

УДК 621.548+621.01

Корендій В.М., Ланець О.В.,
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ КОМБІНОВАНИХ ВІТРО-ВІБРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК

Korendiy V., Lanets O.
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine (vitaliv_korendiy@mail.ru, olena-lanec@mail.ru)

PRINCIPLES OF COMBINED WIND-VIBRATORY EQUIPMENT CONSTRUCTION

Обґрунтовано ідею створення вітро-вібраційної установки на основі вітроколеса з механізмами автоматичного регулювання потужності та вібраційної машини з аероінерційним збуренням. Розглянуто основні принципи побудови такого типу конструкцій і можливість їх реалізації. Описано конструкцію, принцип роботи та методіку розрахунку механізму регулювання потужності для ефективного функціонування вітро-компресорної установки в умовах поривчастих вітрів. Обґрунтовано тримасову коливальну систему з аероінерційним приводом як найбільш оптимальну для використання в енергоощадних резонансних режимах роботи і забезпечення злагодженої роботи комбінованої установки.

Ключові слова: тримасова система, білярезонансні режими, аероінерційне збурення, вібраційна машина, вітро-вібраційна установка, механізм автоматичного регулювання потужності.

Вступ. На даний час спостерігається підвищений інтерес до можливостей якнайширшого використання альтернативних джерел енергії, збереження природних енергетичних ресурсів (нафти, природного газу, вугілля тощо) та покращення екологічної ситуації. Саме тому розвиток вітроенергетики, яка вважається однією з найперспективніших галузей альтернативної енергетики, відбувається найбільш динамічно, порівняно навіть із традиційною енергетикою (атомною, тепловою). Крім того, використання такого виду енергії чинить найменший вплив навколишнє середовище та може використовуватись в місцях, де інші види енергії недоступні або їх використання є неможливим.

Вітроустановки здавна використовувалися у сільському господарстві для підйому води та зрошування угідь. На сучасному етапі розвитку індивідуальних фермерських господарств та приватних підприємств також існує нагальна потреба у забезпеченні надійного і дешевого енергопостачання регіонів, віддалених від централізованих електромереж. Найдоцільнішим засобом вирішення цієї проблеми з точки зору економії органічного палива та захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу теплової та атомної енергетики є застосування вітроенергетичних установок. Навіть враховуючи той факт, що швидкість повітряних потоків на більшості території України не перевищує 5 м/с, все ж використання її вітроенергетичного потенціалу є доцільним з огляду на постійне подорожчання та виснаження традиційних енергоресурсів. Перспективним напрямком залучення вітроустановок у промисловість і сільське господарство є їх застосування в якості безпосередніх механічних приводів різноманітного обладнання (компресорів, насосів тощо). Тому питання подальшого вдосконалення конструкцій і технологій використання вітроенергетичних установок з метою підвищення їх ефективності і надійності набуває значної актуальності.

В наш час складно уявити різні галузі промисловості без застосування вібраційного технологічного обладнання. Саме економічні чинники, надійність, висока виробнича доцільність, відносна простота виготовлення віброобладнання та легкість його застосування на автоматичних ділянках обумовлює швидке поширення вібротехніки. Сучасні тенденції у розвитку вібраційних технологій спрямовані на підвищення ефективності вібраційних машин та використання економічних режимів роботи. Найбільш поширений технологічний режим роботи вібромашин з дебалансними віброзбуджувачами – це далеко зарезонансний, хоча він є енергозатратним, оскільки приведення в рух таких систем здійснюється переважно від асинхронних електродвигунів. Одним із найперспективніших напрямків розвитку вібраційного технологічного обладнання з найбільш поширеним інерційним приводом – це перехід на енергоощадні резонансні режими роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам використання вітроустановок в якості приводів різноманітних машин присвячено досить багато публікацій. Що ж стосується поєднання вітроколеса з пневматичними і гідравлічними системами, то в роботі [1] розроблено методіку аналізу балансу потужностей комбінованої електро-водопостачальної вітроустановки на основі розрахунку величин потужностей її окремих функціональних вузлів та установки в цілому, в [2] – розглянуто один із підходів до розв'язування задачі підвищення ефективності роботи вітро-водонапірної установки за рахунок врахування і узгодження характеристик всіх ланок механізму перетворення енергії. Однак, залишаються в деякій мірі поза увагою

можливості поєднання роботи тихохідного багатолопатевого вітроколеса, яке працює в змінних за напрямком і швидкістю вітрах та використовує у своїй конструкції механізми автоматичного регулювання потужності і стабілізації частоти обертання шляхом повороту лопатей навколо власних осей, із пневматичною системою відбору й перерозподілу потужності [3, 4, 5].

