

Розроблення експлуатаційних вимог до самохідних зернозбиральних комбайнів з можливостями мобільних енергозасобів

В. О. Шейченко, А. Я. Кузьмич, В. І. Недовесов, М. М. Анеляк,
О. І. Біловод, В. В. Шевчук, Т. О. Кутковецька, М. М. Шпилька

Досліджено можливість використання шасі зернозбиральних комбайнів в якості мобільного енергозасобу. Розроблено експлуатаційні вимоги до мобільних енерготехнологічних засобів загального призначення.

Досліджено тягово-зчіпні характеристики зернозбирального комбайна з адаптером, що збільшує тягове зусилля.

Отримано теоретичні залежності швидкості руху, потужності на гаку, питомих витрат палива та коефіцієнта навантаження на колеса напрямного моста від тягового зусилля на гаку енерготехнологічного засобу.

Відмічено, що використання керованого моста з ведучими колесами зменшує буксування рушіїв енерготехнологічного засобу. За рівня буксування рушіїв до 16 % енергозасіб, обладнаний керованим мостом з ведучими колесами, розвиває тягове зусилля на гаку до 40 кН. За умов приводу моста від магістралі гідрооб'ємної трансмісії швидкість руху енергозасобу зменшується на 17,9 %, 28,5 %, 35,9 % та 49,0 % відповідно на I, II, III та IV передачах коробки перемінних передач ведучого моста.

Потужність на гаку енергозасобу збільшується внаслідок відповідного збільшення тягового зусилля: на III передачі за тягового зусилля в межах 35–40 кН, потужність на гаку складає 68–75 кВт. За таких умов питомі витрати палива становлять 430–460 г/кВт·год за швидкості руху засобу в межах 1,9–1,95 м/с.

Визначено межі змінення коефіцієнта навантаження на колеса напрямного моста (не менше 0,2), за яких забезпечується виконання вимог керованості енергозасобу.

Встановлено питомі витрати палива (540–580 г/кВт·год) зернозбирального комбайна з пропускною здатністю 9–11 кг/с за умов його використання в якості енерготехнологічного засобу за швидкості руху 1,7–2,1 м/с та тяговому зусиллі на гаку 24–33 кН.

Ключові слова: зернозбиральний комбайн, енерготехнологічний засіб, експлуатаційні вимоги, тягово-зчіпні властивості, адаптер.

1. Вступ

Принцип модульно-блокового конструювання машин і різних технічних комплексів відомий і широко застосовується у галузях машиновикористання. Це здійснюється з метою створення універсальних мобільних енергозасобів (УМЕЗ). Ці засоби виконують численні технологічні операції завдяки встановленню на них змінних модулів.

У сільському господарстві однією з конструкцій модульно-блочного типу є зернозбиральний комбайн. Він складається з потужного самохідного енергозасобу, що містить ходову частину, двигун, гідросистему, кабіну, систему автоматичного управління і контролю. На енергозасіб начіплюють змінні модулі для збирання урожаю різноманітних культур: кукурудзи, соняшнику, зернобобових, сої, люпину, рапсу, круп'яних культур, сорго, насінників трав тощо. Крім того, для збирання зернових за різними технологіями передбачено жнивarki відповідної ширини захвату, підбирачі, засоби для не зернової частини врожаю (подрібнювач, накопнувач, валкоукладач).

Проте, незважаючи на досить об'ємний спектр універсалізації енергетичного засобу зернозбирального комбайна, ця модульно-блочна конструкція має істотний недолік – сумарне завантаження протягом року не перевищує трьох місяців. Сезонність виконання сільськогосподарських робіт накладає обмеження по завантаженню сільськогосподарської техніки протягом року. Це також стосується кормота буряко-зернозбиральних комбайнів. Найбільш привабливим рішення цієї проблеми виглядає створення універсальних енергозасобів тягового типу. Ці засоби повинні легко перелаштовуватися під набір змінних модульно-блочних конструкцій. Використання енергозасобів із змінними модульно-блочними конструкціями уможливить виконання всього комплексу робіт по вирощуванню і збиранню зернових культур, кукурудзи, цукрових буряків, здійснення вантажно-транспортних робіт і внесення добрив. В кінцевому підсумку це призведе до підвищення ефективності та зменшення собівартості виробництва.

До відмічених вище пропозицій щодо використання у міжсезонні періоди зернозбиральних комбайнів в якості універсальних енергозасобів, заслуговують на увагу і такі. Аналізом принципів керування і структури конструкцій зернозбиральних комбайнів і енергозасобів встановлено однотипність підходів до їх синтезу. Високим рівнем уніфікації характеризуються також їх трансмісії. Виходячи із відміченого, актуальними є питання системного узгодження можливого виробництва зернозбиральних комбайнів і енергозасобів загального призначення за однаковими технологічними умовами на одних виробничих площах.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Дискусії і дослідження щодо пріоритетів виробництва моно комбайнів чи універсальних, багатофункціональних енергетичних засобів розпочалися ще в кінці минулого століття [1]. З огляду на технічний рівень відміченого періоду розвитку галузей народного господарства, машинобудування, хімічної, електронної промисловості бажаних результатів досягнуто не було. Було створено декілька варіантів самохідних шасі, яким знайшли застосування в якості транспортних засобів. Такі рішення були обгрунтованими, тому що на транспортування вантажу при виконанні сільськогосподарських робіт припадає близько 70–80 % всіх витрат виробничого процесу [2]. З роками ця науково-практична проблема одержала подальший розвиток. Підтвердженням цьому є створений фірмою HORSCH (Німеччина) енергозасіб типу Terra-Trac TT350, що призначений для внесення рідких мінеральних і органічних добрив. Ці продуктивні

агрегати розроблено на базі автотранспортних модулів. Найбільше розповсюдження вони знайшли у США та Європі [3].

Обсяги досліджень проблем універсализації і збільшення завантаження потужних енергозасобів, кормо та буряко-зернозбиральних модулів до них в останній період суттєво скорочено. Це в значній мірі викликано відсутністю новаторських конструкторських рішень, складнощами реалізації на сучасному технічному рівні складових модулів модульно-блокових систем. Результати роботи зі створення універсальних мобільних енергетичних засобів (УМЕЗ) і модульно-блочних комплексів (МБК) втілилося в УМЕЗ XERION фірми CLAAS (Німеччина) [4], МБК GITRAC 300 фірми GILLES (Бельгія) тощо.

Заслужують на увагу конструкторські рішення, згідно яких молотильно-сепарувальній пристрій зернозбирального модуля розташовано відразу за жнивною частиною, поперек руху молотильного агрегату. Розрив традиційного технологічного тракту в комбайні КЗР-10 Полесьє-Ротор, уможливив створити зернозбиральний комплекс КЗР-10 (Білорусь) на базі УМЕЗ Полесьє-250 («Гомсільмаш»). Пропускна здатність такого комплексу складає до 12 кг/с, продуктивність вимолоту зерна – до 30 т/год, прямі затрати на збиранні зернових менші у 2,5 рази у порівнянні з відповідними показниками комбайнів Дон-1500. Проте створені конструкторським бюро «Гомсільмаш» модульно-блочні системи виявилися недостатньо ефективними і виробництво КЗР-10 з часом було призупинено [5].

За сучасного рівня техніко-технологічного забезпечення систем виробництва зерна комбайнові технології принципово найпрогресивніші. Вони уможлиблюють одержання продукту (збіжжя) прямо на полі, а сам отриманий продукт характеризується зручністю транспортування та ефективністю післязбирального обробітку [6]. Тому фахівці провідних комбайнобудівних фірм світу, агротехнічної науки та відповідних конструкторських організацій направляють зусилля на удосконалення зернозбиральних комбайнів та інших технічних засобів для реалізації переважно комбайнової технології збирання зернових культур [7, 8].

У дослідженні [9] запропоновано підхід до вирішення проблеми розвитку тракторної енергетики та сільгоспмашинобудування завдяки здійсненню чотирьох кроків. Серед них: створення Системи машин на основі нового типу тракторів; запровадження системи розроблення агротехнічних (вихідних) вимог тими підприємствами (фірмами), які створюють нову сільськогосподарську техніку. Виконання третього кроку передбачає захист інтересів споживача шляхом посилення системи контролю відповідності розробленої техніки задекларованим агротехнічним вимогам. Четвертий крок передбачає впорядкування питання проведення науково-дослідних робіт, спрямованих на озроблення нової техніки. Проте поза увагою залишилися питання можливого виготовлення комбайнів і тракторів на виробничих потужностях одного машинобудівного підприємства.

У дослідженні [10] наведено результати розроблення нової техніки, яка відрізняється тим, що в ній враховано вимоги екофільних властивостей шини. Виконання цієї вимоги уможлиблює максимально допустимий рівень тиску коліс трактора на ґрунт з урахуванням максимальної вантажопідйомності шин коліс. Практичну ефективність нового підходу підтверджено на прикладі визначення можливості і рівня баластування конкретного колісного трактора, що

працює в складі орного агрегату. Поза увагою авторів залишилися питання експлуатаційних вимог до самохідних зернозбиральних комбайнів з можливостями мобільних енергозасобів.

