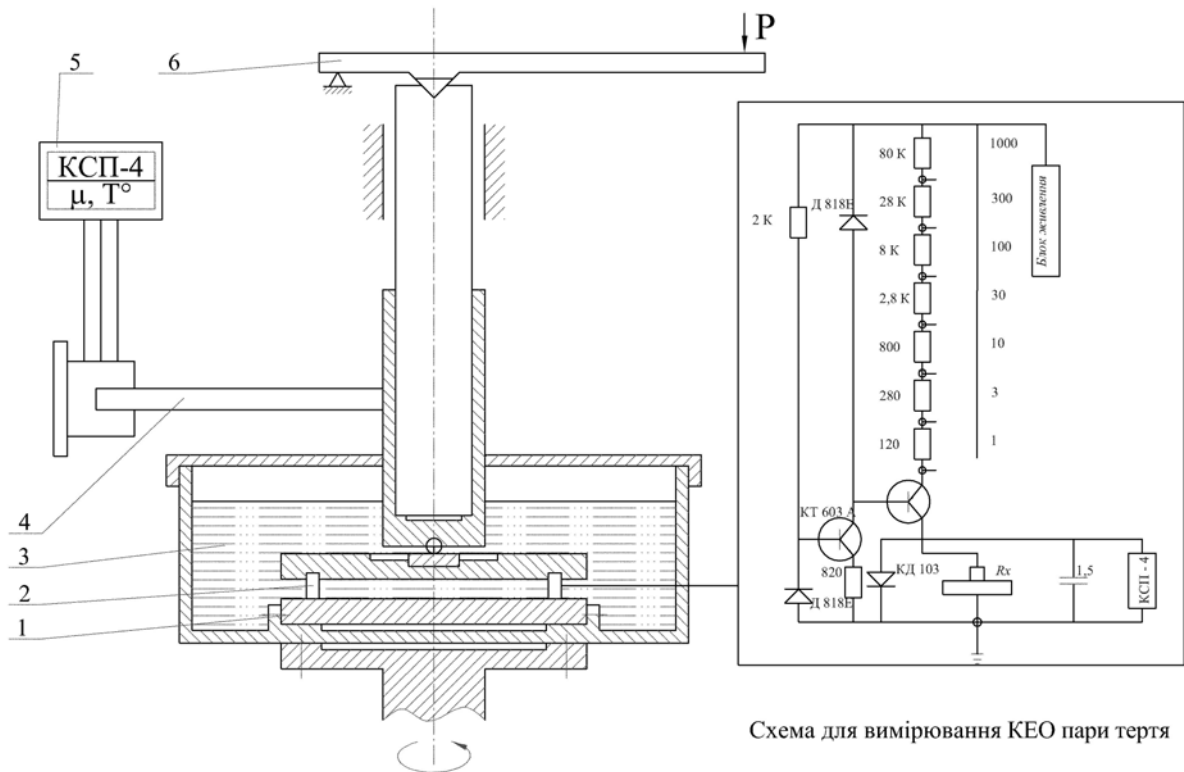


Схема для вимірювання КЕО пари тертя

1 – контргіло; 2 – досліджуваний зразок; 3 – мастило; 4 – тензобалка; 5 – прилад для реєстрації триботехнічних параметрів; 6 – механізм навантаження

Рисунок 1 – Вузол тертя та механізм навантаження стенда МТ-1

"Форсан" відноситься до розряду твердих мастильних матеріалів – це багатокомпонентна дрібнодисперсна суміш мінералів – серпентинітів, хлоритів, каолінітів та інших. Загальна хімічна формула "Форсан" – $Mg_6(SiO_{10})(OH)_8$ і відповідні вclusions: Fe, Ca, Ni, Ti, Cr, Cu, Pt та інші у вигляді окислів та інших груп. Частинки порошку "Форсан" в кінцевому вигляді мають розміри від 1 до 100 мкм. За своєю природою захисний поверхневий шар, сформований на базі "Форсан", діелектрик і вогнетривкий, має однаковий з металом деталей пар тертя коефіцієнт лінійного розширення, ідеально втримується на поверхні металу. "Форсан" не є присадкою і вводиться в зону фрикційного контакту за допомогою мастила, антифриза, консистентного мастила.

Дослідження триботехнічних властивостей пари тертя в мастилі-носії показали, що найбільше впливає "Форсан" на інтенсивність зношування (рис. 2). При терті в мастилі-носії для питомого тиску в парі тертя 1 МПа швидкість зношування складає 1,0 мкм/год, а в присутності "Форсан" зменшується до 0,1 мкм/год. Причому, із збільшенням питомого тиску в парі тертя вплив "Форсан" на швидкість зношування зростає. Так, при тиску в парі тертя 30 МПа швидкість зношування в мастилі-носії складає 15 мкм/год, а в мастилі-носії, який включає "Форсан", – 1,0 мкм/год, тобто швидкість зношування знижується в 15 разів.

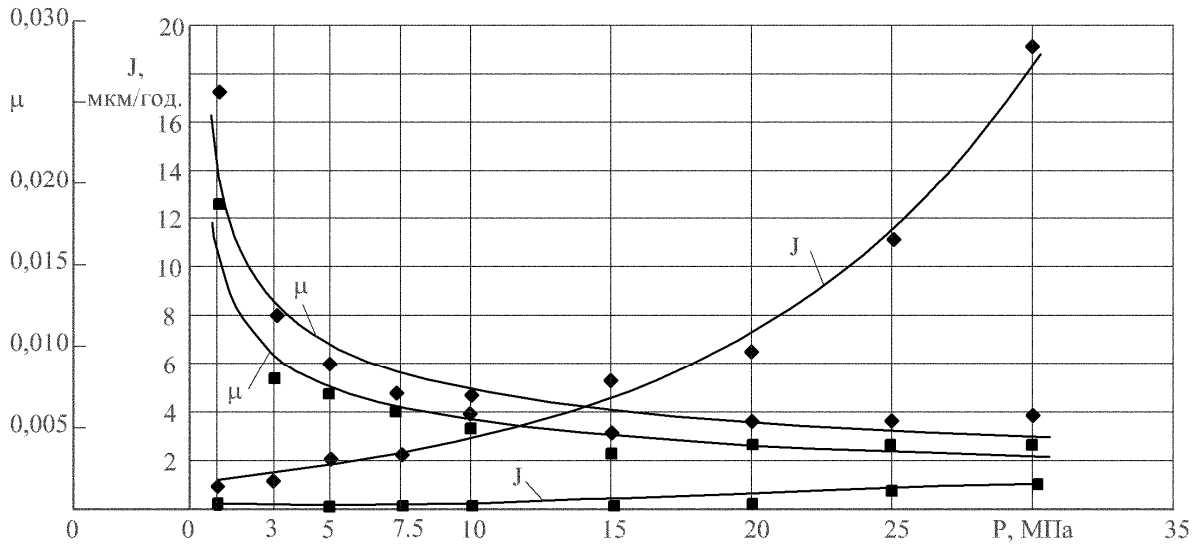


Рисунок 2 – Залежність інтенсивності зношування J , коефіцієнту тертя μ від питомого навантаження P при терті в мастилі-носії (♦) і в мастилі з "Форсан" (■)

Встановлено, що при терті в мастилі-носії, який включає "Форсан", залежність значення коефіцієнту тертя від питомого тиску в парі тертя аналогічна до залежності в мастилі-носії (рис. 2), тобто із збільшенням питомого тиску значення коефіцієнту тертя знижується. Однак, введення в масло "Форсан" знижує значення коефіцієнта тертя на 25-30%.

В присутності "Форсан" в мастилі-носії спостерігається зниження значень пускових моментів (рис. 3). Цей факт важливий, оскільки багато вузлів тертя запускаються в роботу під навантаженням, і зниження моменту тертя зменшує ймовірність схоплювання поверхонь металів в момент пуску.

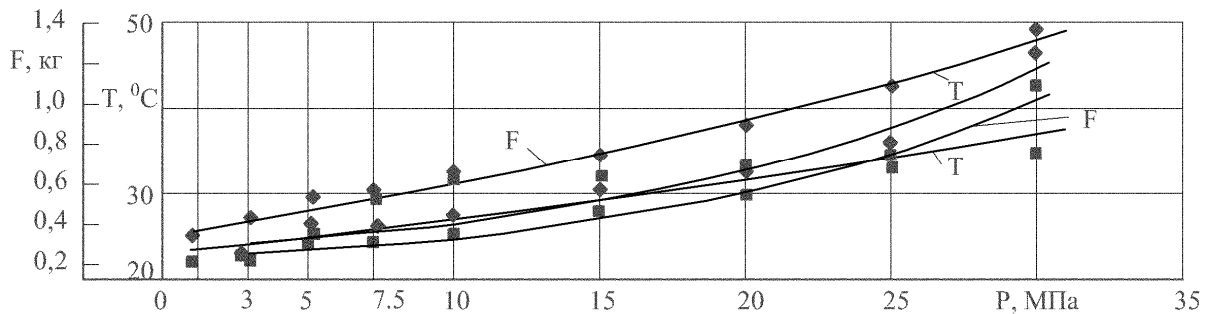


Рисунок 3 – Залежність температури в парі тертя T і пускових моментів F від питомого навантаження P при терті в мастилі-носії (♦) і в мастилі з "Форсан" (■)

Дослідження показали, що при терті в маслі, яке не включає "Форсан", температура вузла тертя при збільшенні питомого тиску від 1 до 30 МПа зростає більше, ніж у 2 рази (рис. 3). В присутності в мастилі "Форсан" температура вузла тертя зменшується, причому в інтервалі питомих тисків в парі тертя від 10 до 30 МПа температура вузла тертя практично не змінюється. При тиску 30 МПа температура вузла тертя в мастилі, яке включає "Форсан", на 15°C нижча, ніж у мастилі без "Форсан".

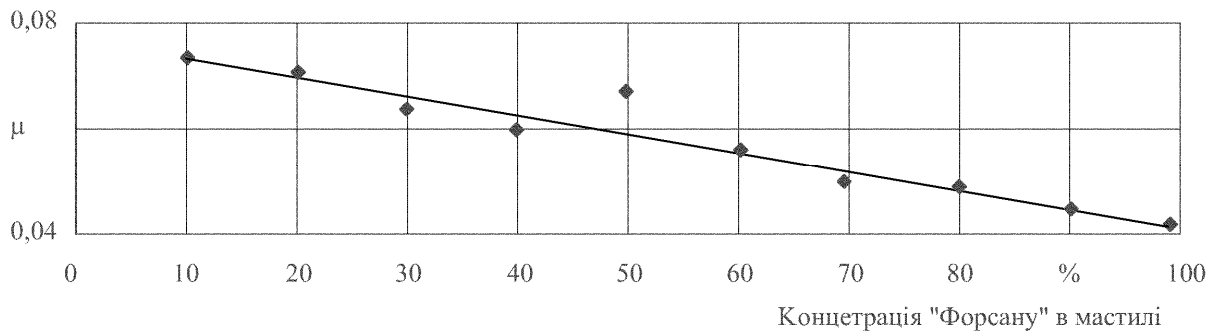


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнту тертя μ від зміни концентрації "Форсан" в мастилі-носії

Для дослідження впливу зміни концентрації синтезатора металів "Форсан" в мастилі-носії на триботехнічні властивості, умовно за 100% концентрацію "Форсан" було взято мастило, яке поставлене замовником і яке включає "Форсан", потім в це вихідне мастило додавали чисте мастило для отримання наступних концентрацій в ньому "Форсан": 75%, 50% і 25% (рис.4).

Дослідження показали, що при зниженні концентрації "Форсан" в мастилі в 4 рази значення коефіцієнту тертя μ збільшується з 0,049 до 0,070, при цьому не виявлено впливу зміни концентрації "Форсан" на температуру вузла тертя.

Візуальний огляд поверхонь тертя показав, що при терті в мастилі-носії поверхня світла, присутні риси (сліди тертя), а при терті в мастилі з "Форсан", поверхня тертя темна, гладка, без рисок та інших слідів тертя.

Найбільша ефективність застосування "Форсан" проявляється при введенні його в ЛИТОЛ. Дослідження показали, що із збільшенням питомого тиску в парі тертя від 1 до 10 МПа інтенсивність зношування J при терті в ЛИТОЛі збільшується від 4,5 до 13,2 мкм/год (рис. 5). При терті в ЛИТОЛі, який включає "Форсан", інтенсивність зношування зменшується в 10 раз і складає 0,4 мкм/год при питомому тиску 1,5 МПа і 1,3 мкм/год при питомому тиску 10 МПа.

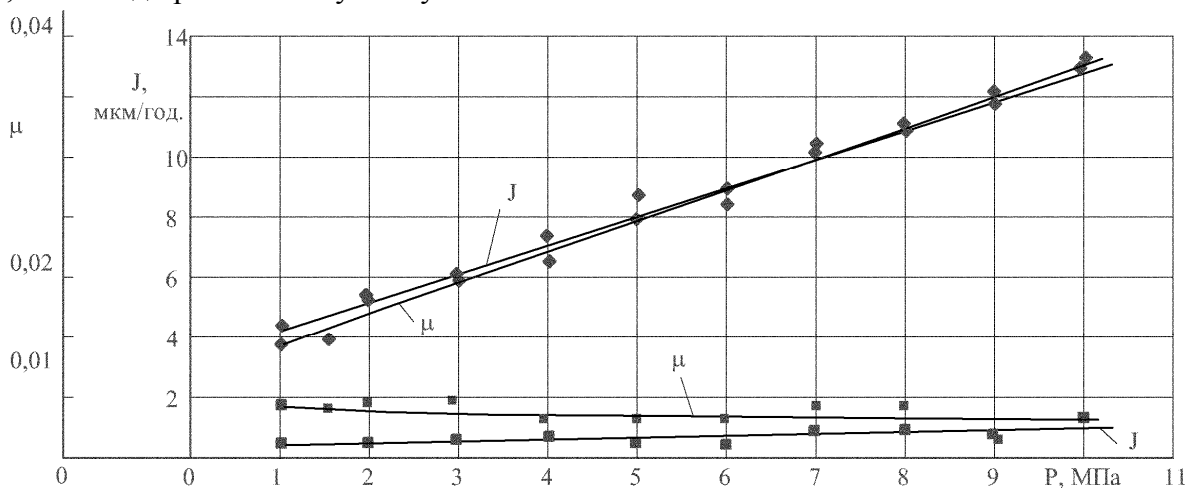


Рисунок 5 – Залежність інтенсивності зношування J і коефіцієнту тертя μ від питомого навантаження

P при терті в ЛИТОЛі (♦) і в ЛИТОЛі з "Форсан" (■)

Аналогічно впливає "Форсан" на значення коефіцієнту тертя. При терті в ЛИТОЛі із збільшенням питомого тиску від 1 до 10 МПа значення коефіцієнту тертя

збільшується майже в 4 рази (рис. 5), причому при питомому тиску 5 МПа з'являється биття пари тертя, а на поверхні тертя спостерігаються зони схоплювання (задири) металу. При терті в ЛИТОЛі, який включає "Форсан", значення коефіцієнту тертя практично не змінюється із збільшенням питомого тиску в парі тертя. При питомому тиску в парі тертя 1 МПа значення коефіцієнту тертя в 3 рази нижче, ніж в ЛИТОЛі без "Форсан", а при тиску 10 МПа – в 8 раз, при цьому поверхня тертя чиста, без будь-яких слідів зношування чи схоплювання металу.

Дослідження показали, що значення пускових моментів пари тертя значно знижуються в присутності в ЛИТОЛі "Форсан" (рис. 6). Так, при питомому тиску в парі тертя 10 МПа значення пускового моменту в ЛИТОЛі, який включає "Форсан", майже в 7 раз нижче цього значення в ЛИТОЛі без "Форсан".

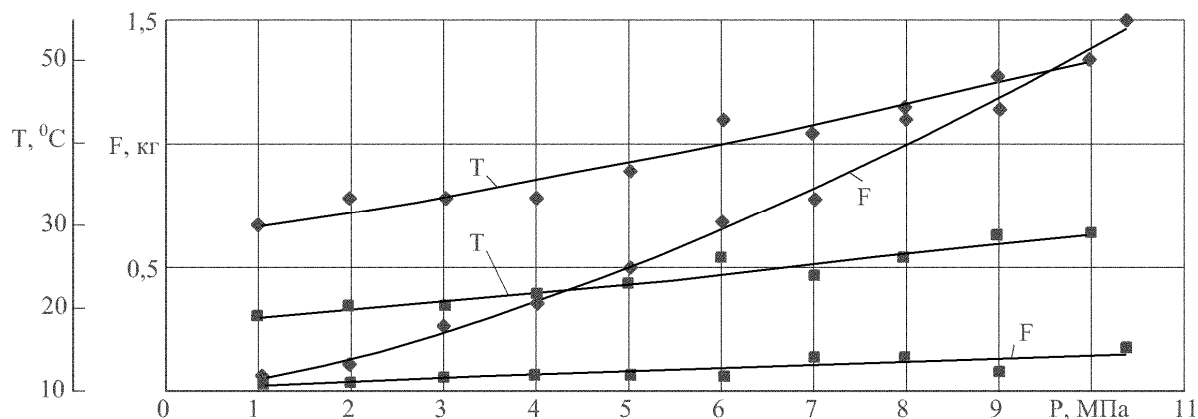


Рисунок 6 – Залежність пускових моментів F і температури вузла тертя T від питомого навантаження P при терті в ЛИТОЛі (♦) і в ЛИТОЛі з "Форсан" (■)

Встановлено, що при терті в ЛИТОЛі із збільшенням питомого тиску в парі тертя від 1 до 10 МПа температура вузла тертя зростає від 30 до 50°C (рис. 6). В присутності "Форсан" температура вузла тертя знижується на 10-20°C і при питомому тиску 10 МПа не перевищує 30°C.

Аналіз одержаних результатів та практичні рекомендації по дослідженню та застосуванню синтезатора металів "Форсан".

Рекомендується застосовувати синтезатор металів "Форсан" вибірково із врахуванням конструктивних особливостей вузлів тертя, умов експлуатації (швидкість ковзання, питома навантаження, температура), а також виду мастила та режиму мащення.

В діапазоні нормального тертя та зношування, при мінімальних та стабільних значеннях J, μ, T (наявність на поверхнях тертя відповідних вторинних структур) значення KEO максимальне і стабільне. При цьому по характеру зміни KEO , чітко фіксуються критичні значення P, V зони перехідних процесів (припрацювання \rightarrow нормальне тертя та зношування, об'ємна деструкція). Обґрунтована кореляційна залежність між значеннями J, μ, T і KEO з відповідною ідентифікацією по типах вторинних структур, експресність та висока структурна чутливість параметрів KEO дозволили суттєво скоротити час експериментальних досліджень із збереженням реального масштабу процесів в зоні фрикційного контакту.

Практикою експлуатації "Форсан" у важконавантажених парах тертя машин та механізмів підтверджено його ефективність проти електрохімічної корозії, вуглецевого збільшення крихкості при "заліковуванні" сітки вуглецевого поверхневого

розтріскування, відновленні вихідних геометричних розмірів деталей, що зменшує зазори. Сформовані металокерамічні покриття мають високу мікротвердість і пружність, здатні до саморегенерації і працюють як захисний шар, підвищуючи ресурс механізмів при критичних навантаженнях в умовах "мастильного голоду", в процесі "холодного запуску", при наявності абразиву. Основні техніко-економічні показники та ефекти від використання даного синтезатора: зниження енергетичних витрат на тертя до 20%, підвищення зносостійкості до 5 раз, збільшення ресурсу мастил до 3 раз, зменшення шумових та вібраційних характеристик на 4-7 одиниць, температури в зоні контакту, зменшення періоду припрацювання пар тертя.

Таким чином при використанні "Форсан" значно понижується рівень основних триботехнічних показників (J, μ, T), а також суттєво покращується структурний стан поверхневих шарів матеріалів пар тертя, замінюється контакт "метал – метал" на "металокераміка – металокераміка" за рахунок наявності особливо чистої фуллереної композиції.

Б. Гупка

Триботологическая надежность тяжело нагруженных пар трения сельскохозяйственных машин. Метод исследования

В работе исследовано возможность использования синтезатора металлов "Форсан" в системе тяжело нагруженных пар трения сельскохозяйственных машин с позиции структурно энергетической теории трения и изнашивания для управления процессами активации и пассивации. Проведены экспериментальные исследования триботехнических свойств пар трения на стенде МТ-1. Показано, что наибольшая эффективность применения "Форсан" проявляется при введении его в ЛИТОЛ.

В. Гупка

Tribological reliability of heavy loaded pair of friction of agricultural machines. Research method

Possibility of the use of synthesizer of metals of "Forsan" is in-process investigational in the system of heavy loaded pair of friction of agricultural machines from position structurally to the power theory of friction and wear for a management the processes of activating and passivation. Experimental researches of tribotechnical properties of pair of friction are conducted on the stand of МТ-1. It is rotined that most efficiency of application of "Forsan" shows up at entered it in LITOL.

Одержано 01.12.09

УДК 621

С.А. Заболотний

Вінницький національний технічний університет

Технологія наплавлення отворів зі зменшеними температурними похибками

Обґрунтовано доцільність керування потужністю зварювальної дуги в процесі наплавлення покриттів на поверхні деталей складної конфігурації. Показано, що така технологія наплавлення дозволяє зменшити перепади температур та вирівняти поле напружень в деталі, які є причиною спотворення її геометрії.

технологія, наплавлення, напруження, деформації, похибки

Вступ

Важливі експлуатаційні якості деталей, такі як довговічність, безвідмовність, тривалість зберігання точності і характеру посадок, міцність, корозійна стійкість та ін. залежать від конструктивних форм і точності виготовлення деталі, складу і структури матеріалу, його фізико-механічних властивостей. Саме цим чинникам приділяють увагу автори [1, 2, 3]. Проте й досі недостатньо досліджено вплив історії виготовлення (технології) на якість деталей, зокрема на стан поверхні та матеріал деталі в цілому, приховану енергію, запас стабільності фаз тощо. Вплив технологічної спадковості на службові характеристики деталей настільки значна, що забезпечити необхідні показники надійності машини неможливо без її врахування.

Так, зокрема, під час наплавлення функціональних покриттів на поверхні отворів деталей машин відбувається розповсюдження температури по об'єму матеріалу [4, 5]. Нерівномірність розповсюдження тепла спричиняє формування в матеріалі деталі різних за величиною та знаком напружень. Після досягнення у певних об'ємах деталі значень напружень вище границі текучості матеріал пластично деформується, що зумовлює після остигання залишкові напруження та деформації. Деталь змінює геометричні параметри, що вимагає додаткових переходів обробки та відповідних припусків. Якщо ж температурні перепади виростуть настільки, що теплові напруження досягнуть границі міцності матеріалу, то стає реальною поява мікротріщин, які негативно вплинуть на надійність деталі. Важливо не тільки зменшувати рівень температур деталі, скільки мінімізувати (вирівняти) їх перепади.

Основна частина

З метою вирівнювання в матеріалі температурного поля, яке виникає під час нанесення покриттів шляхом наплавлення, запропоновано та досліджено можливість та ефективність динамічного керування тепловим потоком в деталь через зміну потужності зварювальної дуги. З цією метою здійснено моделювання теплових процесів в деталі при наплавленні покриттів з використанням методу кінцевих елементів [6]. Зокрема, досліджувався процес наплавлення покриття на поверхню отвору групи деталей з метою відновлення зношеного в процесі експлуатації шару металу. Характерною особливістю групи деталей, що моделюються, є наявність циліндричної частини із отвором та елементу тепловідведення, що несиметрично розташований по відношенню до циліндричної частини. Для цього, в якості прикладу,

було використано створену твердотільну об'ємну модель кулака поворотного (рис. 1, а), та її кінцево-елементний аналог (рис. 1, б). Нагрівання отвору відбувається тепловим потоком від зварювальної дуги, що по чергово діє на його ділянки (рис. 2, а), які виділені в моделі. Від ділянки, що нагрівається, тепло розповсюджується в тіло деталі.

Досліджувалась доцільність впливу на температурне поле та похідні температурні напруження в матеріалі навколо отвору з метою вирівнювання їх нерівномірності шляхом зміни потужності дуги під час наплавлення в залежності від її положення. Для цього в першому наближенні отвір деталі поділено на дві половини: одна примикає до масивної частини (1), що є тепловим акумулятором, а інша (2) - протилежна їй (рис. 2, а).

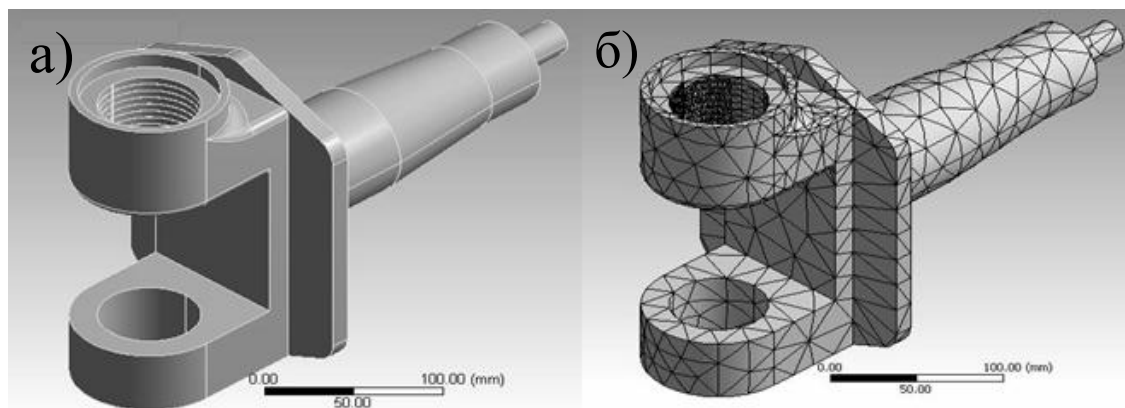


Рисунок 1 – Твердотільна модель групи деталей (а) та її кінцево-елементний аналог (б)

Модельні дослідження проведено для трьох випадків. У першому випадку наплавлення проводилось із сталою потужністю. У другому на половині 2 тепловий потік, що визначається потужністю на дузі, збільшувався на 10%, а на половині 1 відповідно зменшувався на 10% від початкового значення. У третьому випадку на половині 2 потужність на дузі зменшувалась на 10%, а на половині 1 відповідно збільшувалась на 10% від початкового значення.

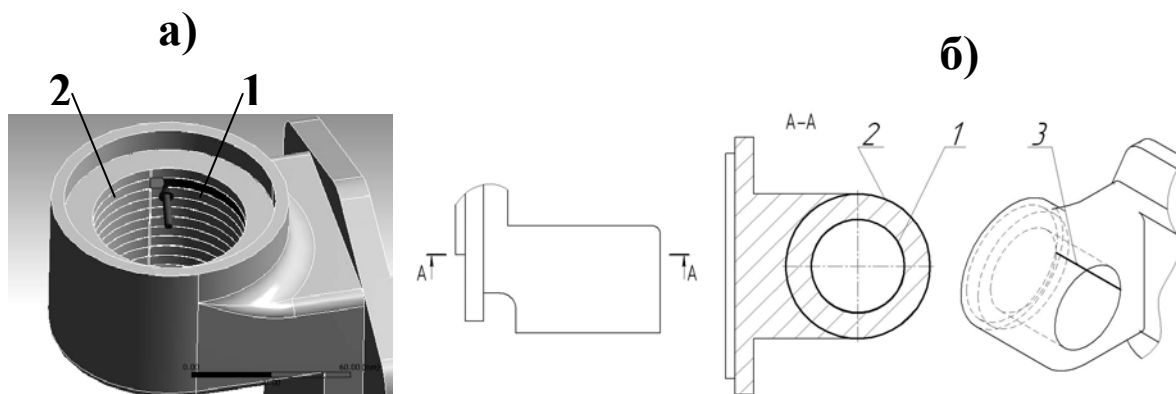
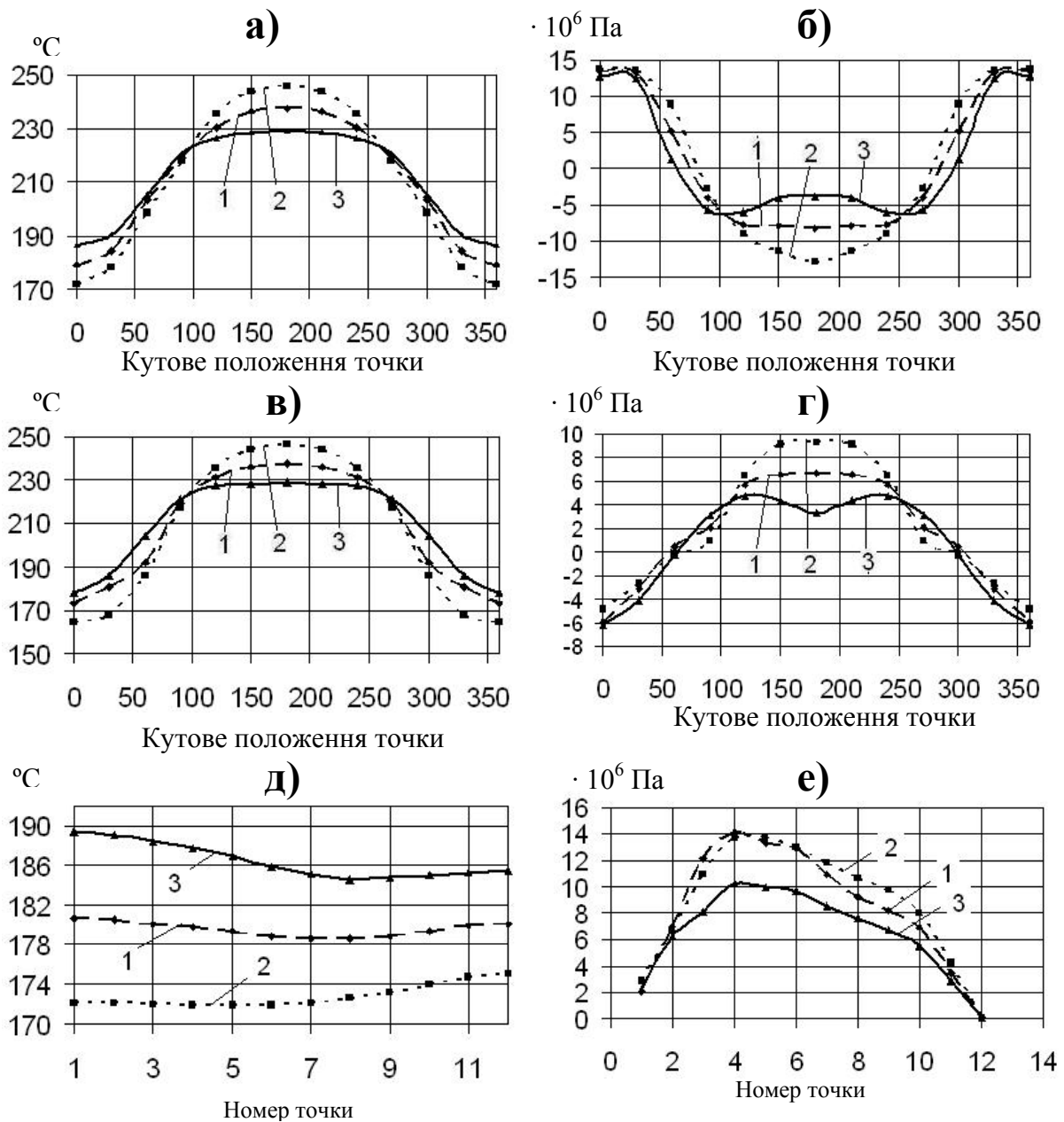


Рисунок 2 – Схема по чергового нагрівання ділянок деталі (а) та схема визначення температури та напружень в небезпечних перетинах (б)

Розподілення температури та напружень у визначеному перетині (рис. 2, б) показано на графіках (рис. 3). Температура (рис. 3, а, в) та напруження (рис. 3, б, г) визначалися в перетині А-А по колах 1 та 2 відповідно (рис. 2, б), де має місце

найбільша їх нерівномірність. Початок координат для кутового положення розташований на осі симетрії деталі по лінії 3 (рис. 2, б). Також по лінії 3 було визначено розподілення температур (рис. 3, д) та напружень (рис. 3, е) при різних



схемах проведення процесу наплавлення.

Рисунок 3 – Розповсюдження температур (а, в, д) та напружень (б, г, е) по перетинах деталі

Результати моделювання (рис. 3) процесу наплавлення із потужністю, що змінювалася в залежності від координати розташування дуги по відношенню до деталі, показали доцільність такого керування.

Як видно із рисунка 3, динамічне керування потужністю за схемою «3» дозволяє зменшити на 15 – 20% напруження, що виникають, за рахунок більш рівномірного розподілення температурного поля по об'єму деталі.

З метою реалізації динамічного керування потужністю процесу наплавлення було спроектовано та виготовлено відповідне обладнання. Для цього було

вдосконалено установку для автоматичного наплавлення в середовищі захисних газів УД-209М, зварювальний випрямляч ВДУ-506 УЗ; виготовлено інтерфейсний блок (ІБ), що сполучає ПК та зварювальний випрямляч; написано відповідне програмне забезпечення.

На установці УД-209М між привідними двигунами та редукторами додатково були встановлені індуктивні датчики, що визначали кутове положення деталі під час обертання та місцезнаходження наплавлювальної головки по глибині отвору.

Дані від індуктивних датчиків надходять через інтерфейсний блок до ПК, де проходять обробку. Програма, в залежності від кутового положення деталі та розташування наплавлювальної головки, надсилає сигнали керування потужністю наплавлення через інтерфейсний блок до зварювального випрямляча. Для цього у зварювальному випрямлячі замість резистора керування потужністю встановлено силовий транзистор КТ829.

ІБ виготовлено на основі процесора ATTINY 2313, який сполучається із персональним комп'ютером через стандартні роз'єми RS 232. Для запобігання інтенсивних електромагнітних перешкод, що супроводжують процес наплавлення, з метою забезпечення стабільності роботи ПК та інтерфейсного блока останній має гальванічну розв'язку по входу і по виходу, що реалізована за рахунок оптопар 4N35.

Введення необхідних даних для наплавлення, а саме – потужність наплавлення, а також координати, на які розповсюджується визначена потужність, забезпечується програмою DYNNAFLAVKA V1.1.

Структурна схема ведення процесу наплавлення з динамічним керуванням потужністю показана на рис. 4.

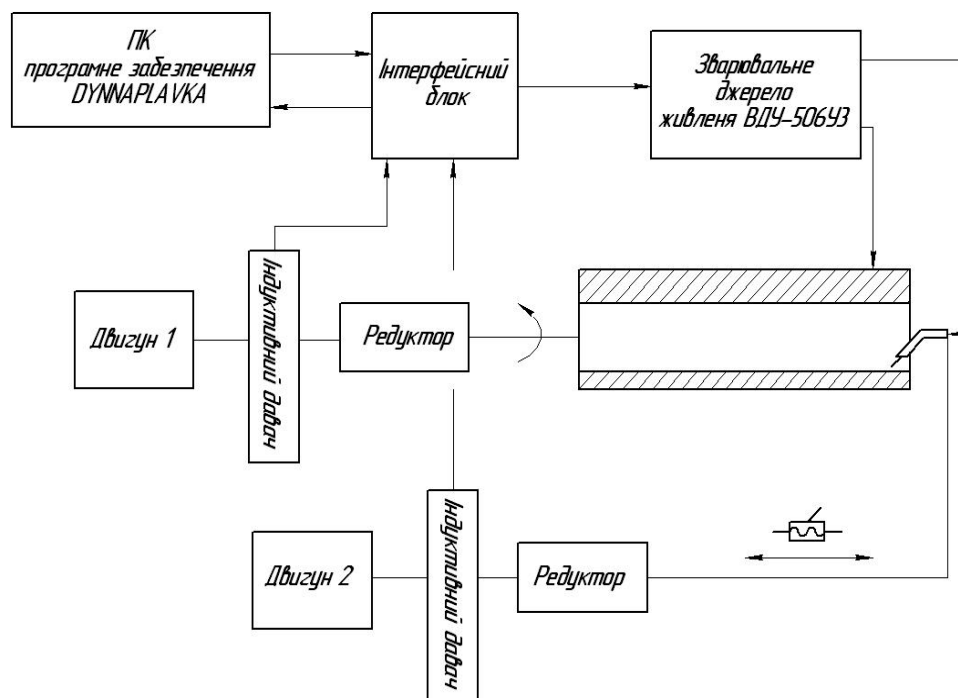


Рисунок 4 – Схема динамічного керування потужністю дуги

Висновки.

1. Встановлено, що змінюючи потужність на дузі під час наплавлення покриттів на поверхні отворів деталей машин, можна змінити конфігурацію температурного поля, що виникає. Зменшення нерівномірності температурних полів дозволяє зменшити на 15–20% пікові значення напружень, що формуються в деталі.

2. Оптимізацію режимів наплавлення за критерієм мінімізації нерівномірності температурних полів та напружень, визначення потужності дуги в залежності від положення наплавлювальної головки щодо деталі, доцільно проводити з використанням моделювання процесу наплавлення методом кінцевих елементів.

3. Геометрія деталі суттєво впливає на конфігурацію полів напружень, що спричинені температурними деформаціями. Моделювання процесу доцільно проводити на твердотільних моделях з врахуванням матеріалу, розмірів та форми деталі.

Список літератури

1. Молодик М.В. Відновлення деталей машин / Молодик М.В., Лангерт Б.А., Бредун А.К. – К.: Урожай, 1985. – 160 с.
2. Курчаткин В.В. Надежность и ремонт машин / Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., Ачкасов К.А. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
3. Черноиванов В.И. Организация и технология восстановления деталей машин / Черноиванов В.И. – М.: ГОСНИТИ, 2003. – 488 с.
4. Махненко В.И. Тепловые процессы при механизированной наплавке деталей типа круговых цилиндров / Махненко В.И., Кравцов Т.Г. – Киев: Наукова думка, 1976. – 159 с.
5. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / Сидоров А.И. - М.: Машиностроение, 1987. - 192 с.
6. Савуляк В.І. Температурні поля та деформації під час відновлення деталей транспортної техніки / Савуляк В.І., Заболотний С.А., Шенфельд В.Й. // Вісник СНУ ім. Володимира Даля. – 2009. - №11. С. 48-52.

С. Заболотный

Технология наплавки отверстий с уменьшенными температурными погрешностями

Обосновано целесообразность управления мощностью сварочной дуги в процессе наплавки покрытий на поверхности деталей сложной конфигурации. Показано, что такая технология наплавки позволяет уменьшить перепады температур и выровнять поле напряжений в детали, которые являются причиной искажения ее геометрии.

S. Zabolotny

Technology of surfacing openings with reduced temperature errors

Reasoned arguments concerning the control over the power of welding arc in the procedure of surfacing coating on the surfaces of the details having complicated configurations are well-founded here. It is also shown that such a technology of surfacing permits to reduce over falls of temperature and to even the field of tensions in the detail which is the reason of distortion of its geometry.

Одержано 10.12.09

УДК 629.113

А.П. Кравченко, д-р техн. наук, О.П. Сакно, асп.

Восточнoукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Луганск

К анализу методов оценки надежности автомобильных шин при устойчивом движении легкового автомобиля

В статье рассмотрена проблема оценки надежности автомобильных шин. Проанализированы основные причины, которые влияют на показатели надежности. Предложен статистический метод оценки показателей надежности.

автомобильные шины, причины отказов, надежность, статистика

Введение. В настоящее время уровень технологии производства автомобильных шин очень высок и постоянно развивается. Быстрое развитие автомобильной и шинной промышленности ставит сложную проблему выбора перед автомобилистом. Он должен сделать анализ из большого количества фирм, предлагающих автомобильные шины. Все они обещают повышенную безопасность и комфорт. Однако зачастую стоимость автомобильных шин не соответствует их качеству.

В современных транспортных средствах (ТС) весь процесс движения управляют и контролируют электронные системы, но влияние качества шин на безопасность, экономичность автомобиля они, в основном, не учитывают.

В современных условиях возрастает роль шин и их работоспособности как конструктивного элемента автомобиля. Работоспособность автомобильной шины – это состояние, при котором она способна выполнять заданные функции, сохраняя значение основных параметров, установленных нормативно-технической документацией. Это состояние объясняется возрастающими потребностями, растущей мощностью приводных агрегатов и новыми требованиями безопасности, экономичности и экологии. Текущее техническое состояние шины влияет на ее ресурс, процесс изнашивания и разрушения. Если оно не соответствует техническим условиям, то возрастает вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Статистические данные за 1993-2006г.г. показывают, что одной из основных причин возникновения ДТП является разрыв и износ протектора, составляющий 26% от общего числа неисправностей ТС [1].

Таким образом, постоянная оценка технического состояния шин, как экспериментальными, так и расчетными методами является важнейшей задачей. Ее решение позволит предотвратить преждевременное разрушение и изнашивание шин. Наиболее рационально эту оценку производить в виде анализа основных показателей надежности современных автомобильных шин.

Основная часть. Надежность автомобильной шины – это ее свойство сохранять в процессе эксплуатации свою работоспособность [2]. Это совокупность свойств безотказности, ремонтпригодности, сохраняемости и долговечности (рис. 1). Надежность шины зависит от различных внешних и внутренних факторов и оценивается многими критериями и показателями. Показатели задаются в технических требованиях и рассчитываются в процессе проектирования, оцениваются в процессе испытания (тестирования) и эксплуатации шины. При анализе основных показателей

надежности автомобильных шин рассматриваются необходимые конструктивно-технологические доработки, оценивается фактическая надежность и разрабатывается комплекс мероприятий по ее повышению. В сборе, обработке и анализе информации об отказах и неисправностях шин принимают участие автотранспортные предприятия (АТП), станции технического обслуживания (СТО), автомобильные заводы и высшие учебные заведения [3].



Рисунок 1 - Показатели надежности шин

Работу по сбору, обработке и анализу информации о показателях надежности автомобильных шин проводят путем заполнения соответствующих типичных форм – носителей информации, пересылки этих документов в организации, которые занимаются статистической обработкой и анализом, подготовкой рекомендаций по повышению надежности и дальнейшим доведением этих рекомендаций к предприятиям промышленности и транспорта.