На сьогодні розроблено методологію створення тримасових міжрезонансних структур, в яких реалізується якісно новий перерозподіл інерційно-жорсткісних параметрів, внаслідок якого синтезуються високоефективні системи, здатні накопичувати значно вищий динамічний потенціал, що проявляється через підвищені коефіцієнти динамічності [6]. Збурення коливань в таких системах здійснюється від надлегкої маси, що може бути на два порядки меншою, ніж маса робочого органу, внаслідок чого збурювальні зусилля, які необхідно прикладати для приведення в рух коливальної системи, можна суттєво зменшити.

Мета і задачі дослідження. Основною метою досліджень є розвиток сучасних технологій та впровадження нових ідей створення повноцінних конструкцій вітро-вібраційних установок, які могли б використовуватись у різних галузях промисловості та сільського господарства (транспортери, сепаратори, грохоти, живильники тощо), а також були б наділені такими рисами, як економічна ефективність та екологічність.

Для досягнення поставленої мети необхідно: проаналізувати особливості функціонування вітро-компресорних установок в умовах поривчастих вітрів; розглянути конструкції та принципи роботи механізмів регулювання потужності й стабілізації частоти обертання ротора тихохідних вітроустановок шляхом повороту лопатей навколо власних поздовжніх осей; навести наближену методику вибору параметрів регулятора при роботі пневматичного насоса з приводом від вітроколеса; описати конструкцію аероінерційного приводу вібраційної машини, який приводиться в рух потоками повітря; обґрунтувати структуру і режими сумісної роботи коливальної системи з аероінерційним збуренням та вітро-компресорної установки.

Виклад основного матеріалу. З метою закладення основних принципів побудови вітро-вібраційних установок необхідно обрати складові елементи, які зможуть забезпечити стабільну роботу технологічного обладнання в умовах змінних за напрямком і швидкістю вітрів та змінного навантаження на робочому органі.

Для приведення в рух вібраційної машини обираємо аероінерційний привід. Малопотужний інерційний віброзбуджувач у вигляді незбалансованої крильчатки з жорстко приєднаною надлегкою незрівноваженою масою, можна без труднощів привести в обертальний рух за допомогою повітряних потоків, які спрямовуються на лопаті крильчатки. Приріст обертів незбалансованої крильчатки, коли її частота обертання наближається до резонансного піка системи, починає сповільнюватись. Оберти крильчатки «зависають» в близькому дорезонансному режимі в околі резонансного піка однієї з власних частот n -масової механічної коливальної системи. Для цього необхідно виконати умову, щоб вібраційний момент на валу дебалансного віброзбуджувача був вищим, ніж збурювальний момент, який генерується крильчаткою. У такому випадку незбалансована крильчатка, не маючи необхідного моменту збурення для переходу через резонансний пік, «зависне» на певній частоті обертання в близькому дорезонансному режимі. Частота «зависання» обертів крильчатки і буде для вібраційної машини вимушеною збурювальною частотою.

