



Омельянов О.М.
асистент

*Вінницький національний
аграрний університет*

Omelyanov O.

*Vinnitsia National Agrarian
University*

УДК 621.921

DOI: 10.37128/2306-8744-2019-4-13

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ НА ПАРАМЕТРИ РУХУ ВІБРАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА

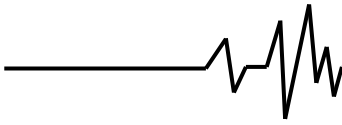
У статті представлено дослідження впливу технологічного завантаження на стабілізацію коливальної системи. Вібраційний сепаратор розглядається як коливальна система, що здійснює під дією збурюючої сили вимушені коливання. Особливістю вібраційних технологічних машин, таких як вібраційні сепаратори, є суттєвий вплив технологічного завантаження, яке викликає як кількісні, так і якісні зміни руху виконавчого органу. В даному випадку поняття приєднаної маси є неприйнятним. Відомі дослідження не розв'язують проблему нерівномірного питомого завантаження робочої поверхні решета у повній мірі. Зростаюча продуктивність сучасних сепараторів передбачає збільшення завантаження робочої поверхні віброрешіт. Процес віброрешетного сепарування дуже чутливий до збільшення завантаження, приводить до зниження якості розділення, потребує більш інтенсивних режимів роботи. Величина початкового питомого завантаження суттєво впливає на взаємне розташування ділянок перевантаження та недовантаження робочої поверхні. Процес просіювання ускладнюється при наявності ділянок перевантаження, що приводить до зростання товщини шару та ущільнення суміші. Поява ділянок недовантаження приводить до зменшення використання площі робочої поверхні. В даних випадках відбувається зниження ефективності процесу сепарування. Для вібраційних сепараторів, працюючих в далеко зарезонансних режимах при порівняно невеликій величині технологічного завантаження вплив його мало відчувається. Для резонансних сепараторів незначні величини технологічного завантаження на виконавчому органі приводили до суттєвих змін параметрів його руху. Для підтвердження цього впливу на параметри руху виконавчого органу були проведені спеціальні дослідження вібраційного сепаратора з комбінованим приводом. На основі результатів досліджень впливу технологічного завантаження на параметри руху вібраційної технологічної машини робляться висновки щодо доцільності використання комбінованого віброзбуджувача для стабілізації коливальної системи.

Ключові слова: технологічне навантаження, вібраційний сепаратор, віброзбуджувач, виконавчий орган.

Вступ. При всьому розмаїтті технологій, що застосовуються в різних сферах діяльності, існують загальні принципи побудови технологічного процесу. Аналогічні висновки справедливі і по відношенню розмаїття технологічного використання коливань. Так, незважаючи на широкий діапазон параметрів, фізична природа їх має в своїй основі загальні для різних спектрів коливань показники. Багато

процесів, на перший погляд достатньо різні, не об'єднані між собою, в дійсності мають загальні закони, яким підпорядковуються визначені явища.

В число загальних ознак вібраційних систем входять: привід, робочий простір, в межах якого реалізується енергія коливань та здійснюється вібраційна дія на об'єкт обробки; загальними параметрами вібраційних процесів являються амплітудно-частотні характеристики та траєкторія



коливань. По характеру виконуваної роботи всі вібраційні процеси можна розділити на ряд зведених технологічних напрямків:

- вібровплив на середовища, насипні та дисперсні системи;
- деформування та руйнування;
- дроблення та розмільчення матеріалів;
- введення вібраційних елементів в середовища різної щільності;
- розділення гранульованих середовищ по їх геометричним та іншим характеристикам.

При цьому вирішуються такі технологічні задачі, як сепарація насипних та багатозфазних середовищ, руйнування та дроблення, підвищення ефективності механічних, фізико-хімічних та металургійних процесів, створення віброзрідженого або віброкипячого шару, переміщення та транспортування, мийка та сушка, вібровплив на біологічні системи та інші.

Подальші пошуки в частині розширення технологічних можливостей та промислового використання вібрації залишається однією з актуальних задач.

Формування мети досліджень. Метою є оцінка впливу технологічного навантаження на параметри руху робочих органів вібраційної машини.

Виклад основного матеріалу. Наявність в робочій ємкості вільно гранульованого оброблюваного середовища, обумовлює реалізацію унікальних технологічних можливостей притаманних виключно вібраційній обробці. Поведінка технологічного навантаження визначається як зовнішніми чинниками, серед яких параметри вібраційного поля (амплітуда, частота, віброприскорення), геометричні параметри робочого контейнера (висота, ширина, форма), особливості схеми віброзбудження, так і внутрішніми чинниками, такими як фізико-механічні властивості гранульованої маси (гранулометричним складом середовища, її об'ємною щільністю, в'язко пружно-пластичними параметрами завантаження, властивостями розсіювання енергії в робочому середовищі та іншими). Особливості дії вказаних чинників обумовлюють виникнення та взаємодію прямого та зворотнього зв'язку технологічної системи: технологічне навантаження – робочий контейнер [1].