У дослідженні [11] авторами розроблено динамічну модель рами комбайна як твердого тіла з 7 ступенями свободи. Порівнюючи незалежну модальну частоту рами шасі і обмолоту з частотою рами комбайна, було доведено, що постійна модальна частота повного комбайна безпосередньо пов'язана з незалежною модальною частотою рами шасі і обмолоту. Вібраційна реакція рами зернозбирального комбайна за умов впливу декількох джерел може послужити орієнтиром для подальших удосконалень рами комбайна з урахуванням можливого його використання в якості енергозасобу.

У дослідженні [12] наведено систему ідентифікації нової моделі динаміки тяги трактора на більш високих швидкостях його руху. Визначено обмеження тракториста (оператора) від нехтування цією динамікою, що може привести до погіршення керованості трактора на смугах частот, необхідних для точного управління за більших швидкостей руху. Проте поза увагою залишилися питання експлуатаційних вимог до комбайна в якості універсального енергозасобу.

Виділена інформація не стосується завдань роботи та не згадується в подальшому тексті статті.

Моніторинг різних способів підвищення продуктивності сільськогосподарської техніки в умовах розвитку інтелектуального сільськогосподарського виробництва показав [13], що традиційні напрямки збільшення концентрації енергії, розмірів робочих елементів і швидкості руху практично досягли своїх ресурсних можливостей. Навіть потужність існуючих машин не використовується повною мірою через вплив людського фактора. Дослідження виявили реальну можливість створення автоматизованої системи управління і регулювання. Якщо оператор виключений, то можна підвищити ефективність машини з 10 до 50 відсотків в залежності від її типу. Дано деякі рекомендації по структурі пріоритетів автоматичних пристроїв і сформульовані основні принципи бачення інтелектуальних зернозбиральних комбайнів. Проте питання універсалізації зернозбиральних комбайнів залишилися поза увагою авторів.

Із підвищенням науково-технічного рівня промисловості актуальнішим стало питання створення універсальних енергетичних засобів, які насичено такими властивостями:

- надійність і довговічність роботи і обслуговування;
- оперативне з прийнятним рівнем складності переведення однієї модульно-блокової конструкції у іншу;
- максимальне річне експлуатаційне завантаження (збільшення у порівнянні із існуючими у 2,5–3,0 рази);
- достатній обсяг вільних зон завдяки вдалим конструкторсько-технологічним рішенням: багатопозиційне розташування кабіни, вільний простір у міжосьовій зоні і навколо кабіни, бокове розташування двигуна тощо.

Численні літературні дані агрегування зернозбиральних комбайнів з лущильниками, сівалками, пресами для соломи, валковими жниварками, навантажувачами, снігопахами свідчать про можливість їх використання для виконання

робіт, непритаманних зернозбиральній машині [14, 15]. Доречно звернути увагу на можливість використання шасі зернозбиральних комбайнів (як з робочими органами так і без них) в якості мобільного енергозасобу. За таких умов його використовують в якості трактора для виконання агротехнологічних операцій у рільництві [16]. Така особливість залишає надію на підвищення рівня універсалізації та уніфікації не тільки складових зернозбирального комбайна і трактора, створеного на базі шасі комбайна, але й уніфікації технологій виготовлення цих машин [17].

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – розроблення експлуатаційних вимог до самохідних зернозбиральних комбайнів з можливостями мобільних енергозасобів загального призначення. Такі рішення уможливають підвищення ефективності виробництва продукції рослинництва, рівня універсалізації та уніфікації складових зернозбиральних комбайнів і енергозасобів, створених на базі шасі комбайна.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі задачі:

- означити та розкрити складові експлуатаційних вимог до агропроцесорів (зернозбиральних комбайнів з можливостями мобільного енергозасобу), їх техніко-технологічні характеристики;
- теоретично дослідити навантаженість колес енерготехнологічного засобу, за яких забезпечується виконання вимог його керованості;
- встановити вплив буксування рушіїв на тягове зусилля, а також швидкості руху енергозасобу з керованим мостом за умов його приводу від магістралі гідро об'ємної трансмісії;
- встановити вплив тягового зусилля на значення потужності на гаку енергозасобу за швидкості його руху в межах 1,9–1,95 м/с;
- встановити питомі витрати палива зернозбирального комбайна з пропускнуою здатністю 9–11 кг/с в якості енерготехнологічного засобу за швидкості руху 1,7–2,1 м/с.

4. Матеріали та методи дослідження експлуатаційних вимог до самохідних зернозбиральних комбайнів з можливостями мобільних енергозасобів

Зернозбиральний комбайн – це самохідна зернозбиральна машина, що виконує послідовно безперервним потоком і одночасно низку технологічних операцій. Серед них такі: зрізання рослини, подача його до молотильного апарату, обмолот зерна з колосків, відділення його від вороху і інших домішок, транспортування чистого зерна у бункер і механічне вивантаження з нього, укладання відходів після роботи комбайна на ґрунт.

Основні вимоги до зернозбиральних комбайнів регламентовано ДСТУ 7454:2013 «Комбайни зернозбиральні. Загальні технічні вимоги» та ISO/DIS 8210 Equipment for harvesting – Combine harvesters – Test procedure and performance assessment. необхідно вказати також міжнародні стандарти ISO. Основними технологічними параметрами є номінальна продуктивність та пропускну здатність комбайнів.

Основою енерготехнологічного засобу є молотарка зернозбирального комбайна з похилою камерою та причіпним пристроєм, що на збиранні зернових культур агрегується з жниварками, підбирачами валків, причепами-копнувачами, тощо.

Для виконання функцій не притаманних зернозбиральному комбайну, тобто агрегування ним сільськогосподарських машин та знарядь, його конструкцію доповнено певними системами. Ці системи уможливають навішування пристроїв у вигляді з'ємних адаптерів: фронтальних, тільних, начіпних адаптерів для збільшення тягового зусилля, адаптерів для зменшення питимого тиску на ґрунт з начіпним пристроєм, адаптерів для зменшення питимого тиску на ґрунт з начіпним пристроєм та механізмом підрулювання.

Експлуатаційні вимоги до агропроцесора (зернозбирального комбайна з експлуатаційними можливостями мобільного енергозасобу) визначено завдяки узагальненню відповідних вимог до зернозбиральних комбайнів і тракторів (гібридні вимоги до агропроцесора).

Основні експлуатаційні вимоги до агропроцесора розділено на чотири групи:

- вимоги, що визначають техніко-економічні показники, зокрема продуктивність і економічність;
- вимоги, притаманні агропроцесору, як мобільній машині;
- вимоги загальнотехнічного характеру;
- спеціальні вимоги, що характеризують пристосованість агропроцесора до виконання особливих умов його роботи.

Продуктивність агропроцесора залежить від площі, що обробляється в агрегаті з відповідними сільськогосподарськими машинами за одиницю часу, за умов збереження визначених показників якості роботи.

Економічність агропроцесора визначається собівартістю виконаних робіт і залежить від величини витрат палива, мастильних матеріалів і їх собівартості, витрат на заробітну плату, технічне обслуговування і ремонт, на амортизацію і ряду інших витрат.

Із групи вимог, притаманних мобільним машинам, особливо важливе значення для агропроцесора мають керованість, маневреність, безпечність руху. Можливість задоволення наведених вимог залежить в значній мірі від конструкційних особливостей машини, її поворотності, стійкості, гальмівних якостей тощо.

До найважливіших із загально технічних вимог агропроцесора ватро віднести міцність і довговічність, зручність технічного обслуговування і ремонту.

Серед спеціальних експлуатаційних вимог виділимо розглянуті агротехнічні вимоги, які визначають пристосованість агропроцесора до технологічних вимог сільськогосподарського виробництва.

Основи теорії забезпечення експлуатаційних вимог до агропроцесора розроблено на підставі відповідних механіко-математичних моделей, якими враховано статичні, кінематичні та динамічні його особливості [18].

В основу теорії забезпечення експлуатаційних вимог до агропроцесора покладено узагальнені вимоги до тракторів і зернозбиральних комбайнів.

Аналітичні дослідження структури, кінематики і динаміки нових енергозасобів та агрегатів на їх базі проведено методами теоретичної механіки. Експериментальні дослідження проведено з використанням зернозбиральних комбайнів з пропускною здатністю 9–11 кг/с.

Визначення тягових характеристик агропроцесора виконано у відповідності з ГОСТ 26025-83 та ISO 789-9:2018 Agricultural tractors – Test procedures – Part 9: Power tests for drawbar.

Для розрахунку техніко-експлуатаційних показників МТА (машинно-тракторні агрегати) на базі агропроцесора експериментально-теоретичними методами визначено статичні нормальні реакції коліс зернозбирального комбайна на опорну поверхню. Для цього проводили вимірювання реакцій опор, встановлених під балку моста комбайна на певній відстані від фланцевих з'єднань бортових редукторів. У встановленого на горизонтальній ділянці комбайна почергово (ліворуч або праворуч) за допомогою домкратів піднімали балку моста до вивішування коліс та встановлювали одну сторону на жорстку опору. На іншій стороні балки встановлювали домкрат із розміщеним на ньому динамометром стиску. За допомогою домкрата встановлювали балку в горизонтальне положення та фіксували покази індикатора мікроманометра.