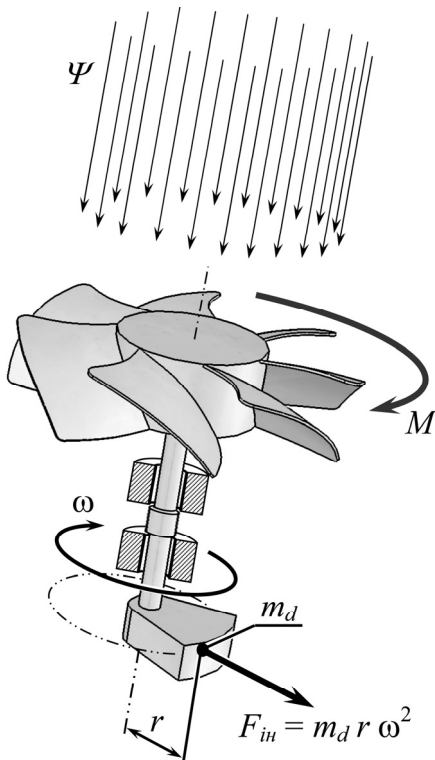


Рис. 1. Аероінерційний віброзбуджувач

Аероінерційний віброзбуджувач (рис.1) складається з крильчатки з жорстко закріпленою незрівноваженою масою (дебалансом). Крильчатка приводиться в рух потоком повітря Ψ , спрямованого на її лопаті. За рахунок того, що крильчатка незбалансована, виникає відцентрове збурювальне зусилля F_{in} , яке і приводить в рух коливальну систему вібраційної машини. Перевагою такої конструкції є простота виготовлення, адже можна використовувати готові крильчатки, що випускаються промисловістю, або крильчатки вентиляторів, обмотки збурення яких вийшли з ладу. Це значно здешевлює виготовлення віброзбуджувача. На відміну від кулькових пневматичних віброзбуджувачів, для приведення в рух крильчатки аероінерційного приводу не потрібно очищувати повітря.

Після обрання приводу вібраційної машини наступним завданням є забезпечення необхідної подачі повітря на крильчатку аероінерційного приводу. Робота пневматичного насоса при подачах відмінних від оптимального режиму можуть призводити до порушення рівномірного розподілу тиску всередині насоса, спричиняючи збільшення радіальних навантажень, що діють на робоче колесо, які в свою чергу викликають деформацію привідного вала. Значна деформація вала є причиною скорочення довговічності підшипників і ущільнень та збільшення втрат енергії й повітря. При роботі насоса на подачах менших, ніж оптимальна, переважна частина енергії, що виробляється робочим колесом, залишається в корпусі і перетворюється в тепло. При роботі із закритою заслінкою

практично вся енергія перетворюється в тепло, а тиск у робочій порожнині насоса різко зростає, що в свою чергу призводить до виходу з ладу окремих вузлів.

Мінливість швидкості й напрямку потоків повітря надзвичайно ускладнює можливості використання енергії вітру. Його швидкість може змінюватися протягом однієї хвилини більш, ніж у 2-3 рази, і при цьому спричиняти коливання енергії у 8-27 разів. Більшість машин (електрогенератор, гідро- чи пневмонасос, шнековий чи транспортерний механізм, конвеєр тощо), які використовують для приводу вітроколеса, для забезпечення надійної та ефективної роботи вимагають приблизно сталої частоти обертання привідного валу. Як було показано в роботі [1], зі збільшенням навантаження на валу вітроколеса частота його обертання поступово знижується, а амплітуда її коливань при поривчастому вітрі – зростає. Такі явища не є сприятливими для різного роду технологічних машин, зокрема пневматичних насосів, які в якості механічного приводу використовують вітроколесо, оскільки коливання частоти спричинятимуть зміну потужності установки, а отже й вихід поза межі робочого діапазону з усіма негативними наслідками, розглянутими вище. Тому потужність і частоту обертання ротора вітроустановки необхідно додатково регулювати за допомогою спеціальних механізмів у залежності від швидкості вітру і навантаження на його валу, яке залежить від тиску в ресиверах.

