

НАУКОВІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН ІЗ КЕРОВАНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ВІБРОЗБУДЖЕННЯ

Микола Нестеренко, доцент, к.т.н., доцент¹ (ORCID: 0000-0002-4073-1233),

¹Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», проспект Віталія Грицаєнка 24, 36011, Україна

АНОТАЦІЯ. У роботі розглянуто наукові передумови створення високоефективних вібраційних машин із застосуванням віброзбуджувачів коливань зі змінними параметрами. Показано, що традиційні вібраційні машини з постійними режимами роботи не завжди забезпечують раціональну взаємодію робочого органу з оброблюваним середовищем, особливо за змінних технологічних умов, фізико-механічних властивостей матеріалу та навантаження. Обґрунтовано доцільність використання віброзбуджувачів, які дають змогу змінювати частоту, амплітуду, напрям дії збурювальної сили або фазові співвідношення між окремими складовими коливань. Такий підхід дозволяє формувати складні траєкторії руху робочого органу, підвищувати інтенсивність технологічного процесу, зменшувати енерговитрати та розширювати функціональні можливості вібраційного обладнання. Встановлено, що застосування змінних параметрів збурення є перспективним напрямом удосконалення вібраційних машин для ущільнення, транспортування, сепарації, очищення та обробки матеріалів.

Ключові слова: вібраційна машина; віброзбуджувач; змінні параметри; амплітуда коливань; частота коливань; збурювальна сила; робочий орган; енергоефективність; технологічний процес; складні коливання.

Вступ. Вібраційні машини широко застосовуються у будівельному, гірничому, переробному, машинобудівному та інших виробництвах для виконання процесів ущільнення, транспортування, сортування, сепарації, очищення й обробки матеріалів. Їх ефективність значною мірою визначається параметрами коливального руху робочого органу, зокрема амплітудою, частотою, напрямом дії збурювальної сили та характером траєкторії переміщення. У традиційних конструкціях ці параметри здебільшого залишаються сталими або змінюються в обмежених межах, що не завжди забезпечує раціональний режим роботи машини за різних технологічних умов.

Під час виконання технологічного процесу властивості оброблюваного середовища можуть істотно змінюватися. Наприклад, змінюються маса завантаження, вологість, гранулометричний склад, жорсткість, сипкість або опір переміщенню матеріалу. За таких умов використання незмінного режиму вібраційного впливу може призводити до зниження продуктивності, збільшення енерговитрат, нерівномірності обробки та підвищення динамічних навантажень на елементи конструкції.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності вібраційних машин є застосування віброзбуджувачів коливань зі змінними параметрами. Такі пристрої дають змогу регулювати інтенсивність збурення, змінювати частоту або амплітуду коливань, керувати напрямом дії збурювальної сили та формувати складні режими руху робочого органу. Це дозволяє адаптувати роботу машини до конкретних умов технологічного процесу й забезпечити більш раціональну взаємодію робочого органу з матеріалом.

Аналіз літературних джерел. Аналіз сучасних досліджень показує, що підвищення ефективності вібраційних машин значною мірою пов'язане з удосконаленням систем віброзбудження та можливістю формування складних режимів коливального руху. У роботі [1] розглянуто багаточастотний інерційний віброзбуджувач для промислових вібраційних машин, який дає змогу розширити діапазон робочих частот і амплітуд. Такий підхід є важливим для створення машин, здатних адаптуватися до змінних технологічних умов і забезпечувати більш інтенсивну взаємодію робочого органу з оброблюваним середовищем.

Подальший розвиток інерційних систем віброзбудження наведено у праці [2], де досліджено динаміку коаксіального інерційного віброзбуджувача. Особливістю такого пристрою є можливість отримання різних режимів збурення за рахунок зміни співвідношень кутових швидкостей неврівноважених мас. Це дозволяє формувати складні траєкторії руху робочого органу та підвищувати технологічні можливості вібраційного обладнання.