За результатами проведених вимірювань та розрахунків визначено значення сили тиску коліс зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич» на опорну поверхню в статистиці, що склали: переднє ліве колесо – 43,7 кН, переднє праве – 42,6 кН, заднє ліве – 26,8 кН, заднє праве – 27,4 кН.

Потужність, яку можливо передати до колісних рушіїв зернозбиральних комбайнів, обмежується параметрами агрегатів гідростатичної трансмісії (аксіально плунжерного насоса та мотора). На зернозбиральних комбайнах КЗС-9-1 «Славутич», «Скіф 230», виробником яких є ТОВ НВП "Херсонський машинобудівний завод" (ХМЗ), встановлено гідроагрегати типу ГСТ-112. Ці агрегати випускаються за ліцензією фірми "Sauer-Sundstrand" АТ «Гідросила». Максимальний робочий об'єм насоса ГСТ-112 становить 110,8 см³, максимальна подача – 391,6 л/хв, максимальний тиск – 42 МПа. На зернозбиральних комбайнах S550 фірми Джон Дір, встановлено гідроагрегати моделі 64, що випускаються фірмою Eaton Corporation. Максимальний робочий об'єм насоса моделі 64 становить 105,5 см³, максимальна подача – 375 л/хв, максимальний тиск – 41,5 Мпа. За ваги відмічених комбайнів близько 14 тон варто очікувати схожих тягових характеристик.

5. Розроблення основних положень експлуатаційних вимог до агропроцесора (зернозбирального комбайна з можливостями мобільного енергозасобу)

Для виконання енерго-технологічним засобом операцій, непритаманних зернозбиральним комбайнам, він повинен відповідати певним експлуатаційним вимогам, що висуваються до тракторів загального призначення.

До основних експлуатаційних вимог віднесено:

– потужність двигуна і потужність, яка витрачається на тягу сільськогосподарських машин і приведення в дію їх робочих органів;

- діапазон робочих швидкостей руху;
- витрата палива за годину роботи;
- маневреність і стійкість руху;
- зручність агрегування і технічного обслуговування;
- надійність і довговічність основних деталей і складальних одиниць та їх ремонтпридатність;
- ступінь уніфікації складальних одиниць з іншими тракторами, самохідними шасі і комбайнами.

Вимоги спрямовано на забезпечення високої продуктивності енергозасобу і вони повинні виконуватися спільно з агротехнічними вимогами.

Відмітимо агротехнічні вимоги, що висуваються до сільськогосподарських енергозасобів загального призначення:

- забезпечення прохідності машин по будь-якій поверхні;
- дотримання необхідних діапазонів тягового зусилля і швидкості руху, а також маневреності;
- мінімальний шкідливий вплив ходової частини на ґрунт;
- якісне виконання технологічних процесів.

Кількісні характеристики основних агротехнічних вимог такі:

- буксування рушіїв гусеничних енергозасобів і колісних з двома і чотирма ведучими колесами має бути не більше відповідно 3, 14 і 16 %;
- тиск рушіїв на ґрунт допускається не більше 45 кПа для гусеничних машин і 110 кПа для колісних;
- дорожній просвіт (найкоротша відстань по вертикалі від опорної поверхні до елементів конструкції трактора) повинен бути не менше 36 см у гусеничних тракторів і 47 см під заднім мостом у універсально-просапних тракторів;
- агротехнічний просвіт (відстань по вертикалі від опорної поверхні до найменш віддалених елементів конструкції трактора над рядком культурних рослин) повинен складати 40–55 см для основних низькостебельних культур (картопля, буряк тощо), і 65–75 см (при порталній конструкції остова) для високостебельних культур (кукурудза, соняшник тощо);
- захисна зона (відстань по горизонталі від середини рядка до краю колеса або гусениці трактора, залежить від фази розвитку рослин і виду обробки); за умов обробки просапних культур повинна бути 12–15 см (мінімальна);
- колія і габаритні розміри енергозасобу повинні забезпечувати взаємну конструктивну ув'язку із сільськогосподарськими машинами, що агрегуються;
- найменший радіус повороту енергозасобу має становити 3–4,5 м для колісних універсально-просапних тракторів, 6,5–7,5 м для колісних тракторів загального призначення і 2–2,5 м для гусеничних тракторів;
- захисні пристрої від перекидання, креномір і систему, що сигналізує про досягнення граничного за умовами стійкості кута схилу.

5. 1. Дослідження тягово-зчіпних показників зернозбирального комбайна з можливостями мобільного енергозасобу загального призначення

Продуктивність машинно-тракторного агрегату (МТА) залежить від низки чинників. До основних відносять такі: тягово-зчіпні властивості енергозасобу,

потужність двигуна, експлуатаційна маса, потужність на гаку та на приводі робочих органів сільгоспмашин, тягові і повні ККД, тягові зусилля на гаку, швидкість руху, тощо.

Між експлуатаційною вагою енергозасобу та тяговим зусиллям на гаку існує залежність:

$$F_{ГК} = G \cdot \lambda_p \cdot \varphi_{ГК}, \quad (1)$$

де G – експлуатаційна вага енерготехнологічного засобу, Н; $F_{ГК}$ – тягове зусиллям на гаку енергозасоба, Н; λ_p – коефіцієнт навантаження на рушії енергозасобу під час його рівномірного руху з тяговим зусиллям на гаку; $\varphi_{ГК}$ – коефіцієнт корисного використання зчеплення рушіїв (для колісних 0,4, для гусеничних – 0,5).

Встановлено залежності (2) значення коефіцієнтів навантаження на колеса ведучого λ_1 та напрямного λ_2 мостів енерготехнологічного засобу від основних параметрів. Серед них такі: колісна (поздовжня) база L , відстань від центра ваги до осі ведучих коліс засобу l , момент опору перекочуванню напрямних $M_{ОП1}$ та ведучих $M_{ОП2}$ коліс, тяговий опір машини, що агрегатується з енергозасобом $F_{ГК}$, кут нахилу до поверхні поля у поздовжній площині рівнодійної тягового опору машини, що агрегатується γ , вертикальної координати точки прикладання тягового зусилля $h_{ГК}$.

$$\lambda_2 = \frac{L-l}{L} - \frac{M_{ОП2} + M_{ОП1} + F_{ГК} \cdot h_{ГК}}{G \cdot L} = \lambda_{C2} - \frac{M_{ОП2} + M_{ОП1} + F_{ГК} \cdot h_{ГК}}{G \cdot L}; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{l}{L} + \frac{M_{ОП2} + M_{ОП1} + F_{ГК} \cdot (h_{ГК} + L \cdot \operatorname{tg} \gamma)}{G \cdot L} = \\ &= \lambda_{C2} + \frac{M_{ОП2} + M_{ОП1} + F_{ГК} \cdot (h_{ГК} + L \cdot \operatorname{tg} \gamma)}{G \cdot L}. \end{aligned} \quad (3)$$

Аналізуючи залежності (2), (3) відмітимо, що на перерозподіл навантаження, що діють на колеса ведучого на напрямного мостів енерготехнологічного засобу, в значній мірі впливає значення тягового опору, яке створює агрегована сільгоспмашина. Зі збільшенням тягового опору значення коефіцієнта навантаження на колеса ведучого моста λ_2 буде зменшуватись, що може викликати погіршення зчпних характеристик енерготехнологічного засобу.

Для побудови тягової характеристики розраховували зовнішню швидкісну характеристика двигуна комбайна КЗС-9-1 «Славутич». Відмітимо, що характерною особливістю трансмісії комбайна є те, що номінальна потужність його двигуна на 20 % перевищує максимальну потужність насоса гідروоб'ємної трансмісії ГСТ-112. Тому проводили розрахунок лише правої частини швидкісної характеристики двигуна енергозасобу (СМД-31А) [19].

Розрахунок показників роботи двигуна під час руху енергозасобу проводили на режимі холостого ходу на різних передачах та значеннях параметру регулювання насоса гідро об'ємної трансмісії.

Значення тягового зусилля на гаку енергозасобу визначали за залежністю:

$$F_{\text{ГК}} = \frac{i \cdot \eta_{\text{ТР}}}{r_2} \cdot M - G \cdot f, \quad (4)$$

а дійсну швидкість

$$v = \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) \cdot \omega \cdot \frac{r_2 \cdot i_{\text{Н}}}{i}, \quad (5)$$

де δ – буксування рушіїв, %; f – коефіцієнт опору перекочуванню; i – передаточне число трансмісії на відповідній передачі; $i_{\text{Н}}$ – параметр регулювання насоса гідрооб'ємної трансмісії; r_2 – радіус кочення ведучих коліс, м; $\eta_{\text{ТР}}$ – ККД трансмісії енерготехнологічного засобу.