Ефективним способом регулювання потужності горизонтально-осьових вітроустановок є зміна кута встановлення лопатей. При використанні цього способу лопаті повертаються навколо власних поздовжніх осей, змінюючи кут атаки відносно напрямку вітрового потоку, тобто кут між хордою лопаті та векторною сумою швидкостей вітру і повітряного потоку, який набігає на лопать при її обертанні навколо осі ротора. Для регулювання потужності найбільш часто використовують повільне гальмування, яке досягається поворотом лопаті у напрямку дії вітру. Кут атаки регулюють у межах 25° , внаслідок чого змінюється характер обтікання лопаті набігаючим повітрям та з'являється ефект зриву потоку, який призводить до зменшення підйомної сили і, відповідно, потужності вітроустановки [2]. У вітроустановках малої потужності зазвичай застосовують пасивне керування кутом встановлення лопатей, тобто без гідравлічних, електричних чи пневматичних приводів. Найбільш часто використовують інерційне регулювання за допомогою різних механізмів, побудованих за принципом регулятора Уатта. Останній являє собою вантажі, симетрично розміщені відносно поздовжньої осі лопаті. При обертанні ротора відцентрова сила відхиляє вантажі, які через елементи зв'язку повертають лопать. При цьому кут відхилення лопаті залежить від частоти обертання ротора. Різновидом інерційного регулювання є використання у якості регулятора Уатта маси самої лопаті. При цьому її центр ваги розміщують за поздовжньою віссю, що створює обертовий момент, який повертає лопать при збільшенні кутової швидкості ротора. Точність інерційного регулювання досить висока (похибка керування знаходиться в межах 5-6%), тоді як ціна механічних регуляторів значно нижча, ніж електронних систем керування [2].

Типові конструкції механізмів регулювання повороту лопатей зображені на рис. 2. До маточини 1 вітроколеса за допомогою гвинтів 2 кріпиться стакан 3. Вісь 7 лопаті 6 запресована у підшипники, які встановлено у стакані 3. Вітроколесо обертається на валу 8. На схемі зліва навколо осі 7 лопаті 6 розміщена циліндрична вантажна пружина 5, яка одним кінцем жорстко кріпиться до осі 7, а іншим кінцем – до кришки 4

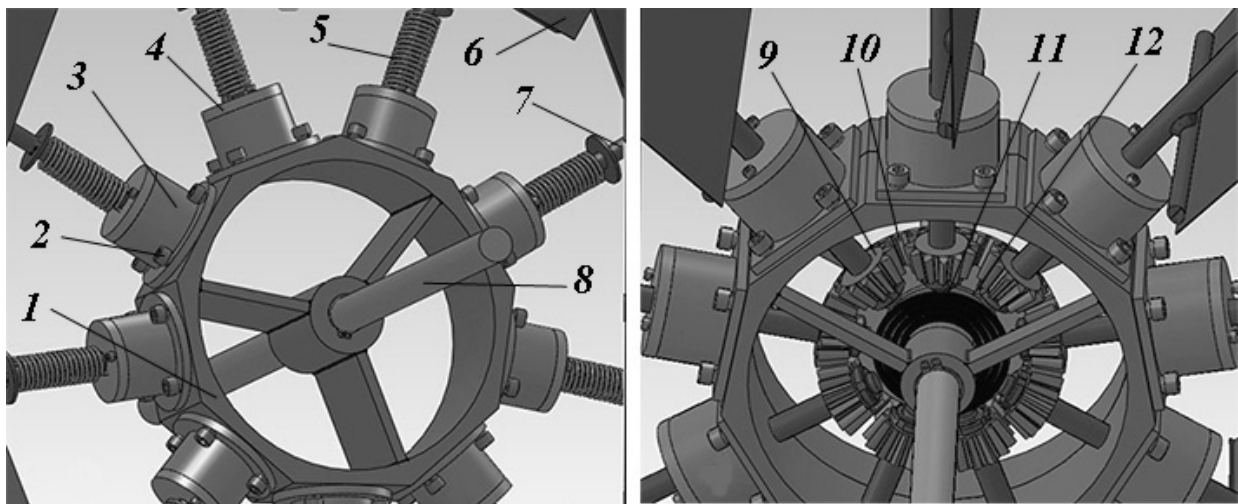


Рис. 2. Механічні системи повороту лопатей навколо власних поздовжніх осей

стакана 3. Пружина у вільному стані забезпечує оптимальний кут атаки лопаті відносно площини обертання вітроколеса. При зростанні швидкості вітру понад номінальне значення, збільшується кутова швидкість ротора і, відповідно, відцентрові навантаження на регульовальні тягарці, що призводить до повороту лопаті навколо власної поздовжньої осі та закручування пружини. Таким чином, зменшується площа лопаті, що охоплює повітряний потік, тобто стабілізуються кутова швидкість ротора та потужність вітроустановки. При зменшенні швидкості вітру (а, відповідно, й кутової швидкості ротора) пружина поверне лопать у попереднє положення.