Система сбора и обработки информации обеспечивает решение следующих основных задач: определение причин возникновения отказов и неисправностей; определение фактического уровня надежности автомобильных шин в разных условиях эксплуатации, а также разработка нормативов показателей надежности шин; разработка и оценка мероприятий, направленных на повышение надежности шин, как основы безопасности дорожного движения; обоснование ресурсов и сроков службы шин; обоснование режимов технического обслуживания (ТО) шин; обоснование норм затраты запасных частей и материалов; разработка и усовершенствования технических требований к автомобильной промышленности по повышению надежности и улучшению эксплуатационной технологичности автомобильных шин.

Комплексное обеспечение надежности автомобильных шин реализуется по двум направлениям: конструкционно-технологическому и организационно-техническому (рис. 2). Первое – характеризуется свойствами, заложенными в автомобильной шине на первых этапах жизненного цикла, – проектирование, технологическая подготовка к производству, производство. Второе – обеспечивается при эксплуатации и обслуживании шин и ТС в целом [4, 5].

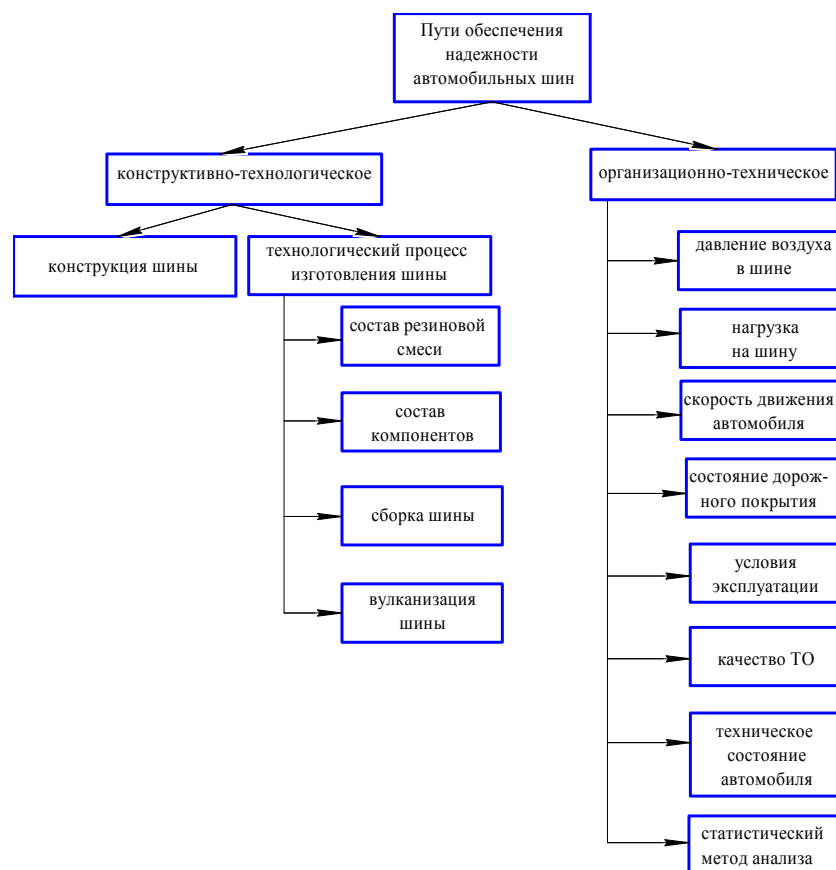


Рисунок 2 - Факторы, обуславливающие комплексное обеспечение надежности автомобильных шин

Исследуются способы повышения надежности шин автомобиля при конструировании и последующем изготовлении, а также приемы поддержки надежности во время их хранения и эксплуатации.

К организационно-техническим направлениям относится техническое состояние шины и автомобиля в целом; качество проведения ТО; опыт вождения водителя; условия эксплуатации, а также статистический метод анализа надежности.

Статистический метод анализа надежности позволяет оценить надежность автомобильной шины, выявить причины, характер и взаимосвязь их неисправностей. Выбор критериев зависит от типа шины, ее назначения и требуемой полноты оценки надежности. Оценка показателей надежности осуществляется в несколько этапов на основе статистических данных (рис. 3).

Основными этапами являются:

- оценка параметров распределения;
- вывод функции распределения для оценки основных показателей надежности;
- оценка надежности.

Расчеты показателей надежности, способы их обеспечения в процессе проектирования и изготовления, сбор данных об отказах автомобильных шин в процессе испытания (тестирования) и эксплуатации – это главные направления решения поставленной задачи.

Выводы. Таким образом, проведенный анализ методов оценки надежности позволяет разработать мероприятия по повышению показателей надежности автомобильных шин для устойчивости движения легкового автомобиля. Внедрение

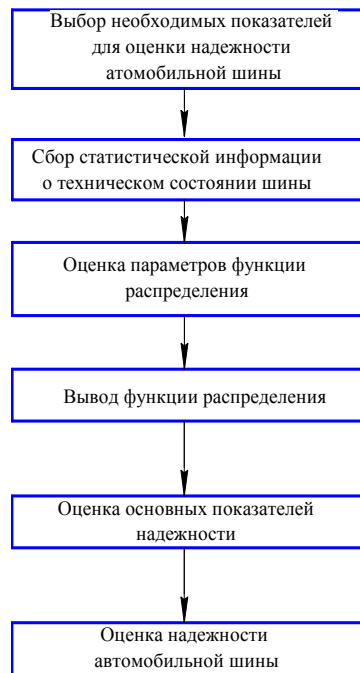


Рисунок 3 - Статистический метод оценки показателей надежности

этих мероприятий позволит оценить показатели надежности и затраты на поддержание шин в работоспособном состоянии, определить прогнозируемый ресурс шин по эксплуатационным показателям.

Список літератури

1. Попков В.А., Макаров В.А., Дугельный В.Н., Куплинов А.В. Об обеспечении безопасности дорожного движения // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2007. – №3. – С. 24 - 31.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
4. Надійність автомобільних поїздів: монографія./ О.В. Бажинов, О.П. Кравченко. - Луганськ: Вид-во «Ноулідж», 2009. - 412 с.
5. Ларин А.Н., Черток Е.Е., Юрченко А.Н. Колесные узлы современных автомобилей. – Харьков: «С.А.М.», 2004. – 260 с.

А. Кравченко, О. Сакно

До аналізу методів оцінки надійності автомобільних шин при стійкому русі легкового автомобіля

Розглянута проблема оцінки надійності автомобільних шин. Проаналізовані основні причини, які впливають на показники надійності. Запропоновано статистичний метод оцінки показників надійності.

A. Kravchenko, O. Sakno

Before the analysis of methods of estimation of reliability of motor-car tires at proof motion of passenger car

The problem of estimation of reliability of motor-car tires is considered. Principal reasons which influence on the indexes of reliability are analysed. The statistical method of estimation of indexes of reliability is utilized.

Одержано 10.12.09

УДК 629.113.004.5

Г.В. Дьяченко, доц., канд. техн. наук, Д.В. Боженко, ассист.

Восточнoукраинский национальный университет им. В. Даля, м. Луганск

Прогнозирование роли централизованного диагностирования автотранспортных средств АПК на региональных диагностических комплексах

В статье обоснована целесообразность применения системы централизованного диагностирования автомобилей АПК на основе организации и использования региональных диагностических комплексов. Целесообразность применения предлагаемой модели заключается в максимальном удовлетворении спроса владельцев автомобилей на выполнение диагностических воздействий в заданном регионе с минимальными затратами.

централизованная система, региональный диагностический комплекс, плечо подачи

По мере перехода экономики Украины на рыночные отношения, произошли коренные изменения в ее хозяйственном механизме, в том числе в транспортной системе и особенно в подсистеме автомобильного транспорта. Высокие темпы роста численности парка автомобилей по всем регионам страны обусловлены, в основном, притоком зарубежных моделей, как новых, так и бывших в эксплуатации. Эти автомобили, с одной стороны конструктивно совершеннее автомобилей, выпускаемых заводами стран СНГ, а с другой – поддержание их технико-эксплуатационных характеристик требует применения более сложных средств диагностики и современного автосервиса. К сожалению, система автосервиса АПК к этому не была подготовлена. Она, как исполнитель, не смогла осуществить использование совокупности всех средств, способов и методов по обеспечению высокой работоспособности, экономичности, дорожной и экологической безопасности через предоставление платных услуг юридическим и физическим лицам – владельцам автотранспортных средств.

В то же время шестимиллионный парк легковых автомобилей требует качественного выполнения значительного объема технических воздействий, обеспечивающих надежную и эффективную эксплуатацию.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что накопленный потенциал возможностей технической диагностики в получении объективной информации о фактическом состоянии каждого автомобиля не нашел массового применения в АПК. Это не позволяет оперативно управлять объемами и регламентом, производственными ресурсами и технологическими процессами ремонтно-профилактических воздействий на строго научной основе.

Для этой цели не использованы имеющиеся условия и факторы ранее разработанной математической модели [1], которые определяли процесс структурного развития производства – возможности централизации, специализации, кооперирования и оптимального размещения предприятий автосервиса.

По нашему мнению для реализации новой концепции профилактического обслуживания и ремонта автомобилей по их фактическому техническому состоянию на базе диагностической информации, должна функционировать система централизованного диагностирования автомобилей на основе организации и использования региональных диагностических комплексов (“СЦДА – РДК”). Оценка ее

ефективності производится с помощью моделей на основе сравнения различных вариантов формирования системы и последовательного учета составляющих параметров функционирования структурной производственной единицы – РДК по технико-экономическим критериям.

При таком подходе появляются возможности эффективного использования высокопроизводительного оборудования, снижения производственных затрат в результате специализации рабочих мест и производства в целом, расширения рациональных производственных связей, а также технологических форм. Это дает возможности более производительно использовать трудовые ресурсы, как в сфере автосервиса, так и в сфере эксплуатации автомобильного транспорта и, самое главное, на основе полученной и накопленной диагностической информации повышать надежность и ресурс за счет оптимизации процессов ремонтно-профилактических воздействий, выполняемых на одном из действующих совместно с РДК автосервисных подразделениях. Благодаря такому взаимодействию станет реальной корректировка периодичности контроля и обслуживания на основе прогноза работоспособности всего парка автомобилей региона.

В первую очередь для этой цели должны использоваться уже действующие диагностические комплексы (ДК), которые приобретают статус РДК. Предлагаемая модель позволяет обоснованно создавать новые РДК с оптимальным радиусом охвата определенной территории региона с учетом количества, мест дислокации и маршрутов работы автомобилей.

В качестве критерия эффективности в модели выбрана совокупность приведенных затрат $\sum C$ на выполнение одного диагностического воздействия

$$\sum C = C_{\partial} + C_l, \quad (1)$$

где C_{∂} – затраты на выполнение диагностического воздействия, грн;

C_l – на подачу автомобиля на РДК, грн/км.

Слагаемое C_{∂} определяется зависимостью [2]

$$C_{\partial} = \frac{1.237 \cdot C_{об} \cdot L_{\partial}}{N_{cn} \cdot L_2}, \quad (2)$$

где $C_{об}$ – стоимость диагностического оборудования, грн;

1,237 – суммарный коэффициент, учитывающий амортизационные отчисления и эксплуатационные расходы по оборудованию;

L_{∂} – периодичность диагностирования, км;

N_{cn} – списочное количество автомобилей региона, диагностируемых на РДК, ед.;

$$N_{cn} = N_{ок} + N_l, \quad (3)$$

где $N_{ок}$ – автомобили, дислоцируемые на одной территории с РДК или расположены на расстоянии, которым можно пренебречь, ед.;

N_l – автомобили автохозяйств или владельцев, расположенных на различных расстояниях L_l от РДК, ед.;

L_2 – годовой пробег автомобиля, км.

При определении плеча подачи автомобилей из автохозяйств или мест дислокации, расположенных на определенном удалении от РДК, учитывается не только это расстояние, но и маршруты движения автомобилей (с целью возможности их подачи на РДК с экономически выгодной для владельца точки).

С учетом этих особенностей затраты, связанные с перегоном автомобилей на

РДК, определяются как произведение средних удельных затрат подачи автомобиля C_k на их количество в регионе. Численность автомобилей N_l , диагностируемых на РДК, зависит от плотности их распределения γ , которая в модели принята равномерной по всей территории региона площадью S_p . Тогда:

$$N_l = \gamma \cdot S_p. \quad (4)$$

Общее количество автомобилей, обслуживаемых на РДК в зоне радиуса L_k , составит

$$N_l = \pi \cdot \gamma \cdot L_k^2. \quad (5)$$

С учетом (3) и (5) выражение (2) примет вид

$$C_d = \frac{1,237 \cdot C_{об} \cdot L_d}{(N_{ок} + \pi \cdot \gamma \cdot L_k^2) \cdot L_2}. \quad (6)$$

Составляющую C_l находим, определяя вначале затраты, связанные с перегонем “туда и обратно” всех автомобилей на расстояние L_k

$$C_{N_l} = 4\pi C_k \gamma \cdot \int_0^{L_k} L_k^2 dl_k = \frac{4}{3} \pi \cdot C_k \cdot \gamma \cdot L_k^3, \quad (7)$$

где C_k – удельные затраты на перегон автомобиля, грн/км.

Затраты на перегон дислоцирующихся на территории РДК или на незначительном расстоянии, будут минимальными и поэтому в модели не учитываются.

В итоге затраты на перегон каждого автомобиля до РДК составят:

$$C_l = \frac{C_{N_l}}{N_l} = \frac{\frac{4}{3} \pi \cdot C_k \cdot \gamma \cdot L_k^3}{\pi \cdot L_k^2 \cdot \gamma} = \frac{4}{3} C_k L_k. \quad (8)$$

В соответствии с полученными зависимостями (6), (8) целевая функция системы “СЦДА-РДК” примет такой вид:

$$\sum C = \frac{1,237 \cdot C_{об} \cdot L_d}{(N_{ок} + \pi \cdot \gamma \cdot L_k^2) \cdot L_2} + \frac{4}{3} C_k \cdot L_k, \quad (9)$$

а критерием оценки эффективности функционирования системы в данном случае целесообразно принять минимум суммарных затрат и плечо подачи автомобиля на РДК. Функция цели примет вид

$$\sum C \rightarrow \min, \quad (10)$$

где L_k – var.

В развернутом виде с учетом (6), (8) и (12) функция цели такова:

$$\sum C = \frac{1,237 \cdot C_{об} \cdot L_d}{\pi \cdot L_k^2 \cdot \gamma \cdot L_2} + \frac{4}{3} C_k \cdot L_k \rightarrow \min. \quad (11)$$

Условие получения наибольшего суммарного экономического эффекта предопределяется влиянием двух факторов – привлечения дополнительного количества обслуживаемых автомобилей на РДК и роста затрат за счет появления дополнительных расходов на подачу автомобилей из автохозяйств, дислоцирующихся на различных расстояниях от РДК.

Анализ выражения (9) показывает, что первое слагаемое представляет собой квадратичную гиперболу, а второе – линейную функцию аргумента L_k . Суммарная кривая $\sum C$ имеет ярко выраженный экстремум, минимум которого соответствует оптимальному значению L_k^{opt} плеча подачи автомобилей на РДК, при котором

ефективність “СЦДА-РДК” – максимальна.

При $N_{ок} = 0$ возможно аналитическое отыскание L_K^{opt} решением дифференциального уравнения

$$\frac{d\sum C}{dL_K} \quad (12)$$

В результате

$$L_K^{opt} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 1,237 \cdot C_{об} \cdot L_0}{2\pi \cdot \gamma \cdot L_2 \cdot C_K}} \quad (13)$$

В том случае если $N_{ок} \neq 0$, определение траектории L_K^{opt} можно определить аналитическим методом Декарта-Эйлера или численным методом.

Для определения выгодности функционирования “СЦДА-РДК” целесообразно сравнивать кривую суммарных затрат (9) с экономической эффективностью диагностирования. Кривая суммарных затрат $\sum C$ два раза пересекается с прямой $C_{эф}$ и имеет минимум. При убывании от начальной точки плечо подачи $L_K = L_K^H$ будет расстояние, на котором может быть привлечено такое количество автомобилей на диагностирование, когда затраты на создание РДК окупятся, при этом $\sum C = C_d + C_l = C_{эф}$, где $C_{эф}$ – экономический эффект от диагностических воздействий.

Внутри диапазона плеча подачи $L_K^H - L_K^B$ эффективность функционирования системы положительна и достигает максимума в точке L_K^{opt} , где прибыль равна

$$C_{эф} - \sum C_{min} = C_{эф} - (C_d + C_l)_{min} = MAX. \quad (14)$$

В точке пересечения затрат при увеличившемся плече подачи до $L_K = L_K^B$ эффективность системы равна нулю из-за значительно возросших затрат на подачу автомобилей на РДК, при котором:

$$\sum C = C_d + C_l = C_{эф} \quad (15)$$

Вне диапазона $L_K^H - L_K^B$, т.е. когда $L_K < L_K^H$, система не эффективна из-за неполной загрузки РДК, а при $L_K > L_K^B$ затраты, связанные с перегонем автомобилей на РДК настолько значительны, что превышают ожидаемый экономический эффект от выполнения диагностических воздействий. Следовательно, экономически целесообразным плечом подачи автомобилей на РДК является диапазон расстояний между L_K^H и L_K^B , т.е. $L_K^H < L_K < L_K^B$.

В заключении необходимо отметить, что выбор мощности РДК и его технического обеспечения должен осуществляться с учетом возможности удовлетворения спроса владельцев на диагностирование автомобилей различных автохозяйств региона, дислоцирующихся на экономически оправданном плече подачи.

Таким образом, целесообразность применения предлагаемой модели для дальнейшего совершенствования системы автосервиса заключается в максимальном удовлетворении спроса владельцев на выполнение диагностических воздействий автомобилей в заданном регионе с минимальными затратами. Предлагаемый путь создания системы “СЦДА-РДК” приводит к экономии средств на строительство и функционирование РДК, обеспечение владельцам автомобилей надежную и безопасную работу, а РДК – прибыль.

При этом следует отметить, что полученная модель удовлетворяет выработанным принципам построения автосервисной системы страны [2,3]. Она соответствует созданию системы с учетом оптимизации структуры и установлению оптимального соотношения автосервисных предприятий различной мощности, что

обеспечивает устойчивое развитие системы.

Список литературы

1. Клейнер Б.С., Дьяченко Г.В. Модель оптимального плеча подачи автомобилей на диагностические комплексы крупных АТП.// Проблемы технической эксплуатации автомобилей: Сб. науч. ст.– М.: НИИАТ, 1980.–С. 32–42.
2. Мирошников Л.В. и др. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях.–М.: Транспорт, 1977.–264 с.
3. Туренко А.Н., Гогайзель А.В. Нетрадиционный подход, концепция и модели устойчивого развития автосервисной системы.// Вестник ХГПУ.– Вып. 62.– Харьков, 1999.

Г. Дьяченко, Д. Боженко

Прогнозування ролі централізованого діагностування автотранспортних засобів АПК на регіональних діагностувальних комплексах

В статті обґрунтована доцільність застосування системи централізованої діагностики автомобілів АПК на основі організації і використання регіональних діагностичних комплексів. Доцільність застосування запропонованої моделі полягає в максимальному задоволенні попиту власників автомобілів на виконання діагностичних дій в заданому регіоні з мінімальними витратами.

G. Dyachenko, D. Bozhenko

Prognostication of role of the centralized diagnosing of vehicles of APK on regional diagnostic complexes

In the article the expedience of application of the system of the centralized diagnosing of cars of APK on the basis of organization and use of regional diagnostic complexes is grounded. Expedience of application of the offered model consists in maximal satisfaction of demand of proprietors of cars on implementation of diagnostic influences in the set region with minimum expenditures.

Одержано 10.12.09

УДК 621.391.83

Л.Г. Віхрова, проф., канд. техн. наук, В.А. Бісюк, асп., Є.П. Босов, доц.

Кіровоградський національний технічний університет

Математичні основи процесу індукційного нагрівання деталей машин і наплавлення композиційних покриттів

Наведено результати аналізу досліджень систем і принципів керування технологічним процесом індукційного наплавлення зміцнюючих композиційних покриттів, розглянуто задачу забезпечення незалежності якості процесу нанесення КП від впливу зовнішніх факторів і проблеми автоматизації технологічного процесу індукційного наплавлення, запропоновано математичну модель для процесу індукційного нагрівання теплотехнічно тонкого тіла.

індукційне наплавлення, композиційний матеріал, композиційне покриття, керування технологічним процесом, автоматизація процесу

© Л.Г. Віхрова, В.А. Бісюк, Є.П. Босов, 2010

обеспечивает устойчивое развитие системы.

Список литературы

1. Клейнер Б.С., Дьяченко Г.В. Модель оптимального плеча подачи автомобилей на диагностические комплексы крупных АТП.// Проблемы технической эксплуатации автомобилей: Сб. науч. ст.– М.: НИИАТ, 1980.–С. 32–42.
2. Мирошников Л.В. и др. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях.–М.: Транспорт, 1977.–264 с.
3. Туренко А.Н., Гогайзель А.В. Нетрадиционный подход, концепция и модели устойчивого развития автосервисной системы.// Вестник ХГПУ.– Вып. 62.– Харьков, 1999.

Г. Дьяченко, Д. Боженко

Прогнозування ролі централізованого діагностування автотранспортних засобів АПК на регіональних діагностувальних комплексах

В статті обґрунтована доцільність застосування системи централізованої діагностики автомобілів АПК на основі організації і використання регіональних діагностичних комплексів. Доцільність застосування запропонованої моделі полягає в максимальному задоволенні попиту власників автомобілів на виконання діагностичних дій в заданому регіоні з мінімальними витратами.

G. Dyachenko, D. Bozhenko

Prognostication of role of the centralized diagnosing of vehicles of APK on regional diagnostic complexes

In the article the expedience of application of the system of the centralized diagnosing of cars of APK on the basis of organization and use of regional diagnostic complexes is grounded. Expedience of application of the offered model consists in maximal satisfaction of demand of proprietors of cars on implementation of diagnostic influences in the set region with minimum expenditures.

Одержано 10.12.09

УДК 621.391.83

Л.Г. Віхрова, проф., канд. техн. наук, В.А. Бісюк, асп., Є.П. Босов, доц.

Кіровоградський національний технічний університет

Математичні основи процесу індукційного нагрівання деталей машин і наплавлення композиційних покриттів

Наведено результати аналізу досліджень систем і принципів керування технологічним процесом індукційного наплавлення зміцнюючих композиційних покриттів, розглянуто задачу забезпечення незалежності якості процесу нанесення КП від впливу зовнішніх факторів і проблеми автоматизації технологічного процесу індукційного наплавлення, запропоновано математичну модель для процесу індукційного нагрівання теплотехнічно тонкого тіла.

індукційне наплавлення, композиційний матеріал, композиційне покриття, керування технологічним процесом, автоматизація процесу

Постановка проблеми

Найбільш поширеним способом зміцнення робочих поверхонь деталей сільськогосподарської техніки є індукційне наплавлення композиційних покриттів (КП). В його основі лежать процеси нагрівання і розплавлення присадного матеріалу струмами високої частоти (СВЧ). Для наплавлення використовується спеціальна порошкоподібна шихта, що складається з гранульованого твердого сплаву і флюсів на основі бури і борного ангідриду в певному ваговому співвідношенні. Шихту наносять на поверхню, що підлягає наплавленню, вводять в спеціальний індуктор високочастотної установки. Джерелом живлення, як правило, служать лампові високочастотні установки типу ЛЗ, ВЧС і ВЧГ або транзисторні ФД, ВГТ, СЧГ.

Постійне зростання вимог до якості композиційних покриттів та енергозбереження обумовлює підвищення потреб до керованості технологічних процесів індукційного наплавлення КП. Ці вимоги можна задовільнити шляхом розробки та впровадження сучасних засобів автоматизації процесів управління основними етапами індукційного наплавлення КП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як показав аналіз наукових публікацій, на сьогодні задача комплексної автоматизації процесу зміцнення робочих поверхонь деталей індукційним наплавленням композиційних покриттів не вирішена в повному обсязі. Найбільш загальні принципи керування об'єктом індукційного нагрівання (ІН) сформульовані в роботах [1,2]. На підставі отриманих аналітичним методом передатних функцій об'єкта виконано аналіз динаміки АСУ теплового режиму процесу ІН. Показано, що АСУ теплового режиму ІН схильна при досить великому коефіцієнті підсилення до незатухаючих коливань, що приводить до термічної деформації деталей та енергетичних перевитрат.

На сучасному етапі розв'язання задач автоматизованого керування режимами індукційного нагрівання (ІН) при наплавленні КП зводиться, як правило, до синтезу систем стабілізації того або іншого параметра процесу або створенню систем програмного регулювання. Але залишається невирішеною задача забезпечення незалежності якості процесу нанесення КП від впливу зовнішніх факторів, вимагають вдосконалення методи і алгоритми вимірювання і регулювання температури КП в процесі наплавлення, що враховують наявність невизначеностей при синтезі регулюючих дій, завдання адаптації моделей і алгоритмів управління до особливостей конкретної установки індукційного наплавлення, номенклатури деталі та складу шихти (композиційного матеріалу), а також завдання підтримки ухвалення ефективних рішень при відхиленні від нормального протікання процесу.

Метою даної роботи є дослідження властивостей технологічного процесу індукційного нагрівання деталей та нанесення КП, а також математичної моделі процесу індукційного нагрівання.

Процес індукційного наплавлення КП характеризується складними взаємодіями електромагнітних і теплофізичних параметрів системи «індуктор-деталь-покриття» з температурою матеріалу деталі і покриття, зміною їх за часом і по об'єму і площині деталі. Це визначає відповідний підхід до індукційного нагрівача як об'єкта автоматичного управління з розподіленими параметрами.

Процес індукційного нагрівання матеріалу деталі СВЧ описується в загальному випадку взаємозалежною системою рівнянь Максвелла і Фур'є для електричного і теплового [1,3] полів:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{rot} \vec{H} = \vec{\delta} \\ \text{div} \vec{H} = 0 \\ c(\theta)\rho(\theta) \frac{d\theta}{dt} - \text{div}[\lambda(\theta)\text{grad}\theta] + v \cdot \text{grad}\theta = W(h, \theta) \end{array} \right. , \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{rot} \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt} \\ \text{div} \vec{B} = 0 \end{array} \right. , \quad (1)$$

де B – магнітна індукція;

E – напруженість електричного поля;

H – напруженість магнітного поля;

Θ – температура виробу, що нагрівається;

$\lambda(\theta)$, $c(\theta)$, $\rho(\theta)$ – коефіцієнти теплопровідності, теплоємності і питомого опору матеріалу заготовки;

v – швидкість відносного переміщення заготовки й індуктора;

$W(h, \theta)$ – функція розподілу внутрішніх джерел тепла.

Система рівнянь (1) у загальному випадку аналітично розподілена відносно розподілу температури тіла, що нагрівається, у часі і просторі. Однак, відомий ряд практично важливих ситуацій, при дослідженні яких можна ввести допущення, які не змінюють сутності явища, але значно спрощують рішення задачі:

а) мала інерційність електромагнітних процесів у порівнянні з тепловими дає можливість при вивченні нестационарних теплових режимів знехтувати впливом перехідних процесів електромагнітного поля;

б) у типових ситуаціях, що характеризуються великою величиною відношення довжини нагрівача до діаметра заготовки, впливом крайових ефектів можна знехтувати;

в) при досить великій потужності, яка виділяється в процесі нагрівання в поверхневому шарі заготовок, величина теплового потоку в радіальному напрямку принаймні на порядок більше, що свідчить про те, що передачею тепла по осі заготовок можна знехтувати, тобто прийняти $\lambda_x = 0$.

З урахуванням прийнятих допущень, процес індукційного нагрівання заготовки радіусом R може бути представлений неоднорідним диференціальним рівнянням теплопровідності Фур'є, що у циліндричних координатах приймає вид

$$\gamma c(\theta) \frac{d\theta}{dt} = \frac{d}{dr} \left[\lambda_r(\theta) \frac{d\theta}{dr} + \frac{\lambda_x(\theta)}{r} \frac{d\theta}{dr} \right] - \gamma c(\theta) v(t) \frac{d\theta}{dx} + W(r, x, \theta, P) \quad (2)$$

де r – радіальна координата об'єкта;

γ – питома вага матеріалу заготовки;

P – потужність джерел тепловиділення;

λ_r , λ_x – коефіцієнти теплопровідності, що враховують анізотропність властивості деталі, яка нагрівається, по координатах.

Залежність теплофізичних параметрів $\lambda(\theta)$, $c(\theta)$, $\rho(\theta)$ носить суттєво нелінійний характер. Однак, при дослідженні деяких конкретних режимів нагрівання виявляється можливим, прийняти усереднені значення цих параметрів.

Враховуюче зазначене, процес індукційного нагрівання можна представити у вигляді

$$\frac{d\theta}{dt} = a \left[\frac{d^2\theta}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\theta}{dr} \right] - v(t) \frac{d\theta}{dx} + \frac{W(r, x, \theta, P)}{\gamma c} \quad (3)$$

де $a = \frac{\lambda}{\gamma c}$ – коефіцієнт теплопровідності.

В ряді робіт [1–3,5], присвячених рішенням задач теплопровідності з урахуванням об'ємного розподілу джерел тепла, що нелінійно залежить від

температури, складна нелінійна залежність розподілу потужності внутрішніх джерел тепла від температури по довжині нагрівача апроксимується східчастою функцією координати, яка, як правило, має три ділянки сталості, у межах кожного з яких фізичні властивості сталі вважаються постійними. У «холодній» зоні нагрівання, де температура будь-якої точки перерізу заготовки нижче температури магнітних перетворень, джерела тепла практично зосереджені на поверхні виробу, і процес нагрівання можна розглядати при граничних умовах II роду без врахування внутрішніх джерел тепла.

У «проміжній» зоні, де шари металу, починаючи від поверхні, проходять при нагріванні точку Кюрі, магнітна проникність від шару до шару різко змінюється, приводячи до невизначеності закону розподілу потужності джерел, що гріють, по об'єму виробу.

У „гарячій” зоні нагрівання, заготовки, що нагріваються, втрачають феромагнітні властивості, закон розподілу джерел тепла по радіусі виробу визначається однозначно як для парамагнітного тіла. Для цієї зони характер розподілу потужності теплових джерел по довжині можна вважати постійним [1,4,5].

Прийнята апроксимація дозволяє виключити нелінійну залежність функції розподілу джерел тепла від температури, замінивши її відомою функцією від просторової координати. З урахуванням зазначеного, маємо

$$\frac{d\theta}{dt} = a \left[\frac{d^2\theta}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\theta}{dr} \right] - \nu(t) \frac{d\theta}{dx} + \frac{W(r, x, P)}{c\gamma} \quad (4)$$

Для одержання однозначного рішення необхідно використовувати відповідні крайові умови, що задають початковий стан і закон теплообміну на поверхні тіла, що нагрівається.

При дослідженні процесу індукційного нагрівання теплотехнічно тонкого тіла математична модель процесу може бути представлена у вигляді:

$$\frac{d\theta}{dt} = \nu(t) \frac{d\theta}{dx} + \frac{1}{c\gamma} Q(x, t) - \beta(\theta) [\theta - \theta_{cp}(t)] \quad (5)$$

$$\beta(\theta) = \frac{2\alpha(\theta)}{c\gamma R}$$

де $\alpha(\theta)$ – коефіцієнт теплообміну між поверхнею виробу, що нагрівається, і середовищем. Для теплотехнічно тонкого тіла ця залежність також може бути представлена як функція координати x .

Висновки

Найбільш раціональним шляхом підвищення продуктивності процесу індукційного наплавлення та якості деталей, зміцнених КП є застосування автоматизованої системи, що дозволить виключити вплив «людського чинника» на результат технологічного процесу нанесення КП, а також оптимізувати його за заданим критерієм. Запропонована математична модель індукційного нагрівання теплотехнічно тонкого тіла з урахуванням особливостей вимог до індукційного наплавлення КП надає змогу розробити алгоритми керування для АСУ технологічним процесом нанесення зміцнюючих композиційних покриттів.

Список літератури

1. Зимин Л.С. Модели и методы оптимального управления и проектирования систем индукционного нагрева / Зимин Л.С., Казаков А.А., Сабуров в.В., Данилушкин А.И., Лившиц М.Ю., Самохвалова Л.Ф. // Сб. мат. Всесоюзной конф. «Теория и методы математического моделирования». – М.: Наука, 1978.

2. Казаков А.А., Разработка и исследование алгоритмов и систем оптимального управления индукционным нагревом металла: Автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук.– Куйбышев, 1975.
3. Кривочуров Н.Т. Способы контроля тепловложения при индукционной наплавке/ Кривочуров Н.Т., Иванайский В.В., Иванайский Е.А., Деризин В.Я. //Вестник Алтайского государственного аграрного университета.– Вып. 14.– Механизация и электрификация сельского хозяйства.– Барнаул, 2007. - С. 61-62.
4. Аулін В.В. Керування та моніторинг процесів приготування композиційних матеріалів та нанесення композиційних покриттів на деталі машин/ Аулін В.В, Віхрова Л.Г., Бісюк В.А., Бобрицький В.М. //Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства.– Вип. 37.– Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. –Т. 2. – Харків, 2005.– С.174–178
5. Безменов Ф.В. Некоторые особенности протекания процесса нагрева цилиндрических деталей при заданных значениях температуры на поверхности и глубине закалки/ Безменов Ф.В. // Индукционный нагрев. – 2008.– №5. – С. 3–11.

Л. Вихрова, В. Бисюк, Е. Босов

Математические основы процесса индукционного нагрева деталей машин и наплавки композиционных покрытий

Приведены результаты анализа исследований систем и принципов управления технологическим процессом индукционной наплавки защитных композиционных покрытий, рассмотрена задача обеспечения независимости качества процесса нанесения КП от влияния внешних факторов, а также проблема автоматизации технологического процесса индукционной наплавки, предложена математическая модель для процесса индукционного нагрева теплотехнически тонкого тела.

L. Vihrova, V. Bisuk, E. Bosov

Mathematical foundations of the process of induction heating machine parts and deposition of composite coatings

Results of the analysis of research systems and the principles of process control the induction of protective surfacing composite coatings, considered the problem of ensuring the independence of the quality of the coating process manual of the influence of external factors, as well as to automate the process of induction welding process, mathematical model for the process of induction heating of heat-thin body.

Одержано 14.12.09

УДК 621.791.92

О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук, О.Б. Чайковський, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

А.Н. Лутай, ст. викл.

Національний технічний університет України «КПІ»

Зміцнення деталей сільськогосподарських машин сучасними технологіями

Проаналізовані відомі методи підвищення зносостійкості робочих органів (деталей) сільськогосподарських машин. Запропонована нова технологія зміцнення деталей сільськогосподарських машин лазерною наплавкою композиційних матеріалів з термомеханічною обробкою. Наведені результати порівняльних випробувань найбільш ефективних твердих наплавлень. Намічені подальші дослідження стосовно ґрунтово-кліматичних умов Кіровоградської області.

аналіз, методи, зносостійкість, сільськогосподарські машини, деталі, тверді сплави, наплавлення, випробування

Актуальність теми. Підвищення зносостійкості робочих органів (деталей) сільськогосподарських машин (корпусів плуга, культиваторних лап, дисків, борін луцильників та ін.) є актуальним завданням.

Над вирішенням цієї проблеми ведуться фундаментальні і прикладні дослідження в лабораторії зносостійкості інституту механізації та електрифікації сільського господарства УААН, в галузевих наукових лабораторіях, у тому числі в Кіровоградському національному технічному університеті [1].

Відомо декілька способів підвищення зносостійкості і міжремонтного ресурсу робочих органів. Основними з них є: підбір матеріалу деталі, початкової товщини леза і кута заточування; зміцнююча технологія (загартування); вдосконалення геометрії і технології виготовлення робочих органів, що самозаточуються (лемешів плуга, культиваторних лап, ножів бульдозера, щілинорізів і ін.).

Проведені в КНТУ дослідження спрацювання культиваторних лап показали, що правильним підбором матеріалу, початкової товщини леза і кута заточування можна збільшити міжремонтний термін лап з однорідним лезом не більше ніж в 1,5–2 рази.

Приблизно такі ж результати були отримані при випробуванні загартованих лап [2].

Тому останнім часом розробки на вдосконалення геометрії і технології виготовлення деталей, що самозаточуються.

Для забезпечення самозаточування необхідно, щоб лезо складалося з двох шарів: зносостійкого – ріжучого і несучого, додаючого лезу міцність і жорсткість. Від зносостійкості матеріалу ріжучого шару і його товщини залежить знос леза по ширині, а отже, термін служби деталі. Тому для ріжучого шару необхідний матеріал, що має високу зносостійкість і, насамперед абразивну зносостійкість. Найбільш широко поширений абразив – це кварцевий пісок. Він входить до складу ґрунтів, пилу і єголовним агентом, що знос робочих деталей сільськогосподарських, транспортних і інших машин.

Основний матеріал. З метою визначення відносної зносостійкості наплавлень для лемешів плугів в КНТУ [1] були проведені польові випробування. На лезах лемешів кріпилися зразки з наплавлювальних матеріалів, що мали форму леза. Склад випробуваних матеріалів і їх відносна зносостійкість (щодо лемішної сталі Л53 незагартованої) приведені в таблиці 1.

Результати випробувань на абразивне зношування виражаються у вигляді відносної зносостійкості ε [3]

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_{\varepsilon}}{\Delta l_n}, \quad (1)$$

де Δl_{ε} – лінійний знос еталону;

Δl_n – лінійний знос випробовуваного металу.

Якщо знос визначається по втраті ваги випробовуваними зразками, відносна зносостійкість буде виражена

$$\varepsilon = \frac{\Delta G_{\varepsilon}}{\Delta G_n}, \quad (2)$$

де ΔG_{ε} – ваговий знос еталону;

ΔG_n – те ж випробовуваного металу.

Таблиця 1 -Результати випробувань наплавлень на плугових лемешах

Найменування наплавлення	Твердість HRC	Хімічний склад %								Відносна зносостійкість ε
		З	Cr	Ni	Mn	Si	W	B	Fe	
Сталь Л53 (еталон)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0
T620*	51	4,90	20,0	–	1,3	2,3	–	1,1	останнє	5,9
Сплав Южакова	47	2,50	4,30	–	1,5	–	–	0,37	останнє	6,0
БХ	52	0,12	35,0	–	–	–	–	6,75	останнє	6,5
Сталіт**	51	2,00	28,0	1,0	–	2,5	4,5	–	2	6,8
Суміш карбіду кремнію (20%) та хрому(80%, лазерне оплавлення)	54	10,0	18,0	–	15,0	–	–	–	останнє	6,9
Сормайт I	50	3,10	28,0	3,0	1,5	3,5	–	–	останнє	7,7
КБХ	52	2,55	24,9	–	–	–	–	0,96	останнє	8,8
Реліт	50	4,00	–	–	–	–	96,0	–	останнє	17,5

* 0,57% Ti

** 60% З

Відносну зносостійкість визначають виходячи з втрати маси (ваги) тоді, коли щільність випробовуваного матеріалу і еталону практично однакові. Інакше користуються формулою (1), вимірюючи лінійний знос мікрометром.

Найбільше вживання в ремонтній практиці знайшли тверді наплавлювальні сплави сормайт, сталіт, суміш карбіду кремнію та хрому, КБХ, реліт. Матеріали, що входять у вказані наплавлювальні сплави, окрім реліта, відносяться до системи залізо – вуглець – хром і композиційних матеріалів. Результати досліджень зразків цих наплавлювальних сплавів виявили їх структуру, що складається з надлишкових карбідів хрому і ледебуритної евтектики. Введення в сплав КБХ близько 1% бору дещо підвищує твердість і зносостійкість і помітно знижує ударну в'язкість. Структура сплавів характеризується наявністю надлишкових карбідів, (FeC), бориду (BC) і

евтектики. Найбільшою зносостійкістю володіє релит, що є сумішшю карбідів вольфраму WC і W_2C , зернами, що розрізняються величиною. Структура дрібнозернистого реліта відрізняється тоншою будовою, складається з карбідів W_2C в ледебуриті. Карбіди мають форму пластин і голок. Кількість пір незначна, раковин на поверхні шліфа немає.

Тверді сплави у вигляді прутка або шихти наплавляють на лицьову або тильну сторону лап або лемеша електричною дугою вугільним електродом діаметром 12–15 мм при силі струму 200–250 А, індукційним методом ТВЧ, ацетилено-кисневим полум'ям або променем лазера при потужності 1.0 кВт, діаметрі променя 6...8 мм, швидкості переміщення 14...20 см/хв з подальшим електромеханічним зміцненням (шихта: суміш карбіду кремнію (20%) та хрому(80%, лазерне оплавлення)).

Самозаточування характеризується кутом нахилу фаски на несучому шарі. Кут залежить від відношення $\lambda = h_2/h_1$, де h_1 – товщина наплавленого шару; h_2 – товщина несучого шару. В процесі експериментів лапи з різним їх значенням λ зношувалися до тих пір, поки ріжуча кромка не набувала стабільної форми, природним чином отримуючи кут самозаточування λ . Для лап, наприклад, наплавлених сормайтом з тильного боку, відносні значення $\lambda = 1-1,5$, тобто при товщині наплавленого шару $h_1 = 0,3-0,5$ мм основний (що несе) шар леза повинен мати товщину на ріжучій кромці $h_2 = 0,6-0,8$ мм.

Кут самозаточування залежить від оброблюваних ґрунтів; так, при обробці супіщаних чорноземів він більший, ніж глинистих чорноземів. Якщо наплавляти лапи більш зносостійким матеріалом, ніж сормайт, то при зношуванні працездатний профіль виходить при великому значенні λ . Наприклад, при наплавленні релітом оптимальний кут самозаточування при $\lambda = 3$. Леза з таким співвідношенням товщини мають кут самозаточування $\alpha = 32^\circ$ при обробці суглинних ґрунтів.