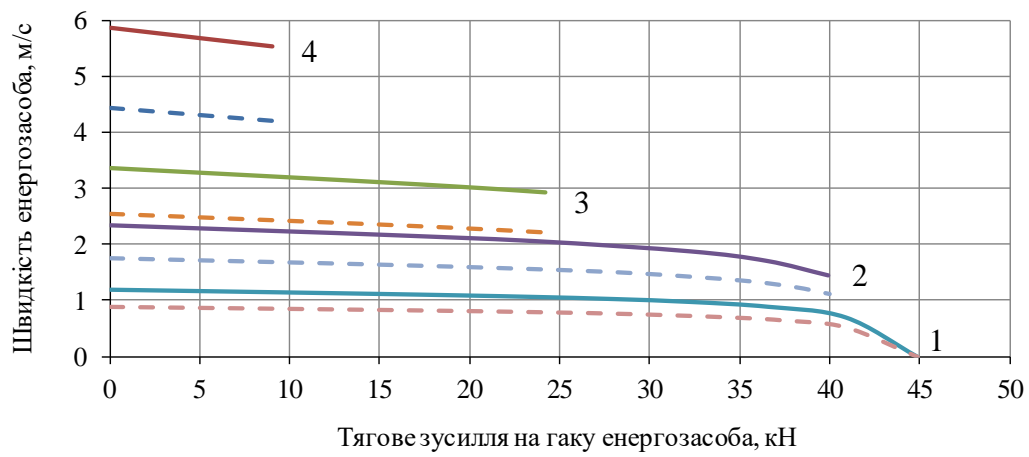
За результатами проведених розрахунків отримано показники тягових характеристик зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич». Цей комбайн може бути використаний в якості енергозасобу за умов його експлуатації на різних передачах та різних значеннях параметру регулювання насоса гідрооб'ємної трансмісії при русі по стерні зернових культур (рис. 1). Суцільними лініями представлено показники тягових характеристик комбайна при значенні параметра регулювання $i_{\text{Н}}=1$, штриховими – $i_{\text{Н}}=0,75$.

Аналізуючи залежності (рис. 1) відмітимо, що зернозбиральний комбайн КЗС-9-1 «Славутич» в якості енергозасобу забезпечить тягове зусилля в межах 25–32 кН. За таких умов питомі витрати палива на другій передачі комбайна в даному діапазоні складуть 530–560 г/кВт·год, а потужність на гаку становитиме 50–62 кВт за швидкості руху МТА 1,8–2,0 м/с.

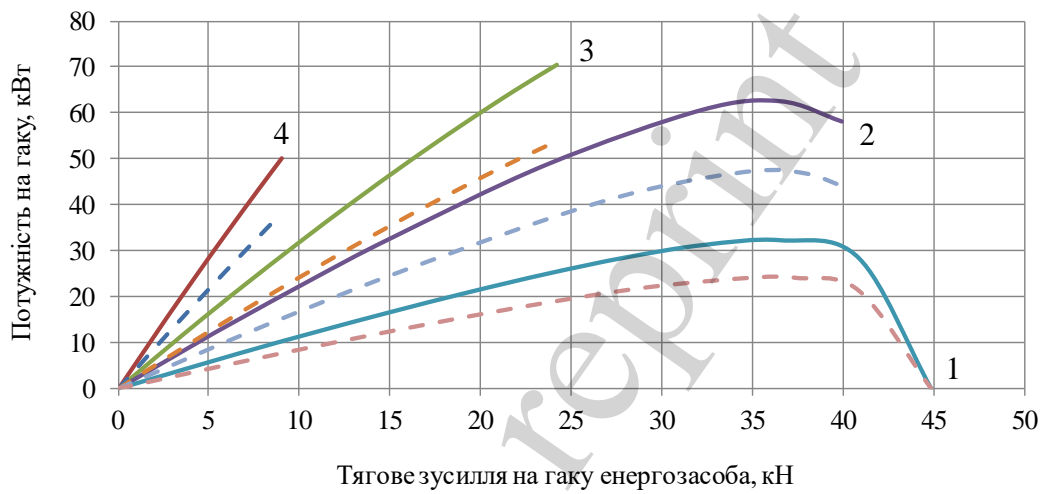
Зважаючи на конструкційні особливості зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич» (розміщення моторно-силової установки у хвостовій частині комбайна), за відсутності жниварки відбувається суттєве розвантаження переднього ведучого та довантаження заднього моста комбайна. За таких умов коефіцієнт навантаження на рушії енергозасобу складе $\lambda_{\text{р}}=0,56$ – $0,59$. Збільшення питомих витрат палива відбувається також внаслідок використання повнопоточної гідрооб'ємної трансмісії, що на окремих режимах зменшує загальний ККД трансмісії енергозасобу на 10–15 %.

Відмічено, що підвищення ефективності використання зернозбирального комбайна в якості енергозасобу відбувається внаслідок збільшення коефіцієнтів навантаження на рушії.

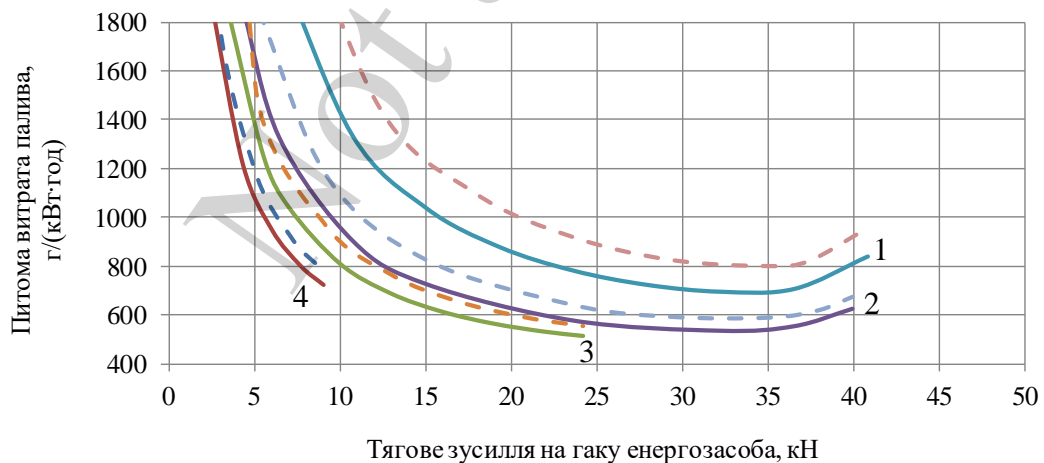
Для роботи у важких умовах на перезволожених ґрунтах, особливо за умов збирання рису, використовують конструкції повнопривідних зернозбиральних комбайнів. У комбайнах такого типу привід коліс керованого моста здійснюється високомоментними роторно-поршневими гідромоторами.



a



б



в

Рис. 1. Залежність впливу тягового зусилля на гаку зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич» в якості енергозасоба на техніко-економічні показники: *a* – швидкість руху; *б* – потужність на гаку; *в* – питомі витрати палива; 1, 2, 3, 4 – передачі коробки перемінних передач ведучого моста

Встановлено залежності для визначення частоти обертання валів гідромоторів приводу керованих та ведучих коліс (6), (7) енергозасобу, крутних моментів керованого та ведучого мостів (8), що знімається з вала гідромотора, які залежать від його робочого об'єму та тиску робочої рідини в системі, а також тягового зусилля на гаку енергозасобу з ведучим керованим мостом (9)

$$n_{M2} = \frac{\left(1 - \frac{\delta_1}{100}\right) \cdot r_1 \cdot i}{\left(1 - \frac{\delta_2}{100}\right) \cdot r_2} \cdot n_{M1}; \quad (6)$$

$$n_{M1} = \frac{i_H \cdot V_{OH} \cdot n_H}{2 \cdot V_{OM1} + V_{OM2} \cdot \frac{\left(1 - \frac{\delta_1}{100}\right) \cdot r_1 \cdot i}{\left(1 - \frac{\delta_2}{100}\right) \cdot r_2}}; \quad (7)$$

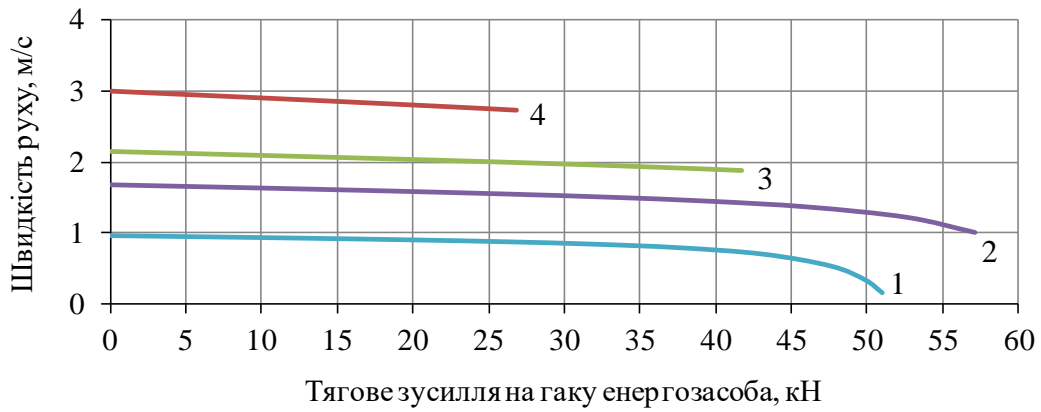
$$M_{K1} = \frac{V_{OM1} \cdot \Delta p \cdot \eta_{MM1}}{\pi};$$

$$M_{K2} = \frac{V_{OM2} \cdot \Delta p \cdot \eta_{MM2} \cdot \eta_{TP} \cdot i}{2 \cdot \pi}; \quad (8)$$