На рис. 2 справа зображено регулятор, принцип роботи якого подібний до попереднього механізму, але зміна кута атаки лопаті здійснюється за допомогою плоскої спіральної пружини і конічної зубчастої передачі. У даному випадку лопаті встановлені аналогічно, як і у попередньому механізмі, однак на кінці кожної з них закріплені конічні шестерні 9. На валу вітроколеса встановлено підшипник 12, на якому зафіксовано зубчасте колесо 10. Між зовнішнім кільцем підшипника і конічним колесом запресована втулка, до якої жорстко кріпиться одним кінцем пружина 11. Другий кінець пружини 11 фіксується на валу 8 вітроколеса.

Експериментальні дослідження показали, що при використанні способу повороту лопатей в одному з випадків вдалося при збільшенні швидкості вітру до номінальної величини забезпечити плавне зростання потужності вітроустановки до максимального значення та підтримання його на постійному рівні до допустимої робочої швидкості вітру (рис. 3, а). При цьому, якщо за номінальну прийняти середню швидкість повітряного потоку в певній місцевості, то використання механізму регулювання дозволить обмежити пульсацію частоти обертання привідного валу (крива 2, рис. 3, б). Якщо ж за номінальне прийняти значення мінімальної робочої швидкості вітроустановки, то вдасться практично повністю уникнути коливань кутової швидкості (крива 3, рис. 3, б), хоча продуктивність вітроустановки при цьому дещо знизиться. В другому випадку завдяки механізму регулювання потужності вдасться забезпечити необхідну зовнішню швидкісну характеристику для споживачів, потужність яких лінійно залежить від швидкості повітряного потоку (рис. 3, а нижня крива).

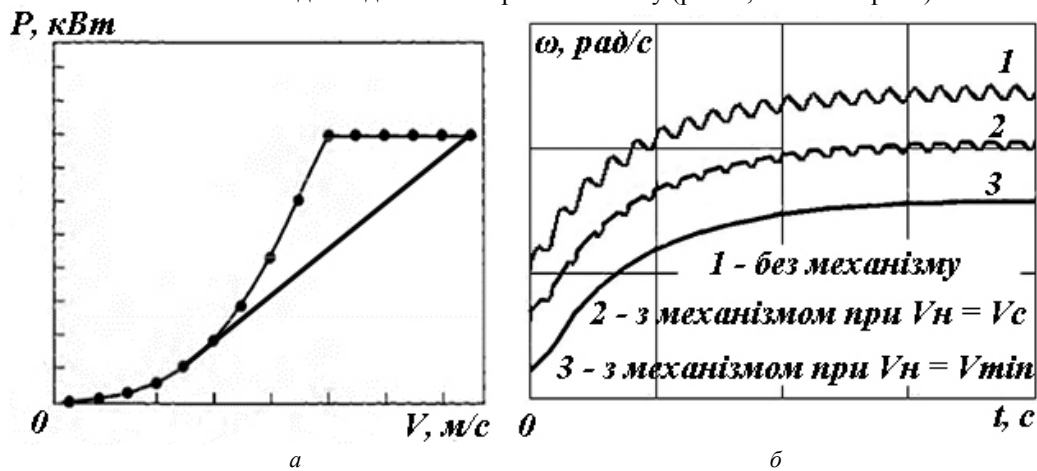


Рис. 3. Характеристики потужності (а) і кутової швидкості (б) вітроколеса при регулюванні