У роботі [3] обґрунтовано доцільність використання вібраційних машин із багаторежимним спектром коливань. Автори показали, що застосування складних просторових коливань сприяє підвищенню ефективності технологічного процесу та зменшенню енергоємності обладнання. Це підтверджує перспективність створення машин, у яких параметри коливального руху можуть змінюватися залежно від властивостей матеріалу та необхідного технологічного результату.

Вплив основних параметрів вібраційної машини на якість ущільнення розглянуто у праці [4]. Зокрема, показано значення амплітуди коливань, параметрів дебалансу та режимів вимушених коливань для забезпечення необхідної якості технологічного процесу. Близьким за змістом є дослідження [5], у якому експериментально проаналізовано робочий процес вібраційної установки для ущільнення бетонних сумішей зі змінним режимом роботи. Отримані результати підтверджують, що зміна частоти та режимів коливань може суттєво впливати на інтенсивність взаємодії робочого органу з матеріалом.

Окремий напрям досліджень пов'язаний із побудовою багатомасових динамічних систем і використанням незалежних джерел коливань. У роботі [6] розглянуто двомасовий вібраційний транспортер великої вантажності з незалежними електромагнітними віброзбуджувачами горизонтальних і вертикальних коливань. Така схема дає змогу керувати напрямом руху робочого органу та створювати більш гнучкі режими транспортування матеріалу.

Важливе значення для стабільної роботи вібраційних машин має врахування пружних властивостей приводу та умов виникнення резонансних режимів. У праці [7] досліджено вплив пружності дебалансного приводу на коливання машини, що є важливим для вибору раціональних параметрів віброзбуджувача та запобігання небажаним динамічним навантаженням. У роботі [8] запропоновано рівняння руху одно-, дво- і тримасових вібраційних машин із віброзбуджувачем у вигляді пасивного автобалансира, що розширює можливості математичного опису складних коливальних систем.

Керовані електрогідравлічні віброзбуджувачі розглянуто у працях [9], [10]. У цих дослідженнях показано можливість формування змінних характеристик збурення за допомогою гідравлічних систем керування. Такі віброзбуджувачі є перспективними для машин, у яких необхідно оперативно змінювати частоту, амплітуду або закон дії збурювальної сили.

Мета роботи. Метою роботи є обґрунтування наукових підходів до створення високоефективних вібраційних машин із застосуванням віброзбуджувачів коливань зі змінними параметрами. Особливу увагу приділено аналізу впливу частоти, амплітуди, прямої дії збурювальної сили та фазових співвідношень на характер руху робочого органу машини. Передбачається визначити переваги використання керованих режимів віброзбудження для підвищення продуктивності технологічного процесу, зменшення енерговитрат і забезпечення адаптації машини до змінних властивостей оброблюваного середовища.

Виклад основного матеріалу. Вібраційні машини належать до обладнання, робочий процес якого безпосередньо залежить від параметрів коливального руху. У традиційних конструкціях віброзбуджувачі переважно працюють із постійними характеристиками, що обмежує можливість адаптації машини до змінних технологічних умов. При зміні маси завантаження, фізико-механічних властивостей матеріалу або опору робочого середовища сталий режим вібраційного впливу може ставати нераціональним. Це призводить до зниження продуктивності, збільшення енерговитрат і підвищення динамічних навантажень на елементи конструкції.

Перспективним напрямом удосконалення таких машин є застосування віброзбуджувачів коливань зі змінними параметрами. До основних параметрів, які можуть змінюватися під час роботи, належать частота коливань, амплітуда, напрям дії збурювальної сили, фазові співвідношення між окремими складовими руху, а також величина невідновленої маси або ексцентриситету. Завдяки цьому можна формувати різні режими роботи машини залежно від вимог конкретного технологічного процесу.

Зміна частоти коливань дозволяє керувати інтенсивністю взаємодії робочого органу з матеріалом. На початкових етапах процесу доцільним може бути застосування нижчих частот, що забезпечує плавне залучення матеріалу в рух і зменшує ударні навантаження. На основній стадії обробки частота може бути збільшена для підвищення інтенсивності процесу. На завершальному

етапі режим знову може змінюватися для стабілізації руху матеріалу або зменшення залишкових коливань конструкції.