Висновки. Розглянуто значний спектр методів зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин. Широке польове випробування деталей, що самозаточуються, в різних ґрунтових зонах показали, що самозаточування відбувається не на всіх ґрунтах. Стійкий ефект самозаточування виходить, як правило на ґрунтах, не засмічених каменями і крупним піском. У зв'язку з цим, намічені дослідження по вибору твердих наплавлень, що поєднують властивості високої зносостійкості і ударної в'язкості, стосовно ґрунтово-кліматичних умов Кіровоградської області.

Список літератури

1. Саинсус А.Д. Повышение абразивной износостойкости стрелчатых культиваторных лап дифференцированной индукционной наплавкой / Саинсус А.Д., Черновол М.И., Кропивный В.Н., Надворный Б.Е. // 36. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту. – Кіровоград: КНТУ, 2004.–Вип. 15.– С.306-313.
2. Хрущов М. М. Определение износостойкости твёрдых наплавов / М. М. Хрущёв, М. А. Бабичев и др. // Вестник машиностроения.– 1965.– № 2.– С. 12–15.
3. Грошев Л. М. Надёжность сельскохозяйственной техники. / Л. М. Грошев, Н. Ф. Дмитриченко, Т. И. Рыбак.– К., 1990.– 191 с.

А.Мажейка, А.Чайковский, А.Лутай

Упрочнение деталей сельскохозяйственных машин современными технологиями

Проанализированы известные методы повышения износостойкости рабочих органов (деталей) сельскохозяйственных машин. Предложена новая технология упрочнения деталей сельскохозяйственных машин лазерной наплавкой композиционных материалов с термомеханической обработкой. Приведенные результаты сравнительных испытаний наиболее эффективных твердых наплавов. Намечены последующие исследования касательно ґрунтово-кліматических условий Кіровоградской области.

A. Mazheyka, A. Tchaykovski A. Lutay

Hardening of details agricultural machines modern technologies

The known methods of increase of wearproofness of workings organs (details) of agricultural machines are analysed. New technology of consolidating of details of agricultural machines offered laser welding of composition materials with thermo-mechanical treatment. Results of comparative tests of most effective hard weldings . The ways of research adapted to soil-climatic conditions of Kirovograd regions are outlined.

Одержано 02.12.09

УДК 621.01-621.9.06

А.М. Кириченко, доц., канд. техн. наук

Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

Матриця жорсткості просторових механізмів паралельної структури з пружними ланками

Визначено матриці жорсткості окремих поступальної та крутильної пружини, що з'єднують рухоме тіло з основою, та загальну матрицю жорсткості просторового механізму з пружними ланками. Розроблені залежності підтверджено на прикладі матриці жорсткості гексапода.
паралельна кінематика, матриця жорсткості, пружна система, гексапод

Жорсткість є одним з важливих показників матеріалообробного технологічного обладнання, який впливає на точність обробки та якість обробленої поверхні. Тоді як для традиційного обладнання звичайно достатньо визначити жорсткість у напрямках координатних осей, жорсткість обладнання з просторовими механізмами паралельної структури має більш складний характер, і для її опису найчастіше використовується матриця просторової жорсткості [1].

Визначення матриці просторової жорсткості механізмів паралельної структури представляє собою досить складну задачу, яка вирішується різними способами в залежності від виду і типу механізмів. Зокрема, для механізмів паралельної структури з шістьма ланками змінної довжини типу „гексапод” матриця просторової жорсткості визначається за допомогою якобіана і матриці коефіцієнтів жорсткості ланок [2].

$$K = J^T K_{\theta} J . \quad (1)$$

Проте, в ряді інших механізмів є ланки змінної або постійної довжини, які не обов'язково працюють на стиск, а можуть зазнавати інші види навантажень, зокрема кручення. Таке навантаження властиве і пасивним ланкам для обмеження обертових ступенів вільності робочого органа в механізмах з кількістю приводів менше 6. Таким чином, робочий орган узагальненого механізму паралельної структури можна розглядати як рухоме тіло, зв'язане з основою за допомогою кількох пружних ланок у вигляді лінійних та крутильних пружин (рис. 1), шарнірні спряження яких з тілом та основою дозволяють передавати виключно силу або момент – в залежності від типу пружини.

A. Mazheyka, A. Tchaykovski A. Lutay

Hardening of details agricultural machines modern technologies

The known methods of increase of wearproofness of workings organs (details) of agricultural machines are analysed. New technology of consolidating of details of agricultural machines offered laser welding of composition materials with thermo-mechanical treatment. Results of comparative tests of most effective hard weldings . The ways of research adapted to soil-climatic conditions of Kirovograd regions are outlined.

Одержано 02.12.09

УДК 621.01-621.9.06

А.М. Кириченко, доц., канд. техн. наук

Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

Матриця жорсткості просторових механізмів паралельної структури з пружними ланками

Визначено матриці жорсткості окремих поступальної та крутильної пружини, що з'єднують рухоме тіло з основою, та загальну матрицю жорсткості просторового механізму з пружними ланками. Розроблені залежності підтверджено на прикладі матриці жорсткості гексапода.
паралельна кінематика, матриця жорсткості, пружна система, гексапод

Жорсткість є одним з важливих показників матеріалообробного технологічного обладнання, який впливає на точність обробки та якість обробленої поверхні. Тоді як для традиційного обладнання звичайно достатньо визначити жорсткість у напрямках координатних осей, жорсткість обладнання з просторовими механізмами паралельної структури має більш складний характер, і для її опису найчастіше використовується матриця просторової жорсткості [1].

Визначення матриці просторової жорсткості механізмів паралельної структури представляє собою досить складну задачу, яка вирішується різними способами в залежності від виду і типу механізмів. Зокрема, для механізмів паралельної структури з шістьма ланками змінної довжини типу „гексапод” матриця просторової жорсткості визначається за допомогою якобіана і матриці коефіцієнтів жорсткості ланок [2].

$$K = J^T K_{\theta} J . \quad (1)$$

Проте, в ряді інших механізмів є ланки змінної або постійної довжини, які не обов'язково працюють на стиск, а можуть зазнавати інші види навантажень, зокрема кручення. Таке навантаження властиве і пасивним ланкам для обмеження обертових ступенів вільності робочого органа в механізмах з кількістю приводів менше 6. Таким чином, робочий орган узагальненого механізму паралельної структури можна розглядати як рухоме тіло, зв'язане з основою за допомогою кількох пружних ланок у вигляді лінійних та крутильних пружин (рис. 1), шарнірні спряження яких з тілом та основою дозволяють передавати виключно силу або момент – в залежності від типу пружини.

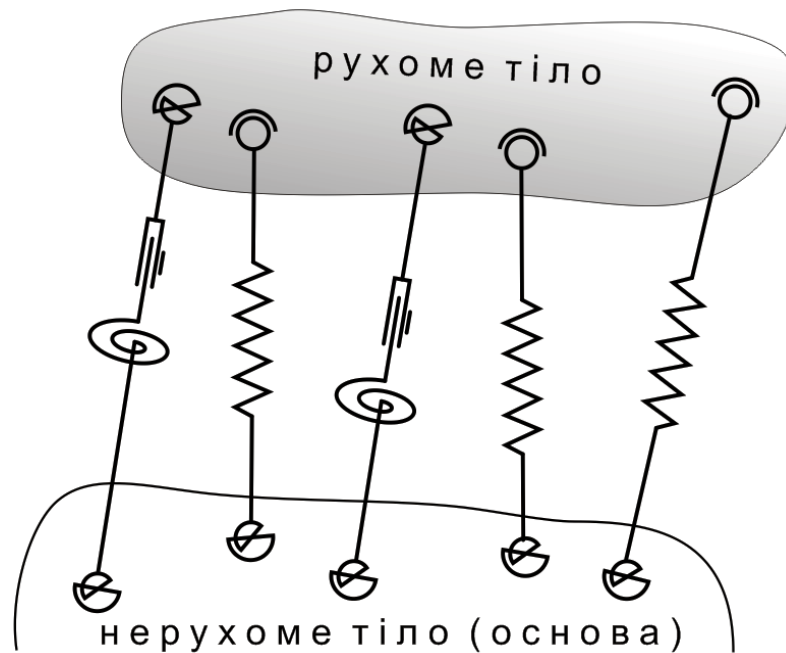


Рисунок 1 – Узагальнений просторовий механізм паралельної структури

Для таких механізмів розрахунок матриці жорсткості за формулою (1) не завжди можливий. В зв'язку з цим метою дослідження є визначення матриці жорсткості просторових механізмів з пружними ланками, що зазнають стискання та кручення.

Для визначення загальної матриці просторової жорсткості системи знайдемо матриці жорсткості окремої лінійної пружини та окремої крутильної пружини. Розглянемо окрему лінійну пружину з одиничним вектором \mathbf{n}_n , яка прикріплена до основи у точці А і до рухомого тіла у точці В (рис. 2).

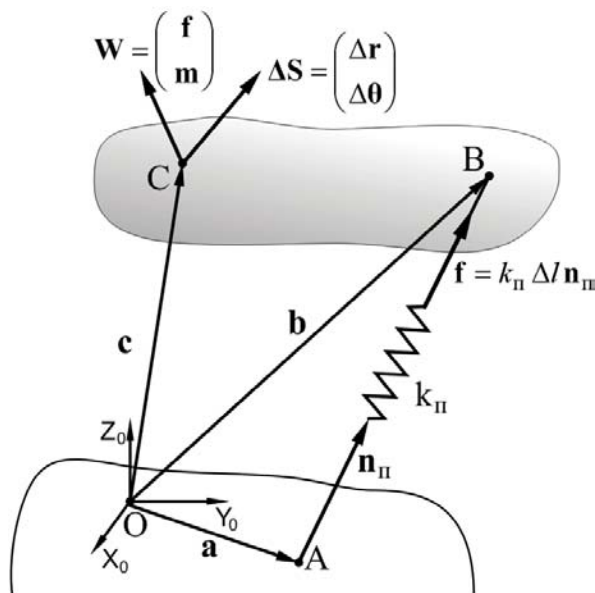


Рисунок 2 – Схема до визначення матриці жорсткості лінійної пружини

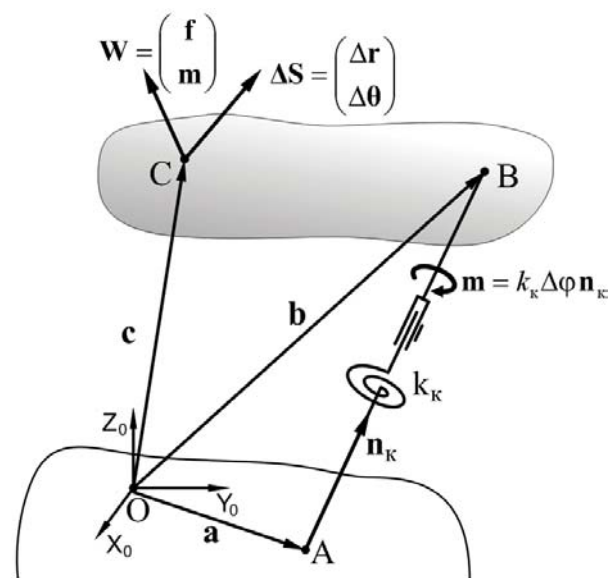


Рисунок 3 – Схема до визначення матриці жорсткості крутильної пружини

Нехай у довільній точці С рухомого тіла прикладене просторове навантаження у вигляді шестивимірного вектора $\mathbf{W} = \begin{pmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{m} \end{pmatrix}$, де $\mathbf{f} = (P_x, P_y, P_z)^T$ – вектор сил,

$\mathbf{m} = (M_x, M_y, M_z)^T$ – вектор моментів. Малі відносні переміщення описуються шестивимірним вектором $\Delta \mathbf{S} = \begin{pmatrix} \Delta \mathbf{r} \\ \Delta \boldsymbol{\theta} \end{pmatrix}$, де $\Delta \mathbf{r} = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)^T$ – вектор малих лінійних переміщень, $\Delta \boldsymbol{\theta} = (\Delta \theta_x, \Delta \theta_y, \Delta \theta_z)^T$ – вектор малих поворотів рухомого тіла. Вектор $\Delta \mathbf{S}$ фактично представляє собою диференціал шестивимірного вектора квазікоординат. Тривимірні вектори \mathbf{c} , \mathbf{a} та \mathbf{b} вказують положення відповідних точок.

Вектор кутових переміщень $\Delta \boldsymbol{\theta}$ та вектор сил \mathbf{f} однакові для будь-якої точки рухомого тіла, а вектори лінійних переміщень $\Delta \mathbf{r}$ та моментів \mathbf{m} змінюються в залежності від просторового розташування. Матриця жорсткості в даному випадку пов'язує між собою відносні переміщення та зміни прикладеного навантаження відносно початку координат

$$\mathbf{W}_O = K_O \Delta \mathbf{S}_O, \quad (2)$$

тому для її знаходження необхідно розглядати вектори навантаження та переміщення у точці O .

Вектор сили вздовж осі пружини дорівнює

$$\mathbf{f} = k_n \Delta l \mathbf{n}_n, \quad (3)$$

де k_n – жорсткість пружини.

Момент, що створює ця сила у точці O , дорівнює

$$\mathbf{m} = \mathbf{a} \times \mathbf{f} = k_n \Delta l \mathbf{a} \times \mathbf{n}_n. \quad (4)$$

Тоді, оскільки зовнішнє навантаження дорівнює реакції пружини, вектор навантаження \mathbf{W}_O відносно початку координат можна визначити як

$$\mathbf{W}_O = \begin{bmatrix} k_n \Delta l \mathbf{n}_n \\ k_n \Delta l \mathbf{a} \times \mathbf{n}_n \end{bmatrix} = k_n \mathbf{N}_O \Delta l, \quad (5)$$

де \mathbf{N}_O – нормалізований вектор плюкерових координат лінії пружини

$$\mathbf{N}_O = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_n \\ \mathbf{a} \times \mathbf{n}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_n \\ \mathbf{b} \times \mathbf{n}_n \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Виразимо вектор просторових переміщень $\Delta \mathbf{r}_B$ точки B через малі просторові переміщення $\Delta \mathbf{S}_O$ відносно початку координат

$$\Delta \mathbf{S}_B = \begin{bmatrix} E & -\mathbf{b} \times \\ 0 & E \end{bmatrix} \Delta \mathbf{S} = \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{r} - \mathbf{b} \Delta \boldsymbol{\theta} \\ \Delta \boldsymbol{\theta} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де E – одинична матриця 3×3 .

Зміну довжини лінійної пружини можна розрахувати як проекцію вектора лінійних переміщень тіла $\Delta \mathbf{r}_B$ у точці B на напрямок осі пружини

$$\Delta l = \mathbf{n}_n^T \Delta \mathbf{r}_B. \quad (8)$$

З (7) маємо $\Delta \mathbf{r}_B = \Delta \mathbf{r} - \mathbf{b} \times \Delta \boldsymbol{\theta}$, тоді

$$\Delta l = \mathbf{n}_n^T \Delta \mathbf{r} - \mathbf{n}_n^T \mathbf{b} \times \Delta \boldsymbol{\theta}. \quad (9)$$

Якщо врахувати, що

$$\mathbf{N}_O^T = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_n \\ \mathbf{b} \times \mathbf{n}_n \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_n^T & (\mathbf{b} \times \mathbf{n}_n)^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_n^T & -\mathbf{n}_n^T [\mathbf{b}]_{\times} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

де $[\mathbf{b}]_{\times} = \begin{bmatrix} 0 & -b_3 & b_2 \\ b_3 & 0 & -b_1 \\ -b_2 & b_1 & 0 \end{bmatrix}$ – породжена векторним добутком $b \times$ кососиметрична

матриця [3], рівняння (9) можна записати у вигляді

$$\Delta l = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_n^T & -\mathbf{n}_n^T [\mathbf{b}]_{\times} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{r} \\ \Delta \theta \end{bmatrix} = \mathbf{N}_o^T \Delta \mathbf{S}_o. \quad (11)$$

Підстановка (11) у (5) дає

$$\mathbf{W}_o = k_n \mathbf{N}_o \mathbf{N}_o^T \Delta \mathbf{S}_o. \quad (12)$$

Тоді з врахуванням (2) матриця жорсткості простої лінійної пружини дорівнює

$$K_o = k_n \mathbf{N}_o \mathbf{N}_o^T. \quad (13)$$

Підставляючи (6) у (13), одержимо блочний вигляд матриці жорсткості

$$K_o = k_n \begin{bmatrix} \mathbf{n}_n & \\ \mathbf{a} \times \mathbf{n}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{n}_n^T & (\mathbf{a} \times \mathbf{n}_n)^T \end{bmatrix} = k_n \begin{bmatrix} \mathbf{n}_n \mathbf{n}_n^T & \mathbf{n}_n (\mathbf{a} \times \mathbf{n}_n)^T \\ (\mathbf{a} \times \mathbf{n}_n) \mathbf{n}_n^T & (\mathbf{a} \times \mathbf{n}_n) (\mathbf{a} \times \mathbf{n}_n)^T \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Користуючись представленням векторного добутку у вигляді кососиметричної матриці [3], одержуємо

$$K_o = k_n \begin{bmatrix} \mathbf{n}_n \mathbf{n}_n^T & -\mathbf{n}_n \mathbf{n}_n^T [\mathbf{a}]_{\times} \\ [\mathbf{a}]_{\times} \mathbf{n}_n \mathbf{n}_n^T & -[\mathbf{a}]_{\times} \mathbf{n}_n \mathbf{n}_n^T [\mathbf{a}]_{\times} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Структура матриці жорсткості часто розглядається у вигляді блоків 3×3 [2]

$$K = \begin{bmatrix} K_n & K_c \\ K_c^T & K_k \end{bmatrix}, \quad (16)$$

де K_n , K_c та K_k – матриці поступальної, сполучної та крутильної жорсткості відповідно.

Тоді можна одержати вирази для матриць поступальної, сполучної та крутильної жорсткості окремої пружини

$$K_n = k_n \mathbf{n} \mathbf{n}^T, \quad (17)$$

$$K_c = -k_n \mathbf{n} \mathbf{n}^T [\mathbf{a}]_{\times}, \quad (18)$$

$$K_k = -k_n [\mathbf{a}]_{\times} \mathbf{n} \mathbf{n}^T [\mathbf{a}]_{\times}. \quad (19)$$

Можна помітити, що

$$K_c = -K_n [\mathbf{a}]_{\times}, \quad (20)$$

$$K_k = -[\mathbf{a}]_{\times} K_n [\mathbf{a}]_{\times} = [\mathbf{a}]_{\times} K_c. \quad (21)$$

Тобто фактично поступальна жорсткість визначається напрямними косинусами лінії пружини, сполучна – моментами першого порядку поступальної жорсткості відносно початку координат, і крутильна – моментами другого порядку поступальної жорсткості (або моментами першого порядку сполучної жорсткості).

З (15) випливає, що виключно поступальну жорсткість за допомогою лінійної пружини можна одержати лише при $\mathbf{a} = 0$, тобто коли пружина проходить через початок координат. У цьому випадку $K_c = K_k = 0$, і матриця жорсткості приймає вигляд

$$K_o = k_n \begin{bmatrix} \mathbf{n}_n \mathbf{n}_n^T & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (22)$$

Нехай крутильна пружина з'єднує рухоме тіло з основою через систему шарнірів, які передають лише крутний момент (рис. 3). Якщо малий поворот рухомого

тіла описується вектором $\Delta\theta$, то мале обертання пружини навколо осі визначається проекцією $\Delta\theta$ на вісь пружини

$$\Delta\varphi = \mathbf{n}_k^T \Delta\theta, \quad (23)$$

де \mathbf{n}_k – одиничний вектор осі крутильної пружини.

Рівняння (23) можна також записати у вигляді

$$\Delta\varphi = \mathbf{N}_k^T \Delta\mathbf{S}_O, \quad (24)$$

де $\mathbf{N}_k = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{n}_k \end{bmatrix}$ – допоміжний вектор 6×1 .

Момент, що створює пружина, дорівнює

$$\mathbf{m} = k_k \Delta\varphi \mathbf{n}_k. \quad (25)$$

Тоді вектор навантаження \mathbf{W}_O відносно початку координат можна визначити як

$$\mathbf{W}_O = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{m} \end{bmatrix} = k_k \mathbf{N}_k \Delta\varphi, \quad (26)$$

Підстановка (24) у (26) дає

$$\mathbf{W}_O = k_k \mathbf{N}_k \mathbf{N}_k^T \Delta\mathbf{S}_O. \quad (27)$$

Тоді з урахуванням (2) матриця жорсткості простої крутильної пружини дорівнює

$$K_O = k_k \mathbf{N}_k \mathbf{N}_k^T. \quad (28)$$

Якщо записати (28) у вигляді блочної матриці, одержимо

$$K_O = k_k \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{n}_k \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & \mathbf{n}_k^T \end{bmatrix} = k_k \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{n}_k \mathbf{n}_k^T \end{bmatrix}. \quad (29)$$

Тоді для крутильної пружини $K_n = K_c = 0$, а під матриця крутильної жорсткості дорівнює

$$K_k = k_k \mathbf{nn}^T. \quad (30)$$

Отже, одержати лінійну жорсткість рухомого тіла за допомогою крутильних пружин неможливо.

Для системи з n довільно розташованих лінійних або крутильних пружин, що з'єднують рухоме тіло з основою, загальне навантаження на рухоме тіло дорівнює сумі навантажень в окремих пружинах

$$\mathbf{W}_O = \sum_{i=1}^n \mathbf{W}_{O_i}. \quad (31)$$

Тоді з врахуванням (2)

$$\mathbf{W}_O = \sum_{i=1}^n (K_{O_i} \Delta\mathbf{S}_O) = \left(\sum_{i=1}^n K_{O_i} \right) \Delta\mathbf{S}_O. \quad (32)$$

Отже, матриця жорсткості системи з n пружин дорівнює сумі матриць жорсткості окремих пружин

$$K_O = \sum_{i=1}^n K_{O_i}. \quad (33)$$

З правил операцій над векторами і матрицями можна помітити, що добуток вектора на транспонований вектор дорівнює добутку матриці, будь-яким із стовпчиків якої є цей вектор, а інші стовпчики – нульові, на транспоновану, наприклад

$$\mathbf{u} \mathbf{u}^T = \begin{bmatrix} 0 & \mathbf{u} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & \mathbf{u} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T. \quad (34)$$

Тоді можна представити добуток $k_{ni} \mathbf{N}_{O_i} \mathbf{N}_{O_i}^T$ у вигляді

$$k_{ni} \mathbf{N}_{oi} \mathbf{N}_{oi}^T = B \cdot A \cdot B^T, \quad (35)$$

де A – квадратна матриця $n \times n$, i -м елементом головної діагоналі якої є k_{ni} (інші елементи можуть мати довільні значення); B – матриця $6 \times n$, i -м стовпчиком якої є вектор \mathbf{N}_{oi} .

Тоді матрицю просторової жорсткості пружної системи з n лінійних та крутильних пружних ланок можна представити у вигляді

$$K_o = U K U^T, \quad (36)$$

де $K = \text{diag}(k_{ni})$ – діагональна матриця $n \times n$, елементи головної діагоналі якої містять коефіцієнти жорсткості пружних ланок; U – матриця $6 \times n$, стовпчиками якої є вектори \mathbf{N}_i пружних ланок.

Скористаємося розробленими залежностями для визначення відомої матриці жорсткості механізму паралельної структури з шістьма ланками змінної довжини типу „гексапод”. Якщо розглядати штанги змінної довжини як пружні елементи з жорсткістю k_{ni} , матрицю жорсткості гексапода згідно з (31) можна знайти як суму матриць жорсткості кожної штанги

$$K_o = \sum_{i=1}^6 k_{ni} \mathbf{N}_{oi} \mathbf{N}_{oi}^T. \quad (37)$$

Оскільки у [2] показано, що якобіан гексапода дорівнює транспонованій матриці 6×6 , складеній з векторів 6×1 плюкерових координат ліній штанг, то з врахуванням (36) можна записати

$$\sum_{i=1}^6 k_{ni} \mathbf{N}_{oi} \mathbf{N}_{oi}^T = J^T \text{diag}(k_{ni}) J, \quad (38)$$

що дає результат аналогічний відомому (1).

Матриці поступальної, сполучної та крутильної жорсткості гексапода дорівнюють

$$K_n = \sum_{i=1}^6 k_{ni} \mathbf{n}_i \mathbf{n}_i^T, \quad (39)$$

$$K_c = -\sum_{i=1}^6 k_{ni} \mathbf{n}_i \mathbf{n}_i^T [\mathbf{a}_i]_{\times}, \quad (40)$$

$$K_k = -\sum_{i=1}^6 k_{ni} [\mathbf{a}_i]_{\times} \mathbf{n}_i \mathbf{n}_i^T [\mathbf{a}_i]_{\times}. \quad (41)$$

Висновки та напрямки подальших досліджень:

1. Матриця жорсткості окремої поступальної пружини, що з’єднує рухоме тіло з основою, визначається лінійною жорсткістю пружини, напрямком її осі та місцем закріплення. Виключно поступальну жорсткість можна одержати лише у випадку, коли пружина проходить через початок координат.

2. Матриця жорсткості окремої крутильної пружини, що з’єднує рухоме тіло з основою, визначається крутильною жорсткістю пружини та напрямком її осі. Одержати поступальну жорсткість за допомогою крутильних пружин неможливо.

3. Матриця жорсткості системи кількох довільно розташованих поступальних та крутильних пружин дорівнює сумі матриць жорсткості окремих пружин.

4. Одержані залежності можна застосувати для визначення матриць жорсткості обладнання на основі механізмів паралельної структури з пасивними та активними ланками, що підтверджено на прикладі гексапода.

5. Розроблені залежності справедливі для випадку відсутності початкового навантаження, представляє інтерес розповсюдження їх на попередньо навантажені системи.

Список літератури

1. Кириченко А.М. Показники жорсткості верстатного обладнання з паралельною кінематикою / А.М. Кириченко // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 22. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С.272-282.
2. Струтинський В.Б. Теоретичний аналіз жорсткості шестикоординатного механізму паралельної структури / В.Б. Струтинський, А.М. Кириченко // Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”. Серія „Машинобудування”. – 2009. – №57. – С. 198-207.
3. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления / Кочин Н.Е. – М.: Наука, 1965. – 426 с.

А.Кириченко

Матрица жесткости пространственных механизмов параллельной структуры с упругими звеньями

Определены матрицы жесткости отдельных поступательных и крутильных пружин, соединяющих подвижное тело с основанием, и общая матрица жесткости пространственного механизма с упругими звеньями. Разработанные зависимости подтверждены на примере матрицы жесткости гексапода.

А. Kyrychenko

Stiffness matrix of spatial parallel robots with elastic links

The stiffness matrices of individual translational and rotational springs connecting moving body to ground, and general stiffness matrix of spatial mechanism with elastic links are determined. The derived relations are validated by finding the hexapod stiffness matrix.

Одержано 08.02.10

УДК 621.43

Т.Н. Замота, доц. канд. техн. наук,

Восточнoукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Р.В. Зорин, асистент

Луганський національний аграрний університет

Определение выхода по току при ЭХМП сопряжения вал-вкладыш при наличии макрогеометрических отклонений

В статье для математического описания электрохимико-механической приработки сопряжения вал-вкладыш при наличии макрогеометрических отклонений определен выход по току материала вкладыша.

электрохимико-механическая приработка, выход по току, макрогеометрические отклонения

Проблема повышения эффективности качества приработки основных сопряжений агрегатов и машин до сих пор является актуальной. В результате анализа причин потери работоспособности узлов и механизмов машин установлено, что около 75 % отказов вызвано износом их узлов трения. Одним из широко применяемых, но недостаточно надежных по критерию износостойкости узлов трения являются подшипники скольжения [1].

Для приработки основных сопряжений двигателей применяют различные методы. Они хорошо описаны в работе Н.В. Храмцова [2]. По мнению автора, современные методы приработки подшипников скольжения имеют целый ряд недостатков. Стремление понизить коэффициент трения в начальный период приработки затрудняет макрогеометрическую приспособляемость поверхностей. Добавление различного рода абразивных частиц в зону трения хоть и решает вопросы макрогеометрической приработки, но приводит к шаржированию поверхности с повышенными эксплуатационными износами. Снижение вязкости смазочных материалов могут привести к сближению трущихся поверхностей, появлению зон непосредственного металлического контакта, что, в свою очередь, приводит к задиру.

Наиболее прогрессивными являются совмещенные способы приработки, позволяющие повысить эффективность процесса механического взаимодействия трущихся поверхностей за счет электрических, химических и других воздействий.

Одним из таких способов является электрохимико-механическая приработка (доводка) (ЭХМП(Д)) [3]. Разработанная технология ЭХМП(Д) показала высокую эффективность при приработке автотракторных двигателей.

Преимущества электрохимико-механического воздействия для выравнивания трущихся поверхностей широко используется в США и Китае [4,5,6]. Применение совмещенных процессов позволяет получать высокоточные профили поверхностей на твердосплавных деталях или там, где требуется высокая точность геометрической формы (например, при выравнивании жестких дисков ЭВМ).

Теоретическая проработка особенностей ЭХМП(Д) коренных и шатунных опор показала, что линейный износ в каждой конкретной точке подшипника скольжения происходит с определенной скоростью, обратно пропорциональной величине межэлектродного зазора h . Согласно [7] изменение величины h от времени описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{k}{h}, \quad (1)$$

где $k = \frac{1}{2} \cdot \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k)$,

$\frac{1}{2}$ – коэффициент, учитывающий анодный полупериод переменного тока, при

котором происходит травление одной из деталей сопряжения;

U – рабочее напряжение;

φ_a – анодный потенциал;

φ_k – катодный потенциал;

z_a – анодный выход по току;

χ – удельная электропроводимость электролита;

ρ – плотность материала;

e – электрохимический эквивалент материала анода.

Изменение зазора в каждой конкретной точке в зависимости от времени выразится следующим выражением:

$$h = \sqrt{h_i^2 + 2kt} = \sqrt{h_i^2 + \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) \cdot t}. \quad (2)$$

Учитывая то, что толщина смазочного слоя h_i описывается известной функцией

$h_i = \frac{S_0}{2} (1 + \frac{e}{S_0/2} \cdot \cos \varphi)$, получим:

$$h = \sqrt{\left(\frac{S_0}{2} (1 + \frac{e}{S_0/2} \cdot \cos \varphi)\right)^2 + \frac{\chi \varepsilon}{\rho} \cdot \eta_a (U - \varphi_a + \varphi_k) t}, \quad (3)$$

где S_0 – начальный монтажный зазор;

e – величина эксцентриситета;

φ – угол поворота.

Из полученной зависимости видно, что изменение зазора в подшипнике скольжения при ЭХМП(Д) напрямую зависит от выхода по току, рабочего напряжения процесса, катодного и анодного потенциалов трущихся поверхностей и других электрохимических параметров процесса. Изучение особенностей электрохимико-механической приработки (доводки) подшипников скольжения невозможно без определения зависимости выхода по току от плотности тока, протекающего через трущиеся поверхности вкладыша и вала.

Поэтому целью данной работы являлось определение выхода по току в сопряжении вал-вкладыш.

Исследования проводились на машине трения СМЦ-2 по схеме ролик-колодочка. Подшипники имитировались колодочками, изготовленными из реальных вкладышей двигателя Д-240. В процессе опытов изучался износ колодочек и формируемая площадь пятна контакта при опытных условиях.

Кроме того определялся удельный износ вкладышей, представляющий собой отношение износа колодочек к площади контакта. В качестве источника тока

использовался трансформатор, а регулировка токовых параметров производилась ЛАТРом.

Порядок проведения опытов следующий. Перед опытом колодочка очищалась, тщательно промывалась, обезжиривалась, взвешивалась на аналитических весах WA-31 с точностью 0,1мг и затем монтировалась в оправку. Оправка устанавливалась на вал поворотной бабки машины трения. Нагрузка на колодочку в опытах составляла 20 и 40Н. Под одну сторону колодочки подкладывались подкладки для создания перекаса в три раза превышающего допустимые значения и тем самым моделировались условия приработки сопряжения с макрогеометрическим отклонением.

В зону трения подавался самозахватывающийся электролит, состоящий из 84% глицерина и 16% водного 20%-го раствора Na_2CO_3 . Каждый опыт проводился в течение 5 мин, частота вращения вала - 300 мин^{-1} . По истечению времени опыта выключался привод, отключался ток, прекращалась подача электролита. Повторность каждого опыта - трёхкратная.

Исследования условных выходов по току осуществлялось с помощью медных кулонометров по общепринятой методике [8]. Однако работа на переменном токе потребовала постановки двух диодов Д1 и Д2, которые отделяли токи положительных и отрицательных полупериодов (рисунок 1).

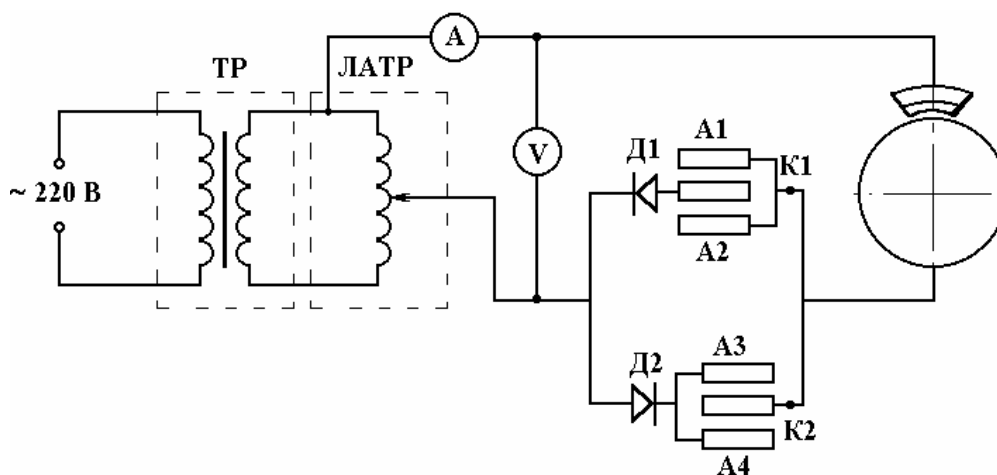


Рисунок 1 – Схема подсоединения кулонометров

Расчет осуществлялся по следующей формуле:

$$BT(\eta) = \frac{m_{me} \cdot g_{cu}}{g_{me} \cdot m_{cu}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где m_{me} – масса металла, выделившегося на катоде, г;

$g_{me} = \frac{\mathcal{E}_{me}}{F}$ – электрохимический эквивалент осаждаемого металла, г/А·ч;

\mathcal{E}_{me} – эквивалентная масса металла;

F – число Фарадея ($F=26,8 \text{ А}\cdot\text{ч/г-экв}$);

I – сила тока, А;

τ – продолжительность электролиза, ч;

m_{cu} – масса меди, выделившейся на катоде медного кулонометра, г;

$g_{cu} = \frac{\mathcal{E}_{cu}}{F}$ – электрохимический эквивалент меди, г/А·ч.

Количество прошедшего электричества в А·ч определялось по формуле (5):

$$q = \frac{m_{cu}}{g_{cu}} = I \cdot \tau . \quad (5)$$

В результате проведенных исследований были получены зависимости износов и формирующихся площадей пятен контакта для вкладышей подшипников скольжения двигателей из АО20 при изменяющейся плотности тока в электролите .

Как видно из рисунка 2, максимальный износ вкладышей соответствовал минимальным плотностям тока. Кроме этого, увеличение нагрузки с 20 до 40Н приводило к возрастанию износа с 7 до 12 мг при плотности тока 500А/м². Дальнейшее повышение плотности тока уменьшало влияние механического фактора. При больших плотностях тока (свыше 6000 А/м²) износы при нагрузках 20 и 40Н находятся в пределах 6...8мг.

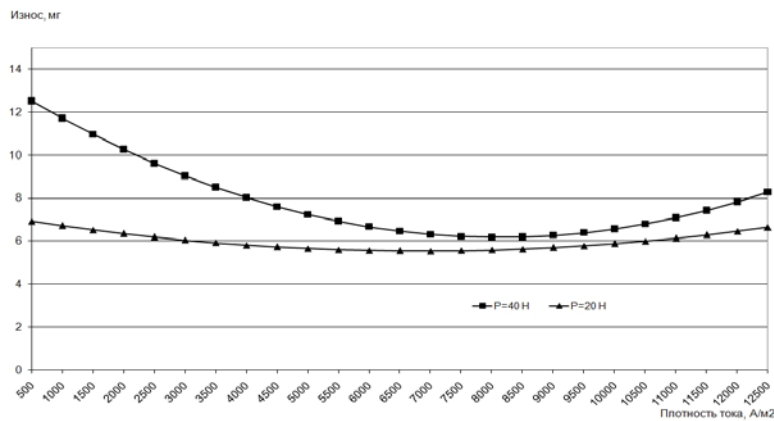


Рисунок 2 – Влияние плотности тока на износ колодочки

Увеличение плотности тока вызывало рост площади пятна контакта (рисунок 3). Величина нагрузки в опытах не оказывала существенного влияния на формируемую площадь. При плотности тока 5500 А/м² площадь пятна контакта при различных нагрузках была около 25 мм².

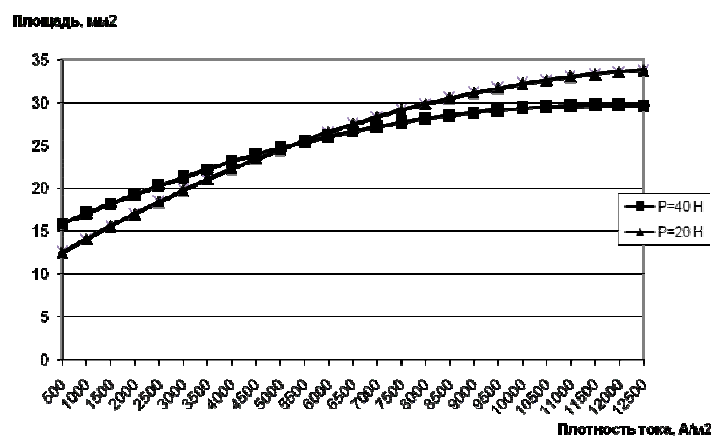


Рисунок 3 - Влияние плотности тока на развитие площади пятна контакта

Удельный износ вкладышей уменьшался с ростом плотности тока (рисунок 4). Но свыше 6000 А/м² ни нагрузка, ни токовые параметры не изменяли величину удельного износа вкладышей с 0,2...0,3 мг/мм². Это может говорить о том, что

относительно большие плотности тока повышают энергоёмкость процесса, но не способствуют его интенсификации.

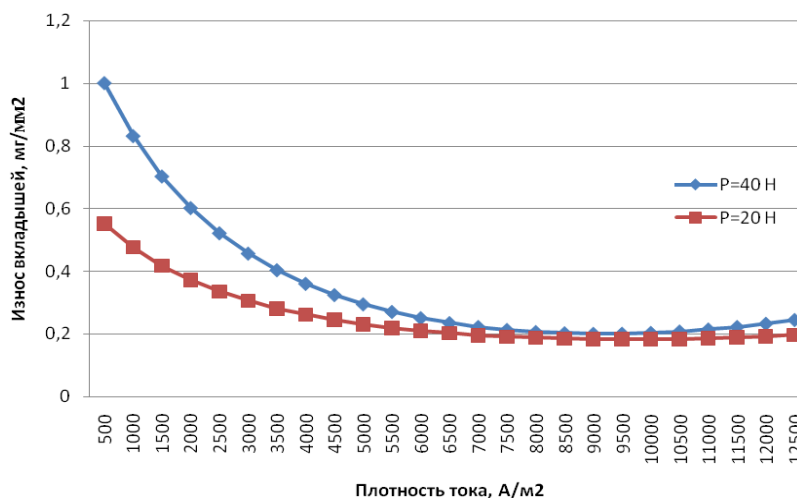


Рисунок 4 – Удельный износ вкладышей

Наиболее интенсивно процесс электрохимико-механической приработки сопряжения вал-вкладыш будет протекать при выходах по току (ВТ) близких к 100%. Такие значения ВТ наблюдались при плотностях тока менее 1000А/м². При большой плотности тока (см. рисунок 5) эффективность процесса снижена, износ происходит за счёт механического фактора и выход по току не превышает 10%.

Выход по току, %

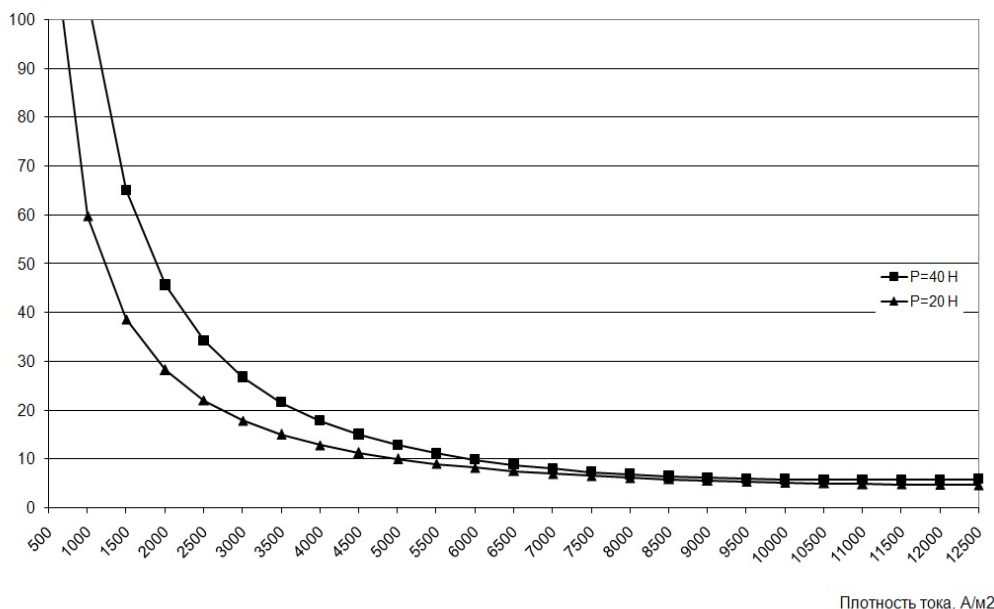


Рисунок 5 – Влияние плотности тока на выход по току

Выводы.