Варіантів виконання комбінованої вітро-пневматичної системи відбору потужності досить багато і вибір деякої конкретної схеми в першу чергу залежить від споживача. Як правило, необхідна енергія визначеного типу з відомими параметрами і заданим режимом використання. Для забезпечення необхідних умов роботи застосовуються різноманітні накопичувачі енергії, засоби підвищення чи пониження параметрів, механізми регулювання потужності, протиштормового захисту тощо. У контексті задачі, яка розв'язується, споживачі енергії матимуть незалежні параметри, тобто в залежності від швидкості вітру подаватимуть різну кількість повітря. Однак, без використання перелічених вище допоміжних систем, вітро-компресорна установка не зможе працювати з найвищою ефективністю. Це пояснюється наступними фактами. Відомо, що зі збільшенням швидкості вітру зростає частота обертання і крутий момент на вітроколесі. Однак пневматичний насос здатен сприймати тільки зростання частоти обертання привідного валу шляхом збільшення витрати (подачі). Збільшення моменту при постійному напорі на виході сприйматися ним не буде. Тому доцільно застосовувати спеціальні механізми регулювання потужності, яка відбирається з потоків повітря.

Методику вибору характеристик механізму регулювання вітро-компресорної установки можна представити у наступному вигляді: 1) знаючи діапазон зміни швидкості вітру на деякій території, визначити межі коливань кутової швидкості привідного валу та наближено обрати параметри регулювальної пружини механізму; 2) маючи конкретне значення напору, який потрібно забезпечити на виході, вибрати тип насоса і, знаючи його оптимальний діапазон функціонування, визначити подачу насоса; 3) побудувати характеристику споживаної насосом потужності та відкоректувати параметри регулювальної пружини для забезпечення вітроколесом необхідної потужності в робочому діапазоні зміни швидкостей вітру.

Щодо визначення найбільш придатної структури вібраційної машини, то в роботі [7] встановлено, що реалізація резонансних режимів в одномасових механічних коливальних системах супроводжується цілковитою передачею динамічних навантажень на фундамент, а це є недопустимим, оскільки порушуються санітарно-гігієнічні норми. Двомасові коливальні системи, без сумніву, перспективні для синтезу резонансного вібраційного технологічного обладнання з інерційним приводом, проте на сьогодні відомі тримасові системи, що дозволяють розвивати значно вищі коефіцієнти динамічності порівняно з одно- та двомасовими системами [6]. Таким чином, у роботі [7] було доведено, що найбільш придатними для роботи в резонансних режимах з інерційними віброзбуджувачами є тримасова коливальна система з аероінерційним приводом.

Принципова схема тримасової вібраційної машини, в якій реалізовані прямолінійні горизонтальні коливання робочого органу, наведена на рис. 4.

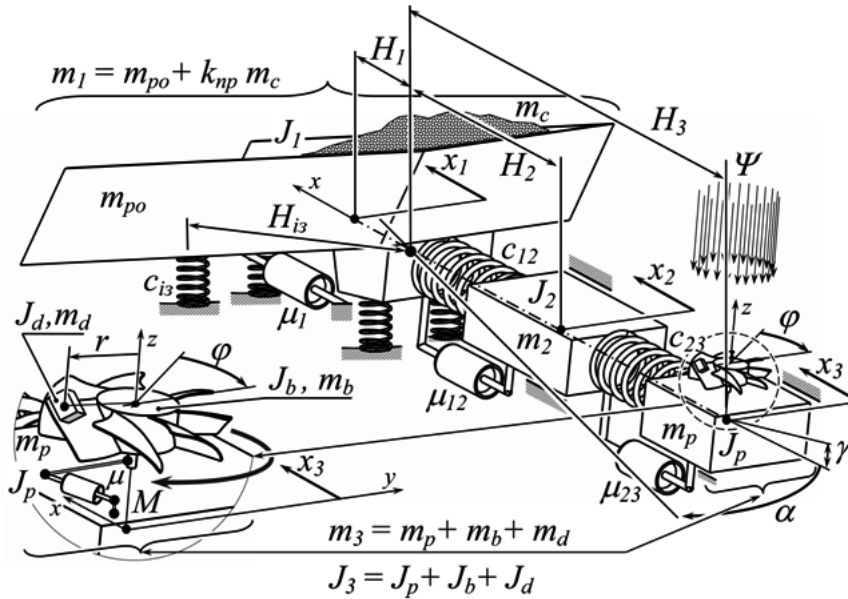


Рис. 4. Принципова схема тримасової вібраційної машини на базі малопотужного інерційного віброзбудника зі збуренням від повітряних потоків