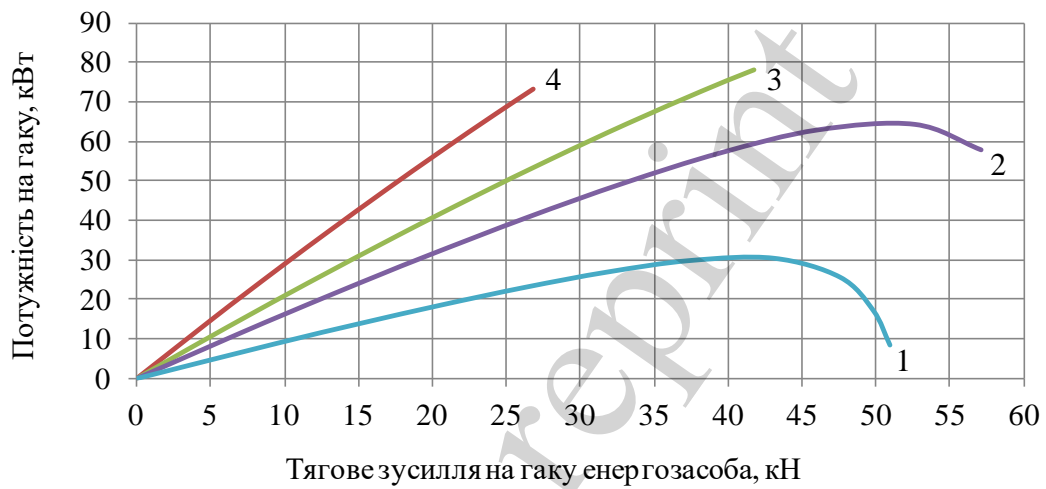
$$F_{ГК} = \frac{M_{K1}}{r_1} + \frac{M_{K2}}{r_2} - G \cdot f, \quad (9)$$

де V_{OH} , V_{OM1} , V_{OM2} – робочі (конструкційні) об'єми насоса, гідромоторів приводу коліс керованого та ведучого мостів відповідно, см³/об; n_H , n_{M1} , n_{M2} – частота обертання валів насоса та гідромоторів, відповідно, хв⁻¹; δ_1 , δ_2 – буксування коліс керованого та ведучого мостів, %; r_1 , r_2 – радіуси кочення коліс керованого та ведучого мостів, м.

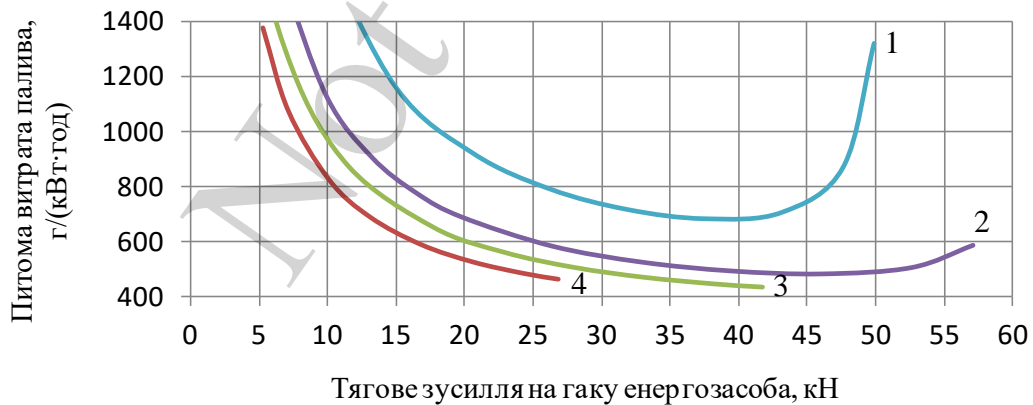
За результатами проведених розрахунків побудовано тягову характеристику зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич», обладнаного керованим мостом з ведучими колесами. Відмічений комбайн може бути використаний в якості енергозасобу (рис. 2) за умов його роботи на різних передачах та значеннях параметру регулювання насоса гідрооб'ємної трансмісії при русі по стерні зернових культур (значення параметра регулювання складає $i_H=1$).



a



б



в

Рис. 2. Залежність впливу тягового зусилля на гаку зернозбирального комбайна з пропускною здатністю 9–11 кг/с (енергозасіб), обладнаного керованим мостом з ведучими колесами, на техніко-економічні показники: *a* – швидкість руху; *б* – потужність на гаку; *в* – питомі витрати палива; 1, 2, 3, 4 – передачі коробки перемінних передач ведучого моста

Аналізуючи залежності рис. 2 відмітимо, що використання керованого моста з ведучими колесами зменшує буксування рушіїв енерготехнологічного засобу. За рівня буксування рушіїв до 16 % зернозбиральний комбайн, обладнаний керованим мостом з ведучими колесами, розвиває тягове зусилля на гаку до 40 кН.

Проте використання керованого моста з ведучими колесами за умов його приводу від магістралі гідро об'ємної трансмісії комбайна призводить до зменшення швидкості руху комбайна. Це зменшення відбувається на 17,9 %, 28,5 %, 35,9 % та 49,0 % відповідно на I, II, III та IV передачах КПП ведучого моста комбайна.

Потужність на гаку енергозасобу збільшується внаслідок відповідного збільшення тягового зусилля: на III передачі за тягового зусилля в межах 35–40 кН, потужність на гаку складає 68–75 кВт. За таких умов питомі витрати палива становлять 430–460 г/кВт·год за швидкості руху засобу в межах 1,9–1,95 м/с.

5. 3. Дослідження тягово-зчіпних показників зернозбирального комбайна з адаптером, що збільшує тягове зусилля

В якості адаптера, що збільшує тягове зусилля, використовували міст ведучих коліс з коробкою перемінних передач, аксіальноплунжерним гідромотором, бортовими редукторами та колесами, уніфікованими з ведучим мостом зернозбирального комбайна.

Схему сил, що діють на енергозасіб з адаптером, наведено на рис. 3.

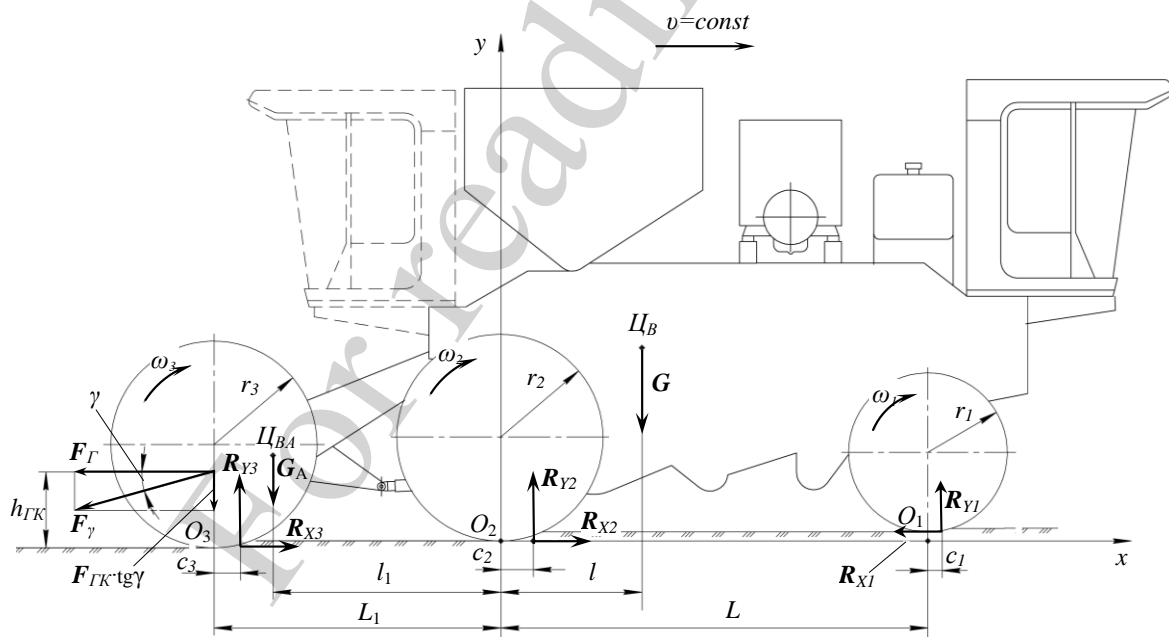


Рис. 3. Схема сил, що діють на енергозасіб з адаптером для збільшення тягового зусилля, у поздовжній площині при рівномірному русі

Максимальне значення нормальної динамічної реакції колеса ведучого моста енергозасобу, що взаємодіє з поверхнею ґрунту, спостерігається за умов втрати контакту колеса адаптера із ґрунтом. За таких умов, при $R_{Y3}=0$:

$$\begin{aligned}
R_{Y2MAX} &= \\
&= \frac{G \cdot (L - l) + G_A \cdot (L + l_1) + M_{ОП1} + M_{ОП2} + F_{ГК} \cdot h_{ГК} + F_{ГК} \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot (L + L_1)}{L}; \\
R_{Y1} &= \\
&= \frac{G \cdot l - G_A \cdot l_1 - M_{ОП1} - M_{ОП2} - F_{ГК} \cdot h_{ГК} - F_{ГК} \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot L_1}{L},
\end{aligned} \tag{10}$$

а при $R_{Y2}=0$:

$$\begin{aligned}
R_{Y3MAX} &= \\
&= \frac{G \cdot (L - l) + G_A \cdot (L + l_1) + M_{ОП1} + M_{ОП3} + F_{ГК} \cdot h_{ГК} + F_{ГК} \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot (L + L_1)}{L + L_1},
\end{aligned} \tag{11}$$

де R_{Y3} – нормальна динамічна реакція колеса адаптера, що взаємодіє з поверхнею ґрунту, за умов збільшення тягового зусилля енерготехнологічного засобу, H .