1. Электрохимико-механическая приработка (доводка) позволяет эффективно прирабатывать подшипники скольжения двигателей при наличии макрогеометрических отклонений.

2. Электрохимический фактор процесса ЭХМП(Д) оказывает значительное влияние на процесс приработки сопряжения вал-вкладыш при плотностях тока до 1000 А/м^2 .

3. Максимального значения выхода по току (до 100%) можно достигнуть при плотностях тока до 500 А/м^2 .

4. Повышение плотности тока свыше 6000 А/м^2 нецелесообразно из-за низких значений выхода по току (≤ 10).

Список літератури

1. Псьол С.В. Методи оцінки зносу і надійності підшипників ковзання в умовах змінних навантажень. Автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук. 05.02.04-Тертя та зношування в машинах – Хмельницький, 2003. – 22 с.
2. Храмов Н.В. и др. Обкатка и испытание автотракторных двигателей. / Храмов Н.В., Королёв А.Е., Малаев В.С.- М.: Агропромиздат, 1991.- 125с.
3. А.с. 1045049 СССР. Способ приработки деталей. / Алексеев В.П., Болдарь Л.Н., Михалев В.Д. Оpubл. 30.09.83. Бюл.№36.
4. Alan S. Brown. Flat, Cheap, and Under Control. IEEE Spectrum. – January 2005. – pp.40– 45.
5. L. Economikos, X. Wang, A. Sakamoto, P. Ong, M. Naujok, R. Knarr, L. Chen, Y. Moon, S. Neo, J. Salfelder, A. Duboust, A. Manens, W. Lu, S. Shrauti, F. Liu, S. Tsai, W. Swart. Integrated Electro-Chemical Mechanical Planarization (Ecmp) for Future Generation Device Technology. IEEE, 2004. – pp.233– 235.
6. Yuan– Long Chen, Shu– Min Zhu, Shuo– Jen Lee and other. The technology combined electrochemical mechanical polishing. Journal of Materials Processing Technology 140 (2003). – pp.203– 205.
7. Замота Т. Н., Зорин Р. В., Теоретические предпосылки обеспечения компенсации неточностей многоопорного вала с помощью ЭХМП(Д) / Т. Н. Замота, Р. В. Зорин // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету.Серія: Технічні науки.–Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2008. -№ 91. – 309 с.
8. Практикум по прикладной электрохимии: Учебное пособие для ВУЗов./Под ред. Н.Т. Кудрявцева и П.М. Вячеславова.- 2-е изд., перераб. и доп.-Л.:Химия, 1980.- 288 с.

Т. Замота, Р. Зорин

Визначення виходу по струму при ЭХМП сполучення вал-вкладиш за наявності макрогеометричних відхилень

В статті для математичного опису електрохіміко-механічного припрацювання сполучень вал-вкладиш за наявності макрогеометричних відхилень визначений вихід по струму матеріалу вкладиша.

T. Zamota, R. Zorin

Determination of output on a current at ECMP interfaces billow – hob a at presence of macrogeometrical rejections

In article for mathematical description of electrochemical and mechanical running in of system shaft-sliding bearings by with availability macrogeometric rejections exit on the current of material sliding bearings is certain.

Одержано 16.09.09

УДК 004.4'2:621

С.В. Поперешняк, канд. фіз.-мат. наук

Національний авіаційний університет

Інститут комп'ютерних технологій

Проблеми технічного перекладу в сільськогосподарському машинобудуванні та система управління, реєстрації та контролю послуг перекладу в комп'ютерній мережі

В статті розглянуті проблеми технічного перекладу в галузі сільськогосподарського машинобудування, наведено критерії та математичні підходи до побудови ефективних веб-систем в умовах сучасної конкуренції. В результаті аналізу критеріїв побудови ефективних веб-систем та враховуючи проблеми технічного перекладу було розроблено систему управління, реєстрації та контролю послуг перекладу в комп'ютерній мережі.

технічний переклад, ефективні веб-системи, послуги перекладу, комп'ютерна мережа

Вступ. Останніми роками значно збільшився об'єм сільськогосподарської техніки, що імпортується до України. Природно виникає бажання найефективніше використовувати закордонне обладнання та устаткування. І перша проблема, з якою зустрічається користувач – проблема перекладу: перекладу технічної документації; програмного забезпечення, яке постачається разом з технікою; супроводу і обслуговування. Друга проблема, з якою стикається вже перекладач – це відсутність перекладних технічних словників, які необхідні аби уникнути неоднозначності тлумачення технічної лексики.

Саме тому ідея створення бюро перекладу в комп'ютерній мережі досить актуальна.

Сфера надання послуг з перекладу зазнала суттєвих змін за останні два роки - і не тільки з точки зору консолідації. Ці зміни носять структурний характер. Офіси більш децентралізовано, як і технології, які використовуються для підтримки робочих процесів, а також машинний переклад (неодноразово широко розкритикований усім світом перекладачів) в даний час стає більш привабливим.

У чому ж причина цієї раптової трансформації галузі?

Вважається, що ці зміни пов'язані з простим фактом: більшість установ з надання послуг перекладу не є провідними в тій чи іншій галузі. Технології взяли лідируючі позиції, і вони мають інакше уявлення про майбутнє.

Під технологіями, мається на увазі програмне забезпечення, такі, як Idiom, Language Weaver, Clay Tablet. Також, звертаючись до покупців послуги з перекладу, покупці, які бачили, як технології можуть зробити їх життя простішим і хочуть щоб їх постачальники повною мірою використовували цю технологію - від програмного забезпечення з приймання та управління проектами до програмного забезпечення для комп'ютерного перекладу.

Все це призводить до необхідності автоматизації процесів перекладу та документообігу. Розробка програмного забезпечення управління, реєстрації та контролю послуг перекладу в комп'ютерній мережі та мережі Інтернет вирішує більшість проблем та надає змогу бути лідером у галузі.

Завдяки використанню принципів побудови ефективних веб-систем та аналізу виникаючих проблем стало можливим розробити ефективну веб-систему яка веде себе і як Інтернет магазин і як сайт компанії виробника.

1. Проблеми технічного перекладу в сільськогосподарському машинобудуванні

У сфері технічного перекладу проблема перекладу термінології особливо актуальна. Правильний переклад технічних термінів – один з найважливіших аспектів будь-якого перекладацького проекту. Некоректний переклад термінології може привести до серйозних наслідків, вплинути на репутацію і ринкові позиції торгової марки, викликати затримки в реалізації важливих проектів і так далі. Щоб подолати термінологічні труднощі, пов'язані з неоднозначністю тлумачення технічної лексики, розробляються спеціальні термінологічні словники і галузеві словники-тезауруси.

Українське термінознавство ще й досі перебуває в процесі становлення та нормалізації. Багато наріжних проблем залишаються поки що невирішеними.

За останні два десятиріччя в Україні бачене чимало фахових тлумачних і перекладних словників з термінології різних галузей, проте нормативних словників в достатній кількості наразі не бачимо. Попри те, що Україна є державою аграрною, сільськогосподарській термінології не приділяють належної уваги.

Треба також взяти до уваги, що у відомих на сьогодні перекладних словниках не зафіксовано у повному обсязі терміни на позначення різних агрегатів і машин, що їх застосовують в сучасному сільському господарстві, а це відповідно ускладнює їх перекладення в україномовній науковій літературі.

Крім того, нинішню науку постійно поповнюють новими термінами у зв'язку з науково-технічним прогресом.

Сучасні компанії, що працюють на міжнародному рівні, розуміють, що узгодженість термінів лежить в основі розуміння сенсу, і серйозно займаються термінологічною роботою, уточнюючи терміни, які можуть привести до непорозумінь, і забезпечуючи уніфікацію використовуваної термінології. Вони розробляють спеціальні термінологічні бази даних, що містять не тільки вузькопрофільну термінологію, специфічну для даної галузі, але і корпоративні скорочення і внутрішньофірмову термінологію, яка не є загальноприйнятою.

При імпорті устаткування послуги перекладача можуть знадобитися на наступних етапах:

- переклад технічної документації. Переклад технічних інструкцій, стандартів, специфікацій, сертифікатів, техпаспортів та інших супровідних документів з іноземної мови на українську мову;

- мовна і смислова адаптація перекладних матеріалів до української дійсності.

Це може бути перерахунок одиниць вимірювання (сантиметри замість дюймів і тому подібне), макетування і підготовка закінченого документа для користувачів у формі друкарської продукції (макетування сторінок з графікою, оформлення в AUTOCAD) або в електронному вигляді (локалізація програмного забезпечення);

- мовний супровід (усний послідовний переклад) іноземного технічного фахівця при проведенні робіт під час пуску та наладки устаткування і під час навчання персоналу.

Для правильної організації процесу перекладу у взаємодії з перекладацьким агентством повинна враховуватися специфіка кожного з етапів.

- а) переклад технічної документації.:

1) основа основ технічного перекладу - точна передача спеціальних галузевих термінів. З цієї точки зору для адекватного перекладу потрібне повне розуміння сенсу тексту перекладачем. Перекладачеві-гуманітарію нелегко вибрати вірний варіант перекладу серед множини варіантів, що виникають із-за багатозначності іноземної (зокрема, англійської) політехнічної термінології. Наприклад, "socket" (основне значення - електрична розетка) в технічній документації може переводитися, залежно від конкретного випадку використання даного терміну, як: патрон електролампи; муфта; гніздо; паз; розтруб; патрубок; черевик; втулка; гільза; овершот; підп'ятник; стакан; канатний замок; ловильний дзвін; камера від вибуху; розширений кінець труби для стику з іншою трубою; перехідний патрон; бобишка; колодка; панель; роз'ім; осередок; очна ямка; суглобова ямка. Просто узяти і вгадати, який варіант перекладу правильний, практично неможливо. Тільки якщо переклад виконує інженер, який розуміє технічну суть тексту, що перекладається, можлива точна передача термінології. Але тоді встає інша проблема: погане знання іноземної мови, особливо граматики;

2) додаткові труднощі створює той факт, що нерідко документація на технологічне обладнання або якийсь складний агрегат може мати значний об'єм, деколи на багато сотень сторінок. А при цьому на переклад часто відводиться вельми обмежений термін (пара тижнів, максимум місяць). Доводиться для виконання крупного перекладацького проекту задіювати не одного, а цілу групу перекладачів. В результаті перекладений текст страждає страшною неоднорідністю термінології і стилю. Наприклад, слово "shaft" один англійський перекладач перекладе словом "вал", інший - "шпіндель", третій, - "вісь", і в результаті читач перекладу подумає, що описані різні деталі. Щоб уніфікувати термінологію і стилістику тексту, бюро перекладів привертають до роботи редакторів або використовують спеціальні програми для збереження стилістичної і лексичної єдності тексту;

б) остаточна підготовка перекладеного тексту:

1) як правило, технічні описи насичені графічними матеріалами (діаграми, креслення, ілюстрації). Щоб перенести їх в кінцевий продукт, необхідна допомога фахівців в області дизайну і макетування (верстки), які допоможуть донести документ до користувача в зручному форматі. Будь-яке серйозне бюро перекладів виконує переклад технічних матеріалів з файлів будь-якого формату (pdf, html, cdr, jpg, а також формати особливих програм, наприклад, AUTOCAD або MS Project). Окремим видом робіт є поліграфія (друкарські і палітурні роботи). Реалії сучасного ринку перекладів такі, що тільки комплексне лінгвістичне обслуговування може вважатися за прийнятне рішення для крупного проекту, а подібна концепція на практиці вимагає дуже високої кваліфікації і скоординованої роботи цілої команди перекладачів, менеджерів проектів, редакторів, коректорів і комп'ютерних дизайнерів. Зате в результаті можна отримати продукт (наприклад, у вигляді брошури), яким можна користуватися, повністю забувши про початковий матеріал на іноземній мові;

2) слід особливо виділити надання послуг з локалізації програмного забезпечення. Ця послуга має на увазі не тільки точний переклад інтерфейсу програми (кнопки, вікна, різні написи, опції меню) і файлів допомоги, але і збереження всіх функціональних характеристик програми. Даний вид перекладу володіє своєю специфікою, наприклад, жорсткі вимоги до знаків перекладу (щоб рядок влізав у віконце або кнопку) і так далі. Далі до роботи беруться програмісти, які замінюють тексти початкової мови на переведених. Локалізація програмного забезпечення є невід'ємною частиною міжнародних проектів по автоматизації бізнес-процесів, проектуванню і сервісному обслуговуванню комп'ютерних мереж, логістичних комплексів, виробничих потужностей, торгових точок і офісів компаній-замовників;

в) усний послідовний переклад (мовний супровід).

Після того, як вся документація переведена, зверстана і віддрукована, устаткування доставлене на місце збірки і монтажу. Але на жаль, це поки всього лише купа ящиків і контейнерів, з яких треба зібрати і налагодити технологічну лінію або інше устаткування. З цією метою постачальник, як правило, виділяє своїх фахівців для збірки і проведення пуско-налагоджувальних робіт (шеф-монтаж). А оскільки досить часто західні інженери українською мовою не володіють, їм необхідні послуги усних перекладачів.

2. Принципи побудови ефективних веб-систем та аналіз виникаючих проблем

Веб-системи стали на сьогодні одним з основних видів інформаційних систем, що функціонують у глобальних мережах. За останні 10 років число діючих у мережі Інтернет Веб-систем (WWW-систем або сайтів) досягнуло кількості мільйонів. Проте кількість питань щодо підходів до проектування, розробки та функціонування сайтів не зменшується, швидше навпаки, збільшується. Зокрема, навіть чітко не визначено критерії якості та ефективності Веб-сайтів. Радикально різняться між собою також основні підходи до розробки Веб-сайтів, їхнього наповнення та супроводження. Все це повинно бути ураховано при розробці програмного забезпечення бюро перекладів.

2.1. Критерії оцінки ефективності Веб-сайтів

Визначення критеріїв ефективності є ключовим пунктом при побудові та супроводженні сайту. Вибрані критерії є основним фактором, що визначає формування сайту. Проте у значній частині випадків на початку Інтернет-проекту взагалі жодних критеріїв не визначається.

Існує ряд основних мотивів, що призводять до появи нових Інтернет-проектів. Це, зокрема, згідно з [1]:

- економічна вигода;
- формування суспільної думки;
- ознайомлення суспільства з нормативною інформацією, результатами наукових досліджень тощо;
- зміцнення особистого авторитету чи авторитету організації;
- наукові експерименти та практичні дослідження.

Як правило, за конкретним Інтернет-проектом стоять декілька мотивів.

З перерахованих вище мотивів лише бажання отримати економічну вигоду відображається в критеріях якості – розмір прибутку відображає ефективність веб-сайту (проводиться чітка аналогія зі звичайним підприємством). Проте, з другого боку, Інтернет є настільки великим та динамічним середовищем, що й економічні критерії не є достатньо точними та об'єктивними. Адже можливі суми прибутків і видатків для схожих проектів можуть радикально відрізнятись. І визначити, що отримані прибутки дійсно є максимально можливими (і навпаки) є надзвичайно складно. Крім того, добре відомі випадки надзвичайної фінансової успішності проектів, які взагалі не розглядалися спочатку як комерційні (Google, Yahoo! та ін.).

Серед неекономічних критеріїв оцінки ефективності Веб-сайтів є часто вживаними такі типи критеріїв:

- технічні критерії швидкодії, оптимізації мережевого трафіку та вимог до апаратних ресурсів;
- технічні критерії надійності та безпеки й ефективності технічної підтримки;
- естетичні та художні критерії;
- психологічні критерії;
- системні критерії глобальних середовищ (відвідуваність сайту, рейтинг сайту, Link Popularity та ін.).

2.2. Проблеми побудови ефективних сайтів

Сайт може ефективно функціонувати та розвиватися лише за умови, що під час

його проектування та розробки були враховані усі основні критерії ефективності та якості. На відміну від традиційних ІС (орієнтованих на використання у внутрішніх інформаційних середовищах) сайти загального призначення не можуть орієнтуватися лише на технічні критерії якості, надійності та ефективності. Важливими також є естетичні, психологічні критерії. Винятково важливими стають також системні критерії.

Як наслідок, при розробці сайту виникає ряд колізій. Для кожного з класів сайтів існують типові набори рішень щодо розробки структури сайту, програмних кодів, інформаційного наповнення. Існують типові мережеві рішення та варіанти апаратно-програмних платформ. Для кожного з таких рішень визначено рівні затрат, необхідні людські та матеріальні ресурси. Тому розв'язок задачі побудови ефективних сайтів із врахуванням лише технологічних аспектів не викликає принципових складнощів.

Проте врахування додаткових художніх, естетичних критеріїв породжує ряд суперечностей. Зокрема, якісний художній дизайн сайту часто передбачає використання графічних та мультимедійних елементів, спеціальних засобів HTML для візуального форматування. Це викликає додаткове навантаження на мережі та обладнання.

Цей конфлікт є вже достатньо добре описаним, проте і сьогодні не існує єдиного обґрунтованого погляду на пріоритетність згаданих критеріїв. Естетичні аспекти оформлення сайту доповнюються критеріями зручності використання (usability). Якщо естетичні критерії часто можна ігнорувати (особливо на сайтах із великими об'ємами корисної інформації), то врахування вимог usability є необхідним у будь-якому разі.

Приведення сайту до вимог usability часто породжує великі об'єми надлишкової інформації, надлишкові внутрішні зв'язки на сайті та інші види надлишковостей. Це також призводить до ускладнення технічної реалізації сайту та погіршення його технічних характеристик.

Ще одним потужним джерелом колізій при побудові ефективних сайтів є системні критерії якості. Основними системними критеріями якості та ефективності сайту є:

- відвідуваність сайту цільовою аудиторією;
- рейтинг сайту в каталогах, рейтингових системах, пошукових машинах (за певними ключовими словами);
- кількість зовнішніх посилань на сайт (та похідні від нього величини).

Відповідність цим критеріям призводить до значних змін у гіпертекстовій структурі сайту, зовнішньому оформленні, текстовому наповненні, внутрішній структурі сторінок.

Результатом застосування системних критеріїв є значне обмеження за допустимим спектром веб-технологій, на яких базується сайт (можливе вилучення або обмеження JavaScript, інтелектуального настроювання сайту на користувача, застосування cookies, технологій динамічної генерації сторінок та інше) [2].

Обмеження також накладаються на дизайн сайту – характерними є обмеження графічних елементів, мультимедії, не надто типових форматів файлів, інтерактивності сайту. Згідно до обмеження на дизайн розроблений веб-сайт має містити мінімум неважливих графічних елементів і бути розроблений з точки зору зручності використання.

Системні критерії рідко вступають у конфлікт із критеріями зручності використання сайту. Це викликано в першу чергу тим, що сучасні пошукові машини, редактори Інтернет-каталогів, намагаються «ставити себе на місце звичайного користувача», і, як наслідок, часто вище оцінюються зручні для відвідувача сайти.

При побудові реально діючих WWW-систем розробники постійно зустрічаються з іще складнішими ситуаціями. Одночасно застосовуються критерії усіх наведених

вище типів. Проте одночасне застосування технічних, естетичних, психологічних та системних критеріїв призводить до серйозних колізій. На жаль, ця колізія, як правило, на сьогодні належним чином не розв'язується. Більша частина існуючих сайтів побудована з розрахунку на задоволення вимог одного (максимум двох) типів. У нашому випадку ми поступаємось естетичними вимогами на користь зручності використання та швидкості реагування.

Проте окреслені вище проблеми та колізії не виключають можливості побудови сайтів, що будуть ефективними та якісними з огляду на критерії усіх типів.

Для цього існує ряд передумов. Зокрема, усі часто вживані критерії є синтетичними.

Ряд критеріїв є суб'єктивними, і не є стабільними. Це дає можливість узгодження критеріїв між собою. На основі критеріїв різних типів часто можна виділити спільні вимоги до сайтів. Так, уже згадувалась схожість вимог з usability та позиціонування в пошукових системах. Іншим прикладом є вимога швидкого завантаження сайту, яка може бути викликана як звичайними технічними критеріями, так і естетичними потребами.

Комплексний аналіз критеріїв дозволяє виділити та, якщо, необхідно модифікувати основні вимоги до сайтів. Наприклад, сумарний аналіз критеріїв може вказувати у деяких випадках на те, що ключовою вимогою до сайту є швидкість його завантаження. У такому разі на етапі проектування й реалізації може бути уточнено політику з підключення сайту до Інтернету.

Таким чином, одночасне застосування багатьох критеріїв до оцінки ефективності сайту може не призводити до нерозв'язних колізій. Проте це можливо лише за умови вчасного визначення та застосування усіх критеріїв на етапах системного аналізу та проектування веб-сайту.

В іншому разі, справді, якісного розв'язання усіх колізій може не існувати. Як наслідок, розробникам та адміністраторам сайтів доводиться застосовувати спеціальні технології, що є далеко не завжди коректними стосовно Інтернет-суспільства та таять у собі ряд прихованих небезпек.

Так, наприклад, якщо не врахувати системні критерії на етапі формування сайту, на пізніших етапах це можна компенсувати (без переробки сайту) такими технологіями, як cloacking та doorways. Використання цих засобів може призвести до непоправних втрат для сайтів (вилучення з баз даних пошуковців та каталогів, занесення в «чорні списки» і т.п.).

Недостатнє врахування технічних критеріїв на ранніх етапах побудови сайту загрожує на етапі функціонування технічними збоями, помилками, повідомленнями типу «internal error» і т.п.). Це, у свою чергу, призводить і до системних втрат: вилучення з БД пошуковців і каталогів, зникнення зовнішніх посилань, втрати довіри відвідувачів. Саме тому при розробці програмного забезпечення бюро перекладів технічні критерії беруться до уваги в першу чергу.

Недостатнє врахування естетичних критеріїв та критеріїв usability при проектуванні сайту загрожує втратою аудиторії відвідувачів, пониженням рейтингу у деяких каталогах. Як вже згадувалось вище, при розробці «Бюро перекладів», критерії usability мають перевагу над іншими критеріями естетичності.

2.3. Побудова сайтів із врахуванням сучасних критеріїв

Наведені вище проблеми побудови сайтів, що є ефективними за багатьма критеріями, можуть частково або повністю розв'язані при виконанні ряду наступних рекомендацій:

а) раннє визначення критеріїв.

Критерії оцінки якості та ефективності сайту повинні бути визначені на ранніх етапах Інтернет-проекту. При запізненому визначенні критеріїв необхідно заново

пройти ряд основних етапів створення сайту. Використання спеціальних допоміжних технологій не є запорукою успіху та може нести різні приховані небезпеки.

При визначенні критеріїв слід враховувати їхню синтетичну природу, наявність суб'єктивних та нестабільних складових. Це дає можливість визначати основні вимоги до сайту, задоволення яких забезпечуватиме достатній рівень якості та ефективності по усіх критеріях;

б) встановлення пріоритетності критеріїв.

Після визначення усіх критеріїв ефективності необхідно встановити їхню пріоритетність. Найпріоритетніші критерії повинні формувати функції мети (їхнє покращання повинно здійснюватися постійно).

Решта критеріїв повинна формувати систему обмежень. Недотримання певних обмежень не допускається, проте після досягнення певного рівня ефективності по таких критеріях подальшого покращання можна не здійснювати;

в) визначення стратегії розвитку.

Потрібно визначити стратегію побудови та розвитку сайту із врахуванням критеріїв та їхніх пріоритетів. Ця стратегія повинна бути спланована на довготривале використання. Зміна стратегії після проходження великої частини процесу побудови ефективного сайту є дуже дорогим і трудомістким заняттям.

Наприклад, системні критерії відвідуваності цільовою аудиторією та рангування за ключовими словами у пошукових системах великою мірою залежать від вибраної стратегії реєстрації ресурсу. Після виконання процедур реєстрації ефективна зміна цільової аудиторії або ключових слів може для даного сайту бути практично неможлива (без повторної реєстрації під іншою Інтернет-адресою – що знову ж призводить до втрати бренду);

г) використання усталених технологій.

Використання експериментальних, не дуже поширених, не стандартизованих певним чином технологій без вагомих причин є недопустимо. Набір технологій, що використовуються при створенні сайту, повинен бути зведений до абсолютного мінімуму, достатнього для розв'язання поставлених задач.

У кожній із застосованих технологій необхідно, у першу чергу, використовувати максимально спеціалізовані засоби;

д) постійний контроль за показниками якості.

Важливою особливістю, що відрізняє веб-сайти від інформаційних систем локального призначення, є їхнє функціонування в глобальному середовищі. Як наслідок, неможливо зберегти високі показники якості протягом навіть недовгого часу (реальним часом стабільності є декілька місяців), якщо не здійснювати постійний контроль та вдосконалення сайту. Динамічність Інтернет суттєво ускладнює побудову сайту з високими показниками ефективності за багатьма критеріями.

Проте, з іншого боку, динамізм World Wide Web та Інтернет при постійному контролі та вдосконаленні сайту надає додаткові можливості щодо збільшення комплексної ефективності сайту. Зокрема, є можливість знаходження нових узгоджень за критеріями, уточнення системи пріоритетів. Показники по деяких критеріях можуть покращуватися без особливих зусиль (Наприклад, покращуватися технічні характеристики).

Крім того, WWW є достатньо відкритим середовищем, що дає змогу відслідковувати методи вирішення певних задач по побудові сайту та оцінювати їхню ефективність за вибраними критеріями.

Сьогодні практично для кожного нового WWW-проекту (крім експериментальних та науково-дослідницьких) можна знайти діючі аналоги, що дозволяє врахувати їхній досвід досягнення або втрати ефективності. Розробникам сайтів практично неможливо приховати використані ними технічні рішення (на

концептуальному рівні). Цілком відкритими є естетичні та психологічні якості сайту. Системні показники сайтів у більшості випадків також можуть бути отримані.

Таким чином, Інтернет для розробників сайтів є не лише джерелом проблем, а й джерелом ідей щодо їхнього вирішення;

е) застосування математичних та формальних підходів.

Задачі, що постають при розробці ефективних сайтів, є складними, багатокритеріальними та слабоформалізованими.

Проте застосування математичних та формальних підходів до цих задач дозволяє побудувати об'єктивну систему вимірювання ефективності сайту, визначити багатокритеріальні задачі оптимізації та координації, визначити основні підходи до їхнього розв'язання. Звичайно, у загальному випадку не завжди можна отримати повністю формалізовані математичні задачі оптимізації або координації. Однак, у будь-якому разі, формальний аналіз задачі покращання сайту дозволяє точніше визначити пріоритетність і співвідношення між критеріями, числові характеристики критеріїв, конфлікти та колізії у цій задачі покращання.

2.4. Математичні підходи до побудови ефективних WWW-систем

Як було вже відмічено, застосування формально-математичних підходів є однією із важливих заповорок успіху при побудові ефективних сайтів. Проте математичні аспекти розв'язання задачі побудови сайтів, ефективних за багатьма критеріями, на сьогодні є слабо дослідженими. Дослідження зосереджено в основному на проблемах покращання технічних характеристик сайтів. Математичне моделювання та оптимізація показників usability та інших психологічних характеристик сайтів є частковим (хоча і дуже специфічним випадком) загальних досліджень з цієї тематики. Естетичні критерії оцінки ефективності сайтів узагалі погано піддаються математичній формалізації. Системні аспекти функціонування сайтів досліджуються фрагментарно. Зокрема, проводяться окремі дослідження по аналізу аудиторії сайту, поведінки користувача, існують спеціальні дослідження з рангування ресурсів в Інтернет (по графовій структурі WWW) та з лінгвістичного аналізу сторінок, з формального моделювання Веб-систем.

Тому, пріоритетними напрямками досліджень з математичної формалізації та розв'язання задач покращання сайту є:

- побудова єдиних математичних підходів до дослідження системних аспектів функціонування сайтів, яка б охоплювала та узагальнювала існуючі дослідження;
- побудова єдиних математичних підходів до дослідження взаємодії системних, технічних, психологічних аспектів функціонування сайту;
- побудова єдиних підходів до комплексного дослідження функціонування сайту, що охоплюють як формалізовані аспекти, так і аспекти, що погано формалізуються (зокрема, естетичні та художні властивості сайту);

Веб-сайти (на відміну від традиційних інформаційних систем) функціонують у середовищі, що є:

- глобальним;
- надзвичайно динамічним.

Системні характеристики сайту породжуються не лише самим веб-сервером, а й усіма іншими веб-серверами системи World Wide Web та користувачами Інтернету. Тому адекватний аналіз системних характеристик та розробка алгоритмів та методів їхнього покращання можлива лише за умови розгляду сайту як частини глобальної системи WWW.

Такої особливості немає у традиційних інформаційних системах, з високим рівнем автономності з погляду математичної формалізації.

Задача покращання показників сайту є фактично локальною оптимізаційною задачею глобальної задачі координації певної частини WWW.

Фактично, аналіз сайту повинен охоплювати й аналіз World Wide Web (принаймні, основні показники усього WWW та певних його підмножин), і аналіз контрольних сайтів (конкурентів, партнерів тощо), і аналіз основних пошукових і каталожних WWW-сервісів (включно з частотою появи ключових слів і фраз, наповнення категорій тощо).

World Wide Web на сьогодні є безпрецедентно динамічним середовищем. Час існування сайту, як правило, значно перевищує час відносної стабільності основних системних показників World Wide Web та його складових. Таким чином, абсолютні величини, що характеризують системні показники сайту, не можуть використовуватися протягом тривалого часу. Методи та алгоритми математичного моделювання та покращання Веб-сайтів повинні бути стійкими до швидких і частково непередбачуваних змін у World Wide Web.

Задачу покращання ефективності Веб-сайтів у математичній постановці доцільно формулювати як задачу оптимізації з функцією мети, тобто

$$Eff(S) \rightarrow \max,$$

де $Eff(S)$ - показник інтегрованої ефективності сайту S .

Цей показник повинен формуватися (як функція, що аргументом має набір різноманітних характеристик сайту) з критерію ефективності сайту, що визначений як найбільш пріоритетний. Основними проблемами, що виникають при формуванні показника інтегрованої ефективності є:

- наявність кількох критеріїв найвищої пріоритетності;
- складність формулювання показників ефективності в числовому вигляді.

За наявності кількох критеріїв з приблизно однаковим високим пріоритетом необхідно застосовувати згортку кількох критеріїв у один. Знову ж виникає питання про правила та про вагові коефіцієнти згортки. У найпростішому випадку може застосовуватися звичайне підсумування.

Деякі показники достатньо складно подаються в числовому вигляді, який може застосовуватися в показнику інтегрованої ефективності. Причин цьому може бути декілька:

- стохастичний характер показника;
- слабка формалізованість показника;
- відсутність інформації про правила перетворення показника до числового вигляду.

Прикладом стохастичного показника є добова відвідуваність сайту. Показники такого типу повинні статистично усереднюватися.

Слабка формалізованість показника виникає при виборі в якості пріоритетних тих критеріїв, які переважно є суб'єктивними або погано дослідженими. У такому разі найкраще провести додаткові уточнення та знайти краще формалізовану заміну таким критеріям. Іншим способом формалізації є проведення додаткових досліджень (наприклад анкетувань або опитувань).

Деякі показники (незважаючи на добру формалізованість) інколи погано приводяться до вигляду, що може використовуватися в інтегрованому показнику ефективності. Це, зокрема, позиції в рейтингах, пошукових машинах тощо. У такому разі для визначення правила формування інтегрованого показника ефективності з таких показників потрібно проводити додаткові дослідження, зокрема: аналіз поведінки користувачів сайту, моніторинг контрольних сайтів, обмін досвідом тощо.

Обмеження оптимізаційної задачі формуються на основі критеріїв ефективності нижчих пріоритетів. Основні проблеми, що виникають при формуванні обмежень у математичній формі, також виникають через складність формулювання показників ефективності в числовому виді. Проте ця проблема для формування множини обмежень є ще більш актуальною. Справа в тому, що до критеріїв з невисоким

пріоритетом (які визначають множину обмежень) дуже часто потрапляють естетичні критерії та критерії безпеки.

Для естетичних показників сайту очевидним способом приведення до числового виду є проведення опитувань (з урахуванням особливості цільової аудиторії) та проведення експертного оцінювання.

Для показників безпеки часто числові величини можуть бути отримані шляхом визначення необхідних рівнів технічних показників сайту (для стійкості від певних видів загроз) та експертного оцінювання імовірності виникнення таких загроз.

Одним з ключових факторів, що впливає на формування та розв'язання математичних задач покращання ефективності сайту є динамічність WWW. Здійснення усього комплексу заходів по розв'язанню такої задачі повинне тривати менше, ніж триває період відносної стабільності WWW. На сьогодні такий період складає декілька місяців (до року). З іншого боку, отримані результати повинні використовуватися протягом значно тривалішого часу та бути стійкими що змін.

Як було уже сказано, задача покращання структури веб-сайту є локальною компонентою глобальної координації певної частини World Wide Web. Таким чином, визначення значень параметрів функції мети та локальних обмежень є керуючим впливом глобальної системи. Ці впливи мають об'єктивний характер і узагальнюють у собі характеристики World Wide Web та сайтів, що його формують. Визначення таких впливів є достатньо складною задачею, яка в загальному випадку повинна містити:

- інтелектуальний аналіз трафіку сайту;
- аналіз характеристик конкуруючих сайтів та сайтів-партнерів;
- аналіз структури, характеру та частоти появи запитів до пошукових систем та каталогів, що приводять відвідувача до сайту, та таких, що повинні привести до нього, але не приводять;
- аналіз гіперпосилань на сайт та на сайти-конкуренти (сайти-партнери).

Визначення частини WWW, яка повинна розглядатися як надсистема, що містить у собі конкретний сайт, є окремою задачею. Сьогодні проводяться певні дослідження в галузі з визначення таких логічних частин системи WWW [3-5].

Розгляд задачі оптимізації як частини глобальної координаційної задачі дозволяє зрозуміти природу періодів відносної стабільності WWW. Фактично, кожен такий період – це одна ітерація процесу глобальної координації. Протягом цього періоду учасники процесу координації повинні:

- здійснити комплексний аналіз актуального стану сайту та його ефективності;
- внести необхідні зміни до структури та наповнення сайту;
- вплинути на графову структуру WWW.

Після цього має пройти певний період оновлення баз даних пошуковців та каталогів, протягом якого вони врахують ці зміни.

Відтак починається нова ітерація. Зрозуміло, що тривалість наведених процедур оновлення для кожного сайту окрема. Проте через глобальність WWW при визначенні тривалості періоду відносної стабільності достатньо враховувати оперативність внесення змін лише найпотужніших та найоперативніших сайтів з певної підмножини WWW.

3. Опис та структура програмного продукту

1. Назва програмного продукту. Розроблена програма називається «Бюро перекладів»

2. Програмне забезпечення, необхідне для функціонування програми.

Програма призначена для запуску і роботи під керівництвом операційної системи Windows 9x/2000/NT/XP з встановленим .Net Framework 3.5 та орієнтована на роботу в Інтернеті.

3. Мови програмування, на яких написана програма. Програма реалізована

використовуючи технологію ASP.Net з мовою C#.

Програмний продукт розроблений за допомогою ASP.Net може складатися з однією або більше збірок. «Бюро перекладів» складається з трьох збірок:

DBProvider – збірка для керування підключеннями до бази даних, керування транзакціями;

DL – збірка доступу до бази даних;

BL – збірка бізнес логіки;

Безпосередньо - Web-додаток.

Така будова програмного продукту наведена на рис. 1.

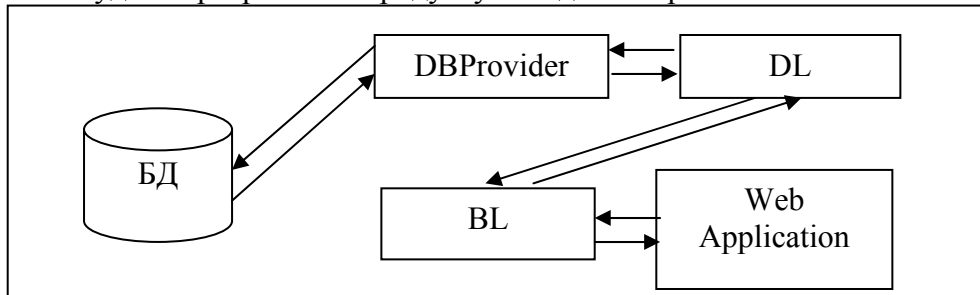


Рисунок 1 – Структура програмного продукту «Бюро перекладів»

Така структура програмного продукту дозволяє змінювати окремі частини без необхідності вносити зміни в інші.

DBProvider – реалізує керування доступом до конкретної системи керування базами даних. Завдяки цьому можливо змінити одну СКБД на іншу без необхідності змін в інших частинах програмного продукту.

DL – шар доступу до даних відокремлений від бізнес логіки дозволяє змінювати запити до бази даних без зміни бізнес логіки [3]. Що дає велику перевагу в разі виникнення потреби внесення змін до запитів. Таким чином можливо оновити тільки шар доступу до даних, і це дуже легко завдяки тому, що це тільки одна динамічна бібліотека, яку використовують інші.

BL – шар бізнес логіки включає в себе усі бізнес правила, вимоги та перевірки.

Веб-додаток – веб-сайт який складається з трьох частин:

- модуль для клієнта;
- модуль для перекладача;
- модуль для співробітників бюро перекладу.

Усі ці модулі включають в себе веб-сторінки організації вводу/виводу даних.

БД - База даних використана в якості сховища для зберігання робочих даних програмного продукту. У даному продукті база даних була створена за допомогою СУБД MS SQL Server 2008. Завдяки цьому можливо використати підхід до проектування бази даних з використанням збережених процедур (stored procedures), функцій (functions) та представлень (views). Скориставшись такою можливістю, було розроблено певну кількість збережених процедур, що дало змогу не використовувати мову TSQL у коді основної програми, а просто проводити виклики потрібних процедур.

4. Інструкція користувача

Програмне забезпечення бюро перекладів призначене для управління, реєстрації та контролю послуг перекладу в комп'ютерній мережі. Воно складається з чотирьох модулів:

- головного модулю єдиного для всіх типів користувачів;
- модуля клієнта;
- модуля перекладача;
- модуля співробітника бюро перекладів.

4.1. Головний модуль

Головний модуль слугує для надання загальної інформації про бюро перекладів та реалізує функціональність реєстрації користувача та його входу в систему.

В системі може бути зареєстрований як клієнт так і перекладач. Система виконає потрібні перевірки та зареєструє нового користувача в якості або клієнта, або перекладача.

Після успішної реєстрації в системі користувач має можливість виконати вхід в систему.

4.2. Модуль клієнта

Модуль клієнта надає користувачу можливість реєструвати в системі замовлення перекладу, відслідковувати стан документів, які розташовуються в списку перекладів та переглядати рахунки на оплату. Також є можливість редагувати свій профіль користувача.

Для замовлення перекладу потрібно вказати крім мови оригінала та мови перекладу також бажану дату виконання.

У разі успішного замовлення система повідомляє користувачу ідентифікатор замовлення в системі.

4.3. Модуль перекладача

Модуль перекладача надає користувачу можливість виконувати переклад, відслідковувати його стан, переглядати рахунки та можливість редагувати свій профіль користувача.

Для виконання перекладу потрібно виконати наступні дії:

- вибрати зі списку доступних перекладів потрібний;
- ознайомившись з замовленням, прийняти запропоновану ціну або вказати свою;
- отримавши підтвердження, завантажити файли для перекладу на свій комп'ютер;
- виконати переклад;
- завантажити переклад назад у систему.

4.4. Модуль співробітника бюро перекладів

Модуль співробітника бюро перекладів слугує для управління замовленнями та контролем якості.

Основною сторінкою цього модулю є список замовлень. На цій сторінці користувач може отримати інформацію стосовно стану замовлень, якими він керує. Вибравши потрібний переклад для перегляду користувач може приймати або відхиляти цінові пропозиції від перекладача. Таким чином є змога вибрати найбільш привабливу пропозицію із існуючих для даного замовлення. Також співробітник має можливість пошуку потрібного замовлення перекладу, профілів клієнта, перекладача та компанії. Перегляд рахунків та їх створення проходить автоматично на основі списку замовлень.

Розроблена детальна інструкція для користувачів програмного продукту з метою пришвидшення впровадження ПП та навчання користувачів. Також чітке дотримання інструкції гарантує цілісність та повноту даних і, як результат, якість та вчасність виконаних робіт перекладу.

Висновки

В рамках роботи було виявлено основні проблеми, які виникають при наданні послуг технічного перекладу. Розглянувши принципи побудови веб-систем та враховуючи виявлені проблеми в сфері технічного перекладу, метою роботи стала розробка програмного забезпечення системи управління, реєстрації та контролю послуг перекладу в комп'ютерній мережі та її впровадженню.

Було проведено дослідження методом глибокого вивчення прогнозів та дійсності в галузі технічних перекладів. Аналіз галузі показав, що основними проблемами на сьогодні є неупорядкований документообіг, застосування не автоматизованих процесів та майже повна відсутність використання вільно найманих перекладачів. Управління бюро перекладів вимагає чіткої послідовності дії, узгодженості бізнес процесів та взаємодії між співробітниками бюро та клієнтами, а також між співробітниками та перекладачами.

Впровадження розробленої системи керування, управління та реєстрації перекладів допомагатиме йти у ногу з часом, випереджати конкурентів, приймати правильні управлінські рішення, вести єдину базу клієнтів, перекладачів та документів, структурувати фінансову діяльність, оптимізувати та автоматизувати документообіг, покращити якість виконаних перекладів.

Розроблену систему можна рекомендувати для впровадження усім малим та середнім бюро перекладів.

Список літератури

1. Рихтер Дж. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 2.0 на языке C#. – «Питер», 2007. – 656 с.
2. Беллиньясо, Марко. Разработка Web-приложений в среде ASP.NET 2.0: задача-проект-решение. М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2007. — 640 с.
3. Фуфаев Э.В., Фуфаев Д.Э. Разработка и эксплуатация удаленных баз данных. - М.:ИЦ «Академия», 2008. – 256 с.