Робочий орган масою m_{po} , проміжна маса m_2 та реактивна m_p здійснюють прямолінійні коливання вздовж осі x за координатами відповідно x_1 , x_2 та x_3 . Робочий орган m_{po} та умовно приєднана частина $k_{np}m_c$ маси середовища завантаження утворюють масу m_1 . Реактивна маса m_p , маса крильчатки m_b з моментом інерції J_b відносно власної осі симетрії та маса дебаланса m_d утворюють масу m_3 . Маси m_1 , m_2 та m_3 попарно з'єднані між собою пружними системами із жорсткостями відповідно c_{12} та c_{23} у напрямку коливань вздовж осі x . Силоне збурення вимушених коливань в системі відбувається за рахунок дії потоків повітря Ψ на крильчатку, до однієї з лопатей якої жорстко прикріплена незрівноважена маса m_d (маса дебаланса). Крутний момент M , що виникає на крильчатці, приводить в обертальний рух масу m_d на радіусі r , відцентрові сили від якої і є причиною виникнення знакозмінного силового збурення маси m_3 , і, як наслідок, її коливальних рухів вздовж осі x . Проміжна маса m_2 приводиться в рух завдяки кінематичному збуренню від маси m_3 . У свою чергу маса m_1 кінематично збурюється від маси m_2 . Вібраційна машина встановлена на нерухому основу через віброізолятори жорсткістю c_{i3} , що кріпляться до маси m_1 . В динамічну модель у вигляді демпферів також слід увести коефіцієнти в'язкого тертя μ_{12} , μ_{23} , які пропорційні швидкості і відображають розсіювання енергії у відповідних пружних системах.

Таким чином, застосування аероінерційного приводу і тримасової коливальної системи – одні з найбільш ефективних способів підвищення експлуатаційної надійності, енергоощадності та ефективності вібраційних машин, які при сумісному застосуванні з вітро-компресорними установками здатні суттєво знизити матеріальні витрати на енергоносії, підвищити продуктивність роботи та знизити енергозалежність багатьох галузей промисловості й сільського господарства.

Висновки. Запропоновані механічні системи керування потужністю вітроколів, побудовані на основі пружинних регуляторів, дозволять із достатньою точністю стабілізувати частоту обертання й крутний момент на валу компресора у залежності від швидкості вітру та тиску в ресиверах пневматичної системи, які слугуватимуть своєрідними акумуляторами енергії у випадку безвітряної погоди. Із ресиверів повітря подаватиметься на крильчатку з незрівноваженою масою, яка становитиме так званий аероінерційний привід вібраційної машини. Останній керуватиметься в залежності від типу й величини навантаження на робочому органі таким чином, щоб забезпечити роботу в найбільш ефективних білярезонансних режимах. У результаті цього вдасться досягнути практично повної автономності роботи вітро-вібраційної установки без застосування додаткових джерел живлення, що у свою чергу дозволить економити значні матеріальні ресурси на традиційні енергоносії, знизити енергозалежність багатьох галузей промисловості, покращити екологічність використання

технологічного обладнання та поширити ідеї залучення енергоощадних технологій і альтернативних джерел енергії в інших сферах суспільного життя, в тому числі й сільському господарстві та побуті. Отже, використання в комплексі вітроустановки з механізмами автоматичного регулювання потужності та вібраційної машини з аероінерційним приводом є актуальним напрямком розвитку сучасних технологій у машинобудуванні.

Перспективами подальших досліджень є обґрунтування конструктивних і силових параметрів комбінованої вітро-вібраційної установки для забезпечення автономності роботи в умовах поривчастих вітрів та змінного навантаження на робочому органі вібраційної машини.

Анотация. Обоснована идея создания ветро-вибрационной установки на основе ветроколеса с механизмами автоматического регулирования мощности и вибрационной машины с аэроинерционным возмущением. Рассмотрены основные принципы построения такого типа конструкций и возможность их реализации. Описана конструкция, принцип работы и методика расчета механизма регуляции мощности для эффективного функционирования ветро-компрессорной установки в условиях порывистых ветров. Обоснована тримасовая колебательная система с аэроинерционным поводом как наиболее оптимальная для использования в энергосберегающих резонансных режимах работы и обеспечения согласованной работы комбинированной установки.