Аналізуючи залежності (10), (11) відмітимо, що використання реверсивного руху зернозбирального комбайна з адаптером забезпечить перерозподіл нормальних динамічних реакцій, уможливить довантаження ведучих коліс та підвищить його тягово-зчіпні властивості.

Встановлено залежність коефіцієнта навантаження (12) на колеса прямого моста від ваги адаптера G_A та ваги енергозасобу G , колісної (повздожньої) бази L , відстані від напрямку дії сили ваги адаптера до осі ведучих коліс засобу l_1 , моментів опору перекочуванню напрямних $M_{ОП1}$ та ведучих $M_{ОП2}$ коліс, тягового опору машини, що агрегатується з енергозасобом $F_{ГК}$, вертикальної координати точки прикладання тягового зусилля $h_{ГК}$, відстані між віссю адаптера та моста комбайна L_1 , кута нахилу до поверхні поля у повздожній площині рівнодійної тягового опору машини, що агрегатується γ , якою визначено межі змінення коефіцієнта навантаження на колеса прямого моста (не менше 0,2), за яких уможлиблюється виконання вимог керованості енергозасобу.

$$\begin{aligned}
\lambda_1 &= \lambda_{C1} - \\
&= \frac{G_A \cdot l_1 + M_{ОП1} + M_{ОП2} + F_{ГК} \cdot h_{ГК} + F_{ГК} \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot L_1}{G \cdot L} \geq 0,2.
\end{aligned} \tag{12}$$

У конструкцію енерготехнологічного засобу включено уніфіковані мости і гідроагрегати комбайна та адаптера, а також систему автоматичного регулювання. Ця система уможлиблює перерозподіл тиску на ґрунт між ведучими мостами (виконуються умови $R_{Y2}=R_{Y3}$ та $R_{X2}=R_{X3}$). Виконання відмічених умов досягається завдяки підтриманню певного зусилля гідроциліндрами двосторонньої дії підйому хедера комбайна. Схему розрахунку необхідного зусилля наведено на рис. 4.

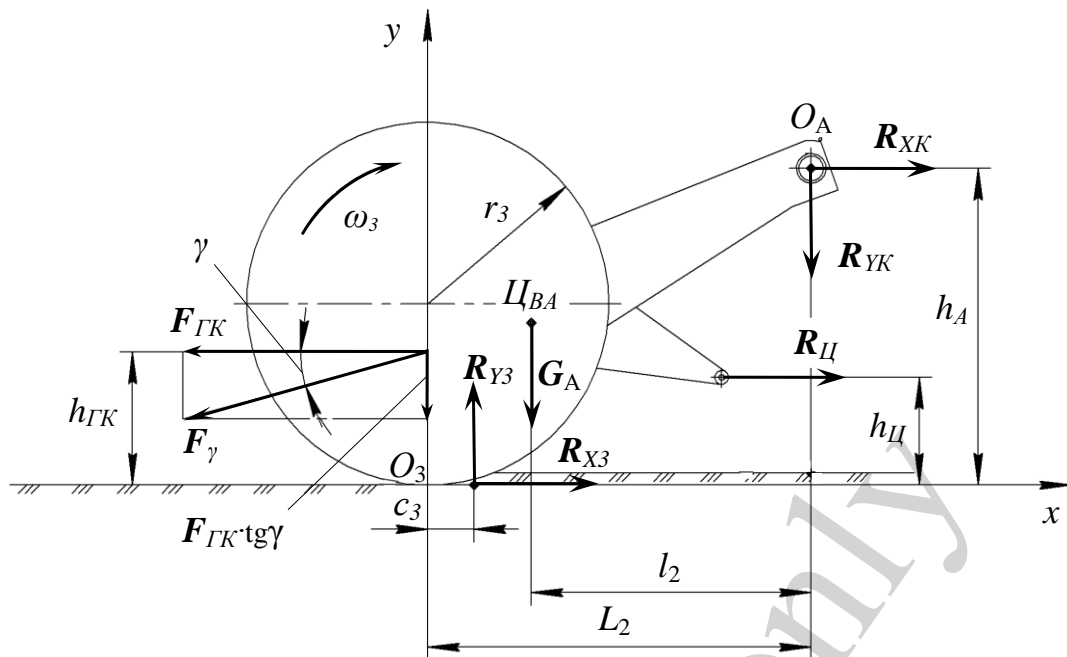


Рис. 4. Схема сил, що діють на адаптер для збільшення тягового зусилля енерготехнологічного засобу, за рівномірного руху

Встановлено залежність (13) зусилля на штоках гідроциліндрів від значень нормальних реакцій коліс адаптера, зусилля на гаку засобу, коефіцієнта навантаження на колеса ведучого моста, коефіцієнта опору перекошування, експлуатаційної ваги засобу та адаптера, радіуса кочення коліс адаптера,

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Ц}} = & \\
 & \frac{(G + G_A + F_{\text{ГК}} \cdot \text{tg}\gamma) \cdot \frac{1 - \lambda_1}{2} \cdot (L_2 - f \cdot r_3) - G_A \cdot \left(l_2 - \frac{\lambda_1 \cdot f \cdot h_A}{2} \right)}{h_A - h_{\text{Ц}}} + \\
 & + \frac{G \cdot \frac{\lambda_1 \cdot f \cdot h_A}{2} + F_{\text{ГК}} \cdot \left(\frac{h_A}{2} - h_{\text{ГК}} - \text{tg}\gamma \cdot L_2 \right)}{h_A - h_{\text{Ц}}}.
 \end{aligned} \tag{13}$$

На рис. 5 наведено залежність зусилля на штоках гідроциліндрів від зусилля на гаку енерготехнологічного засобу з адаптером, значення нормальної динамічної реакції поверхні ґрунту за таких значень параметрів: $G=145$ кН; $G_A=25$ кН; $\gamma=0,1$ рад; $f=0,09$; $L=3,775$ м; $L_1=2,5$ м; $L_2=1,9$ м; $l=1,6$ м; $l_1=2,3$ м; $l_2=1,7$ м; $h_A=1,45$ м; $h_{\text{ГК}}=0,5$ м; $h_{\text{Ц}}=0,4$ м.

Відмічено, що значення нормальної реакції ґрунту на колеса адаптера та зусилля на штоках гідроциліндрів, збільшуються пропорційно тяговому зусиллю на гаку агропроцесора. За відмічених на рис. 5 параметрів коефіцієнт навантаження на колеса напрямного моста енерготехнологічного засобу зменшується від 0,297 до 0,200 за умов збільшення тягового зусилля на гаку агропроцесора в діапазоні від 0 до 70 кН. Значення коефіцієнта корисного використан-

ня зчеплення рушіїв $\varphi_{ГК}=0,4$, тягове зусилля на гаку енерготехнологічного засобу з відповідним адаптором складає 55 кН. Для забезпечення швидкості руху енергозасобу з даним тяговим зусиллям в межах 2,0–2,2 м/с його обладнано двигуном з експлуатаційною потужністю в межах 235–255 кВт.