С. Поперешняк

Проблемы технического перевода в сельском машиностроении и система управления, регистрации и контроля услуг перевода в компьютерной сети

В статье рассмотрены проблемы технического перевода в отрасли сельского машиностроения, приведены критерии и математические подходы к построению эффективных веб-систем в условиях современной конкуренции. В результате анализа критериев построения эффективных веб-систем и учитывая проблемы технического перевода была разработана система управления, регистрации и контроля услуг перевода в компьютерной сети.

S. Popereshnyak

The problems of technical translate in the agriculture engineering field and the system of administration, registration and control of the translation service in the computer net

In the article the problems of technical translate in the agriculture engineering field are considered. The criterions and mathematical approaches of constructions of effective web systems under the conditions of modern comparison are listed. The system of administration, registration and control of the translation service in the computer net was obtained as a result of analyze of the criterions and the technical translate problems.

Одержано 08.10.09

УДК 621.936-61

В.А. Войтов, проф., д-р техн. наук, М.В. Карнаух, асп., О.Б. Калюжний, доц., канд. техн. наук

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

М.С. Даценко, директор

Департамент інженерно-технічного забезпечення Мінагрополітики України, м. Київ

Дослідження особливостей фільтрації біодизеля через паперові фільтри тонкої очистки дизельних двигунів

В статті наведені результати експериментальних досліджень фільтрації біодизеля та сумішевих видів палива через паперові фільтри. Отримані значення коефіцієнта фільтрації свідчать про його невідповідність ГОСТ 305-82. Обґрунтовані та запропоновані технологічні засоби попередньої підготовки сумішевих видів палива перед використанням.

паперові фільтри, біодизель, коефіцієнтів фільтрації, ресурс, сумішеві види палива

Постановка проблеми. Біодизель – якій є продуктом переетерифікації рослинних олій і являє собою метилові або етилові ефіри жирних кислот є доброю альтернативою нафтовому дизельному паливу і починає широко використовуватися у всіх країнах світу, в тому числі і в Україні. В результаті застосування біодизеля накопичується і досвід особливостей експлуатації дизельних двигунів, які переведені на живлення біодизелем.

Авторами роботи [1] представлені техніко-експлуатаційні та екологічні показники дизельних двигунів при застосуванні метилових ефірів жирних кислот ріпакової, соняшникової та соєвої олій. Для уникнення значного зниження ефективної потужності та збільшення питомої витрати палива (в межах 5%) автори рекомендують до експлуатації наступні сумішеві види палива:

- для зимової експлуатації – не більш 10% біодизеля, решта дизельне паливо;
- для літньої експлуатації – не більш 30% біодизеля, решта (70%) дизельне паливо.

При таких сумішах зниження ефективної потужності та збільшення питомої витрати палива буде знаходитися в межах 3...5%, що суттєво не вплине на експлуатаційні показники, при цьому зниження вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах буде в межах:

- димність, до 10%;
- CO, до 30%.

Досвід літньої експлуатації дизельних двигунів на сумішевих видах палива, 30% метилових ефірів жирних кислот ріпакової олії (МЕРО) та 70% дизельного палива, дозволив встановити явища, які пов'язані з погіршенням процесу фільтрування палива через фільтри тонкої очистки та зниження строку експлуатації паперових фільтрів тонкої очистки. Строки заміни фільтрів на тракторах ХТЗ, МТЗ та вантажних автомобілях КамАЗ при цьому були скорочені в 2...3 рази.

Таке явище вимагає ретельних досліджень і пояснень, які повинні супроводжуватись розробкою доповнень до керівництва з експлуатації дизельних двигунів, що переведені на живлення біодизелем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З 1 березня 2010 року наказом державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики №27 від 20 січня 2009 року набирає чинності національний стандарт ДСТУ 6081:2009 “Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги.” Розроблений стандарт відповідає європейському стандарту EN 14214:2003 “Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods.” Згідно стандарту ДСТУ 6081:2009 та EN 14214:2003 ефіри жирних кислот відрізняються від нафтового дизельного палива ДСТУ 3868-99 [2] за наступними показниками:

– кінематична в’язкість біодизеля більш ніж у двічі перевищує в’язкість нафтового дизельного палива (ДСТУ 3868-99);

– масова частка води згідно ДСТУ 3868-99 для дизельного палива відсутня, для біодизеля не більш 500 мг/кг, або не більше 0,05%. Пов’язано це з тим, що в процесі реакції жирних кислот з спиртами виділяється вода, яка вилучається в ході процесу різними методами хімічних технологій;

– згідно ДСТУ 3868-99 вміст механічних домішок в паливі не допускається. Для біодизеля цей показник не повинен перевищувати 24 мг/кг. Пов’язано це з тим, що до механічних домішок при виробництві біодизеля відносяться частка не жирових домішок, яка залежить від того, присутня перегонка ефірів, чи відсутня, а також наявністю воску та воскоподібних речовин, які присутні в оліях, з яких виготовляється біодизель;

– в біодизелі, згідно стандарту ДСТУ 6081:2009, загальний гліцерин не повинен перевищувати 0,25%, а масова частка лужних металів не більш 5 мг/кг.

Як слідує з перерахованих чотирьох пунктів біодизель, який відповідає європейському стандарту EN 14214:2003 та національному стандарту ДСТУ 6081:2009, має в своєму складі вологу, воскоподібні речовини, механічні домішки.

Перераховані “забруднюючі” речовини та підвищена в’язкість вабить ускладнюванню процесу фільтрування палива через паперові фільтри тонкої очистки дизельних двигунів. На це було акцентована увага російських [3] та американських вчених [4].

Методика досліджень. З аналізу літературних джерел слідує [5], що здатність палива до фільтрування оцінюється коефіцієнтом фільтрування. Цей коефіцієнт визначається згідно ГОСТ 19006 [6] і є відношенням часу фільтрації t_2 в секундах останніх 2 см^3 палива, до часу фільтрації перших 2 см^3 палива, t_1 і визначається за формулою:

$$K = \frac{t_2}{t_1}.$$

При проведенні досліджень на різних сумішах фільтрується одна і та ж кількість палива – 45 см^3 (ГОСТ 19006).

Результати досліджень. Коефіцієнт фільтрації визначали для наступних видів палива:

- паливо дизельне, зимове (ДЗ);
- паливо дизельне, літнє (ДЛ);
- 10% МЕРО + 90% ДЗ, В10;

- 30% МЕРО + 70% ДЛ, В30;
- 100% МЕРО, МЕРО.

Результати досліджень та розрахункове значення коефіцієнта фільтрації K наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати досліджень

Вид палива	t_1, c	t_2, c	K
ДЗ	98	166	1,69
ДЛ	173	460	2,65
В10	181	1835	10,13
В30	183	2704	14,77
МЕРО	550	22660	41,2

Аналіз представлених результатів свідчить, що сумішеві палива та 100% МЕРО мають значно високі коефіцієнти фільтрації. Згідно з ГОСТ 305-82 [7] значення K не повинно перевищувати 3. Як видно з табл.1 зимове та літнє дизельне паливо задовольняють такій вимозі.

З роботи [5] слідує, що при збільшенні K до значення 6 термін служби паперових фільтрів тонкої очистки необхідно зменшити в три рази. На основі отриманих значень K та залежностей, які наведені в [5], можна стверджувати, що строк експлуатації фільтрів при використанні 100% МЕРО необхідно зменшити в 10 разів (до 100 мотогодин), при використанні В30 та В10 в 5 разів (до 200...250 мотогодин).

Причиною таких високих значень коефіцієнта фільтрації є наявність в МЕРО фосфоліпідів, воскоподібних речовин, мила, гліцерину.

Отримані данні повністю збігаються з даними статті російських вчених [3], де приведені фотографії відкладень мила на деталях паливного фільтра.

Для подолання виявлених недоліків фільтрування біодизеля нами були проведені дослідження по використанню відстояних сумішевих видів палива після їх приготування.

Відстоювання проводили від 25 до 200 годин з контролем коефіцієнта через кожні 25 годин. Результати досліджень представлені на рис.1.

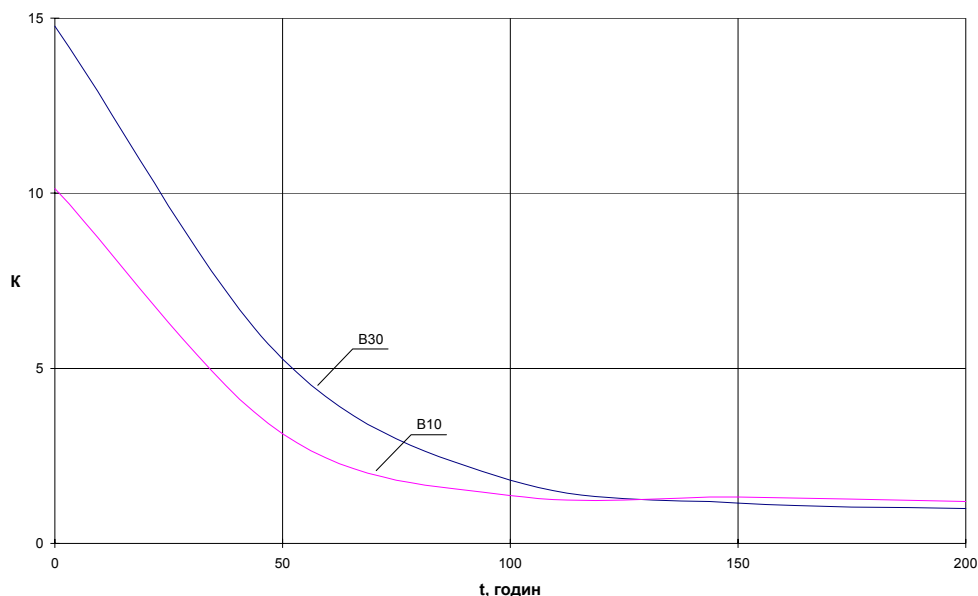


Рисунок 1 – Залежність K від часу відстоювання

З аналізу експериментальних даних видно:

– сумішеві види палива В10 і В30 безпосередньо після їх змішування мають значення коефіцієнта фільтрації, що перевищують вимоги ГОСТ 305-82. Значення коефіцієнта наведеним в таблиці 1;

Аналіз поверхні фільтрувального паперу під оптичним мікроскопом дозволив виявити часткове, а іноді і повне закупорювання пор. Причина – наявність в біодизелі фосфоліпідів, воскоподібних речовин, мил та гліцеринів.

– із збільшенням часу відстоювання сумішевих палив в об'ємі палива відбуваються процеси агломерації (укрупнення) частинок перерахованих вище домішок та їх осадження у вигляді жовтуватого осадку;

Після зливу відстою були проведені експериментальні дослідження по виявленню коефіцієнта фільтрації, які дозволили встановити, що як для суміші В10 так і для суміші В30 коефіцієнт фільтрації знижується до значень, що відповідають вимогам ГОСТ 305-82.

– залежність зменшення K від часу відстоювання, (рис.1), дозволило встановити, що найбільш інтенсивно процеси агломерації відбуваються перші 50...75 годин. Збільшення часу відстоювання більш, ніж 100 годин не дає значного ефекту.

Аналіз поверхні фільтрованого паперу після випробувань відстояних видів палив терміном 100 годин під оптичним мікроскопом дозволив встановити, що має місто відкладення осадку на поверхні паперу, а іноді утворення сводиків забруднень.

Щоб уникнути цих недоліків та покращити процес фільтрування було запроваджене додаткове фільтрування сумішей перед використанням.

Значення коефіцієнтів фільтрування після відстоювання терміном 100 годин та додаткового фільтрування після зливу відстою наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнт фільтрування після відстою і додаткового фільтрування

Вид палива	K після змішування	K після відстою	K після відстою та фільтрування
ДП	–	1,7	1,44
В10	10,13	2,3	1,22
В30	14,77	2,4	1,4

Отримані експериментальні дані дозволяють зробити висновок, що додаткове фільтрування після відстою, забезпечує зниження коефіцієнта фільтрації сумішевих палив В10 та В30 до значення 1,22...1,4, що відповідає всім експлуатаційним вимогам. Ресурс паливних фільтрів при цьому знаходиться в діапазоні, передбаченим керівництвом з експлуатації (ТО-3).

Висновки.

1. Біодизель (МЕРО), а також сумішеві види палив В10 (10% МЕРО+90% ДП) та В30 (30% МЕРО +70% ДП) мають достатній рівень забруднень вологою, фосфоліпідами, воскоподібними речовинами, милами та гліцеридами, присутність яких дозволяється нормами стандартів EN 14214:2003 та ДСТУ 6081:2009, що призводить до підвищення значень коефіцієнтів фільтрації та зниженню ресурсу паливних фільтрів в 5...10 разів.

2. Для тривалої експлуатації фільтрів тонкої очистки в межах строків, які встановлені керівництвом з експлуатації (ТО-3) необхідно після змішування палив проводити відстоювання на протязі 75...100 годин та фільтрування після зливу відстою. Такий технологічний засіб забезпечує зниженню коефіцієнта фільтрації до показника нижче 2, що задовольняє всім вимогам експлуатації.

Список літератури

1. Войтов В.А. Техніко-експлуатаційні та екологічні показники дизельних двигунів при застосуванні біодизеля / В.А. Войтов, М.В. Карнаух, М.С. Даценко // Техніка і технологія АПК. – 2009.- Вип. 1. – С. 13-18.
2. Паливо дизельне. Технічні умови. ДСТУ 3868-99. – [Чинний від 08.04.99]. – К. : Держспоживстандарт України, 1999. – 12 с. – (Національний стандарт України).
3. Звонов В.А. Исследование эффективности применения в дизельных двигателях топливных смесей и биотоплив / В.А. Звонов, А.В. Козлов, А.С. Теренченко // Российский химический журнал. – 2008. - Вып. 6. – С.147-151.
4. Biodiesel Handling and Use Guidelines, 3rd Ed., U.S. department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Springfield, VA, USA, Sept. 2006. 69pp.
5. Григорьев М.А. Очистка топлива в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев, Г.В. Борисова. – М. : Машиностроение, 1991. – 208 с.
6. Топливо дизельное. Метод определения коэффициента фильтруемости. ГОСТ 19006-73. – 6 с.
7. Топливо дизельное. Технические условия. ГОСТ 305-82. – 10 с.

В. Войтов, Н. Даценко, Н. Карнаух, А. Калюжный

Исследование особенностей фильтрации биодизеля через бумажные фильтры тонкой очистки дизельных двигателей

В статье приведенные результаты экспериментальных исследований фильтрации биодизеля и смесевых видов топлива через бумажные фильтры. Полученные значения коэффициента фильтрации свидетельствуют о его несоответствии ГОСТ 305-82. Обоснованы и предложены технологические средства предварительной подготовки смесевых видов топлива перед использованием.

V. Voytov, N.S. Dacenko, N.V. Karnauh, A.B. Kalyuzhniy

Study characteristics of biodiesel through the filter paper fine filters of diesel engines

The article cited the results of experimental studies of filtration and blend biodiesel fuel through a filter paper. The values of filtration coefficient showed his lack of conformity with GOST 305-82. Studied and proposed technological means of preliminary preparation of composite fuels before using.

Одержано: 15.01.10

УДК 621.787.4.

Б.И. Бутаков, проф., д-р техн. наук, Д.Д. Марченко, ассистент, А.В. Зубехина, лаборант

Николаевский государственный аграрный университет

Обкатывание роликами как метод повышения качества деталей машин

Представлен анализ метода поверхностного пластического деформирования обкатыванием роликами стальных деталей с целью повышения их износостойкости, усталостной и контактной прочности. Анализ показал, что обкатывание роликами приводит к повышению износостойкости пар трения в 3 - 4 раза в условиях обильной смазки и в 1,5 - 2 раза при абразивном износе. Долговечность стальных деталей, работающих в условиях контактного смятия, за счет упрочняющего обкатывания повышается в 2 – 3 раза. В результате обкатывания гидроабразивный износ наплавленных плунжеров уменьшается на 15-18 % и заметно повышается их кавитационная стойкость.

обкатывание, наклеп, качество, фасонные поверхности, износ, контактная прочность

Качество деталей определяется их долговечностью, сроком службы при эксплуатации машины. Поверхностный слой металла, наиболее нагруженный и наименее защищенный от вредных воздействий, значительно влияет на качество деталей.

Между долговечностью деталей и характеристиками поверхностного слоя (шероховатостью поверхности, структурой, химическим составом материала, распределением по глубине механических свойств и остаточных напряжений), называемыми иногда характеристиками качества поверхности, существуют сложные, не всегда известные связи. Тем не менее, оценивая, как тот или иной способ обработки отражается на качестве деталей, часто ограничиваются определением характеристик качества поверхностного слоя металла. Например, определяют зависимость шероховатости или поверхностной твердости от режима обработки. В ограниченных пределах изменение отдельных свойств или даже одного какого-либо свойства поверхностного слоя может быть достаточным для грубого суждения о качестве деталей.

Допуская такие случаи, следует, однако, иметь в виду следующие три положения.

1. Общепринятые и доступные определению параметры поверхности далеко не полностью характеризуют ее работоспособность. В качестве примера можно указать на высоту неровности микропрофиля поверхности по ГОСТ 2789-73.

2. Связь известных характеристик поверхностного слоя с качеством, долговечностью деталей, как правило, не монотонна. В большинстве случаев существуют неизвестные заранее, оптимальные параметры поверхностного слоя, отвечающие наивысшему качеству деталей для данных условий эксплуатации.

3. Свойства поверхностного слоя детали влияют друг на друга. Это существенно усложняет задачу их оптимизации и не позволяет распространять результаты исследования одного случая обработки на другие случаи.

Чистовые способы механической обработки резанием и обкатыванием роликами

по-разному влияют на эксплуатационные свойства деталей машин. При обкатывании поверхностный слой деталей не разрушается и не удаляется. В процессе пластической деформации плотность металла снижается и в поверхностном слое возникают значительные сжимающие остаточные напряжения. Этим в основном определяется упрочняющий эффект обкатывания роликами для повышения усталостной прочности деталей, работающих на изгиб и кручение при циклических нагрузках [1].

В настоящее время не вызывает сомнений возможность и целесообразность деформационного упрочнения деталей весьма крупных размеров. Получение максимального упрочнения, сопровождаемого многократным увеличением долговечности, является чисто технологической задачей. На заводах тяжелого машиностроения накоплен значительный опыт упрочнения крупных деталей поверхностным пластическим деформированием. Ряд примеров приведен в табл. 1. Исследования, выполненные на Уралмашзаводе совместно с ЦНИИТМАШем, послужили основанием для разработки достаточно общих методик выбора режимов упрочнения крупных валов и позволили проверить их эффективность на образцах диаметром 180-200 мм [2].

Для упрочнения крупных валов на токарных станках применяют устройства с механическим и гидравлическим нагружением, позволяющие при усилиях в 60-70 кН деформировать металл на глубину более 10 мм. Использование столь значительных нагрузок допустимо лишь на самых тяжелых станках для упрочнения наиболее крупных деталей. Упрочнять деформированием галтели, резьбу и шлицы на валах средних размеров необходимо при меньших усилиях. Для этой цели были применены чеканка и обкатывание роликами с биением рабочего профиля. Наклонные и клиновидные ролики с биением рабочего профиля имеют увеличенную относительно упрочняемой галтели кривизну в осевом сечении. В результате точечного контакта с деталью эти ролики эффективно деформируют поверхностный слой металла при относительно небольших усилиях обкатывания. Такой же эффект достигается при использовании винтовых роликов для упрочнения конических шестерен конусных дробилок на специально созданном полуавтоматическом станке [2].

На другом специальном станке методом поперечного обкатывания упрочняют цилиндрические шестерни бортовых передач карьерных экскаваторов. Высокая степень деформации зон концентрации у корней зубьев достигается на этом станке за счет малого радиуса кривизны зубьев ролика и динамического приложения нагрузки при контакте ролика с деталью [2].

Качество многих деталей определяется их износостойкостью. Обкатывание роликами влияет на долговечность подвижных соединений деталей, работающих на износ. Это влияние связано с наклепом обкатанных деталей, повышением их твердости в результате пластической деформации и с новым, сглаженным микропрофилем их обкатанной поверхности. Влияние наклепа на стойкость деталей при абразивном износе и благотворное влияние сглаженного микропрофиля на износостойкость доказаны прямыми экспериментами на кантователе опок и на стане холодной прокатки труб [3, 4].

Обкатывание валов, работающих в подвижном, обильно смазанном контакте с бронзовыми вкладышами, уменьшает износ валов в 3 раза, а износ вкладышей более чем в 10 раз. Эти данные получены при испытаниях на машине МИ образцов, моделирующих контакт вала дробящего конуса с эксцентрик конусной дробилки.

Раскатывание роликами является оптимальным способом чистовой обработки гильз пневмоцилиндров, качество которых определяется стойкостью резиновых уплотнений поршня. Опыты на специальных стендах показали, что в начале работы шлифованная гильза изнашивает уплотнения в 10 раз интенсивнее, чем раскатанная [4].

Тяжелое машиностроение характеризуется широкой номенклатурой деталей, разнообразием размеров и форм обрабатываемых поверхностей, индивидуальным и мелкосерийным типом производства. В этих условиях эксплуатационный эффект обкатывания и степень влияния его на качество деталей часто остаются невыясненными. Обкатывание роликами - высокопроизводительный технологический способ, позволяющий получить заданную чертежом шероховатость поверхности. Кроме того, известно, что технологические возможности чистовой обработки зачастую не могут удовлетворить обоснованным требованиям конструкторов. Внедрение в производство обкатывания роликами позволяет повысить требования к чертежу, приблизить изготавливаемую деталь к конструкторскому идеалу.

В производственной практике обкатывание роликами применяют на токарных, карусельных, расточных, строгальных и фрезерных станках при обработке наружных, внутренних плоских и фасонных поверхностей. В табл. 2 приведены примеры использования чистового обкатывания роликами в заводских условиях. Наряду с шероховатостью поверхности, проставленной на чертежах, указана шероховатость, желательная по условиям эксплуатации, но недостижимая без обкатывания роликами.

Некоторые детали вообще не могут быть изготовлены без обкатывания. Например, после того как литая заготовка корпусов распределителей шихты была заменена сварно-литой, стало практически невозможно чисто обработать на карусельном станке цилиндрическую поверхность. Сварная часть детали представляет собой цилиндр диаметром 2,3 м и высотой 900 мм, свальцованный из стального листа толщиной 30 мм. Продольный сварной шов не позволяет чисто обточить поверхность широким резцом. Применение специальных приспособлений для шлифования также не дает результатов из-за недостаточной жесткости обрабатываемой детали и большой вязкости материала. Шероховатость поверхности, соответствующую параметру $R_a = 1,25$ мкм, получают обкатыванием роликом после сравнительно грубого обтачивания корпусов с шероховатостью $R_z = 40-80$ мкм. Нередко обкатывание заменяет слесарную доводку поверхностей крупных деталей, причем не только механизмуется ручной труд и сокращаются трудозатраты, но сохраняется точность обрабатываемых поверхностей, неизбежно нарушаемая при ручной доводке. Таким способом была решена проблема чистовой обработки отверстий в станинах прошивного стана трубопрокатного агрегата, фасонного профиля зубчатых валков для прокатки волнистых листов.

Отверстие диаметром 2,3 м и длиной 5,86 м в литой станине пересечено большим количеством пазов, выточек, окон. Это усложняет растачивание. Стойкость резцов недостаточна для получения шероховатости с $R_z = 10-20$ мкм, требуемой чертежом. До введения раскатывания поверхность отверстия доводили слесарным путем, ручными шлифовальными машинками. При этом неизбежно нарушалась точность расточенной поверхности. Применение раскатывания позволило механизировать чистовую операцию, обеспечило шероховатость поверхности с $R_a = 1,25-2,5$ мкм и сохранило точность расточенного отверстия.

Введение обкатывания плоскостей на квадратных хвостовиках нажимных винтов прокатных станков на продольно-фрезерных станках взамен слесарной доводки снизило шероховатость поверхности, не нарушая формы призматического тела хвостовиков.

Обкатывание роликами открыло большие возможности чистовой обработки фасонных поверхностей различных типов. Постоянной проблемой в тяжелом машиностроении является чистовая обработка крупных винтовых нарезок на нажимных и ходовых винтах, червяках и других подобных деталях. Эта проблема решена применением специальных устройств для обкатывания крупных резьб самоустанавливающимися игольчатыми роликами, опирающимися на тороконические шайбы. Обкатывание резьб весьма производительное, а главное, оно позволяет получить

шероховатость поверхности с $R_a = 0,32-0,63$ мкм, что существенно уменьшает износ бронзовых гаек. На заводах тяжелого машиностроения накоплен некоторый опыт обработки поверхностей двойной кривизны. В частности, обкатывание роликом обрабатывают дорожки крупных шарикоподшипников диаметром 3150 мм [2].

Более сложной задачей является чистовая обработка выпукло-вогнутых поверхностей с незамкнутым профилем. Типичным примером является винтовая нарезка канатных барабанов. Трудности возникают из-за связанности относительных перемещений детали и инструмента в круговом и продольном направлениях. Решить задачу удалось, применив обкатывание, при котором игольчатые ролики вращаются от отдельного привода по окружности диаметром, равным удвоенному радиусу кривизны ручья (движение обкатывания), а круговая и осевая подачи инструмента осуществляются медленным вращением детали и согласованным с ней по шагу осевым перемещением суппорта станка. Такой способ обкатывания был применен при изготовлении на карусельных станках канатных барабанов драговых лебедок, имеющих винтовую нарезку ручья с радиусом кривизны 35 мм на диаметре 3,1 м.

Обкатыванием успешно обрабатывают детали из различных сталей, чугуна, цветных сплавов. Известен опыт Уралмашзавода по обкатыванию роликами чугунных станин металлорежущих станков [2]. Обкатывание оказалось наилучшим средством обработки медных плит кристаллизаторов для установок непрерывной разливки стали. Обкатываются кристаллизаторы трех типов: плоские, радиальные и волнистые. Для обкатывания плоских медных плит успешно используют устройства с широким самоустанавливающимся роликом, позволяющие работать с подачами 5-10 мм/дв. ход. Волнистый профиль кристаллизаторов строгает под обкатывание специальным устройством с вращающимся резцом. Обкатываются волнистые кристаллизаторы многороликовыми устройствами методом последовательного огибания профиля. Десять роликов, установленных и независимо подпружиненных в общем корпусе устройства, имеют различную форму. Их профиль в осевом сечении образован касательными к профилю детали, а последовательность установки в корпусе позволяет равномерно смещать зону деформации при обработке. Медные плиты кристаллизаторов относятся к тем деталям, которые практически не могут быть изготовлены без обкатывания роликами.

В условиях индивидуального и мелкосерийного производства широкое и эффективное применение обкатывания роликами требует достаточно надежной методики выбора режима. Задача достаточно сложна, если учесть, что на результат обкатывания влияют восемь основных параметров: материал детали, ее форма, исходная шероховатость обкатываемой поверхности, диаметр и радиус профиля ролика, усилие, подача, число проходов. Последние пять параметров можно изменять, создавая более или менее выгодные сочетания. Отчасти управляемым параметром является также исходная шероховатость поверхности детали.

При наличии достаточно больших партий деталей в условиях серийного производства режим обкатывания в каждом конкретном случае выбирается опытным путем в результате экспериментальной работы. Очевидно, что в условиях индивидуального производства такой подход непригоден. Необходимо устанавливать связи между указанными параметрами, достаточные для выбора режима обкатывания на стадии проектирования технологического процесса.

Методика выбора оптимального режима обкатывания роликами успешно используется в производстве [5]. Основой оптимизации режима согласно этой методике является выбор усилия обкатывания, достаточного для смятия исходной шероховатости, но еще не вызывающего образования волнистости обкатанной поверхности и шелушения металла поверхностного слоя. Такую методику, разработанную в основном для обкатывания деталей с прямолинейной образующей,

успешно применяют и для выбора режима обкатывания фасонных деталей. Это стало возможно на основе приведения кривизны детали и ролика в плоскости осевого сечения ролика. Для поверхностного пластического деформирования (ППД) отверстий и валов применяются планетарные обкатывающие устройства, в которых в качестве деформирующих элементов используются конические или цилиндрические ролики, обеспечивающие получение на поверхности обрабатываемой детали каплевидного отпечатка. При обработке крупных валов в индивидуальном и мелкосерийном производствах на заводах тяжелого машиностроения находят применение устройства с самоустанавливающимися цилиндрическими роликами диаметром 32 мм, которые позволяют снизить шероховатость поверхности с $R_z = 10 \dots 20$ мкм до $R_a = 0,16 \div 0,32$ мкм при подачах на оборот детали $s = 6 \dots 8$ мм/об [5], но при твердости детали 160HV необходимы усилия до 60 кН.

В связи с расширяющимся применением деталей, наплавленных сталями марок 06X19H9T, 3X13, 20X10Г10Т и т. п. (главным образом в тяжелых гидравлических прессах), возникла необходимость в чистовой обработке ППД наплавленных поверхностей. Обкатывание таких поверхностей обычными торообразными роликами сопровождается образованием волнистости из-за периодической (по шагу наплавки) переменной твердости наплавленного металла (при шаге наплавки 16 мм колебание твердости 170–225HV 10). Поэтому для обкатывания подобных деталей в качестве деформирующего элемента применяют бочкообразный ролик диаметром 12,5 мм с радиусом рабочего профиля 600 мм [5]. При таком радиусе контакт ролика с обрабатываемой поверхностью превышает шаг наплавки, а малый диаметр ролика обеспечивает интенсивную деформацию металла, несмотря на уменьшение кривизны ролика в его осевом сечении. Количество опорных роликов выбирают в зависимости от требуемого усилия обкатывания и диаметра рабочего ролика. Для рабочего ролика диаметром 12,5 мм при усилиях обкатывания до 60 кН принята шестироликовая схема. Рабочий ролик опирается на два промежуточных ролика, которые в свою очередь лежат на трех опорных роликах, установленных на осях в поворотной головке. В осевом направлении положение рабочего ролика фиксируют упором, изготовленным из стали ХВГ и закаленным до твердости 60-62HRC. Промежуточные и опорные ролики торцами опираются на упорные шариковые подшипники. Головка крепится к штоку с помощью винтов, позволяющих выверять ее угловое положение для уменьшения осевой составляющей усилия обкатывания на рабочем ролике. Усилие обкатывания создают гидроцилиндром и определяют манометром. Оно передается на ролик через пакет тарельчатых пружин, снижающих жесткость системы станок-инструмент-деталь [6].

С помощью устройства обкатывают, например, рабочие поверхности плунжера диаметрами 650 и 1340 мм и длиной более 3000 мм, наплавленные сталью 06X19H9T. Под обкатывание плунжер обтачивают широким резцом с подачей 4 мм/об. Ось рабочего ролика устанавливают горизонтально, для чего роликовую головку устройства выверяют маятниковым угломером. При усилии обкатывания 42,5 кН, продольной подаче 3 мм/об и скорости обкатывания 35 м/мин получена шероховатость поверхности $R_a = 0,63$ мкм при исходной $R_z = 20$ мкм. После обкатывания твердость поверхностного слоя повышается на 10 % по сравнению с исходной, и, что особенно существенно, выравнивается; ее колебания в пределах одного шага наплавки, достигавшие 27 %, снижаются до 10 %. Большее увеличение твердости (на 50-55 %) достигается при обкатывании плунжеров, наплавленных сталью 20X10Г10Т. В результате обкатывания гидроабразивный износ наплавленных плунжеров уменьшается на 15-18 % и заметно повышается их кавитационная стойкость. Наклеп поверхностного слоя, полученный при обкатывании роликами способствует (как

показали лабораторные исследования) замедлению процесса смятия поверхностного слоя стальных деталей, эксплуатирующихся при больших контактных нагрузках. К таким деталям относятся канатные блоки судоперегрузателей, автокранов, полиспасты мелиоративных машин. Профиль ручья блока для стальных канатов претерпевает существенные отрицательные изменения в процессе эксплуатации. За счет нормальных и касательных напряжений, возникающих в поверхностном слое профиля ручья блока в зоне контакта его с канатом, происходит пластическая деформация.

Таблица 1 - Деформационное упрочнение крупных деталей

Характеристика упрочняемых деталей		Способ упрочнения	Эффект упрочнения	Способ испытания
Название	Поверхность упрочнения			
1	2	3	4	5
Штоки штамповочных молотов с массой падающих частей 6,5-7 т (сталь 35ХНВ)	Зона запрессовки стебля диаметром 220 мм с коническим концом	Обкатывание роликом с усилием 35 кН	Увеличение долговечности в 2,5 раза	Статистический анализ данных эксплуатации за 3 года
Сборный коленчатый вал паровой машины мощностью 7350 кВт (сталь 35ХНВ)	Подступичные части диаметром 500 мм шеек, щек перед запрессовкой, галтели R 10	Обкатывание роликом и шариком (галтели) с усилием 60 кН	Ликвидация трещины в галтелях и поворотов шеек в щеках	Наблюдение в процессе эксплуатации в течение 4 лет
Цилиндры тяжелых гидропрессов с рабочим усилием 70 МН (сталь 35НМ)	Галтель R 35 мм и пригальтельные зоны	Чеканка пневматическим ударником с энергией удара 80 Дж	Увеличение долговечности с 250 до 930 тыс. циклов	Наблюдение за эксплуатацией пяти цилиндров пресса
Колонны прессов, валы конусных дробилок крупного дробления (сталь 40, 34ХН1М)	Упорные резьбы с шагами 12-24 мм	Чеканка вибрирующим роликом с энергией удара 32 Дж	Увеличение предела выносливости на 50% при изгибе	Испытания образцов с резьбой УП 215x12 на циклический изгиб в одной плоскости
Станинные ролики прокатных станов, центральные цапфы, оси экскаваторов ЭКГ-4,6 и др. (сталь 40, 40Х, 34ХН1М)	Галтели R 8, 10, 15, 20	Обкатывание роликами с биением рабочего профиля при усилиях 5-25 кН	Повышение предела выносливости на 30-50%	Испытания ступенчатых образцов диаметром 180 мм при круговом изгибе
Валы конусных дробилок крупного дробления (сталь 40, 34ХН1М)	Подступичные части диаметром 400-600 мм	Обкатывание гидроустройством с усилием 70 кН	Увеличение предела выносливости на 50-80% при изгибе	Испытания на круговой изгиб образцов диаметром 180 мм
Бортовые шестерни экскаваторов ЭКГ-4,6 (сталь 30ХМЛ, 34ХН1М)	Корень зубьев $m = 26$ мм	Поперечное обкатывание на специальном станке с номинальным усилием 13 кН	Увеличение долговечности в 2-4 раза	Испытания натурных образцов на циклический изгиб при пульсирующей нагрузке
Конические шестерни привода конусных дробилок мелкого и среднего дробления (сталь 34ХН1М)	Корень зубьев $m = 30$ мм	Обкатывание винтовыми роликами на специальном станке с номинальным усилием 7 кН	Увеличение долговечности в 2-10 раз	То же
Полуоси экскаваторов ЭКГ-5 (сталь 34ХНМ)	Корень шлицов Д10x210x230	Чеканка роликами с энергией удара 18 Дж	Увеличение долговечности в 2 раза	То же

Таблица 2 - Чистовое обкатывание крупных деталей роликами

Характеристика обрабатываемых деталей				Способ обработки и шероховатость поверхности до внедрения обкатывания		Чистовая обработка после внедрения обкатывания		
Название	Обрабатываемая поверхность	Шероховатость, R_a		Способ чистовой обработки	Достижимая шероховатость, R_a , мкм	Способ предварительной обработки	Шероховатость, R_a , мкм под обкатывание	Шероховатость R_a , мкм после обкатывания
		желательная по условиям эксплуатации	требуемая чертежом					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Роторы (сталь 34ХН1А)	Шейки диаметром 600 мм. Бочка диаметром 1700 мм, $L=6000$ мм	1,25	2,5	Полирование абразивной шкуркой после обтачивания	2,5	Обтачивание	12,5	1,25
Штанги прессов (сталь 50)	Вал диаметром 1000 мм, $L=5800$ мм	0,63	2,5	То же	2,5	То же	12,5-6,3	0,63
То же	Резьба УП80х64 $L=2100$ мм	0,63	2,5	Полирование абразивной шкуркой	2,5	То же	6,3	0,63
Винты нажимные прокатных станов (34ХН1М)	Плоскости квадратного хвостовика $300 \times 300 \times 2380$ мм	1,25	2,5	Слесарная доводка	2,5	Фрезерование	12,5	1,25
Корпуса распределителей шихты (сталь М, Ст. 3)	Наружная цилиндрическая поверхность диаметром 2380 мм, $L=900$ мм (продольный сварочный шов)	1,25	2,5	Шлифование на карусельном станке с последующим полированием	Задир, следы вибрации	То же	50	1,25
Корпус конусов конусных дробилок (сталь 35Л)	Сфера $R=1100$ мм, диаметром 1340 мм	1,25	1,25	Обтачивание пластинами радиусного профиля с последующим полированием	2,5 (задиры)	Обтачивание по копиру	6,3	1,25
Раструбы кристаллизаторов для полунепрерывной отливки труб (сталь Ст.3)	Внутренняя поверхность с профилем переменной кривизны	1,25	1,25	Не обрабатывались		То же	6,3	1,25

Канатные барабаны драговых лебедок (сталь 35Л)	Винтовой ручей $R = 35$ мм на диаметре 3100 мм, $L = 2710$ мм	2,5	6,3	Обтачивание широким резцом	12,5 (следы вибрации)	Обтачивание	12,5	1,25
Станины прошивных станков трубопрокатных агрегатов (сталь 35Л)	Отверстие диаметром 2300 мм, $L = 5860$ мм	2,5	6,3	Слесарная доводка после растачивания	6,3 (нарушение формы)	Растачивание	50	2,5
Втулки шатунов буровых насосов (бронза ОС-8-12)	Отверстие диаметром 160 мм, $L = 180$ мм	0,63	2,5	Шабрение	6,3	То же	12,5	0,63
Вкладыши подшипников (баббит Б-83)	Отверстие диаметром 140, $L = 150$ мм	1,25	1,25	Растачивание	6,3	То же	6,3	1,25
Направляющие металлорежущих станков (чугун)	Плоскости (300-500) \times (10000-17000) мм ²	1,25	1,25	Шабрение	1,25	Строгание	6,3	1,25
Стенки кристаллизаторов плоского и волнистого профиля (медь МЗ, HV 60)	Плоскость 1200 \times 800 мм ² или волнистая поверхность с шагом волн 10 мм и высотой 3 мм	0,63	2,5	Не обрабатывались		То же	6,3	0,63
Рабочий профиль канатных блоков судоперегрузателей	Две конические поверхности с углом профиля 20°	0,63	2,5	Точение на карусельном станке с программным управлением	2,5	Точение на карусельном станке с	2,5	0,63

На поверхности ручья возникают изменения профиля глубиной до нескольких миллиметров, что приводит к интенсивному износу стального каната и к появлению вибрации в приводе каната. Для обкатывания ручья блока разработаны способ и устройство с клиновым роликом. Обкатывание всего профиля осуществляется на карусельном станке за одну установку ролика в ручье, в процессе только вращения детали. Боковые поверхности клинового ролика образуют на поверхности ручья синусоидальные следы шириной 3-4 мм, которые, сдвигаясь в направлении вращения детали, постепенно покрывают всю поверхность ручья. Усилие на ролике величиной до 20 кН создается цилиндрической пружиной. Механизм подачи бокового суппорта разгружается с помощью закрепления его на направляющих станка винтовыми зажимами. Глубина наклепа поверхностного слоя составляет 5 - 6 мм, степень наклепа – до 50%. Однако обкатывание роликом профиля канатного блока, изготовленного из стали 35Л, несмотря на значительный наклеп, не привело к заметному повышению долговечности блока, так как кроме смятия профиля блока наблюдается срезание поверхностного слоя блока отдельными проволочками каната. Замена марки стали

блока на сталь 45Л и применение закалки блока в масло с последующим обкатыванием его ручья роликом позволили повысить твердость поверхностного слоя ручья до HV 400, что привело к повышению долговечности блоков в два-три раза [7].

Список літератури

1. Кудрявцев И.В. Внутренние напряжения как резерв прочности в машиностроении / И.В. Кудрявцев - М.: Машгиз, 1951. - 278 с.
2. Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В.М. Браславский - М.: Машиностроение, 1975. - 160 с.
3. Браславский В.М. Обкатка деталей роликами как средство повышения износостойкости / В.М. Браславский, В.В. Топычканов - В кн.: Производство крупных машин, Вып. XIX. - М.: Машиностроение, 1969, - С. 56 - 60.
4. Бутаков Б.И. Повышение долговечности изделий с помощью поверхностного пластического деформирования / Б.И. Бутаков, В.А. Артюх, О.А. Анисимов, А.Т. Удодов // Тяжелое машиностроение. - 2006.- № 9.- С. 26 - 32.
5. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов / Ю.И. Бабей, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысоев - Киев: Наукова думка, 1995. - 256 с.
6. Бутаков Б.И. Жесткость системы станок-инструмент-деталь при обкатывании деталей роликами / Б.И. Бутаков, А.В. Зубехина // Вісник аграрної науки Причорномор'я, - Миколаїв: МДАУ, 2008. Випуск 4 (47). - С. 192 -205.
7. Бутаков Б.И. Исследование и разработка способа обкатывания роликами стальных деталей с целью повышения их контактной прочности / Б.И. Бутаков // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. - Кіровоград: КНТУ, 2007. - Випуск 37.- С. 63 - 74.

Б.Бутаков, Д.Марченко, О.Зубехіна

Обкатування роликами як метод підвищення якості деталей машин

Представлений аналіз методу поверхневої пластичної деформації обкатуванням роликами сталевих деталей з метою підвищення їх зносостійкості, втомної і контактної міцності. Аналіз показав, що обкатування роликами призводить до підвищення зносостійкості пар тертя в 3 - 4 рази в умовах рясного мащення і в 1,5 - 2 рази при абразивному зносі. Довговічність сталевих деталей, що працюють в умовах контактної зминання, за рахунок зміцнюючого обкатування підвищується в 2 - 3 рази. В результаті обкатування гідроабразивний знос наплавлених плунжерів зменшується на 15 - 18 % і помітно підвищується їх кавітаційна стійкість.