Ключевые слова: тримасовая система, возлереzonансные режимы, аэроинерционное возмущение, вибрационная машина, ветро-вибрационная установка, механизм автоматического регулирования мощности.

Abstract. The main principles of combined wind-vibratory equipment construction are considered.

Purpose. The new idea in area of modern technologies development is proposed. Using previous researches it is offered the most optimal parameters for wind-vibratory equipment constructing.

Approach. Starting from literature review of existing constructions of wind turbines, compressor constructions, vibrating machines constructions it is defined possibilities of their combined use. As the most appropriate it was qualified the aero-inertia drive for vibrating machine, which consists of actuated by current of air propeller with unbalanced mass on one of its blades. The regulating capacity gear is used for the assurance with compressed air vibrating machine drive. Tree-masses structure of vibrating machine qualified as the most acceptable for using with aero-inertia drive.

Findings. It is found that it is possible to accommodate optimal pump capacity by using the regulating capacity gear and angular velocity stabilization. Resonance working process is chosen as the most efficient for vibrating machines with the aero-inertia drive.

Value. Such combined wind-vibratory equipment accorded to the main direction of world technology development, such as using of alternative energy sources and technological equipment affordability.

Keywords: combined wind-vibratory equipment, aero-inertia drive, unbalanced mass, wind turbine, regulating capacity gear.

1. Козирський В.В. Аналіз балансу потужності комбінованої електро-водопостачальної вітроустановки / В.В. Козирський, В.В. Василенко, А.В. Петренко // Наукові доповіді НУБіП України. – 2009. – № 1. – С. 15-30.
2. Губарев А.П. К вопросу оптимизации гидропривода отбора мощности от ветродвигателя / А.П. Губарев, О.С. Ганпанцурова // Промислова гідраліка і пневматика. – 2009. – № 1. – С. 67-70.
3. Корендій В.М. Моделювання роботи вітроколеса при поривчастих вітрах / В.М. Корендій // Математичне моделювання. – 2012. – № 1. – С. 75-79.
4. Корендій В.М. Механічні системи стабілізації кутової швидкості горизонтально-осьових вітроколес / В.М. Корендій // Наукові нотатки. – 2012. – № 37. – С. 166-171.
5. Ганпанцурова О.С. Повышение энергетической эффективности ветроэнергетических установок с гидравлической системой отбора и перераспределения мощности / О.С. Ганпанцурова // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування. – 2010. – № 58. – С. 64-70.
6. Ланець О. С. Високоєфективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом: монографія / О. С. Ланець. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2008. – 324 с.
7. Кузьо І. В. Вибір структури та обґрунтування силових і жорсткісних параметрів вібраційної машини з аероінерційним збудженням / І. В. Кузьо, О. В. Ланець, Я. В. Шпак // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету. – 2012. – Вип. 2. – С.120–131.

REFERENCES

1. Kozyr's'kyj, V.V., Vasylenko, V.V., Petrenko, A.V., Naukovi dopovidi NUBiP Ukra'iny, 2009, no. 1, pp. 15-30.
2. Gubarev, A.P., Ganpansurova, O.S., Promislova gidravlika i pnevmatika, 2009, no. 1, pp. 67-70.
3. Korendij, V.M., Matematychnе modeljuvannja, 2012, no. 1, pp. 75-79.
4. Korendij, V.M., Naukovi notatky, 2012, no. 37, pp. 166-171.
5. Ganpansurova, O.S., Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Politechnic Institute”, 2010, no. 58, pp. 64-70.
6. Lanec', O.S., Vysokoeffektyvni mizhrezonansni vibracijni mashyny z elektromagnitnym pryvodom (High-efficiency interresonance oscillation machines with electromagnetic gear). Lviv: Vydavnyctvo Nacional'nogo universytetu “Lvivska politehnika”, 2008. 324 p.
7. Kuz'o, I.V., Lanec, O.V., Shpak, Ja.V., Zbirnyk naukovykh prac' Poltav'skogo nacional'nogo tehnnichnogo universytetu, no. 2, pp. 120–131.