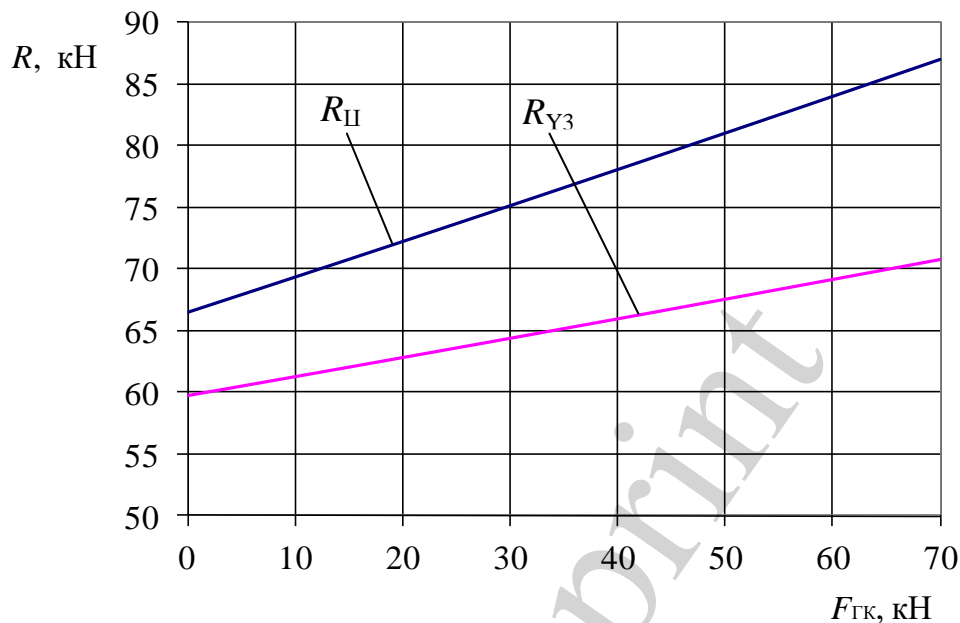


Рис. 5. Залежність зусилля на штоках гідроциліндрів та значення нормальної динамічної реакції поверхні ґрунту від зусилля на гаку енерготехнологічного засобу з адаптером

Встановлено, що крім низького ККД гідрооб'ємної передачі однією із причин високих питомих витрат палива зернозбирального комбайна за умов його використання в якості енергозасобу є недостатнє завантаження двигуна. Згідно даних розрахунку тягових характеристик за умов зменшення тягового зусилля на гаку енергозасобу на II передачі від 35 кН до 25 кН завантаження двигуна зменшується від 82 % до 61 %, а при зменшенні тягового зусилля на III передачі від 25 кН до 10 кН – з 87 % до 53 % відповідно. Це є наслідком використання принципу швидкісного регулювання гідравлічної трансмісії комбайна із застосуванням регульованого реверсивного насоса та нерегульованого гідромотора.

Крутний момент, що знімається з вала гідромотора, залежить від його робочого об'єму та тиску робочої рідини в системі.

Для забезпечення автоматичного регулювання завантаження двигуна енергозасобу використали схему з регульованими насосом та гідромотором. Регулювання даної передачі виконується послідовно в два етапи (рис. 6).

На першому (режим розгону) поточний об'єм насоса збільшують до робочого при значенні параметра регулювання гідромотора $i_M=1$. Внаслідок цього швидкість вала гідромотора зростає до значення, що відповідає номінальній потужності передачі.

На другому етапі збільшують частоту обертання вала гідромотора, зменшуючи його робочий об'єм до мінімального значення, що визначається почат-

ком нестійкої роботи ($1,0 \geq i_M \geq i_{Mmin}$). За такого режиму роботи крутний момент гідромотора зменшується до значення моменту опору, приведенного до його валу за гіперболічним законом та постійної потужності.

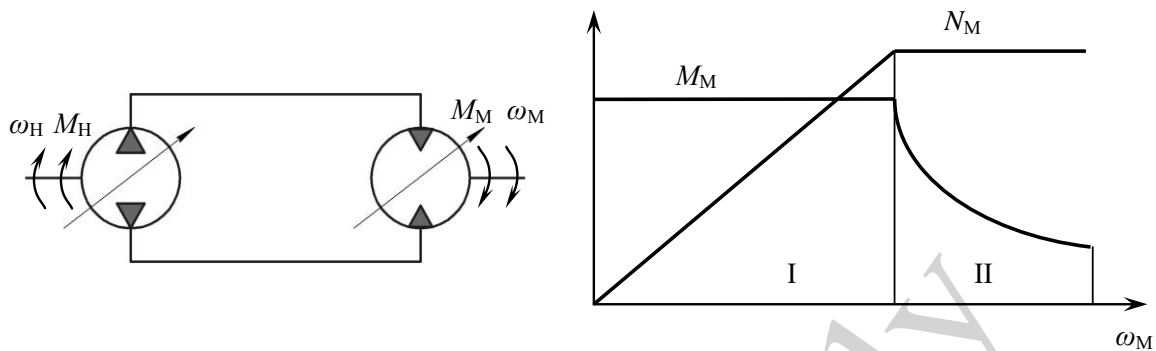


Рис. 6. Принципова схема об'ємного регулювання гідрооб'ємної передачі з регульованими насосом та гідромотором

Розроблено принципову схему об'ємного регулювання гідрооб'ємної передачі енерготехнологічного засобу з регульованими насосом та гідромотором (рис. 6). Схему розроблено у поєднанні з системою автоматичного регулювання крутного моменту на вихідному валу гідромотора, що реагує на відповідні коливання значень тягового опору сільгоспмашини. Завдяки таким діям уможливується робота ДВЗ енергозасобу на режимах номінальної потужності. Автоматичне силове регулювання трансмісії зменшує питомі витрати палива МТА за умов його використання в якості тягового енергозасобу загального призначення.

Розроблено принципову схему Агропроцесора (зернозбирального комбайна з можливостями мобільного енергозасобу загального призначення) рис. 7.

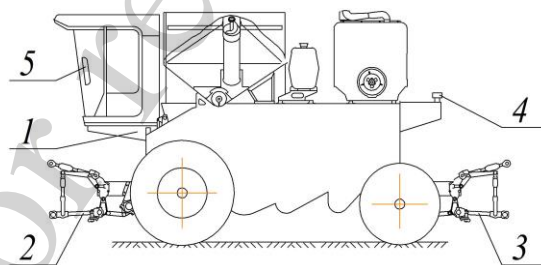


Рис. 7. Схема енерготехнологічного засобу «Агропроцесор»: 1 – мобільна молотарка; 2 – фронтальний начіпний пристрій; 3 – тильний начіпний пристрій; 4 – відеокамера; 5 – монітор

Розроблено конструкцію уніфікованих фронтального та тильного начіпних пристроїв. Фронтальний начіпний пристрій розроблено у вигляді змінного адаптера, що встановлюється замість похилої камери комбайна. Тильний начіпний пристрій уніфіковано з фронтальним та включає додаткову поперекову балку та монтажні елементи уніфіковані з передніми панелями молотарки. Привод валу відбору потужності здійснюється завдяки клинопасовим передачам від верхнього контрприводного валу зернозбирального комбайна.

Розроблено конструкцію та розпочато виготовлення макетних зразків адаптерів для збільшення тягового зусилля та зменшення питомого тиску на ґрунт.

Адаптер для збільшення тягового зусилля енерготехнологічного засобу базується на мості з колесами, бортових редукторах, коробці перемінних передач та регульованого гідромотору, що уніфіковано з ведучим мостом зернозбирального комбайна. Для приводу коліс адаптера на енерготехнологічному засобі передбачено встановлення аксіально-плунжерного насоса з приводом від шківів ДВЗ та системи магістралей зі з'єднувальною арматурою.

Для забезпечення реверсивного руху енерготехнологічного засобу передбачено можливість перестановки (реверсування) кабіни, або ж використання двох уніфікованих кабін.

Енерготехнологічний засіб обладнано системами автоматичного регулювання завантаження двигуна та рівномірного розподілу тиску між ведучими мостами енергозасобу та адаптера. Виконання розворотів в кінцях гонів здійснюється з піднятим мостом адаптера.

6. Обговорення результатів досліджень із розроблення експлуатаційних вимог до агропроцесора (зернозбирального комбайна з експлуатаційними можливостями мобільного енергозасобу)

За результатами досліджень розроблено експлуатаційні вимоги до агропроцесора (зернозбирального комбайна з експлуатаційними можливостями мобільного енергозасобу). Варто відмітити певні обмеження щодо їх застосування. Вони стосуються узгодження експлуатаційних вимог, що висувуються до енерго-технологічних засобів, із відповідними вимогами до тракторів загального призначення. Завдяки цьому уможлиблюється виконання агропроцесором значної кількості технологічних операцій у рільництві за придатного рівня техніко-економічної ефективності.

Досліджено тягово-зчіпні характеристики зернозбирального комбайна з адаптером, що збільшує тягове зусилля. Отримано залежність (рис. 1) впливу тягового зусилля на гаку та залежність (рис. 2) впливу тягового зусилля на гаку зернозбирального комбайна з пропускною здатністю 9–11 кг/с (енергозасіб), обладнаного керованим мостом з ведучими колесами, на техніко-економічні показники (швидкість руху, потужність на гаку, питомі витрати палива). Аналізуючи рис. 1, відмітимо перспективність застосування комбайна в якості енергозасобу за умов його експлуатації на різних передачах та різних значеннях параметру регулювання насоса гідрооб'ємної трансмісії при русі по стерні зернових культур. Аналізуючи залежності рис. 2, відмітимо, що використання керованого моста з ведучими колесами зменшує буксування рушіїв енерготехнологічного засобу. Використання керованого моста з ведучими колесами за умов його приводу від магістралі гідрооб'ємної трансмісії комбайна призводить до зменшення швидкості руху комбайна.

Отримано теоретичні залежності швидкості руху, потужності на гаку, питомих витрат палива та коефіцієнта навантаження на колеса напрямного моста від тягового зусилля на гаку енерготехнологічного засобу. Аналізуючи залежності (10), (11) відмітимо, що використання реверсивного руху зернозбирального комбайна з адаптером забезпечить перерозподіл нормальних динамічних

реакцій, уможливить довантаження ведучих коліс та підвищить його тягово-зчіпні властивості. Встановлено залежність (12), яка уможливила визначити межі змінення коефіцієнта навантаження на колеса напрямного моста (не менше 0,2), за яких забезпечується виконання вимог керованості енергозасобу.