B. Butakov., D. Marchenko, A. Zubekhyina

Rolling by the rollers as method of increase qualities of details of machines

The analysis of method of superficial plastic deformation by rolling by the rollers of steel details with the purpose of increase of their wearproof, tireless and contact durability is represented in the article. An analysis rotined that over a rolling-off rollers brought to the increase of wearproofness of pair of friction in 3 - 4 times in the conditions of the abundant greasing and in 1,5 - 2 times at an abrasive wear. Longevity of steel details, workings in the conditions of the contact crumpling, due to a consolidating rolling-off rises in 2 - 3 times. As a result of rolling-off the gidroabrasive wear of naplavlennykh plunzherov diminishes on 15-18 % and their kavytatsyonnaya firmness rises notably.

Одержано 05.01.10

УДК 004.424

О.Д. Криськов, проф., канд. техн. наук, Т.В. Дяченко, бакалавр
Кіровоградський національний технічний університет

До розробки алгоритму призначення допоміжного часу за умов серійного виробництва

Представлені таблиці систематизації факторів на основі спільних рис та певної ієрархії, обумовленої змістом нормативів допоміжного часу на установку та закріплення деталі для умов серійного типу виробництва. Таблиці покладені в основу алгоритмів групи процедур, розроблених в середовищі Delphi. У відповідності з прийнятою ієрархією проведена ідентифікація факторів. Робота в цілому направлена на створення модуля автоматичного визначення величини всіх складових допоміжного часу на технологічну операцію, яка виконується на універсальних металорізальних верстатах, верстатах-автоматах та напівавтоматах.

систематизація, ідентифікатори, нормативи, серійне виробництво, допоміжний час

Вступ.

В роботі [1] приведено результати систематизації способів установки, контролю, факторів, що визначають додатковий час на операцію чи перехід, організаційно-технічні та природні потреби робітника, які входять до складу штучно-калькуляційного часу. У загальному виді наведено алгоритм визначення допоміжного часу на установку деталі у серійному виробництві.

Мета роботи.

Показати, що на основі систематизації та введення відповідної ідентифікації факторів, наведених в нормативах для серійного виробництва [2,3] можна розробити алгоритм повної автоматизації призначення допоміжного часу на технологічну операцію.

Основна частина.

Нормативний час на установку та зняття деталі передбачає виконання слідуєчих прийомів: встановити і закріпити деталь, увімкнути та вимкнути верстат, відкріпити та зняти деталь і очистити пристосування від стружки. З метою укрупнення нормативів час на прийоми « увімкнути » - « вимкнути » верстат дано разом з часом на установку і зняття деталі. В окремих випадках, наприклад, при роботі на свердлильних верстатах і установці деталі на столі без закріплення або при її установці в пересувних кондукторах, коли є можливість виконувати установку і зняття деталі без вимикання обертання шпінделя нормативний час необхідно зменшувати у відповідності до вказівок, наведених в окремих картах нормативів. При цьому безумовно мають витримуватись правила техніки безпеки, згідно якмх, зокрема, передбачається установка і зняття деталей вагою до 20 кг вручну, а більше 20 кг - за допомогою підйомних механізмів. Для робіт, які виконуються за допомогою підйомних механізмів, передбачаються використання двох видів механізмів: а) підйомником при верстаті (або при групі верстатів), який обслуговується самим виконавцем роботи;

Таблиця 1 – Систематизація факторів за спільними рисами

Номера карт Означки	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17
Тип прис-тосу-вання	Патрон 3-х кулачковий	Патрон цанговий	Патрон 4-х кулачковий	Центра	Опрабка центровка	Опрабка кінцева	Тиски	Стіл	Круглий стіл	Кутник	Магнітний стіл	Уєпа-ротар	Спеціальні пристосу-вання	Патрон спеціаль-ний
Уточнення присто-сування 1	без ланету, з ланетом, не рух. ланет, з двом-кратником		не рухомий ланет	без ланету, не рухомий ланет		гладка, шлицева, розжимна, різьбана			3-х кулач, 4-х кулач, на столі, долт і планками		стіл, план-шайба, з кріпл. долт і планками		відкритий, закритий	
Уточнення присто-сування 2			з хомутиком	без хому-тика, лобовий патрон, самоза-тискний хомутик	гладка, шлицева, розжимна, з розливним замком, дві опрабки, з кріп. гайкою і шайбою									мембранний циліндр, коліс фікс по зубу, циліндр, коліс фікс по отв, конічний, коліс,
Характер поверхні							Оброблена Не оброб-лена	Оброблена Не оброблена	Оброблена Не оброблена	Оброблена	Чорна, напів-чистова, чистова			
Характер посадки деталі														
Спосіб вибірки	без вибірки, крейдов, індикатором		без вибірки, по контуру, по рисці, рейсмусом, індикатором				без вибірки, рейс-мусом	без вибірки, по контуру, по рисці	без вибірки, по контуру, по рисці, рейсмусом, індикатором	без вибірки, по контуру, по рисці	без вибірки, по рисці, індика-тором			
Група верстатів										Карусельні Свердлильні Стругальні Фрезерні Розточні				

б) мостовим краном. В останньому випадку нормативами враховано час на виклик крану.

Аналізуючи та систематизуючи фактори (табл. 1) за спільними рисами можна виділити, такі групи як: група до якої належить верстат, тип пристосування та особливості його конструкції, типові способи установки та кріплення деталей в універсальних та спеціальних затискних пристосуваннях, характер установчої поверхні, характер базової поверхні, характер посадки деталі (рухома, нерухома), наявність та характер вивірки, тип та конструкція установчих елементів, кількість одночасно встановлених деталей та їх вага, спосіб

Таблиця 2 – Ідентифікатори, прийняті для позначення факторів, визначаючих час на установку та закріплення

Назви змінних	Опис і характеристика змінних
bGroupeVerst	Характеристика групи верстатів: 0 – Токарні, 1 – Фрезерні, 2 – Свердлувальні.
bTupPrust	Тип установчого або затискного пристосування : 0 – Патрон 3-х кулачковий, 1 – Патрон цанговий, 2 – Патрон 4-х кулачковий, 3 – Центра, 4 – Оправка центрова, 5 – Оправка кінцева, 6 – Тиски, 7 – Стіл, 8 – Круглий стіл, 9 – Кутник чи бік стола, 10 – Магнітний стіл, 11 – Сепаратор, 12 – Спеціальне пристосування, 13 – Патрон спеціальний.
boPrytok	Тип заготовки: boPrytok=false – Заготовка поштучна, boPrytok=true – Заготовка пруток.
bSposibYst	Спосіб установки заготовки на верстат: 0 – Вручну, 1 – Підйомником, 2 – Мостовим краном.
bTupZatusky	Тип затиску заготовки в 3-х кулачковому патроні: case bSposibYst of 0: 0 – Кріплення без ключа, 1 – Кріплення ключем, 2 – Пневмозажимом, 3 – На столі, 4 – 3 розрізною втулкою, 5 – 3 центром при підводі пінолі, 6 – 3 центром, 7 – 3 нерухомим люнетом. 1,2: 0 – Кріплення ключем, 1 – Пневмозажимом, 2 – 3 центром при підводі пінолі, 3 – 3 центром, 4 – 3 нерухомим люнетом.
bYtochPris1	Перше уточнення конструкції або допоміжних частин пристосування на 3-х кулачковому патроні: 0 – 3 люнетом, 1 – 3 домкратиком.
bYtochPris2	Друге уточнення конструкції або допоміжних частин пристосування: 0 – 3 хомутиком, 1 – Без хомутика.
bYstanovElement	Установчі елементи, на які встановлюється заготовка: 0 – Площина, 1 – Призма, 2 – Палець, 3 – Отвір, 4 – 2 пальці, 5 – Центрові пробки, 6 – Видовжений палець.
bYtochYstanovElement	Уточнення установчих елементів, на які встановлюється заготовка: 0 – Горизонтальні, 1 – Вертикальні.
bSposibKripl	Спосіб кріплення: 0 – 3 кріпленням, 1 – Без кріплення.
bHaraktPov	Характер стану поверхні: 0 – Не оброблена, 1 – Оброблена начорно, 2 – Оброблена напівчисто, 3 – Оброблена начисто.
bHaraktPosadku	Характер посадки деталі або оправки: 0 – Вільне надівання деталі, 1 – Туге надівання деталі, 2 – Швидкоз'ємна оправка, 3 – Проста оправка.

bVuvirka	Спосіб здійснення вивірки заготовки: 0 – Без вивірки, 1 – Вивірка крейдою, 2 – Рейсмусом, 3 – Індикатором, 4 – По контуру, 5 – По розміточній рисці.
bStvorCuluZatusky	Спосіб створення зусилля необхідного для затиску заготовки або підводу пінолі задньої бабки: 0 – Маховиком, 1 – Пневматичним пристроєм, 2 – Зірочкою.

кріплення деталі(ей), кількість зажимів, тип затиску, спосіб створення затискного зусилля тощо. Крім того, слід прийняти до уваги спосіб підйому деталі та тип заготовки. В табл.1,2 приведені результати систематизації вищеназваних факторів за спільними рисами та пропонується алгоритмічна послідовність їх вибору.

Розглянемо загальну методику побудови алгоритму призначення часу на установку деталі на базі табл. 1. Будемо вважати, що в нульовому рядку таблиці зліва направо наведені групи верстатів, як один з визначальних факторів для вибору типу пристосування, а у першому рядку - типи конструкцій пристосувань, що передбачені нормативами. Типи конструкцій пристосувань з формальної точки зору можна вважати ведучими в ряду інших факторів, що визначають нормативний час. Очевидно що тип пристосування та його конструкція визначаються як конструкцією деталі та типом верстата так і змістом технологічної операції. Кожний з ведучих факторів має певні властивості їм притаманні. Останні наведено у систематизованому виді у відповідних колонках табл. 1. У табл. 2 наведені ідентифікатори, які вибрані для позначення згаданих факторів та їх властивостей в процесі розробки програмних процедур. Ці властивості ми можемо бачити переміщаючись по першій колонці табл. 2 зверху вниз. В другій колонці цієї ж таблиці знаходиться їх опис, тобто мається на увазі що під кодом кожного ідентифікатора знаходиться певна характеристика. В табл. 2 представлені лише ідентифікатори, які необхідні для визначення допоміжного часу на установку і закріплення деталі. За таким принципом слід продовжити розробку ідентифікаторів для тих складових допоміжного часу, які не ввійшли в табл. 2. Наприклад, така складова як час на контроль потребує таких додаткових факторів, як тип контрольного пристосування, діаметр або довжина що контролюється тощо. Теж саме стосується і інших складових – деякі мають спільні фактори, інші – ні.

Якщо для прикладу, взяти фактор “група верстатів”, то значеннями його властивості будуть дві групи: нульова та перша. До нульової групи віднесемо верстати: фрезерні, свердлувальні, карусельні, стругальні та розточні. Верстати іншого технологічного призначення віднесемо до першої групи. Якщо взяти як значення ведучого фактору властивість “токарні верстати”, то в залежності від конструкції деталі нормативами (перший рядок табл. 1) передбачено ряд відповідних типів пристосувань, які за звичай устанавлюються на верстатах токарної групи, зокрема: патрони різних типів, центра та оправки. Рухаючись по колонці №1 табл. 1 (патрон 3-кулачковий) ми бачимо, що та їм притаманна така властивість як доцільність та спосіб використання люнету. Наступним фактором, що впливає на час установки є наявність та спосіб вивірки деталі. Далі приймаються до уваги наступний фактор: чи планується закріплення деталі і, накінець, слід визначити останній фактор: спосіб закріплення, якщо воно планується.

Аналізуючи приведені таблиці ми можемо бачити, що на встановлення та закріплення заготовки на токарному верстаті у трьохкулачковому патроні на величину допоміжного часу впливають шість факторів:

- а) спосіб підйому деталі (вручну, мостовим краном, підйомником при верстаті);
- б) тип заготовки (групова чи поштучна заготовка);
- в) тип кріплення (ключем, без кріплення, кріплення пневмозатиском);
- г) уточнення особливості конструкції пристосування (використання люнету, без люнету, використання нерухомого люнету);
- д) спосіб вивірки (вивірка крейдою, вивірка індикатором, без вивірки);
- е) спосіб створення затискного зусилля (рукояткою, рукояткою пневматичного приводу, зірочкою, маховиком).

Аналогічний алгоритм послідовності визначення факторів та їх властивостей розповсюджується на решту типів пристосувань.

Висновок.

Представлена ієрархія факторів, яка може служити основою для розробки алгоритму автоматичного призначення допоміжного часу за умов серійного виробництва та загальна схема алгоритму, яка виглядає так: визначається група верстатів, тип пристосування, уточнюються його конструктивні особливості, характер базових поверхонь та спосіб посадки (з'єднання) деталей, наявність та спосіб вивірки, установки та закріплення і спосіб створення затискного зусилля.

Список літератури

1. Криськов О.Д., Дяченко Т.В Розробка алгоритму автоматизованого призначення допоміжного часу у серійному виробництві (у цьому збірнику).
2. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места на работы выполняемые на металлорежущих станках. Массовое производство.– М.: Экономика, 1988. – 366 с.
3. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. Изд. 2-е.– М.: Машиностроение, 1974. – 421с.
4. Криськов О.Д., Петренко М.М. Основи комп'ютерної технології обґрунтування структури технологічних операцій. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ, 2005. – 282с.

О. Криськов, Т. Дяченко

К разработке алгоритма автоматизированного назначения вспомогательного времени для условий серийного производства

Представленные таблицы систематизации факторов на основе общих черт и кое-какой иерархии, которая обусловлена содержанием нормативов вспомогательного времени на установку и крепление детали на для серийного производства. Таблицы положены в основу алгоритмов группы процедур, разработанных в среде Delphi. В соответствии с принятой иерархией произведена систематизация факторов. Работа в целом направлена на создание модуля автоматического определения величины всех составляющих вспомогательного времени на технологическую операцию, которая исполняется на универсальных металлорежущих станках, станках автоматах и полуавтоматах.

О.Кriskov, Т.Дjachenko

To development of algorithm automatic assignment of auxiliary time for conditions of a batch production.

In resulted article the submitted classification and ordering of factors which determine time for installation and fastening of a detail on the basis of the specifications developed for serial manufacture. Such hierarchical distribution enables to simplify a technique of development and construction of algorithms of automatic assignment for all components of auxiliary time on the basis of specifications on work. In names of identifiers the common features and the attributes inherent in certain types of normative cards that simplifies process of algorithmization and coding are fixed.

Одержано 27.11.09

УДК.631.356.42

В.П. Ковбаса, проф., д-р. техн. наук

Національний університет біоресурсів та природокористування України;

А.Ю. Ліннік, асп.

ВП НУБіПУ «Бережанський агротехнічний інститут»

Результати польових експериментальних досліджень ротаційного доочисника голівок коренеплодів

В результаті проведення польових експериментальних досліджень доочищувача голівок коренеплодів встановлені регресійні зв'язки впливу параметрів та режимів його роботи на показники якості виконання процесу.

польові дослідження, доочисник головок коренеплодів, повнофакторний експеримент

В технологічному процесі збирання цукрових буряків важливою операцією є очистка голівок коренеплодів від гички. Від якісного проведення такої операції залежатиме продуктивність наступних операцій по викопуванню і очищенні вороху коренеплодів. Для проведення такої операції використовується ряд машин з пасивними і активними робочими органами. Нами було сконструйовано новий тип доочисника голівок коренеплодів і проведено теоретичні дослідження взаємодії його робочих органів з головками коренеплодів [1]. Для підтвердження адекватності теоретичних досліджень і врахування впливу можливих факторів, що не були враховані в теоретичних дослідженнях, на якість роботи доочисника нами було проведено польові експериментальні дослідження.

Мета досліджень. Встановити адекватність попередніх теоретичних досліджень доочисника головок коренеплодів та визначити вплив основних параметрів та режимів роботи доочисника на показники якості виконання процесу.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі. Визначався вплив зміни основних факторів таких як: поступальна швидкість руху доочисника, кутова швидкість ротора, число очисних елементів на одному барабані на показники якості виконання процесу: залишки гички, пошкодження голівок коренеплодів, вибиті коренеплоди з рядка. Експериментальне польове дослідження проводилося по складеній програмі повно факторного експерименту.

У відповідності до розробленої програми експериментальних досліджень та з врахуванням умов і режимів роботи експериментальної установки, досліджували загальні залишки гички на головках коренеплодів Z_2 (%), сильнопошкодженні коренеплоди Π_k^∞ (%) і кількість вибитих коренеплодів із рядка B_k (%) від зміни кутової швидкості обертання очисних елементів ω_o , поступальної швидкості руху очисної машини V_m і кількості очисних елементів на одному барабані ротора n_o , тобто відповідно $Z_2 = f(\omega_o; V_m; n_o)$, $\Pi_k = f(\omega_o; V_m; n_o)$ і $B_k = f(\omega_o; V_m; n_o)$, які є визначальними при роботі очисників головок коренеплодів від залишків гички.

При проведенні експериментів постійними були наступні конструктивно-технологічні параметри очисника: ширина лопаті $b = 0,08\text{м}$, а висота встановлення нижнього торця очисної лопаті відносно поверхні ґрунту змінювалася від $h_o = 0 \dots 0,04$ м залежно від домінуючої висоти розташування головок коренеплодів відносно рівня залікової ділянки поля з умови не безвідривного контакту лопаті з головою.

Дослідження проводились при одночасній зміні трьох факторів згідно рандомізованої план-матриці повнофакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 .

Функцію відгуку (параметр оптимізації показників якості очищення) знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома

Перед проведенням експериментів при дослідженні залишків гички на головках коренеплодів Z_o , сильнопошкоджених коренеплодів P_k і кількості вибитих коренеплодів із рядка B_k проводили кодування факторів і складання план-матриці, в яку заносили позначені рівні факторів кожного експерименту.

Визначали основний (нульовий) рівень для кожного фактора:

- для кутової швидкості обертання очисних лопатей ω_o :

$$X_{1_0} = \frac{83,7 + 41,9}{2,0} = 62,8 \text{ (рад/с)}; \quad (1)$$

- для швидкості руху очисника головок V_m :

$$X_{2_0} = \frac{2,0 + 1,4}{2,0} = 1,7 \text{ (м/с)}; \quad (2)$$

- для кількості очисних елементів на одному барабані ротора, n_o :

$$X_{3_0} = \frac{8,0 + 4,0}{2,0} = 6,0 \text{ (шт.)}; \quad (3)$$

Інтервали варіювання та кодовані значення кожного фактору:

$$\Delta X_1 = \frac{83,7 - 41,9}{2,0} = 20,9 \text{ (рад/с)}; \quad x_1 = \frac{\omega_o - 62,8}{20,9}; \quad (4)$$

$$\Delta X_2 = \frac{2,0 - 1,4}{2,0} = 0,3 \text{ (м/с)}; \quad x_2 = \frac{V_m - 1,7}{0,3}; \quad (5)$$

$$\Delta X_3 = \frac{8,0 - 4,0}{2,0} = 2,0 \text{ (шт.)}; \quad x_3 = \frac{n_o - 6,0}{2,0}. \quad (6)$$

Характеристика факторів та значення їх рівнів варіювання наведено у табл. 1.

Таблиця 1 - Характеристика факторів та значення їх рівнів варіювання

Найменування фактора		Межі зміни рівнів фактора
x_1	Кутова швидкість обертання очисних елементів, ω_o , рад/с	83,7-62,8-41,9
x_2	Поступальна швидкість руху очисника головок, V_m , м/с	2,0-1,7-1,4
x_3	Кількість очисних елементів на одному барабані ротора n_o , шт.	8,0-6,0-4,0

Отримані дані параметрів оптимізації кожного експерименту, тобто числові значення залишків гички на головках коренеплодів Z_c , сильнопошкоджених коренеплодів P_k і кількості вибитих коренеплодів із рядка B_k залежно від зміни факторів – кутової швидкості обертання очисних лопатей, поступальної швидкості руху очисника головок V_m і кількості очисних елементів на одному барабані ротора n_o занесли у таблицю.

Обробку отриманих експериментальних даних при дослідженні залежності залишків гички на головках коренеплодів Z_c (%), сильнопошкоджених коренеплодів P_k (%) і кількості вибитих коренеплодів із рядка B_k (%) від зміни кутової швидкості обертання очисних елементів ω_o , поступальної швидкості руху очисної машини V_m і кількості очисних елементів на одному барабані ротора n_o , тобто відповідно $Z_c = f(\omega_o; V_m; n_o)$, $P_k = f(\omega_o; V_m; n_o)$ і $B_k = f(\omega_o; V_m; n_o)$ провели за загальновідомою методикою [3], при цьому кількісні значення параметрів оптимізації визначали відносно маси коренеплодів кожної однієї проби.

Функцію відгуку (параметр оптимізації), тобто залежності $Z_c = f(x_1; x_2; x_3)$, $P_k = f(x_1; x_2; x_3)$, $B_k = f(x_1; x_2; x_3)$, визначені експериментальним шляхом, знаходили у вигляді апроксимуючої математичної моделі повного квадратного полінома

$$Y_i = b_{0_i} + b_{1_i}x_1 + b_{2_i}x_2 + b_{3_i}x_3 + b_{12_i}x_1x_2 + b_{13_i}x_1x_3 + b_{23_i}x_2x_3 + b_{11_i}x_1^2 + b_{22_i}x_2^2 + b_{33_i}x_3^2, \quad (7)$$

де Y_i - експериментальне значення відповідного i -го параметра, %;

$b_{0_i}, b_{1_i}, b_{2_i}, b_{3_i}, b_{12_i}, b_{13_i}, b_{23_i}, b_{11_i}, b_{22_i}, b_{33_i}$ - відповідні значення коефіцієнтів регресії i -их регресійних моделей;

x_1, x_2, x_3 - вхідні кодовані фактори.

Визначали невідомі коефіцієнти регресії повного квадратичного полінома, при цьому отримані значення коефіцієнтів регресії зведено у табл. 2.

Таблиця 2 - Значення коефіцієнтів рівнянь регресії

	Залишки гички на головках коренеплодів $Z_c = f(\omega_o; V_m; n_o)$	Сильнопошкодженні коренеплоди $\Pi_k = f(\omega_o; V_m; n_o)$	Кількість вибитих коренеплодів із рядка $B_k = f(\omega_o; V_m; n_o)$
b_0	12,9	7,54	2,46
b_1	-0,16	0,15	-0,003
b_2	5,14	-10,51	-2,08
b_3	-2,53	0,21	-0,08
b_{12}	-0,001	-0,03	0,008
b_{13}	0,004	-0,006	0,001
b_{23}	-0,042	-0,12	0,01
b_{11}	0,0008	-0,0004	-0,00008
b_{22}	-1,31	3,51	0,31
b_{33}	0,17	0,07	0,003

Тоді загальний вигляд рівнянь регресії залежностей параметрів оптимізації від зміни кутової швидкості обертання очисних елементів ω_o , поступальної швидкості руху очисної машини V_m і кількості очисних елементів на одному барабані ротора n_o за результатами ПФЕ 3^3 у кодованих величинах буде:

- залишки гички на головках коренеплодів $Z_c = f(x_1; x_2; x_3)$

$$Z_c = 12,9 - 0,16x_1 + 5,14x_2 - 2,53x_3 - 0,001x_1x_2 + 0,004x_1x_3 - 0,042x_2x_3 + 0,0008x_1^2 - 1,31x_2^2 + 0,17x_3^2 \quad (8)$$

- сильнопошкодженні коренеплоди $\Pi_k = f(x_1; x_2; x_3)$

$$\Pi_k = 7,54 + 0,15x_1 - 10,51x_2 + 0,21x_3 - 0,03x_1x_2 + 0,006x_1x_3 - 0,12x_2x_3 - 0,0004x_1^2 + 3,51x_2^2 + 0,07x_3^2 \quad (9)$$

- кількість вибитих коренеплодів із рядка $B_k = f(x_1; x_2; x_3)$

$$B_k = 2,46 - 0,003x_1 - 2,08x_2 - 0,08x_3 + 0,008x_1x_2 - 0,001x_1x_3 + 0,01x_2x_3 - 0,00008x_1^2 + 0,31x_2^2 + 0,003x_3^2 \quad (10)$$

де x_1 - кутова швидкість обертання очисних елементів, рад/с;

x_2 - поступальна швидкість руху очисника головок, м/с;

x_3 - кількості очисних елементів на одному барабані ротора, шт.

Статистичну значимість коефіцієнтів b_i рівнянь регресій (8-10) проводили за t -критерієм Стьюдента. Згідно проведеної перевірки коефіцієнти $b_1 = -0,003$; $b_{12} = 0,008$; $b_{11} = 0,0008$; $b_{11} = -0,0004$; $b_{11} = -0,00008$; є не значимими, тобто остаточні рівняння регресії (8-10) за результатами проведених ПФЕ 3^3 у кодованих величинах мають

вигляд

- залишки гички на головках коренеплодів $Z_e = f(x_1; x_2; x_3)$

$$Z_e = 12,19 - 0,16x_1 + 5,14x_2 - 2,53x_3 - 0,001x_1x_2 + . \\ + 0,004x_1x_3 - 0,042x_2x_3 - 1,31x_2^2 + 0,17x_3^2 \quad (11)$$

- сильнопошкодженні коренеплоди $\Pi_k = f(x_1; x_2; x_3)$

$$\Pi_k = 7,54 + 0,15x_1 - 10,51x_2 + 0,21x_3 - 0,03x_1x_2 + . \\ + 0,006x_1x_3 - 0,12x_2x_3 + 3,51x_2^2 + 0,07x_3^2 \quad (12)$$

- кількість вибитих коренеплодів із рядка $B_k = f(x_1; x_2; x_3)$

$$B_k = 2,46 - 0,003x_1 - 2,08x_2 - 0,08x_3 + 0,008x_1x_2 + . \\ + 0,001x_1x_3 + 0,01x_2x_3 + 0,31x_2^2 + 0,003x_3^2 \quad (13)$$

де ω_o - кутова швидкість обертання очисних елементів, рад/с;

V_m - поступальна швидкість руху очисника головок коренеплодів, м/с;

n_o - кількість очисних елементів на одному барабані ротора, шт.

Перевірку адекватності вибраної моделі, тобто відповідності отриманого теоретичного розподілу випадкових величин рівнянь регресії (11-13) реальному експериментальному процесу проводили за F - критерієм Фішера, табличне значення якого позначили $F_T(0,05; f_{ог}; f_u)$, де 0,05 означає 5 % рівень значущості (рівний $1-\alpha$, де α - довірча імовірність). За результатами розрахунків умова адекватності виконується, тобто вибрана математична модель адекватно описує одержаний реальний експериментальний масив або адекватна досліджуваному процесу.

У загальному випадку проведений аналіз впливу перемінних факторів на зміну відповідного параметра оптимізації підтверджує реальний технологічний процес очищення головок коренеплодів очисниками від залишків гички – наприклад при збільшенні кутової швидкості обертання очисних елементів ω_o і кількості очисних елементів на одному барабана ротора n_o зростає динамічна дія та її кількісні значення на залишки гички й головку коренеплодів, що призводить до збільшення кількості видалених черешків гички на головках коренеплодів, їх пошкодження та вибиття коренеплодів із ґрунту й навпаки, при збільшенні поступальної швидкості руху очисника зменшується час динамічного контакту очисних елементів з гичкою та головкою коренеплодів, що призводить до зменшення показників параметрів оптимізації.

У результаті обробки експериментальних даних і після перевірок значущості отриманих коефіцієнтів регресії та адекватності вибраної математичної моделі реальному процесу, отримано конкретизовані проміжні рівняння регресії залишків гички на головках коренеплодів Z_e , сильнопошкоджених коренеплодів Π_k і кількості вибитих коренеплодів очисними елементами з рядка B_k , які характеризують зміну впливу двох факторів на функцію відгуку в кодованих значеннях і натуральних величинах:

- залежно від зміни $x_1 = \omega_o$ і $x_2 = V_m$ при постійному значенні кількості очисних елементів на одному барабані ротора $x_3 = n_o = 6$ шт., тобто залежності зміни $Z_e = f(x_1; x_2) = f(\omega_o; V_m)$; $\Pi_k = f(x_1; x_2) = f(\omega_o; V_m)$; $B_k = f(x_1; x_2) = f(\omega_o; V_m)$:

$$\left. \begin{aligned} Z_2 &= 14,51 - 0,19x_1 - 7,18x_2 + 0,04x_1x_2 + 0,0008x_1^2 + 1,4x_2^2; \\ P_k &= 8,44 + 0,18x_1 - 11,14x_2 - 0,06x_1x_2 - 0,0006x_1^2 + 4,3x_2^2; \\ B_k &= 1,9 - 0,01x_1 - 1,2x_2 + 0,01x_1x_2 \end{aligned} \right\}; \quad (19)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_2 &= 103,98 - 10^{-2} \cdot (2,02\omega_o - 0,64\omega_o V_M - 0,0002\omega_o^2) - 80,25V_M + 16,44V_M^2; \\ P_k &= 208,08 + 10^{-2} \cdot (2,49\omega_o - \omega_o V_M - 0,0001\omega_o^2) - 198,98V_M + 47,78V_M^2; \\ B_k &= 8,9 - 10^{-3} \cdot (3,19\omega_o - 1,59\omega_o V_M) - 4,1V_M \end{aligned} \right\}; \quad (20)$$

Графічно залежність (20) зображено на рис 1..

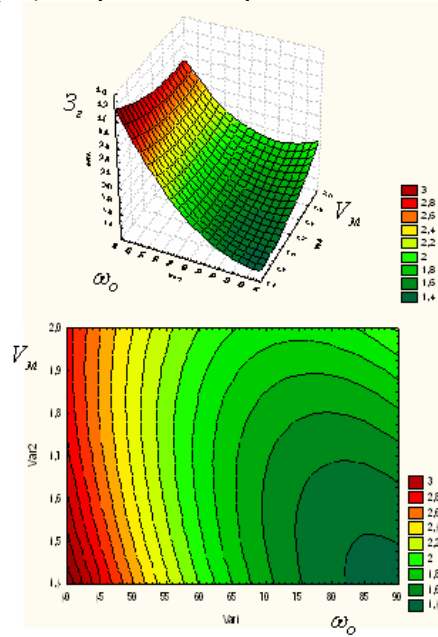


Рисунок 1 - Поверхня відгуку та її двовірний переріз залежності залишків гички на головках коренеплодів Z_2 від зміни кутової швидкості обертання очисного барабана ω_o і швидкості руху машини V_M при незмінній кількості бияків $n_o = 6$ шт

З поверхні відгуку залежності залишків гички на головках коренеплодів від зміни частоти обертання ротора і поступальної швидкості машини при сталому числі бияків (рис 1) можна побачити, що якість очищення голівок коренеплодів буде вищою при більшій частоті обертання ротора і при меншій поступальній швидкості машини. В міру зростання швидкості руху машини якість очищення знижується пропорційно до частоти обертання ротора.

- залежно від зміни $x_1 = \omega_o$ і $x_3 = n_o$ при постійному значенні поступальної швидкості руху очисника $x_2 = V_M = 1,7$ м/с, тобто залежності зміни $Z_2 = f(x_1; x_3) = f(\omega_o; n_o)$; $P_k = f(x_1; x_3) = f(\omega_o; n_o)$; $B_k = f(x_1; x_3) = f(\omega_o; n_o)$:

$$\left. \begin{aligned} Z_2 &= 16,72 - 0,06x_1 - 3,48x_3 + 0,005x_1x_3 + 0,23x_3^2; \\ P_k &= 0,46 + 0,12x_1 - 0,5x_3 - 0,003x_1x_3 - 0,0006x_1^2 + 0,09x_3^2; \\ B_k &= -0,76 + 0,03x_1 - 0,03x_3 + 0,002x_1x_3 - 0,004x_3^2 \end{aligned} \right\}; \quad (21)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_c &= 29,46 - 10^{-2} \cdot (0,04\omega_o - 0,02\omega_o n_o - 5,75n_o^2) - 2,44n_o; \\ \Pi_k &= 0,97 + 10^{-2} \cdot (0,62\omega_o - 0,18\omega_o n_o - 0,82\omega_o^2 + 2,25n_o^2) - 0,28n_o; \\ B_k &= -0,78 + 10^{-3} \cdot (1,15\omega_o - 0,6n_o - 0,05\omega_o n_o - 0,1n_o^2) \end{aligned} \right\}; \quad (22)$$

Графічно залежність (22) зображено на рис 2.

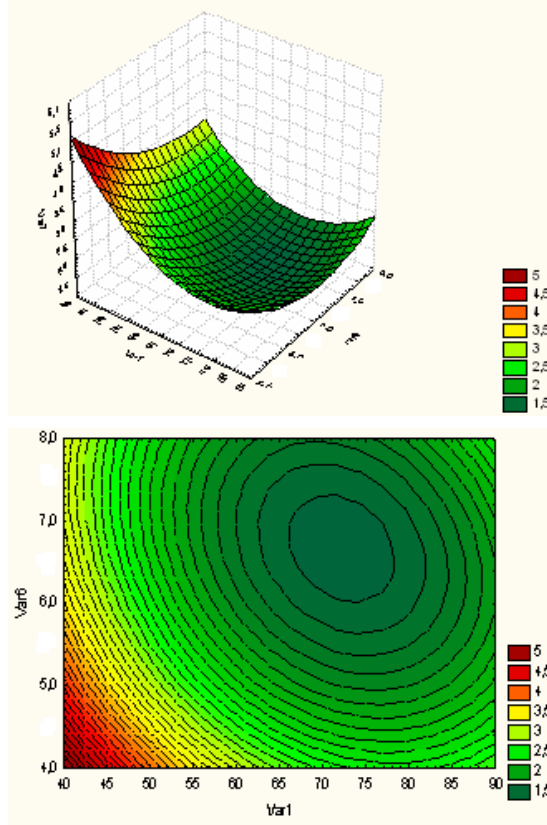


Рисунок 2 - Поверхня відгуку та її двомірний переріз залежності залишків гички на головках коренеплодів Z_c від зміни кутової швидкості обертання очисного барабана ω_o і кількості бияків n_o при встановленій швидкості руху машини $V_m = 2,0$ м/с

З аналізу поверхні відгуку залежності залишків гички на голівках коренеплодів від зміни частоти обертання барабана очисних елементів і різній кількості очисних елементів на ньому при стабільній швидкості руху машини впливає наступний висновок: найефективніше процес очищення голівок коренеплоду проходитиме при наявності 6-8-и бияків і при частоті обертання ротора в межах 64...82 рад/с.

- залежно від зміни $x_2 = V_m$ і $x_3 = n_o$ при постійному значенні кутової швидкості обертання очисних елементів очисника коренеплодів $x_1 = \omega_o = 62,8$ рад/с, тобто залежності зміни $Z_c = f(x_2; x_3) = f(V_m; n_o)$; $\Pi_k = f(x_2; x_3) = f(V_m; n_o)$; $B_k = f(x_2; x_3) = f(V_m; n_o)$:

$$\left. \begin{aligned} Z_c &= 0,57 + 14,9x_2 - 3,27x_3 + 0,54x_2x_3 - 5,42x_2^2 + 0,23x_3^2; \\ \Pi_k &= 18,86 - 17,21x_2 + 0,16x_3 - 0,21x_2x_3 + 5,0x_2^2 + 0,05x_3^2; \\ B_k &= 1,53 - 0,41x_2 - 0,21x_3 + 0,08x_2x_3 - 0,14x_2^2 + 0,01x_3^2 \end{aligned} \right\}; \quad (23)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_2 &= -237,39 + 249V_M - 3,67n_o + 0,9V_M n_o - 60,22V_M^2 + 0,04n_o^2; \\ P_k &= 273,28 - 244,12V_M + 0,53n_o - 0,35V_M n_o + 55,56V_M^2 + 0,01n_o^2; \\ B_k &= 0,3 + 3,79V_M - 0,36n_o + 0,13V_M n_o - 1,56V_M^2 + 0,003n_o^2 \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Графічно залежність (24) зображено на рис 3..

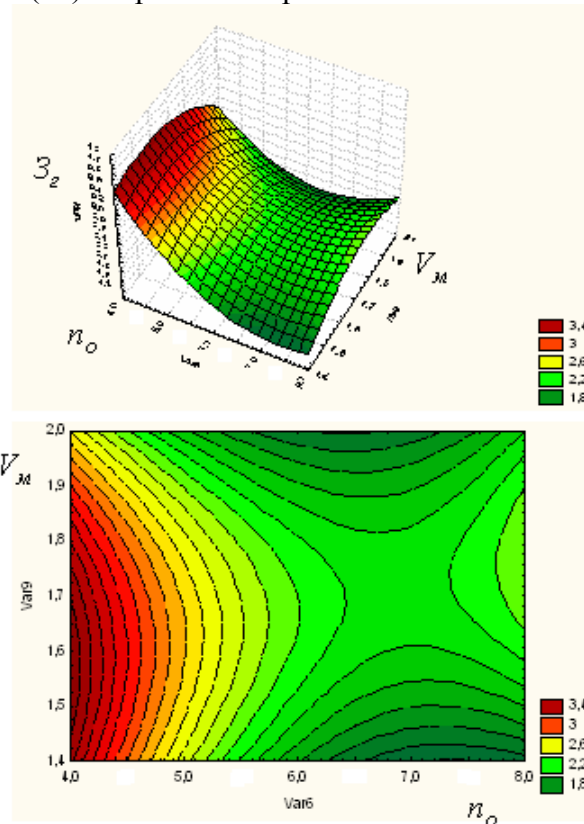


Рисунок 3 - Поверхня відгуку та її двомірний переріз залежності залишків гички на головках коренеплодів Z_2 від зміни швидкості руху машини V_M і кількості бияків n_o при стабільній кутовій швидкості обертання очисного барабана $\omega_o = 62,8$ рад/с

З поверхні відгуку залежності залишків гички від зміни поступальної швидкості руху машини і кількості очисних елементів при стабільній частоті обертання очисного ротора (рис 3) процес очищення якісно протікає в двох діапазонах поступальної швидкості руху машини 1,4...1,5 м/с і 1,9...2,0 м/с та при встановленні 6-8 очисних елементів. Швидкісний діапазон в межах 1,5...1,9 м/с характеризується незадовільною якістю виконання процесу очистки залишків гички.

На рис. 4-6 наведено відповідно поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку залежності зміни сильнопошкоджених коренеплодів P_k від зміни конструктивно-кінематичних параметрів очисника головок коренеплодів, які побудовано згідно рівнянь регресії (19, 21, 23).

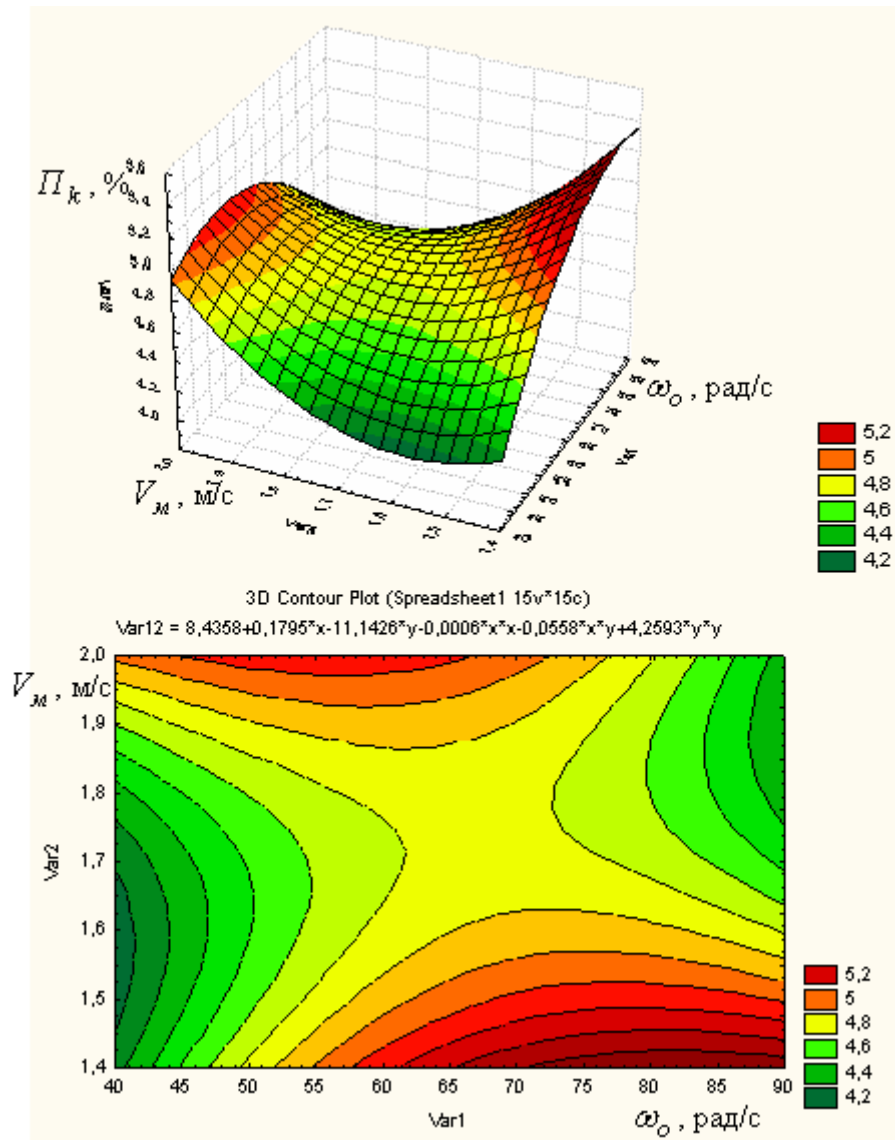


Рисунок 4 - Поверхня відгуку та її двомірний переріз залежності сильнопошкоджених коренеплодів P_k від зміни кутової швидкості обертання очисного барабана ω_0 і швидкості руху машини V_M при незмінній кількості бияків $n_o = 6$ шт.