Регулювання амплітуди коливань є важливим для забезпечення необхідного рівня енергетичного впливу на оброблюване середовище. Надмірна амплітуда може спричинити інтенсивний знос елементів машини, пошкодження матеріалу або підвищення шуму й вібрацій, що передаються на основу. Недостатня амплітуда, навпаки, не забезпечує потрібної інтенсивності технологічного процесу. Тому віброзбуджувач зі змінними параметрами повинен забезпечувати можливість вибору такого режиму, за якого досягається необхідна продуктивність за мінімальних енерговитрат.

Важливе значення має також керування напрямом дії збурювальної сили. У разі використання декількох віброзбуджувачів або систем із регульованими фазовими співвідношеннями можна отримати прямолінійні, еліптичні, кругові або складні просторові траєкторії руху робочого органу. Це особливо важливо для процесів транспортування, ущільнення, сепарації, очищення та змішування, де ефективність залежить не лише від інтенсивності коливань, а й від характеру переміщення матеріалу відносно робочої поверхні.

Віброзбуджувачі зі змінними параметрами можуть бути реалізовані на основі інерційних, електромагнітних, гідравлічних або комбінованих приводів. Інерційні віброзбуджувачі дозволяють змінювати збурювальну силу за рахунок регулювання частоти обертання дебалансів, їх взаємного положення або ексцентриситету. Електромагнітні системи забезпечують швидке керування амплітудою і частотою коливань, що є доцільним для машин із високими вимогами до точності режиму. Гідравлічні віброзбуджувачі можуть застосовуватися у потужних машинах, де необхідно створювати значні збурювальні зусилля та змінювати їх у широких межах.

Науковою основою створення високоефективних вібраційних машин є узгодження параметрів віброзбуджувача з динамічними властивостями самої машини та характеристиками оброблюваного середовища. При цьому необхідно враховувати масу робочого органу, жорсткість пружної системи, демпфування, частоти власних коливань, зміну навантаження під час роботи та можливість виникнення резонансних режимів. Рациональний режим роботи повинен забезпечувати достатню інтенсивність технологічного впливу без надмірного збільшення динамічних навантажень.

Особливої уваги потребує питання енергоефективності. Застосування змінних параметрів віброзбудження дозволяє не підтримувати постійно максимальний рівень вібраційного впливу, а змінювати його відповідно до поточного стану процесу. Це дає змогу зменшити непродуктивні витрати енергії, підвищити ресурс елементів конструкції та покращити стабільність роботи обладнання. Такий підхід є більш раціональним порівняно з використанням машин, які працюють в одному незмінному режимі незалежно від умов навантаження.

Висновки. У роботі розглянуто наукові підходи до створення високоефективних вібраційних машин із застосуванням віброзбуджувачів коливань зі змінними параметрами. Встановлено, що використання традиційних машин із постійними режимами роботи не завжди забезпечує необхідну ефективність технологічного процесу, оскільки властивості оброблюваного середовища, маса завантаження та опір руху можуть змінюватися під час експлуатації.

Обґрунтовано, що застосування віброзбуджувачів зі змінними параметрами дозволяє керувати частотою, амплітудою, напрямом дії збурювальної сили та фазовими співвідношеннями між окремими складовими коливань. Це створює можливість формування прямолінійних, еліптичних, кругових або складних просторових траєкторій руху робочого органу залежно від вимог конкретного технологічного процесу.

Показано, що керування параметрами віброзбудження сприяє підвищенню продуктивності, зменшенню енерговитрат, зниженню небажаних динамічних навантажень і покращенню стабільності роботи обладнання. Найбільш перспективними є конструкції вібраційних машин, у яких параметри коливального руху можуть адаптуватися до поточного стану оброблюваного середовища та умов навантаження.