Встановлено питомі витрати палива зернозбирального комбайна з пропускною здатністю 9–11 кг/с в якості енерготехнологічного засобу за швидкості руху агрегату 1,7–2,1 м/с. Відмічено, що за умов зменшення тягового зусилля на гаку енергозасобу на II передачі від 35 кН до 25 кН завантаження ДВЗ зменшується від 82 % до 61 %, а за умов зменшення тягового зусилля на III передачі від 25 кН до 10 кН – з 87 % до 53 % відповідно.

Відмічено, що значення нормальної реакції ґрунту на колеса адаптера та зусилля на штоках гідроциліндрів збільшуються пропорційно зростанню тягового зусилля на гаку агропроцесора. Коефіцієнт навантаження на колеса його напрямного моста зменшується від 0,297 до 0,200 за умов збільшення тягового зусилля на гаку в діапазоні від 0 до 70 кН.

До вагомих науково-прикладних результатів досліджень вапто віднести розроблену принципову схему об'ємного регулювання гідрооб'ємної передачі енерготехнологічного засобу з регульованими насосом та гідромотором. У поєднанні з системою автоматичного регулювання крутного моменту на вихідному валу гідромотора вони реагують на відповідні коливання значень тягового опору сільгоспмашини. Завдяки таким діям уможлиблюється робота ДВЗ енергозасобу на режимах номінальної потужності. Автоматичне силове регулювання трансмісії зменшує питомі витрати палива МТА за умов його використання в якості тягового енергозасобу загального призначення.

Переважна більшість мобільних потужностей у рільництві припадає на трактори і зернозбиральні комбайни. Причому за структурою конструкції, однотипністю трансмісії і принципів керування рухом вони майже однакові. За принципом агрегування з технологічними машинами та знаряддями вони також однакові. За таких умов, закономірними є очікування доцільності виготовлення комбайнів і тракторів на виробничих потужностях одного машинобудівного підприємства. Це подає надію на високу економічність їх виготовлення і експлуатації.

Розроблені експлуатаційні вимоги до мобільних енерго-технологічних засобів загального призначення (агропроцесорів) є науково-методичною основою проведення подальших досліджень. Корисними є надбання теоретичних і експериментальних досліджень. Обмежений обсяг експериментальних досліджень можливо пояснити об'єктивними економічними умовами виконання робіт, обмеженістю фінансових та матеріально-технічних ресурсів.

7. Висновки

1. Розроблено експлуатаційні вимоги до мобільних енерго-технологічних засобів загального призначення (агропроцесорів), що уможливило обґрунтувати структурно-функціональну схему комбайна (агропроцесора) з можливостями мобільного енергозасобу та схему об'ємного регулювання гідрооб'ємної передачі енерготехнологічного засобу з регульованими насосом та гідромотором в

поєднанні з системою автоматичного регулювання крутного моменту на вихідному валу гідромотора.

2. Встановлено теоретичні залежності швидкості руху, потужності на гаку, питомих витрат палива та коефіцієнта навантаження на колеса напрямного моста від тягового зусилля на гаку енерготехнологічного засобу. Визначено межі змінення коефіцієнта навантаження на колеса напрямного моста (не менше 0,2), за яких забезпечується виконання вимог керованості енергозасобу.

3. Відмічено, що використання керованого моста з ведучими колесами зменшує буксування рушіїв енерготехнологічного засобу. За рівня буксування рушіїв до 16 % енергозасіб, обладнаний керованим мостом з ведучими колесами, розвиває тягове зусилля на гаку до 40 кН. Використання керованого моста з ведучими колесами за умов його приводу від магістралі гідро об'ємної трансмісії енергозасобу призводить до зменшення швидкості його руху на 17,9 %, 28,5 %, 35,9 % та 49,0 % відповідно на I, II, III та IV передачах КПП ведучого моста.

4. Встановлено збільшення потужності на гаку енергозасобу внаслідок відповідного зростання тягового зусилля. Так за зусилля в межах 35–40 кН на III передачі, потужність на гаку складає 68–75 кВт. За таких умов питомі витрати палива становлять 430–460 г/кВт·год за швидкості руху засобу в межах 1,9–1,95 м/с.

5. Встановлено, що за умов використання зернозбирального комбайна з пропускною здатністю 9–11 кг/с в якості енерготехнологічного засобу, питомі витрати палива МТА на його базі складають 540–580 г/кВт·год за швидкості руху агрегату 1,7–2,1 м/с та тяговому зусиллі на гаку 24–33 кН. За умов зменшення тягового зусилля на гаку енергозасобу на II передачі від 35 кН до 25 кН навантаження ДВЗ зменшується від 82 % до 61 %, а за умов зменшення тягового зусилля на III передачі від 25 кН до 10 кН – з 87 % до 53 % відповідно.

Література

1. Ксеневич, И. П., Якевич, В. В. (1987). О перспективах развития агрегатной унификации и создания модульных энергетических средств. Тракторы и сельскохозяйственные машины, 12, 6–11.
2. Слущкий, Б. М. (2008). Таганрогский комбайновый завод. Таганрог. Энциклопедия. Таганрог: Антон, 692.
3. Шкарівський, Г. В. (2016). Компонувальна схема самохідного шасі – реалії конструкції і напрями вдосконалення. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК, 241, 249–258. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2016_241_35
4. Elorza, P., Izard, M., Krus, A., Iglesias, B. (2018). Claas Xerion 4000 y olvidate de la roca madre. "Vida Rural", v. MAQ, 8–19. URL: <http://oa.upm.es/51322/>
5. Погорілий, Л., Коваль, С. (2006). Концепція прискореного розв'язання проблеми забезпечення сільськогосподарського виробництва України зернозбиральною технікою. Енергоощадні технології в ефективному рослинництві. Тематична добірка науково-технічних праць співробітників УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, 6–11.
6. Матухно, Н. В., Недовесов, В. І. (2016). Стратегії технічної політики в забезпеченні збирання хлібів в Україні вітчизняними зернозбиральними комбай-

нами. Техніка та енергетика, 241, 358–371. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica/article/view/7035>

7. Жалнин, Э. В. (2004). Стратегия перспективного развития механизации уборки зерновых культур. Тракторы и сельскохозяйственные машины, 9, 3–16. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23904783>

8. Бурлака, О. А., Яхін, С. В., Дудник, В. В., Иванкова, О. В., Дрожчина, О. У. (2019). Багатокритеріальний вибір сучасних зернозбиральних комбайнів. Аналітичні аспекти. Вісник ХНТУСГ. Технічні науки, 199, 5–20. URL: <http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/4966>

9. Надикто, В. (2017). Перспективи тракторної енергетики та машинобудування в Україні (у порядку обговорення). Техніка і технології АПК, 4, 11–14. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Titapk_2017_4_5

10. Bulgakov, V., Nadykto, V., Kyurchev, S., Nesvidomin, V., Ivanovs, S., Olt, J. (2019). Theoretical background for increasing grip properties of wheeled tractors based on their rational ballasting. Agraarteadus: Journal of Agricultural Science, 30 (2), 78–84. doi: <https://doi.org/10.15159/jas.19.07>

11. Chen, S., Zhou, Y., Tang, Z., Lu, S. (2020). Modal vibration response of rice combine harvester frame under multi-source excitation. Biosystems Engineering, 194, 177–195. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.04.002>

12. Bevly, D. M., Gerdes, J. C., Parkinson, B. W. (2002). A New Yaw Dynamic Model for Improved High Speed Control of a Farm Tractor. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 124 (4), 659–667. doi: <https://doi.org/10.1115/1.1515329>

13. Zhalnin, E. V., Godzhaev, Z. A., Florentsev, S. N. (2017). Conceptual principles of intelligent agricultural machines in the case of combine harvester. Agricultural Machinery and Technologies, 6, 9–16. doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-6-9-16>

14. Липкович, Э. И., Трубилин, Е. И., Маслов, Г. Г. (2010). Технология уборки зерновых культур с совмещением послеуборочных операций. Тракторы и сельхозмашины, 12, 48–49. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15591027>

15. Маслов, Г. Г., Юдина, Е. М., Палагута, А. А., Малашихин, Н. В. (2017). Инновационно-технологические предпосылки повышения конкурентоспособности зерна. Научный журнал КубГАУ, 132 (08). doi: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-132-020>

16. Webster, K (2011). Single-pass corn stover harvest system productivity and cost analysis. Iowa State University, 149. doi: <https://doi.org/10.31274/etd-180810-2027>

17. Панков, А. А. (2015). Актуальность и перспективы создания универсальных модульных машин для выращивания зерновых культур. Конструирование, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 45, 239–246. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/2296/1/37.pdf>

18. Шарипов, В. М. (2009). Конструирование и расчет тракторов. Москва: Машиностроение, 752.

19. Бешун, О. А., Шкарівський, Г. В., Лаврінченко, О. Т. (2016). Тягово-динамічні розрахунки мобільних енергетичних засобів. Київ: Компрінт, 153.