З поверхні відгуку залежності сильнопошкоджених коренеплодів P_k від зміни частоти обертання ротора і поступальної швидкості машини при сталому числі бияків (рис 4) можна побачити, що пошкодження коренеплодів буде меншим при частоті обертання ротора в межах 40...45 рад/с при швидкості машини 1,4...1,8 м/с, а також при частоті обертання ротора в межах 85...90 рад/с при швидкості машини 1,8...2,0 м/с.

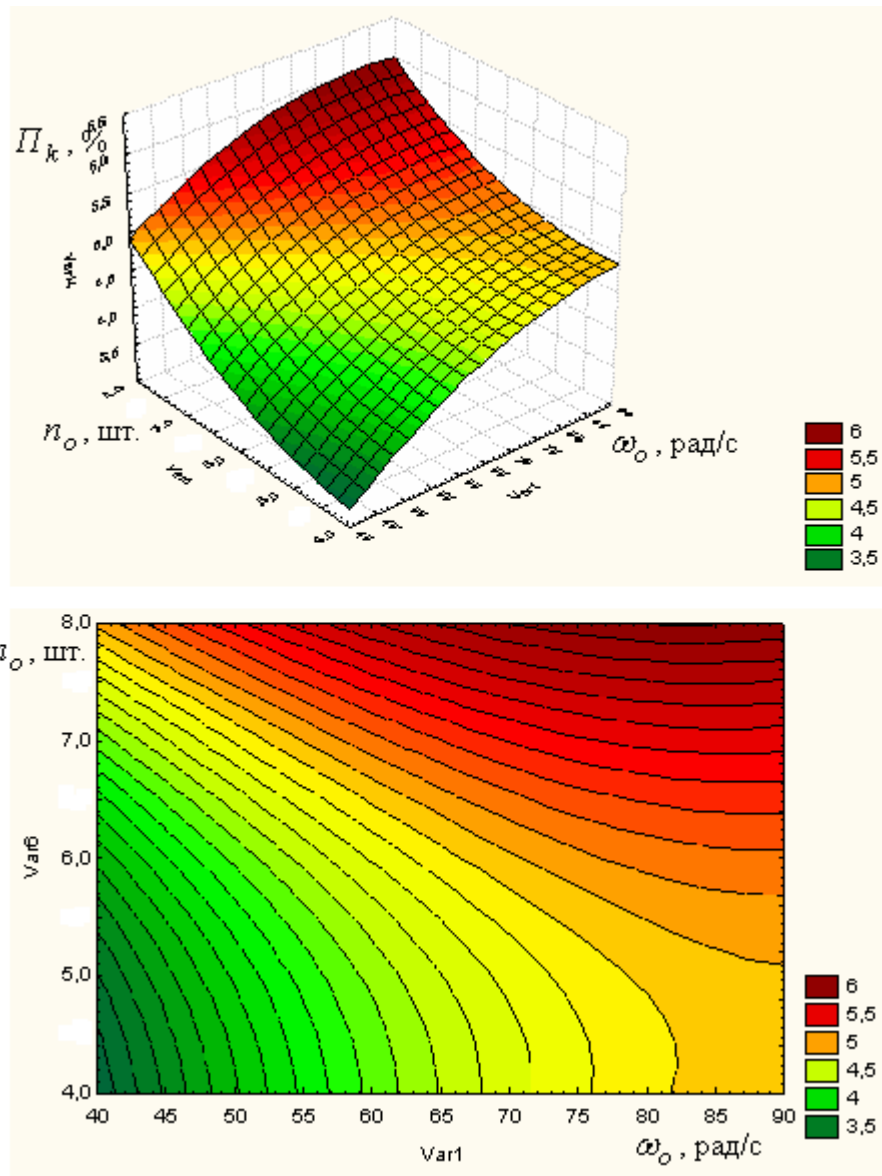


Рисунок 5 - Поверхня відгуку та її двовірний переріз залежності сильнопошкоджених коренеплодів Π_k від зміни кутової швидкості обертання очисного барабана ω_0 і кількості бияків n_0 при стабільній швидкості руху машини $V_m = 1,7$ м/с

З аналізу поверхні відгуку залежності сильнопошкоджених коренеплодів від зміни частоти обертання барабана очисних елементів і різній кількості очисних елементів на ньому при стабільній швидкості руху машини впливає наступний висновок: найефективніше процес очищення голівки коренеплоду проходить при наявності 4-6-и бияків і при частоті обертання ротора в межах 40...50 рад/с.

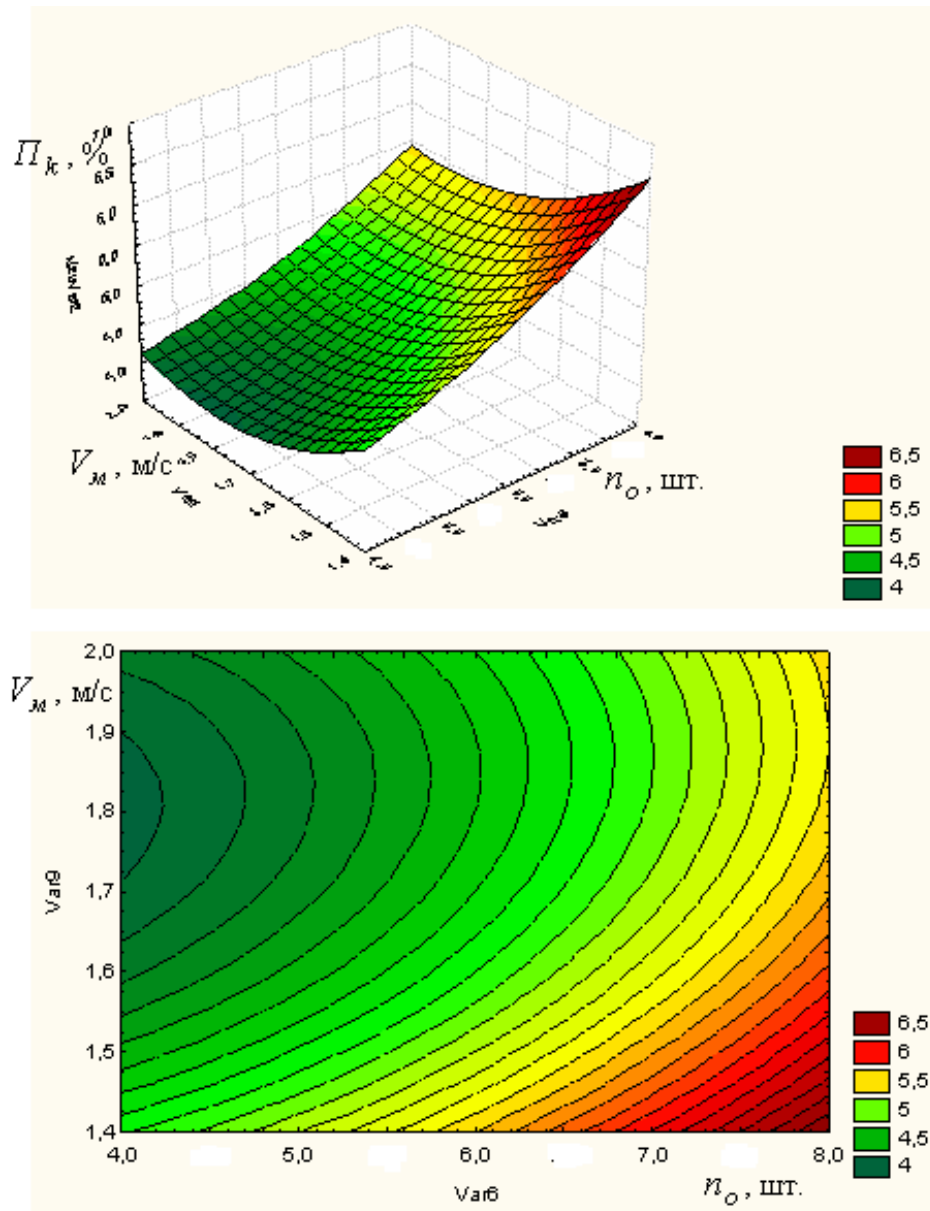


Рисунок 6 - Поверхня відгуку та її двомірний переріз залежності сильнопошкоджених коренеплодів P_k від зміни від зміни швидкості руху машини V_M і кількості бияків n_o при стабільній кутовій швидкості обертання очисного барабана $\omega_o = 62,8$ рад/с

З поверхні відгуку залежності сильнопошкоджених коренеплодів від зміни поступальної швидкості руху машини і кількості очисних елементів при стабільній частоті обертання очисного ротора (рис 6) процес очищення якісно протікає в діапазоні поступальної швидкості руху машини 1,6...2,0 м/с та при встановленні 4-6 очисних елементів.

Оптимізацію конструктивно-кінематичних параметрів робочого органу проведено за показниками агротехнічних вимог до процесу очищення головок коренеплодів від залишків гички очисниками головок коренеплодів: загальна кількість залишків гички на головках коренеплодів після проходу очищувальної машини не повинна бути більше 2 % від маси коренеплодів залікової ділянки; аналогічно: сильнопошкоджених коренеплодів очисними робочими органами очисника – не більше 5 %; вибитих коренеплодів із рядка.

Висновки. В результаті проведених експериментальних досліджень визначено, що:

- залежно від зміни кутової швидкості обертання очисних елементів і поступальної швидкості руху очисника головок коренеплодів при сталій кількості очисних елементів зміна залишків гички має асиметричний характер: збільшення кутової швидкості призводить до зменшення залишків гички і протилежно – із збільшенням поступальної швидкості руху очисника кількість залишків гички на головках коренеплодів збільшується;

- залежно від зміни кутової швидкості обертання очисних елементів і кількості очисних елементів на одному барабані ротора при стабільній поступальній швидкості руху очисника зміна залишків гички має прямопропорційний характер – збільшення кутової швидкості і кількості робочих органів на одному барабані робота призводить до зменшення залишків гички при поступальній швидкості руху очисника головок коренеплодів швидкість руху очисника становить 1,7м/с;

- залежно від зміни поступальної швидкості руху очисника головок коренеплодів і кількості очисних елементів на одному барабані ротора при стабільній кутовій швидкості зміна залишків гички має параболічний характер – початкове збільшення поступальної швидкості руху очисника до деякого відповідного конкретного значення при відповідному стабільному значенні кутової швидкості призводить до збільшення залишків гички, а потім при подальшому збільшенні поступальної швидкості руху очисника – до зниження залишків гички;

- для встановлення оптимального співвідношення факторів (поступальна швидкість руху машини, частота обертання очисного барабану, кількість встановлених бияків), що впливають на якість виконання процесу необхідно виконати оптимізацію. Результати проведення оптимізації будуть опубліковані в наступній статті.

Список літератури

1. Лінник А., Ковбаса В., Соломка В. Кінематика ротаційного очисника головок коренеплодів // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження -№12,- Том 2, С. 201-207.
2. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. – М.: Мир, 1972. – 259с.
3. Завалишин Ф.С., Манцев Н.Г. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства. - М.: Колос, 1982. – 228с.
4. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. - М.: Колос, 1973. – 134 с.

В. Ковбаса, А. Линник

Результаты полевых экспериментальных исследований ротационного доочистителя головок корнеплодов

В результате проведения полевых экспериментальных исследований доочищувача головок корнеплодов установленные регрессионные связи влиянию параметров и режимов его работы на показатели качества выполнения процесса.

V. Kovbasa, A. Linnik

Results of the field experimental researches rotary of a cleaner heads of root crops

As a result of carrying out of field experimental researches of a cleaner of heads of root crops are established regression communications of influence of parameters and modes of its work on parameters of quality of process.

Одержано 02.01.10

УДК 531.3

В.П. Ковбаса, проф., д-р. техн. наук

Національний університет біоресурсів та природокористування України

В.В. Ярошенко, інж.

„Тегра Україна ЛТД”

Розподіл напружень у сипкому середовищі обмеженому стінками споруди силосного типу

На основі теорії пластичності розв'язана задача про розподіл компонентів напружень зв'язного сипкого середовища у спорудах силосного типу. Встановлено зв'язки механічних властивостей сипкого середовища, геометричних параметрів силоса з напруженнями у споруді та умовами граничної рівноваги матеріала, крім визначення форм ліній ковзання при порушенні граничної рівноваги.

напруження, сипке середовище, стінки силоса, кола Мора

У промисловості та сільському господарстві для зберігання сипких матеріалів широке поширення мають споруди силосного типу. При цьому до теперішнього часу не існує адекватних результатів теоретичних досліджень щодо визначення тиску сипких матеріалів на стінки силосів та умов розвантаження матеріалу під дією гравітаційних сил. Природа утворення склепін та вплив на склепоутворення механічних властивостей не достатньо вивчена. Більшість результатів досліджень щодо механіки сипких середовищ базується на теорії пластичності, при цьому сипке середовище вважається ідеально сипким. Більшість результатів досліджень ґрунтується на результатах експериментів і не носить достатньої узагальненості [1]. Теоретичні дослідження обмежуються розв'язанням найбільш простих випадків статички сипкого середовища [2,3,4] або динаміки середовища по аналогії з Ньютоновською рідиною. [5]

Метою даних досліджень є встановлення зв'язків механічних властивостей сипкого середовища, геометричних параметрів силоса з напруженнями у споруді та умовами граничної рівноваги матеріала, крім визначення форм ліній ковзання при порушенні граничної рівноваги.

Для досягнення поставленої мети розв'язувались наступні задачі:

- визначення критерія гарничної рівноваги для зв'язного сипкого середовища;
- визначення розподілу компонентів напружень у споруді силосного типу;
- визначення форм ліній ковзання при настанні пластичності (текучості).

Результати досліджень. В багатьох процесах при формалізації матеріалів і середовищ застосовується модель сипкого дискретного середовища. До таких моделей приходять у випадках формалізації процесів пов'язаних з зерновими матеріалами, комбикормами, продуктами переробки зернових, бобових та олійних культур. При цьому ці матеріали мають суттєві відмінності у механічних властивостях, зокрема граничному напруженні зсуву, початковому напруженні зсуву, коефіцієнтах внутрішнього та зовнішнього тертя. Тому при формалізації процесів дуже важливим є врахування цих властивостей при визначенні умов руху таких матеріалів, визначенні навантажень з боку матеріалів на конструкції, споруди та робочі органи. Крім того важливим є знання величин зовнішніх впливів при необхідності переміщення цих матеріалів та зміни їх властивостей. Особливо важливим є забезпечення умов розвантаження споруд силосного типу.

Виходячи з вищезначеного знання зв'язків компонентів напружень таких матеріалів та умов порушення рівноваги має надзвичайно важливе значення. У відповідності з твердженням Хаара та Кармана класична теорія пластичності та теорія граничної рівноваги ґрунтів (теорія сипкого середовища) мають спільне підґрунтя, тому аналіз сипкого середовища проводиться з застосуванням методів класичної теорії пластичності.

Однією з найбільш поширених та найбільш застосовуваних до сипкого середовища критеріїв повної пластичності (умови граничної рівноваги) є критерій Треска, згідно з яким умова граничної рівноваги має вигляд:

$$\sigma_3 = \sigma_2, \sigma_1 - \sigma_3 = 2k, \quad (1)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - головні напруження в середовищі;

k - константа, що характеризує границю переходу середовища у пластичний стан.

Для визначення величини k (тобто умови рівноваги) можна скористатися колами Мора (рис.1).

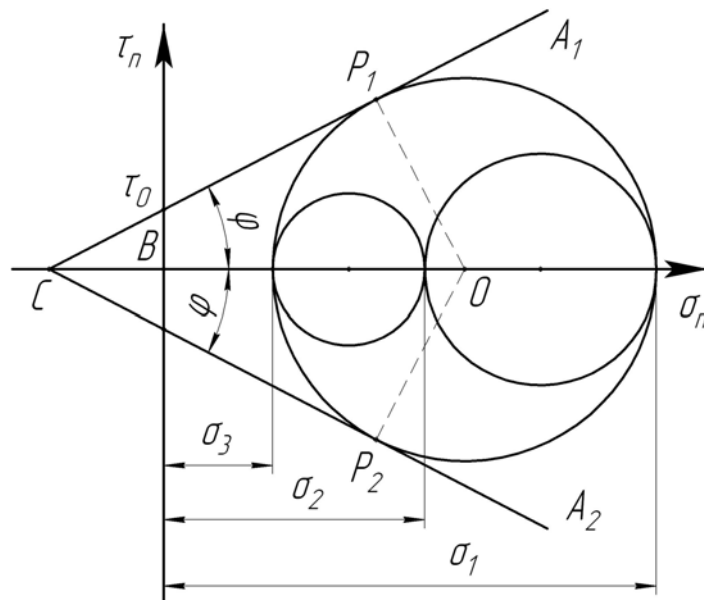


Рисунок 1 - Кола Мора для визначення співвідношень між компонентами напружень та умов настання пластичності

На рис.1 позначення мають наступні трактовки: τ_0 - початкове напруження зсуву для зв'язного сипкого середовища, φ - кут внутрішнього тертя середовища, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - головні напруження в середовищі (відповідно найбільше, середнє, та найменше). Згідно Отто Мору CA_1 та CA_2 - лінії ковзання по яких відбувається пластична течія або порушується суцільність. Співвідношення між компонентами напружень на лініях ковзання мають вигляд:

$$BO = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + \sigma_3 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}; BC = \frac{\tau_0}{tq\varphi}; OC = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\tau_0}{tq\varphi}; OP_1 = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2};$$

$$\frac{1}{\sin \varphi} = \frac{\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\tau_0}{tq\varphi}}{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}}; \quad (2)$$

З виразу (2) на лініях ковзання можна отримати співвідношення між властивостями середовища та компонентами напружень:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_3 + 2\tau_0 ctq\varphi + \sigma_3 \sin \varphi}{-1 + \sin \varphi}; \quad \sigma_3 = \frac{-\sigma_1 - \tau_0 ctq\varphi + \sigma_1 \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}. \quad (3)$$

Згідно з представлень напружень через кола Мора максимальне дотичне напруження має вигляд: $\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$, що у відповідності з умовою пластичності Треска:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \leq k, \quad k - \text{const}, \quad \text{або} \quad \sigma_1 - \sigma_3 = 2k.$$

Слід відзначити, що постійна k для пластичного зв'язного (сипкого) середовища може бути отримана з умови (3) з урахуванням того що:

$$\sigma_3 = \sigma_1 - 2k, \quad \text{при} \quad \sigma_2 = \sigma_3, \quad \sigma_3 = \frac{1}{2}(3\sigma - \sigma_1), \quad \sigma = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3).$$

Підстановка виразів для σ та σ_3 у перше рівняння (3) та вираження з нього постійної k дає вираз:

$$k = -\frac{3(\sigma \sin \varphi + \tau_0 \cos \varphi)}{-3 + \sin \varphi}. \quad (4)$$

Графічно вираз (4) при постійному напруженні $\sigma = \text{const}$ має вигляд представлений на рис.2.

Для розв'язання задач статички пластичного (дискретного сипкого) середовища необхідно знати як зв'язані компоненти напружень між собою та який зв'язок вони мають з механічними властивостями самого середовища.

На площадці довільно нахилений до осей координат xuz зв'язок між компонентами напружень та головними напруженнями визначається через напрямні косинуси:

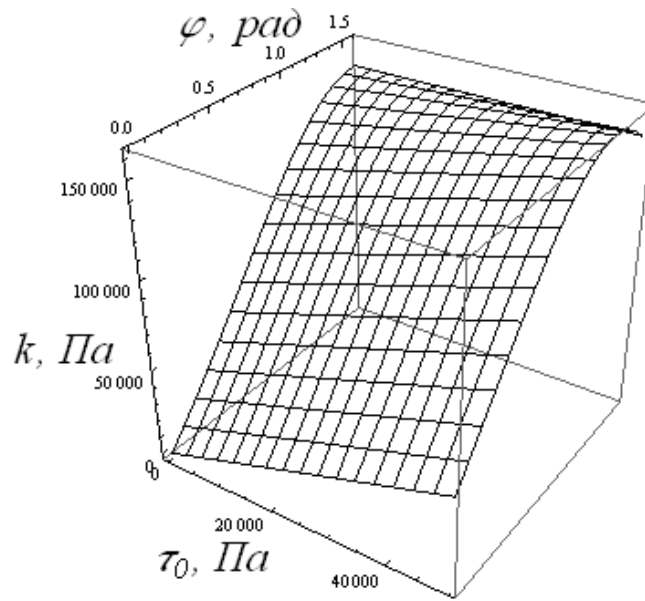


Рисунок 2 - Залежність постійної k від кута внутрішнього тертя φ та початкового напруження зсуву τ_0 середовища при $\sigma = 100 \text{ кПа}$

$$\begin{aligned}
 \sigma_x &= \sigma_1 l_1^2 + \sigma_2 m_1^2 + \sigma_3 n_1^2; \\
 \sigma_y &= \sigma_1 l_2^2 + \sigma_2 m_2^2 + \sigma_3 n_2^2; \\
 \sigma_z &= \sigma_1 l_3^2 + \sigma_2 m_3^2 + \sigma_3 n_3^2; \\
 \tau_{xy} &= \sigma_1 l_1 l_2 + \sigma_2 m_1 m_2 + \sigma_3 n_1 n_2; \\
 \tau_{yz} &= \sigma_1 l_2 l_3 + \sigma_2 m_2 m_3 + \sigma_3 n_2 n_3; \\
 \tau_{xz} &= \sigma_1 l_1 l_3 + \sigma_2 m_1 m_3 + \sigma_3 n_1 n_3.
 \end{aligned} \tag{5}$$

де існує зв'язок між осями координат та напрямками головних напружень через напрямні косинуси:

	1	2	3
x	l_1	m_1	n_1
y	l_2	m_2	n_2
z	l_3	m_3	n_3

При цьому існує зв'язок:

$$\begin{aligned}
 l_1^2 + m_1^2 + n_1^2 &= 1; & l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 &= 0; \\
 l_2^2 + m_2^2 + n_2^2 &= 1; & l_2 l_3 + m_2 m_3 + n_2 n_3 &= 0; \\
 l_3^2 + m_3^2 + n_3^2 &= 1; & l_1 l_3 + m_1 m_3 + n_1 n_3 &= 0,
 \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 &= 1; & l_1 m_1 + l_2 m_2 + l_3 m_3 &= 0; \\ m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 &= 1; & m_1 n_1 + m_2 n_2 + m_3 n_3 &= 0; \\ n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 &= 1; & l_1 n_1 + l_2 n_2 + l_3 n_3 &= 0. \end{aligned}$$

З урахуванням (1) та (5) компоненти напружень можуть бути записані наступним чином:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \sigma - 2k/3 + 2kn_1^2; & \tau_{xy} &= 2kn_1n_2; \\ \sigma_y &= \sigma - 2k/3 + 2kn_3^2; & \tau_{yz} &= 2kn_1n_3; \\ \sigma_x &= \sigma - 2k/3 + 2kn_2^2; & \tau_{xz} &= 2kn_1n_2, \end{aligned} \quad (6)$$

$$n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 = 1.$$

Якщо з виразів (6) для компонентів нормальних напружень виразити n_1, n_2, n_3 і підставити у вирази для τ_{ij} , можна записати:

$$\begin{aligned} \tau_{xy}^2 &= (\sigma_x - \sigma + 2k/3)(\sigma_y - \sigma + 2k/3); & \tau_{yz}^2 &= (\sigma_y - \sigma + 2k/3)(\sigma_z - \sigma + 2k/3); \\ \tau_{xz}^2 &= (\sigma_x - \sigma + 2k/3)(\sigma_z - \sigma + 2k/3), \end{aligned} \quad (7)$$

а далі:

$$\begin{aligned} (\sigma_x - \sigma + 2k/3)\tau_{yz} &= \tau_{xy}\tau_{zx}; & (\sigma_y - \sigma + 2k/3)\tau_{xz} &= \tau_{xy}\tau_{yz}; \\ (\sigma_z - \sigma + 2k/3)\tau_{xy} &= \tau_{xz}\tau_{yz}. \end{aligned} \quad (8)$$

Зі співвідношень (8):

$$\sigma_x = \sigma - 2k/3 + \frac{\tau_{zy}\tau_{zx}}{\tau_{yz}}; \quad \sigma_y = \sigma - 2k/3 + \frac{\tau_{zy}\tau_{yz}}{\tau_{xz}}; \quad \sigma_z = \sigma - 2k/3 + \frac{\tau_{xz}\tau_{yz}}{\tau_{xy}}. \quad (9)$$

З (9) умова граничної рівноваги:

$$\frac{\tau_{xy}\tau_{zx}}{\tau_{yx}} + \frac{\tau_{xy}\tau_{yz}}{\tau_{zx}} + \frac{\tau_{xz}\tau_{yz}}{\tau_{xy}} = 2k.$$

По аналогії з рівняннями (6) для випадку, коли косинуси кутів між осями координат у циліндричній системі координат z, θ, r та найбільшим головним

напруженням визначаються як: $n_1 = \cos \alpha; n_2 = \cos \beta; n_3 = \cos \gamma$, де $\alpha - \sigma_1 r, \gamma - \sigma_1 z, \beta - \sigma_1 \theta$, співвідношення між напруженнями матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \sigma - \frac{2}{3}k + 2k \cos^2 \alpha; \sigma_\theta = \sigma - \frac{2}{3}k + 2k \cos^2 \beta; \\ \sigma_z &= \sigma - \frac{2}{3}k + 2k \cos^2 \gamma; \tau_{r\theta} = 2k \cos \alpha \cos \beta; \tau_{z\theta} = 2k \cos \gamma \cos \beta; \\ \tau_{zr} &= 2k \cos \alpha \cos \gamma. \end{aligned} \quad (10)$$

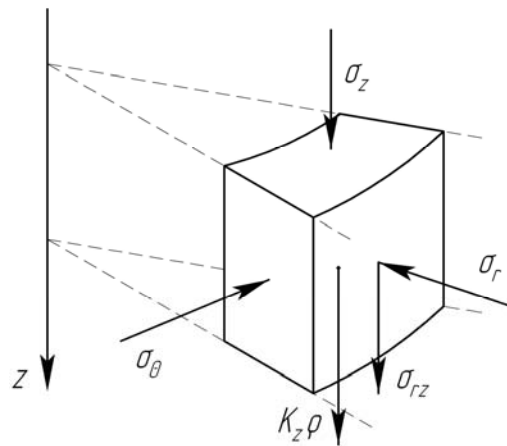


Рисунок 3 - Сили, що діють на елемент сипкого середовища в циліндричній системі координат

Для аналізу напруженого стану сипкого матеріалу у споруді силосного типу можна використати рівняння динаміки руху суцільного середовища :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} + \frac{\partial \tau_{r\theta}}{r \partial \theta} + \frac{\partial \tau_{zr}}{\partial z} + \rho k_r + F_r &= 0; \\ \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{2\tau_{r\theta}}{r} + \frac{\partial \sigma_\theta}{r \partial \theta} + \frac{\partial \tau_{z\theta}}{\partial z} + \rho k_\theta + F_\theta &= 0; \\ \frac{\partial \tau_{zr}}{\partial r} + \frac{\tau_{zr}}{r} + \frac{\partial \tau_{z\theta}}{r \partial \theta} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \rho k_z + F_z &= 0, \end{aligned} \quad (11)$$

де $\rho k_r, \rho k_\theta, \rho k_z$ - об'ємні сили;

F_r, F_θ, F_z - розподілені по границях об'єму зовнішні сили.

По аналогії з пружною постановкою (до настання граничного стану сипкого матеріалу) задачі для випадку з осьовою симетрією на основі рівнянь Гука, при відсутності кручення навкруги осі oz та відсутності можливості розширення у радіальному напрямку (стілки силоса абсолютно жорсткі) деформації у відповідних напрямках становлять:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\theta} &= \frac{1}{E}(\sigma_{\theta} - \nu(\sigma_z + \sigma_r)) = 0; \\ \varepsilon_r &= \frac{1}{E}(\sigma_r - \nu(\sigma_z + \sigma_{\theta})) = 0.\end{aligned}\tag{12}$$

З (12) можна записати:

$$\sigma_{\theta} = \nu\sigma_r + \nu\sigma_z;\tag{a}$$

$$\sigma_r = \nu\sigma_z + \nu\sigma_{\theta} \rightarrow \sigma_z = \frac{\sigma_r - \nu\sigma_{\theta}}{\nu}.\tag{б}$$

Якщо (б) підставити в (а), можна записати:

$$\begin{aligned}\sigma_{\theta} &= \nu\sigma_r + \sigma_r - \nu\sigma_{\theta}; \\ \sigma_{\theta} + \nu\sigma_{\theta} &= \nu\sigma_r + \sigma_r,\end{aligned}$$

звідки: $\sigma_r = \sigma_{\theta}$.

Враховуючи те, що $\sigma_r = \sigma_{\theta}$, з (7) випливає, що $\tau_{r\theta} = 0$. Крім того слід відзначити, що компонента напружень $\tau_{z\theta}$ на залежить від кута повороту, тому $\partial\tau_{z\theta}/(r\partial\theta) = 0$. В цьому випадку рівняння (11) приймуть вигляд:

$$\begin{aligned}\frac{\partial\sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial\tau_{zr}}{\partial z} + \rho k_r + F_r &= 0; \\ \frac{\partial\tau_{zr}}{\partial r} + \frac{\tau_{zr}}{r} + \frac{\partial\sigma_z}{\partial z} + \rho k_z + F_z &= 0.\end{aligned}\tag{13}$$

В останньому рівнянні (в умовах гравітації) об'ємна сила в напрямку осі or -- $\rho k_r = 0$. А в напрямку осі oz -- $\rho k_z = \rho g$, де $g = 9.81, \text{ м/с}^2$.

Величини F_r та F_z є силами, що діють з боку стінок силоса на сипке середовище. У загальному випадку при куті нахилу твірної стінки силоса до горизонту β (рис. 4.) величини F_r та F_z визначаються як:

$$\begin{aligned}F_r &= \frac{1}{2\pi R}(\sigma_z f \cos^2\beta + \sigma_r \sin^2\beta); \\ F_z &= \frac{1}{2\pi R}(\sigma_r f \sin^2\beta + \sigma_z \cos^2\beta),\end{aligned}\tag{14}$$

де R - радіус силоса в точці, в якій визначається сила;

f - коефіцієнт зовнішнього тертя сипкого матеріала по стінці силоса.

Величини компонентів $\sigma_z, \sigma_r, \tau_{zr}$ визначаються рівняннями (10). З урахуванням виразів (10) та (14) рівняння динаміки (13) приймуть вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned} & \frac{1}{4(3\csc\varphi-1)} \left(\frac{1}{2\pi R} \csc\varphi \left(\begin{aligned} & -(1+f+(f-1)\cos 2\beta)(\tau_0 \cos\varphi+3\sigma)+ \\ & +3(f-1+(f+1)\cos 2\beta)\cos 2\alpha(\tau_0 \cos\varphi+\sin\varphi \sigma) \end{aligned} \right) + \right. \\ & +4 \left(-6\csc\varphi\sin 2\alpha(\tau_0 \cos\varphi+\sin\varphi \sigma)\frac{\partial\alpha}{\partial r} + 3(\cos 2\alpha+\csc\varphi)\frac{\partial\sigma}{\partial r} \right) + \\ & \left. +4 \left(6\cos 2\alpha(\tau_0 \operatorname{ctg}\varphi+\sigma)\frac{\partial\alpha}{\partial z} + 3\sin 2\alpha\frac{\partial\sigma}{\partial z} \right) \right) = 0; \\ & g\rho + \frac{1}{4\pi R(3\csc\varphi-1)} \csc\varphi \left(\begin{aligned} & (-1-f+(f-1)\cos 2\beta)(\tau_0 \cos\varphi+3\sigma)+ \\ & +3(1-f+(f-1)\cos 2\beta)\cos 2\alpha(\tau_0 \cos\varphi+\sin\varphi \sigma) \end{aligned} \right) + \\ & + \frac{1}{(3\csc\varphi-1)} \left(6\cos 2\alpha(\tau_0 \cos\varphi+\sigma)\frac{\partial\alpha}{\partial r} + 3\sin 2\alpha\frac{\partial\sigma}{\partial r} \right) + \\ & + \frac{3}{(3\csc\varphi-1)} \left(2\csc\varphi\sin 2\alpha(\tau_0 \cos\varphi+\sin\varphi \sigma)\frac{\partial\alpha}{\partial z} + (\csc\varphi-\cos 2\alpha)\frac{\partial\sigma}{\partial z} \right) = 0. \end{aligned} \right. \quad (15)$$

Дана система двох залежних гідростатичного напруження $\sigma(z, r)$ та кута $\alpha(z, r)$ між віссю z та напрямком найбільшого головного напруження σ_1 від двох незалежних змінних z, r , які визначають положення точки у сипкому матеріалі.

Система диференціальних рівнянь (15) є системою гіперболічних нелінійних неоднорідних рівнянь першого порядку, яка не може бути розв'язана у загальному вигляді. Чисельні розв'язки цієї системи не можуть дати узагальненості для аналізу розподілу компонентів напружень та визначення положень і форм ліній ковзання. Тому можна зробити спробу розв'язати дану систему наближеними методами.

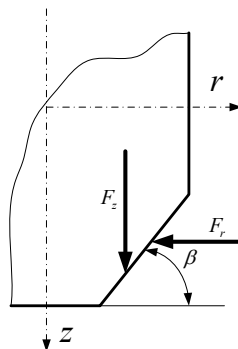


Рисунок 4 - Схема дії сил з боку стінок силоса

Такий розв'язок може полягати в наступному. Підбирається потенціальна функція зміни гідростатичного напруження $\sigma(z, r)$ з певним невідомим коефіцієнтом та потенціальна функція зміни кута нахилу $\alpha(z, r)$ з певним невідомим коефіцієнтом, які повинні задовольнити граничні (початкові) умови і водночас ці функції повинні задовольнити рівняння (15). Потім знаходяться невідомі коефіцієнти. Таким чином задача може бути розв'язана. Слід зазначити, що функції $\sigma(z, r)$ та $\alpha(z, r)$ повинні бути гладкими та їх диференціали не повинні давати постійних, тобто: $\frac{\partial \sigma}{\partial r} \neq const, \frac{\partial \sigma}{\partial z} \neq const, \frac{\partial \alpha}{\partial r} \neq const, \frac{\partial \alpha}{\partial z} \neq const.$

Початкові умови, які повинні задовольняти функції, формулюються наступним чином [2]:

$$\sigma(z, r)|_{z=0} = 0; \alpha(z, r)|_{z=0} = \frac{\pi}{2}.$$

Крім того розкладемо трансцендентні функції кута α у ряд Маклорена, що дозволить розв'язувати алгебраїчні рівняння:

$$\cos \alpha \rightarrow 1 - \alpha^2/2; \sin \alpha \rightarrow \alpha.$$

Враховуючи результати експериментальних досліджень щодо вигляду функції $\sigma(z, r)$ [1], останню можна представити у вигляді:

$$\sigma = \frac{1}{3} b \rho g \left(1 + \exp\left(-\frac{z}{2\pi R}\right) \operatorname{arctg}\left(\frac{R}{r+R}\right) \right) (\sin \varphi - 3); \quad (16)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial z} = \frac{b \rho g \exp\left(-\frac{z}{2\pi R}\right) \left(2 \left(1 + \exp\left(\frac{z}{2\pi R}\right) \right) \pi R - z \right) \operatorname{arctg}\left(\frac{R}{r+R}\right) (\sin \varphi - 3)}{6\pi R};$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial r} = \frac{b \rho g R z \left(1 + \exp\left(-\frac{z}{2\pi R}\right) \right) (\sin \varphi - 3)}{3(r^2 + 2rR + 2R^2)},$$

де b - невідомий коефіцієнт (коефіцієнт незнання).
Функцію $\alpha(z, r)$ можна представити у вигляді:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} + c \sqrt{\frac{z}{h}} + \sqrt{\frac{r}{R}}; \quad (17)$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial z} = \frac{c}{2h\sqrt{z/h}}; \quad \frac{\partial \alpha}{\partial r} = \frac{1}{2R\sqrt{r/R}},$$

де c - невідомий коефіцієнт (коефіцієнт незнання);

h - висота силоса.

Стосовно коефіцієнтів незнання b та c слід відзначити, що вони повинні бути визначені експериментально і, швидше за все, будуть залежати від механічних властивостей сипкого середовища.

Графічно (16) та (17) представлені на рис. 5.

Враховуючи осьову симетрію споруди силосного типу для випадку використання циліндричної системи координат та при відсутності кручення вирази (10) приймуть вигляд:

$$\sigma_r = \sigma - \frac{2}{3}k + 2k \cos^2 \alpha; \quad \sigma_z = \sigma - \frac{2}{3}k + 2k \sin^2 \alpha; \quad \tau_{zr} = 2k \cos \alpha \sin \alpha, \quad (18)$$

де α - кут нахилу напрямку найбільшого головного напруження до осі OZ (залежність (17)).

Залежності (18) повністю визначають розподіл компонентів напружень зв'язного сипкого середовища у споруді силосного типу.

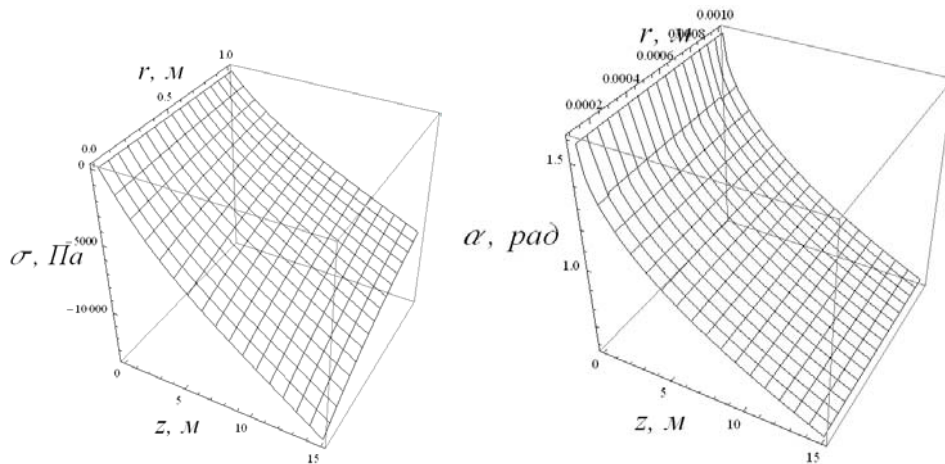


Рисунок 5 - Графіки функцій $\sigma(z, r)$ та $\alpha(z, r)$.

Висновки. В роботі визначений аналітичний вираз критерія рівноваги зв'язного сипкого середовища, що враховує механічні властивості останнього, а саме початкове напруження зсуву τ_0 та кут внутрішнього тертя φ .

На основі теорії пластичності розв'язана задача про розподіл компонентів напружень зв'язного сипкого середовища у споруді силосного типу, яка дозволяє враховувати механічні властивості середовища та геометричні параметри споруди. Це дозволяє визначати зони порушення рівноваги середовища у споруді, що суттєво впливають на умови розвантаження силосів та визначити динамічні навантаження на стінки самих споруд.

Список літератури

1. Дженике Э.В. Складирование и выпуск сыпучих материалов. -М.: Мир, 1968.- 164 с.
2. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел.- Т.2. -М.: Мир, 1969.- 864 с.
3. Соколовский В.В. Теория пластичности. -М.: ВШ, 1969.-608 с.
4. Ишлинский А.Ю., Ивлев Д.Д. Математическая теория пластичности. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.- 704 с.
5. Гячев Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах.- М.: Машиностроение, 1968. -184 с.

В. Ковбаса, В. Ярошенко

Распределение напряжений в сыпучей среде ограниченной стенками сооружения силосного типа

На основе теории пластичности решена задача о распределении компонентов напряжений связной сыпучей среды в сооружении силосного типа. Установлены связи механических свойств сыпучей среды, геометрических параметров силоса с напряжениями в сооружении и условиями предельного равновесия материала, кроме определения форм линий скольжения при нарушении предельного равновесия.

V. Kovbasa, V. Yaroshenko

Distributing of tension in a friable environment to limited the walls of building of silo-type

On the basis of plasticity theory the the problem about distribution of components of pressure of the coherent loose environment in a construction of silage type is solved. The copulas of mechanical properties of friable environment, geometrical parameters of silosa are set with tensions in building and terms of maximum equilibrium of materiala, except for determination of forms of sliding lines at violation of maximum equilibrium.

Одержано 02.01.10

УДК 631.354.025

В.С. Ловейкін, проф., д-р. техн. наук, Л.С. Шимко, асп.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В.В. Ярошенко, інж.

„Тегра Україна ЛТД”

Огляд досліджень витоків сипких матеріалів

Визначено, що необхідна методика обґрунтування параметрів і режимів роботи вивантажувальних пристроїв комбайнів з урахуванням механіко-технологічних властивостей сільськогосподарських матеріалів, законів руху сипких тіл та особливостей технологічних процесів і операцій, пов'язаних із накопиченням і перевантаженням зерно-рослинного матеріалу із самоскидного бункера.

механіка, сипке тіло, гравітаційний виток, зерновий матеріал, самоскидний бункер

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливим науково-практичним завданням. Високопродуктивна та якісна робота збиральних машин і комбайнів значною мірою залежить від швидкості вивантаження збираного продукту та параметрів і режимів роботи вивантажувальних пристроїв[1-2]. Зважаючи на це, значна частина науковців і винахідників обрала метою своїх досліджень та винаходів вирішення проблеми забезпечення стабільності процесу вивантаження зібраного матеріалу з бункера-накопичувача. Досягнення позитивних результатів їх наукового

Список літератури

1. Дженике Э.В. Складирование и выпуск сыпучих материалов. -М.: Мир, 1968.- 164 с.
2. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел.- Т.2. -М.: Мир, 1969.- 864 с.
3. Соколовский В.В. Теория пластичности. -М.: ВШ, 1969.-608 с.
4. Ишлинский А.Ю., Ивлев Д.Д. Математическая теория пластичности. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.- 704 с.
5. Гячев Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах.- М.: Машиностроение, 1968. -184 с.

В. Ковбаса, В. Ярошенко

Распределение напряжений в сыпучей среде ограниченной стенками сооружения силосного типа

На основе теории пластичности решена задача о распределении компонентов напряжений связной сыпучей среды в сооружении силосного типа. Установлены связи механических свойств сыпучей среды, геометрических параметров силоса с напряжениями в сооружении и условиями предельного равновесия материала, кроме определения форм линий скольжения при нарушении предельного равновесия.