Список використаних джерел

1. Gurskiy, V., Krot, P., Korendiy, V., & Zimroz, R. (2022). Dynamic analysis of an enhanced multi-frequency inertial exciter for industrial vibrating machines. *Machines*, 10(2), Article 130. <https://doi.org/10.3390/machines10020130>
2. Gurskiy, V., Korendiy, V., Krot, P., Zimroz, R., Kachur, O., & Maherus, N. (2023). On the dynamics of an enhanced coaxial inertial exciter for vibratory machines. *Machines*, 11(1), Article 97. <https://doi.org/10.3390/machines11010097>
3. Nazarenko, I., Svidersky, A., Ruchynskyi, M., Dedov, O., Slipetskyi, V., Novikova, I., & Bondarenko, A. (2017). Investigation of vibration machine movement with a multimode oscillation spectrum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(1[90]), 28–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118731>
4. Vasiliev, O., & Yakovenko, A. (2023). Analysis of vibration machine parameters affecting compaction quality. *Academic Journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1(60), 19–24. <https://doi.org/10.26906/znp.2023.60.3182>
5. Nazarenko, I., et al. (2018). Experimental studies of the working process of a vibration installation for compacting concrete mixtures with a variable operating mode. *Mining, Constructional, Road and Melioration Machines*, (92), 24–31. DOI: <https://doi.org/10.31493/gbdmm1892.0301>
6. Vrublevskyi, I. Yu. (2019). Vyznachennia parametriv dvomasovoho vibratsiinoho transportera velykoi vantazhnosti [Determination of parameters of a two-mass high-capacity vibrating conveyor]. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk*, (21), 3–8. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.3-8>
7. Artyunin, A. I., & Alhunsaeve, G. G. (2018). Influence of elasticity of unbalance drive in vibration machines on its oscillations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133922>
8. Filimonikhin, G., Yatsun, V., Dumenko, K., & Nevdakha, A. (2017). Equations of motion of vibration machines with a translational motion of platforms and a vibration exciter in the form of a passive auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111216>
9. Wang, H., Gong, G., Zhou, H., Wang, W., & Liu, Y. (2016). A rotary valve controlled electro-hydraulic vibration exciter. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. <https://doi.org/10.1177/0954406215615156>
10. Ruan, J., & Burton, R. T. (2009). An electrohydraulic vibration exciter using a two-dimensional valve. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*. <https://doi.org/10.1243/09596518JSC634>

АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПЛАТФОРМ В ПРОЦЕСАХ ОБСТЕЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ І СПОРУД У ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕГІОНАХ

Олександр Дьяченко, доцент, к.т.н., доцент¹ (ORCID: 0000-0001-8199-2504),

Євген Мішук, доцент, к.т.н., доцент¹ (ORCID: 0000-0002-7850-0975),

Павло Кривченков, студент¹,

¹Київський національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітряних сил 31, 03037, Україна

АНОТАЦІЯ. У даній роботі розглянуто актуальність використання безпілотних наземних транспортних засобів та роботизованих наземних комплексів у діяльності людини, зокрема у будівництві, промисловості, логістиці та сільському господарстві. Виконано огляд історії розвитку систем дистанційного керування транспортними засобами і автоматизації виконання ними процесів від перших розробок до сучасних автономних технологій. Встановлено, що впровадження таких систем в різних галузях економіки дозволяє знизити вплив людського фактора на виконання цілих процесів, підвищити продуктивність і безпеку праці. Проаналізовано основні сфери і напрямки застосування безпілотних засобів та їх переваги, зокрема використання у рятувальних роботах, військовій сфері та локальних виробничих процесах. На основі цих даних визначено актуальність розробки і подальшого застосування спеціалізованої транспортної платформи НРК для роботи в небезпечних умовах при виконанні процесів обстеження споруд і територій в потенційно небезпечних регіонах.

Ключові слова: безпілотні засоби; роботизовані комплекси; дистанційне керування; автоматизація процесів; будівництво; актуальність.

Вступ. Під час бурхливого розвитку промисловості, сільського господарства та інших галузей виникає стійка потреба у полегшенні людської праці, скороченні трудових витрат, а також зниженні