V. Kovbasa, V. Yaroshenko

Distributing of tension in a friable environment to limited the walls of building of silo-type

On the basis of plasticity theory the the problem about distribution of components of pressure of the coherent loose environment in a construction of silage type is solved. The copulas of mechanical properties of friable environment, geometrical parameters of silosa are set with tensions in building and terms of maximum equilibrium of materiala, except for determination of forms of sliding lines at violation of maximum equilibrium.

Одержано 02.01.10

УДК 631.354.025

В.С. Ловейкін, проф., д-р. техн. наук, Л.С. Шимко, асп.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В.В. Ярошенко, інж.

„Тегра Україна ЛТД”

Огляд досліджень витоків сипких матеріалів

Визначено, що необхідна методика обґрунтування параметрів і режимів роботи вивантажувальних пристроїв комбайнів з урахуванням механіко-технологічних властивостей сільськогосподарських матеріалів, законів руху сипких тіл та особливостей технологічних процесів і операцій, пов'язаних із накопиченням і перевантаженням зерно-рослинного матеріалу із самоскидного бункера.

механіка, сипке тіло, гравітаційний виток, зерновий матеріал, самоскидний бункер

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливим науково-практичним завданням. Високопродуктивна та якісна робота збиральних машин і комбайнів значною мірою залежить від швидкості вивантаження збираного продукту та параметрів і режимів роботи вивантажувальних пристроїв[1-2]. Зважаючи на це, значна частина науковців і винахідників обрала метою своїх досліджень та винаходів вирішення проблеми забезпечення стабільності процесу вивантаження зібраного матеріалу з бункера-накопичувача. Досягнення позитивних результатів їх наукового

пошуку було б не можливе без глибокого дослідження закономірностей поведінки сипких матеріалів. В Національного університеті біоресурсів і природокористування України у відповідності до тематики наукових досліджень: «Оптимізація режимів руху механізмів ПТМ, що використовуються при механізації виробничих процесів у тваринництві і рослинництві на 2005-2010 рр.» державна реєстрація 0105U007502 досліджуються умови вивантаження зерна з самоскидного зернового бункера.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багатьма вченими досліджувались закономірності та сформовані закони механіки сипких матеріалів. Поглибленням їх наукового спадку стали роботи Л.В. Гячева, В.А. Богомяккіх, Р.А. Бегнолда, Д.Т. Дженкінса, С.Б. Севиджа, В.М. Долгуніна, В.Я. Борщова та ін. [3-10]. Їх вклад у формування наукових засад теорії розрахунку спонукав до появи різноманітних конструкцій вивантажувальних механізмів.

Невирішена раніше частина загальної проблеми. Існуючі недоліки — значне пошкодження зібраного продукту; утворення статично стійких налипань; підвищення швидкості вивантаження матеріалу з різними фізико-механічними властивостями та ін. — залишаються невирішеною частиною загальної проблеми подальшого підвищення продуктивності збиральних машин і комбайнів.

Формулювання цілей статті. В зв'язку із зазначеним вище, необхідно вивчити, проаналізувати та узагальнити методи наукових досліджень робочих процесів витоку сипких матеріалів, що уможливить подальше наукове обґрунтування параметрів і режимів роботи вивантажувальних пристроїв збиральних машин та сприятиме підвищенню ефективності збирання сільськогосподарських культур.

Виклад основного матеріалу. Систематизація проаналізованого матеріалу вказує на те, що з розвитком науки відбуваються процеси виокремлення з теорії класичної механіки сипкого середовища багатьох напрямів досліджень пов'язаних в основному з прикладним застосуванням наукових положень класичної теорії до тих чи інших сфер практичної діяльності (рис. 1).

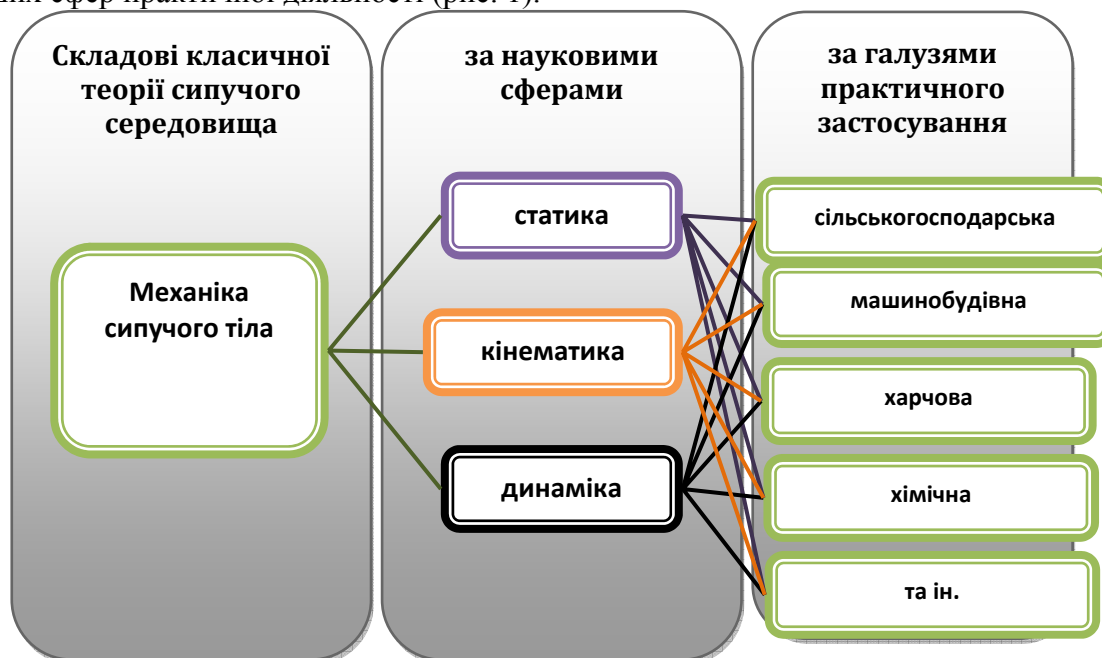


Рисунок 1 - Схема виокремлення напрямів наукових досліджень робочих процесів витоку сипких матеріалів

Відповідно до встановленої мети, у даній статті, методів наукових досліджень робочих процесів витоку сипких матеріалів, зроблений наголос на дослідження

пов'язані з процесами природного, гравітаційного витоку сипких, зернистих матеріалів. Разом із тим, не можна обминути і шляхів розвитку класичної теорії.

Становлення науки, що вивчає сипучі тіла відбувалось разом із розвитком будівельної механіки. У витоку розуміння цих процесів стоять такі постаті як Леонардо да Вінчі, Галілео Галілей. Визнаним засновником класичної теорії сипкого середовища вважають Шарля Огюстена Кулона [10]. Видатний вчений, крім загальновідомих законів тертя, сформулював основні положення граничної рівноваги сипкого тіла та застосував їх до визначення тиску засипки.

Помітним вкладом у розвиток класичної теорії механіки сипких матеріалів, в тому числі сільськогосподарського призначення, є робота Х.Янсена [11], що з'явилася 1895р. і яка не втратила свого значення до теперішнього часу. Вченим виведена формула статичного тиску сипкого тіла на дно і стінки призматичного або циліндричного бункера. Експериментальні дослідження та досвід застосування формули показали, що фактичні напруження значно більші за розрахункові. Відхилення пов'язані із тим, що формула описує відношення між головними напруженнями сипкого тіла в стані граничної рівноваги та не враховує зростаючого ущільнення сипкого тіла за глибиною.

Подальшою розробкою теорії Янсена займалися багато дослідників. Так, Е.М.Гутьяр [12] врахував стисливість сипких тіл і отримав більш загальну формулу для визначення тиску в порівнянні з формулою Янсена.

Г.К.Клейн [10], розглядаючи тиск сипких матеріалів на стінки сховища, запропонував теоретичний спосіб розрахунку тиску на стінки з врахуванням збільшення щільності сипкого матеріалу із зростанням тиску. Вчений рекомендує збільшувати в два рази розрахункові навантаження на стінки посудин обраховані за формулою Х.Янсена.

На теренах колишнього СРСР одним із фундаторів статички сипкого середовища є чл.-кор. АН СРСР В.В.Соколовський (1912-1978р.). Ним розвинута теорія граничної рівноваги сипкого середовища [13]. Сформульовані основні задачі теорії. Досліджені задачі про граничну рівновагу ідеально-сипкого клину, насипів та ін.

Помітною працею серед робіт присвячених вивченню закономірностей сипкого середовища є монографія Р.Л.Зенкова [14], в якій чітко систематизуються та узагальнюються положення механіки сипких матеріалів, пропонується класифікація сипких матеріалів, викладені методи вимірювання їх параметрів, уточнюються поняття і визначення.

В розвиток дослідження розподілу тиску в сипкому матеріалі Р.Л.Зенкова, у 1968 р. вийшла монографія Л.В.Гячева [4]. Вчений вивів диференціальні рівняння руху елементарного і кінцевого об'ємів сипкого матеріалу в бункерах різної форми. Вирішення цих рівнянь дозволило встановити розподіл тиску на дні і стінках бункерів при русі і спокої сипких матеріалів. Знайдені теоретичні залежності досить добре збігаються з експериментальними даними для сухих зернових культур, мінеральних добрив та ін. Адекватність моделі Л.В.Гячева обумовлена, зокрема, тим, що в неї включена низка параметрів, що характеризують сипкий матеріал: зовнішній і внутрішній кути тертя, кут укладання зерен, розмір зерен тощо. Це дозволило вивчити вплив кожного параметра сипкого матеріалу окремо на закони розподілу тиску. Запропонована вченим модель дозволяє досліджувати також і деякі граничні випадки. Так, при нескінченно малих розмірах зерен модель сипкого тіла за Гячевим перетворюється на «рідину», що володіє Кулоновим тертям між зернами. При рівності нулю кутів зовнішнього і внутрішнього тертя ця «рідина» перетворюється на так звану «ідеальну» рідину. Потрібно відзначити, що властивості такої рідини відмінні від властивостей звичайної ідеальної рідини.

Разом із тим, Л.В.Гячевим було прийнято ряд припущень та обмежень, що обумовлюють використання моделі тільки до вільних від гетерогенних домішок, сухих сипких матеріалів з однаковими розмірами зерен. Крім того, вченим, в розроблених теоретичних принципах не враховані властивості сипкого матеріалу щодо стиснення. Модель сипкого середовища Л.В.Гячева вимагала додаткового узагальнення у напрямі наближення її до властивостей реальних сипких матеріалів. Для вологого сипкого середовища, сили тертя між частинками сипкого середовища, а також між частинками і стінками бункера можуть бути визначені з врахуванням залежності сили тертя від швидкості.

У монографії В.А.Богомягих [11] на основі теорії утворення зводів (склепінь) пояснюється суть пульсації при витіканні зерна в бункері, встановлює зв'язок між пульсаціями і змінами тиску зерна на стінки бункера.

Зазначені вище теоретичні та експериментальні дослідження сил і тиску сипких матеріалів на дно і стінки бункерів в подальшому досліджувались і розвивались вченими в самих різних галузях їх практичного застосування. Хоча згадані теоретичні викладки не охоплюють багатьох питань пов'язаних із специфікою певної галузі вони мають важливе загально-практичне значення.

Розглянемо далі дослідження пов'язані з процесами природного, гравітаційного витоку сипких, зернистих матеріалів.

Сформовано на основі багатьох досліджень відгалужений науковий напрям отримав назву - «Теорія швидких рухів гранульованих середовищ» [13]. Зазначений напрям дещо вирізняється від класичної механіки сипкого середовища.

Г.О.Генієв, на основі теорії граничної рівноваги В.В.Соколовського, склав диференціальні рівняння руху сипкого матеріалу з бункера приймаючи, що напрям максимальних швидкостей зрушення збігається з напрямом активного сімейства ліній ковзання [14]. Узагальнюючи рішення задачі на випадок стисненого сипкого середовища, дослідник вважає, що щільність сипкого матеріалу є функцією напруженого стану. Автор припускає, що і коефіцієнти зовнішнього і внутрішнього тертя залежать від тиску в сипкому матеріалі. Практичне використання зазначеного методу розрахунків ускладнене тим, що залежність коефіцієнта внутрішнього тертя і об'ємної маси від напруженого стану сипкого середовища необхідно експериментально визначати. Якщо в різних частинах бункера часточки мають неоднакові коефіцієнти зовнішнього і внутрішнього тертя, то повинна спостерігатися залежність витрати сипкого матеріалу від висоти шару.

О.Ю. Ішлінський в рішенні задачі плоского руху сипкого тіла на відміну від Г.О.Генієва виводив замикаюче рівняння з умов збігу максимальних деформацій зрушення з напрямками максимальних дотичних напружень. Робота С.С.Грігоряна присвячена дослідженням механіки ґрунтів є розвитком досліджень О.Ю. Ішлінського. Використовуючи роботу В.Г.Березанцева [16], С.С.Грігорян знаходить аналітичні рішення для вісі-симетричних і центральносиметричних рухів ідеально сипкого середовища.

Значний теоретичний інтерес представляють дослідження І.В. Ширко. В роботі [17] проведений феноменологічний аналіз швидкої течії гранульованого середовища з використанням елементів теорії броунівського руху часток в припущенні, що сили, діючі на кожен часточку, можуть бути розділені на детерміновані і випадкові. На основі отриманих характеристик коливань часточок І. В. Ширко визначає величини потоків енергії та імпульсу в середовищі.

Скарлетт і Тодд у роботі [18] дослідили поведінку піску під дією прикладеного напруження зсуву. Експерименти проведені в кільцевому вічку нової конструкції. Представлені результати вимірів критичної пористості і розпушування піску, а також зсувного напруження в ньому. Для опису шару частинок запропоновано

використовувати метод розподілу випадкових хорд. Виведено співвідношення між цим параметром і критичною пористістю. Проведено порівняння теоретичних і експериментальних результатів.

При розгляді переміщення сипкого тіла по нахиленому жолобу Р.Л. Зенков [15] отримав спрощену формулу для визначення швидкості гравітаційного руху сипкого матеріалу у такому вигляді:

$$V = \sqrt{2gl \left[\sin \beta - f_1 \cos \beta \left(1 + \frac{nh}{b} \right) \right] + v_0^2}, \quad (1)$$

де V – швидкість витікання сипкого матеріалу;

v_0 – початкова швидкість надходження на жолоб сипкого тіла;

β – кут нахилу жолоба;

l – довжина жолоба;

$\left(1 + \frac{nh}{b} \right)$ – множник, що враховує опір бічних стінок жолоба, рекомендована

величина — 1,2...1,375. При виведенні зазначеної формули Р.Л.Зенков нехтує силами внутрішнього і зовнішнього тертя, масою елементу сипкого матеріалу.

При аналізі навантажень, що діють на бункер, Дженике А.В. і Югансон І.Р. [19] пропонують розглядати три режими навантаження: початкове навантаження, коли матеріал засипається в бункер при закритому випускному отворі; навантаження при сталому витоку матеріалу із бункера; навантаження перемикавання при переході від початкового навантаження до навантаження в умовах сталої течії. Вчені встановили, що останній стан навантаження має перехідний характер, разом із тим, цей стан супроводжується дією порівняно значних зосереджених сил. Підкреслюється значення бачення картини витоку, приведений вираз зосередженої сили, що як правило, виникає на ділянці переходу від вертикальної частини бункера до частини, що сходиться.

Одним з перших дослідників, який описав механізм формування напружень в зсувному потоці сипкого тіла був Бегнолд [6]. Вчений доводив, що основним механізмом формування напруження на поверхні зсуву є перенесення кількості руху через поверхню в результаті послідовних ковзаючих зіткнень зернин одного шару, що наздоганяють зернини суміжного шару. Дотичні та нормальні напруження в швидких зсувних потоках по Бегнолду міняються пропорційно квадрату швидкості зрушення. Він встановив, що значення напруження відчутно зростають із збільшенням концентрації твердої фази.

Для розрахунку зсувного напруження усередині шару Бегнолд запропонував наступну формулу

$$\tau = P_y f \Delta Q_x, \quad (2)$$

де P_y – число часток, що приведено на одиницю площі поверхні, нормаль до якої має напрям y ;

f – частота зіткнень часток, що взаємодіють через поверхню зрушення;

ΔQ_x – зміна тангенціальної складової кількості руху за одне зіткнення.

Використанням теорії граничної рівноваги при вирішенні задач витоку сипких матеріалів займались Мруз і Дрешер [20]. Вчені дослідили, що залежно від напруженого стану сипкого середовища, що ними розглядається як пружно-пластичний матеріал, останнє може виявляти властивості зміцнення, ослаблення або поводитися як ідеальне пластичне тіло. Мруз і Дрешер доводять, що під час безперервного витоку сипкого середовища поле напруження задовольняє умові, яку можна ототожнити з умовою текучості Кулона. Вводиться модель матеріалу Кулона, такий матеріал задовольняє умові текучості Кулона і закону витоку, пов'язаному з цією умовою за

принципами пластичності потенціалу. Матеріал Кулона характеризується як міцніший, ніж реальний сипкий матеріал в стані граничної рівноваги. Для визначення нижніх меж тиску матеріалу, що витікає на стінки бункера, і для встановлення критерію, що характеризує здібність матеріалу до витікання, розглядається кінематично можливий механізм руйнування і використовується теорема про верхню межу. Досліджується, також, витік середовища, викликаний горизонтальним рухом шорсткої пластини. Проте в даній роботі не враховується форма зерен, їх розміри і умови, що характеризують тертя між зернами.

Такахаси [21] досліджував гравітаційний витік сухих пісків різної структури в прямих лотках прямокутного поперечного перерізу за різних кутах нахилу лотків. Вчений вирізняє два типи витіку сипкого тіла: перший полягає в тому, що верхній тонкий шар частинок тече над їх стаціонарним шаром, який покриває дно лотка, а другий — в тому, що всі частинки сипкого тіла рухаються, притому кожна з частинок хаотично відхиляється за випадковою траєкторією і помітно взаємодіє з сусідніми. Швидкість частинок, що залишали вихідний переріз каналу розраховувалася за їх траєкторією, вона показово зростала із збільшенням кута нахилу при першому режимі витіку сипкого тіла і набагато повільніше — при другому.

Робертс [22] вивчав витік насіння проса в плексигласових лотках з прямокутним поперечним перерізом. Застосувавши в своїх дослідженнях високошвидкісну кінозйомку, вчений визначив профілі швидкостей в різних точках вздовж потоку та виявив невеликий градієнт швидкості по глибині потоку. При швидкому витіку товщина потоку змінюється по довжині лотка; мінімальна товщина припадає на точки, в яких швидкість руху матеріалу максимальна. Використовуючи ефективний кут тертя між частинками і каналом та припускаючи, що сипке середовище нестискуване, він провів простий аналіз, який дав зміну усередненій по глибині швидкості і товщину течії залежно від відстані по потоку. Ефективний кут тертя вимірювався за квазістатичних умов і припускався незалежним від швидкості. Для прямолінійного похилого лотка з аналізу Робертса виходить, що потік прискорюється, сповільнюється або залишається рівномірним, коли ефективний кут тертя менший, більше або дорівнює куту нахилу лотка відповідно. У своїх дослідженнях витіку ідеального сипкого зернистого матеріалу через розвантажувальні жолоби під дією власної ваги Робертс класифікує витік сипких матеріалів як «повільний» чи «швидкий». В роботі приведені результати дослідження умов, при яких здійснюється швидкий витік і дано наближений, метод розрахунку зміни товщини потоку. Цей метод, заснований на припущенні про сталу течію, включає вирішення нелінійних диференціальних рівнянь. Розглянуто співвідношення між результатами експериментальних досліджень, проведених в жолобах відомої геометричної форми, і теоретичними рішеннями. В роботі приведені розрахункові дані та рекомендації по конструюванню оптимальних жолобів. Вони включають пропозиції щодо раціональної форми жолоба, який задовольнятиме задані умови.

Севіджем і Сейдом [23]. були докладно дослідженні властивості реологій сухих гранульованих матеріалів у кільцевому зсувному каналі. Вимірювання виконувались за різних об'ємних концентраціях твердих частинок і в широкому діапазоні швидкостей зсуву. Було знайдено, що при достатньо низьких об'ємних концентраціях твердих часток ($< 0,5$) і високих значеннях швидкості зсуву як нормальні, так і дотичні напруження зростали пропорційно квадрату швидкості зсуву, а коефіцієнт пропорційності лінійно залежав від щільності матеріалу гранул і квадрата їх діаметру. Севідж і Сейд вважають, що напруження були обумовлені виключно зіткненнями частинок. При вищих об'ємних концентраціях ($\geq 0,5$) і нижчих швидкостях зсуву напруження зростали пропорційно швидкості зсуву в степені < 2 . На думку авторів, це пояснювалося виникненням між окремими групами частинок тривалих ковзаючих

контактів, при яких мало місце сухе кулонівське тертя, тобто відбувався частковий перехід матеріалу в режим повільного витоку. У всіх експериментах також було виявлено різке зростання величини напруження із зростанням об'ємної концентрації частинок.

Аналіз результатів експериментів і обробка даних інших авторів дозволили Севіджу [23] зробити припущення про структуру напруження. Він передбачив, що вираз напруження в зсувному потоці гранульованого матеріалу складається з двох складових. Перша не залежить від швидкості і обумовлена кулонівським тертям між частинками, а друга складова залежить від швидкості та з'являється внаслідок обміну імпульсами між частинками сипкого середовища при їх зіткненнях. Таким чином, при повільному витоку (або при малих значеннях швидкості зсуву) суттєвішою є перша складова, а при зростанні швидкості зсуву головну роль починає відігравати друга.

Ісіда і Сараї [24] в певній частині повторили зазначені вище досліди Севіджа. Профілі швидкості вимірювалися за допомогою волоконно-оптичних зондів, розташованих на центральній лінії жолоба, а не на бічних стінках, як в експериментах Севіджа. Разом із тим вони вийшли такими ж, як і в експериментах Севіджа. Також спостерігалася точка перегину, відсутність ковзання по дну і «наповнення» профілю швидкості у міру зростання кута нахилу лотка. При великих кутах нахилу ($\geq 30^\circ$) профіль швидкості ставав практично лінійним.

Нажаль, в Україні досліджень, що стосуються вивчення процесів із сипкими матеріалами не так багато та відсутні дослідження пов'язані з вивченням закономірностей гравітаційного витоку зерно-рослинного матеріалу із самоскидних бункерів-накопичувачів збиральних комбайнів. Так, в роботі А.І.Пік [25] представлені теоретичні та експериментальні дослідження засобів механізованого перевантаження сипких сільськогосподарських матеріалів криволінійними трасами. На їх основі розроблені секційно-пружні лопатеві робочі органи гнучких гвинтових конвеєрів. Вирішено задачу розрахунку напружено-деформованого стану робочого органу, розроблено рекомендації щодо визначення зони обслуговування агрегатів гнучким гвинтовим конвеєром та інженерну методику проектування секційно-пружного робочого органу і технологічної схеми процесу перевантаження сипких сільськогосподарських матеріалів криволінійними трасами.

Г.А.Молодченко [26] в своїх дослідженнях, запропонував фізичну модель процесу руху сипкого матеріалу усередині ємкості при розвантажуванні та формування його тиску на стінки силосів. Експериментально та теоретично обґрунтував граничні значення підвищення тиску сипкого матеріалу на стінки під час розвантаження. Автором запропоновано методики розрахунку несучої здатності стін, їх жорсткості з урахуванням виникнення тріщин по твірних.

Російські вчені В.М. Долгунін і В.Я. Борщов свою монографію [9] присвятили узагальненню результатів досліджень закономірностей швидкого гравітаційного витоку зернистих матеріалів експериментальними, аналітичними і комбінованими методами. Ними запропонована нова техніка вимірювань і проведені експериментально-аналітичні дослідження структурно-кінематичних характеристик швидкого гравітаційного витоку зернистих матеріалів на шорсткій нахиленій поверхні. Вченими розроблений експериментально-аналітичний метод визначення характеристик витоку сипких матеріалів, що дозволяє одержувати комплексну інформацію про його закономірності. Метод спирається на аналіз фази вільного падіння зернин, що залишають поріг зсипання гравітаційного схилу та реалізується з використанням експериментальної установки.

Дослідження проводяться в режимах, близьких сталій гравітаційного витоку, що досягається шляхом встановлення поверхні нахилу під кутом, близьким куту природного зсуву часточок зернистого матеріалу.

В.М.Долгунін і В.Я.Борщов [9] використовують для перевірки адекватності експериментально-аналітичного методу рентгенографічний метод визначення профілю порізності в гравітаційному потоці зернин.

Метод, що пропонується цими вченими, заснований на використанні проникаючого рентгенівського опромінення та фіксування його на рентгенівській плівці. Відмінною особливістю методу є те, що оцінка проникнення потоку зернистого середовища та його контрольних зразків, що мають певну концентрацію, виконується з використанням спільної рентгенограми. Завдячуючи цьому, суттєво підвищується точність рентгенівського аналізу, оскільки виключаються випадкові відхилення, що викликані різними властивостями плівки, умовами її проявлення та часу експозиції.

Як вже зазначалося в даному огляді, вивченням процесів витoku сипучих матеріалів саме сільськогосподарського призначення займаються дослідники відомої наукової школи Богомягких. Так, у роботі [5] розглядається зерновий матеріал на похилій площині та аналізується залежність сили внутрішнього тертя від тиску шарів сипкого середовища, що знаходяться вище. Причому пояснюються властивості гравітаційного витoku на основі теорії зводоутворення. Богомягких пояснює, що в різних точках зернового масиву аутогезійні і адгезійні сили мають різне значення. Неоднозначність цих сил приводить до того, що починається рух зернового матеріалу там, де найслабкіші сили зчеплення. Слабо зв'язані частинки починають переміщатися під дією тангенціальної сили тяжіння, і далі, під дією сил інерції приводять в рух інші зернини.

Висновки. Оглядовий пошук інформаційних джерел показав, що вивченням закономірностей механіки зсувного потоку сипкого тіла присвячено ряд теоретичних і експериментальних досліджень.

Наукові проблеми розглянуті в зазначених роботах є доволі складними і вирішуються за допомогою положень класичної механіки, теорії пластичності, механіки ґрунтів і реології із застосуванням математичного моделювання.

Відсутні дослідження присвячені вивченню закономірностей гравітаційного витoku зерно-рослинного матеріалу із самоскидного бункера-накопичувача збиральних комбайнів та практичного застосування їх до удосконалення робочих циклів накопичення зібраного матеріалу та його розвантаженням у технологічні транспортні засоби.

Існуючі методи інженерних розрахунків збиральних комбайнів мало пристосовані до врахування технологічних і конструктивних параметрів самоскидних бункерів та кришки-лотка.

В зв'язку з чим, необхідна методика обґрунтування параметрів і режимів роботи вивантажувальних пристроїв комбайнів з урахуванням механіко-технологічних властивостей сільськогосподарських матеріалів, законів руху сипких тіл та особливостей технологічних процесів і операцій, пов'язаних із накопиченням і перевантаженням зерно-рослинного матеріалу із самоскидного бункера.

Список літератури

1. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки. / [Адамчук В.В., Баранов Г.Л., Барановський О.С. та ін.]; за ред. В.І. Кравчука, М.І Грицишина, С.М Ковалю. – К.: Аграрна наука, 2004. – 396 с.
2. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посібник для студ. аграрних вищих закл. освіти III-IV рівнів акредитації зі спец. "Механізація сільського господарства" / Д.Г.Войтюк (ред.). — Суми : Університетська книга, 2008. — 543с.
3. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник /Царенко О.М., Войтюк Д.Г., Швайко В.М. та ін.; За ред. С.С. Яцуна. – К.: Мета, 2003. – 448 с.

4. Гячев Л.В. Основы теории бункеров / Л.В.Гячев. — Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета, 1992. — 312 с.
5. Механика влажных сводообразующих зерновых материалов в бункерах. / [Богомягих В.А., Кунаков В.С., Вороной Н.С. и др.]; под общей ред. В.А Богомягих – зерноград.: РФРИАМА, 2000. – 100 с.
6. Bagnold R.A. Experiments on a gravity Free Dispersion of large Solid Spheres in a Newtonian Fluid under Shear // Proc. Roy. Soc. London, 1954. Vol. 225. P. 49 – 63.
7. Jenkins J.T., Cowin S.C. Theories for Flowing granular Materials // Mech. Fluid Engng. and Bioengng. Conf., AMD 1979. V. 51. P. 79 – 89.
8. Savage S.B., Cowin S.C. Theories for Flow Granular Materials // American Society of Mechanical Engineers, Buffalo, N.Y., June 1999. P. 79 – 82.
9. Долгунин В.Н., Борщев В.Я. Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника измерения, закономерности, технологическое применение.- М.: «Издательство Машиностроение-1», 2005.- 112 с.
10. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. Изд. 2-е, перераб. и доп. -М.: Стройиздат, 1977. - 256 с.
11. Jansen H. Versuche uber Getreidedruck in Silozellen.-Berlin, 1985. – S 1045-1049.
12. Гутьяр Е.М. Вопросы динамики сыпучей среды // ЦНИИСК. – Научные сообщения. – М, 1958. – Вып.2. – С. 41-43.
13. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. / Соколовский В.В. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
14. Гениев Г.А. Динамика пластической и сыпучей сред. / Г.А. Гениев, М.И. Эстрин – М.: Издательство литературы по строительству, 1972. – 215 с.
15. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов.– М.: «Машиностроение» 1964. — 250 с.
16. Березанцев В.Г. Осесимметричная задача предельного равновесия сыпучей среды. - М., Гостехиздат, 1952.
17. Широко И.В., Сахаров В.А. Феноменологическая теория быстрых движений гранулированной среды, основанная на методах статистической механики // Теоретические основы химической технологии. -1987.- Т. 21.- № 5,- С. 661 – 668.
18. Скарлет Б. Критическая пористость свободно истекающих сыпучих материалов / Б Скарлет, А.С. Тодд // Труды американского общества инженеров-механиков. Конструирование и технология машиностроения. – 1969. – Т. 9, Серия В. – №2. – С.198-210.
19. Дженике А.В. Гравитационное течение сыпучих масс, обладающих трением и сцеплением со стенками. Сведение напряженного состояния к радиальному полю напряжений // Прикладная механика. — 1965. — № 1. — С. 238-241.
20. Мруз З. Применение теории предельного равновесия в некоторых задачах течения сыпучих материалов / З. Мруз, А. Дрешер // Труды американского общества инженеров-механиков. Конструирование и технология машиностроения. – 1969. – Т. 9, Серия В. – №2. – С.72-80.
21. Takahasi K. The Gravity flow in nature // Geophys. Mag. 1937. Vol. 11. P. 165 – 175.
22. Робертс. Исследование истечения идеально сыпучего зернистого материала через разгрузочные желоба под действием собственного веса / Робертс // Труды американского общества инженеров-механиков. Конструирование и технология машиностроения. – 1969. – Т. 9, Серия В. – №2. – с 87-96.
23. Savage S.B., Sayed M. Experiments on dry cohesion less materials in annular cell at high stain rates.- Presented at EUROMECH 133-Statics and Dynamics of Granular Materials, 1980.-Oxford University.
24. Ishida M., Shirai T. Velocity Distributions in the Flow of Particles in an Inclined Open Channel // J. Chem. Eng. Jpn. 1979. Vol. 12. P. 45 – 50.
25. Підвищення технічного рівня засобів механізованого переміщення сипких сільськогосподарських матеріалів по криволінійних трасах: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.І. Пік; Луц. держ. техн. ун-т. — Луцьк, 1999. — 19 с. — укр.
26. Залізобетонні силоси з раціональним формуванням технологічних впливів: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.01 / Г.А. Молодченко; Харк. держ. акад. залізн. трансп. — Х., 2000. — 33 с. — укр.

В. Ловейкин, Л. Шимко, В. Ярошенко

Обзор исследований истока сыпучих материалов

Определенно, что необходима методика обоснования параметров и режимов работы выгрузочных устройств комбайнов с учетом механико-технологических свойств сельскохозяйственных

материалов, законов движения сыпучих тел и особенностей технологических процессов и операций, связанных с накоплением и перегрузкой зерно-растительного материала из самоскидного бункера.

V. Loveykin, L. Shymko, V. Yaroshenko

Review of researches of source of loose materials

Generalized and analysed methods and results of scientific researches of workings processes of effluence of loose materials.

Одержано 04.01.10

Зміст

<i>І.Г. Грабар, Д.А. Дерев'янка, С.М. Герук</i> Вплив чинників післязбиральної обробки зерна на якість насіннєвого матеріалу.....	3
<i>І.Г. Грабар, Д.А. Дерев'янка, С.М. Герук</i> Вплив обмолоту на посівні якості зерна пшениці, жита, та інших зернових	6
<i>Б.И. Бутаков, А.В. Зубехина</i> Влияние жесткости технологической системы при обкатывании роликами деталей на их точность	9
<i>М.А. Маковский, А.В. Королькевич, В.С. Шевченко</i> Математическое моделирование гидропривода оборотного плуга.....	21
<i>С.І. Осадчий</i> Автоматизація динамічного проектування оптимальних багатовимірних робастних систем стохастичної стабілізації рухомих об'єктів.....	25
<i>В.П. Ковбаса , В.В. Ярошенко</i> Про критерій міцності та співвідношення між компонентами напружень сипкого середовища.....	35
<i>С.А. Мартиненко, Т.М. Ауліна</i> Пневматичний висів зернових культур.....	40
<i>Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, Р.В.Ридный, В.М. Власовец</i> Повышение твердости покрытия микролегированием и оптимизацией параметров их нанесения.....	45
<i>Т.С. Скобло, М.В. Марченко</i> Влияние напряжений от неметаллических включений на показания коэрцитивной силы.....	51
<i>О.Д. Криськов, Т.В. Дяченко</i> Розробка алгоритму автоматизованого призначення допоміжного часу у серійному виробництві.....	55

<i>І. М. Хоменко, М. В. Кіндрачук, А. К. Кобринець</i> Метод розрахунку радіального підшипника ковзання з незмінним положенням лінії центрів підшипника і вала.....	61
<i>В.О. Кондратець, А.М. Мацуї</i> Експериментальне дослідження умов вимірювання параметрів рідкого матеріалу у завиткових живильниках.....	64
<i>Б.Б. Кришкін, П.В. Мельник</i> Прогнозування експлуатаційних параметрів деталей сільськогосподарських машин, отримуваних холодним висаджуванням.....	69
<i>В. В. Мошнягул, Б. Є. Надворний, Т. Г. Сабірзянов М. В. Новіков</i> Шляхи комплексної переробки електропічного шлаку феронікелевого виробництва.....	75
<i>О.В. Оришака, В.В. Гончаров, А.М. Артюхов, В.О. Оришака</i> Теоретичне дослідження подільчо-формуючих постачальних пристроїв машин для завантаження сипких матеріалів.....	86
<i>Т. Г. Сабірзянов, І.Т. Сабірзянов</i> До питання про потужність перемішування сталеплавильної ванни під час чистого кипіння.....	93
<i>О.К. Дідик, М.С. Віхрова</i> Ідентифікація параметрів динаміки руху зернозбирального комбайну за даними експерименту.....	99
<i>А.А. Шиян, С.В. Сорокун</i> Моделювання впливу навчання операторів на ефективність багатостадійних технологічних процесів.....	103
<i>Б.Б. Кришкін, Д.В. Москаленко</i> Інженерний моніторинг точності процесів багатопозиційного холодного об'ємного штампування.....	109
<i>Е.И. Чемерис</i> Методологические принципы создания надежных конструкций прецизионных разделительных твердосплавных штампов.....	115
<i>Ф.І. Василенко, В.В. Свяцький, Л.П. Свяцька</i> Керування якістю деталей, отриманих із склонаповнених поліамідів в ультразвуковому полі.....	120

<i>В.І. Носуленко, П.М. Великий, Ю.М. Гаращенко</i> Технологічні характеристики процесу поділу пруткового металу на мірні заготовки способом розмірної обробки електричною дугою.....	125
<i>Г.О. Глобенко, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, Т.А. Коцур</i> Деякі аспекти виробництва круп.....	132
<i>Д.Ю. Артеменко, О.С. Магопець, П.М. Соломашенко</i> Дослідження і розробка удосконаленої конструкції сошника просапної сівалки.....	136
<i>В.О. Кондратець, М.О. Карчевська</i> Теоретичне дослідження системи з падаючим тілом при ідентифікації зразків твердого.....	142
<i>М.П. Артёмов</i> До дослідження динаміки колісного сільськогосподарського машинно-тракторного агрегату.....	151
<i>Е.К. Соловых, Б.А. Ляшенко</i> Оптимізація технологій поверхностного упрочнення по критеріям прочності.....	155
<i>С.І. Шмат, В.В. Гончаров, В.А. Дейкун</i> Удосконалений сошник прямого посіву зернових культур.....	159
<i>О.М. Гайденко</i> Дослідження роботи важільно-амортизаційного прижимного пристрою поршневого ущільнювача.....	164
<i>В.А. Гончар, В.Г. Каплун</i> Підвищення довговічності матеріального циліндра екструдера для переробки фуражного зерна з добавками сапоніту.....	169
<i>К.Д. Матвеев, П.Г. Лузан, Р.В. Кісільов, В.О. Матвеева, О.В. Гончар</i> Обґрунтування конструктивних параметрів і режимів роботи лопатевої мішалки.....	173
<i>М.В. Красота, А.М. Артюхов, І.В. Шепеленко, В.О. Дубовик</i> Дослідження впливу параметрів циліндричних електродів на формування покриттів при контактному наварюванні порошків.....	179
<i>В.Н. Кропивный, И.В. Шепеленко, В.В. Черкун</i> Структура поверхностного слоя цапф шестерен шестеренных насосов при	

обработке ФАБВО.....	185
<i>В.С. Ивашко, В.К. Ярошевич, С. А. Довжук, Ф.Й. Златопольский, В. Н. Яронуд</i>	
Триботехнические исследования борсодержащих материалов нанесенных газотермическим методом для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственной и автомобильной техники.....	189
<i>В.С. Ивашко, В.К. Ярошевич, А.В. Татаров, В.М. Лопата</i>	
Система автоматизированного проектирования технологических процессов ремонта и восстановления деталей машин.....	193
<i>М.В. Красота, С.О. Магопець, О.В. Бевз, І.В Шепеленко</i>	
Особливості вимірювання компресії бензинових двигунів при діагностуванні.....	198
<i>С.І. Осадчий, Ю.В. Версаль</i>	
Дослідження залежності між температурою молока та температурою навколишнього повітря для побудови системи підтримки прийняття рішень про фізіологічний стан лактуючих корів.....	203
<i>О.Й. Мажейка</i>	
Проектування інструменту для різних методів обробки пластично-поверхневим деформуванням.....	210
<i>С.О. Магопець, О.В. Бевз</i>	
Дослідження впливу внутрішнього опору системи випуску відпрацьованих газів на ефективні показники роботи.....	216
<i>В. І. Носуленко, О. С. Чумаченко</i>	
Розмірна обробка електричною дугою багат шарових листових деталей.....	223
<i>Б.В. Гупка</i>	
Трибологічна надійність важко навантажених пар тертя сільськогосподарських машин. Метод дослідження.....	228
<i>С.А. Заболотний</i>	
Технологія наплавлення отворів зі зменшеними температурними похибками.....	235
<i>А.П. Кравченко, О.П. Сакно</i>	
К аналізу методів оцінки надійності автомобільних шин при устійчивом русі легкового автомобіля.....	240

<i>Г.В. Дьяченко, Д.В. Боженко</i> Прогнозирование роли централизованного диагностирования автотранспортных средств АПК на региональных диагностических комплексах.....	244
<i>Л.Г. Віхрова, В.А. Бісюк, Є.П. Босов</i> Математичні основи процесу індукційного нагрівання деталей машин і наплавлення композиційних покриттів.....	248
<i>О.Й. Мажейка, О.Б. Чайковський, А.Н. Лутай</i> Зміцнення деталей сільськогосподарських машин сучасними технологіями.....	253
<i>А.М. Кириченко</i> Матрица жорсткості просторових механізмів паралельної структури з пружними ланками.....	256
<i>Т.Н. Замота, Р.В. Зорин</i> Определение выхода по току при ЭХМП сопряжения вал- вкладыш при наличии макрогеометрических отклонений.....	263
<i>С.В. Поперешняк</i> Проблеми технічного перекладу в сільськогосподарському машинобудуванні та система управління, реєстрації та контролю послуг перекладу в комп'ютерній мережі.....	269
<i>В.А. Войтов, М.В. Карнаух, О.Б. Калюжний, М.С. Даценко</i> Дослідження особливостей фільтрації біодизеля через паперові фільтри тонкої очистки дизельних двигунів.....	282
<i>Б.И. Бутаков, Д.Д. Марченко, А.В. Зубехина</i> Обкатывание роликами как метод повышения качества деталей машин.....	287
<i>О.Д. Криськов, Т.В. Дяченко</i> До розробки алгоритму призначення допоміжного часу за умов серійного виробництва.....	296
<i>В.П. Ковбаса, А.Ю. Ліннік</i> Результати польових експериментальних досліджень ротаційного доочисника голівок коренеплодів.....	302

В.П. Ковбаса, В.В. Ярошенко

Розподіл напружень у сипкому середовищі обмеженому стінками споруди
силосного типу.....314

В.С. Ловейкін, Л.С. Шимко, В.В. Ярошенко

Огляд досліджень витоку сипких матеріалів.....324

**Конструювання, виробництво та експлуатація
сільськогосподарських машин**

Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник

Заснований у 1971 році

Випуск 40

частина I

Відповідальний за випуск М.М. Косінов

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

*Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»
Свідоцтво про реєстрацію № 05720-ПП-1 від 10.12.1996.
25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25
тел./факс 24-35-53*

Здано в набір 02.01.2010 Підписано до друку 14.01.2010. Формат 60x84 1/8.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman Умов. друк. арк.42,5
Обл. вид. арк. 37,7. Наклад 300 прим. Замовлення №00017.