Виникнення прямого зв'язку між контейнером та масою наповнювача визначається дією, в основному, зовнішніх технологічних чинників, серед яких виділяються віброприскорення або прискорення зовнішнього силового поля. Відомо, що при підвищенні віброприскорення спостерігається зменшення ефективного коефіцієнта тертя в робочому середовищі, що обумовлює зміну ряду фізико-механічних властивостей технологічного

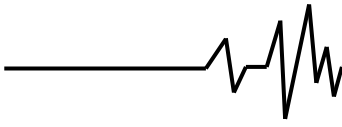
завантаження. Так, виділяють зміну трьох послідовних станів маси наповнювача: віброкипіння, вібросегрегація та віброзрідження. Для віброзрідження характерно наряду зі згущенням (при величині віброприскорення a , близьким до прискорення вільного падіння g) поява текучості та розрихлення гранульованого середовища при відчутному зменшенні її в'язкості. І. І. Блехман та Г. Ю. Дженелідзе теоретично обґрунтували, що ефект віброзрідження шару аналогічний явищу вібраційної лінеаризації сухого тертя, тобто вібраційне поле дає можливість зменшити зусилля необхідне для надання частинці сипучого середовища відносного руху.

Подальше підвищення віброприскорення дозволяє зменшити ефективний коефіцієнт тертя в середовищі за рахунок повного або часткового відриву частинок відносно одна одної та від віброуючої поверхні в 40..50 раз як показали експерименти А. П. Сергеева [4]. По дослідженням Н.В. Михайлова, П. А. Ребіндера, В. А. Членова [6] рух сипучої мілко дисперсної маси в таких умовах може бути розглянуто як потік ньютонівської рідини. При цьому спостерігається перехід від явища вібросегрегації, коли сили виштовхуючі частинки меншої щільності превалюють над силами внутрішнього тертя середовища (що обумовлює виникнення явища сепарації) до стану віброзрідження або інтенсивного змішування технологічного середовища. Окрім цього, збільшення величини віброприскорення приводить до активації резонансних явищ в зоні обробки. Таку поведінку сипучого середовища пояснюють «насосним» ефектом, утворюючим зони розрідження між віброуючою основою та технологічним завантаженням [5].

Зі збільшенням частоти коливань робочого органу вібромашини більш сильно проявляються сили в'язкого тертя в сипучому середовищі, хоча величина їх не значна в порівнянні з силами сухого тертя [1, 2, 3, 5].

При цьому енергія коливань локалізується в більш тонкому шарі частинок та не встигає проникнути в глибину середовища, і крім кількісних змін меж віброзрідження та віброкипіння ніякими якісними змінами в поведінці сипучого середовища не відрізняється. В свою чергу, підвищення амплітуди не виникає при постійних значеннях віброприскорення, що спонукає росту глибини проникнення ударних імпульсів в вібраційному полі.

Вплив зовнішніх силових чинників відображає також особливості руху технологічного завантаження в вібраційному полі. Так в коливальній системі фактичний центр обертання гранульованої маси не співпадає з геометричним центром робочого органу, а кутова швидкість переміщення частинок в середовищі по перерізу робочої камери не однакова. Тому в зоні обробки можна виділити зону «застою», де спостерігається



зниження енергетичного потенціалу вібраційного поля, зони затягування та надалі – зони інтенсивних закономірних переміщень в межах кожного коливання. Такий досить складний характер руху в віброуючому контейнері, наявність пружних хвиль в горизонтальному та вертикальному напрямку, співудари частинок при передачі ударних імпульсів та інші чинники визначають хаотичність руху окремих гранул. Разом з тим, як показала швидкісна зйомка процесу віброобробки [4], маса сипучого середовища в усьому вібраційному полі здійснює циркуляційний рух протилежний обертанню привідного валу вібробуджувача.

Деякі геометричні параметри робочого органу безпосередньо через масу наповнювача визначають якісні показники технологічної дії. Так зі збільшенням ширини робочої камери інтенсивність віброобробки зменшується, так як робочий контейнер передає завантаженню поперечні коливання, які приймають участь в формуванні зон гальмування. В той же час, з ростом висоти завантаження збільшується час сумісного руху середовища та короба, зменшується величина проміжку між ними в нижній частині робочого органу та відповідно зменшується зусилля ударної взаємодії при обробці.

Технологічне завантаження не тільки змінює свої фізико-механічні характеристики під дією вібрації, але й саме здійснює значний вплив на динаміку вібромашини, відмічений вище зворотній зв'язок у коливальній системі. Такий вплив стає більш відчутним коли маса оброблювального середовища рівна або перевищує масу робочих органів вібромашини, що відбувається при віброобробці продукції в замкнутій ємкості.

В процесі віброобробки в зоні, безпосередньо контактуючій зі стінкою, утворюються пружні сили, що викликають ушільнення прилеглих шарів гранульованої маси. Коливання поверхні робочого органу викликає відрив маси завантаження та відповідно падіння тиску у стінок. Під дією пружних сил зовнішній шар завантаження починає розширюватись в усі сторони, у той час як решта сипучої маси продовжує рухатись по інерції. В результаті взаємодії сил інерції та пружності має місце сповільнення часток у зоні стискання та прискорення часток розміщених в діаметрально протилежних зонах розрідження. Подібні процеси обумовлюють зменшення внутрішнього тертя та створюють сприятливі умови для розсіювання енергетичного імпульсу в масі технологічного завантаження.

Коли розсіювальна здатність технологічного завантаження опиняється меншою від поданої до неї енергії, то надлишкова енергія може збуджувати в системі автоколивання на власній частоті, що при взаємодії з вимуваними

коливаннями основної робочої частоти може викликати резонансні явища. Порушення динамічної стабільності системи обумовлюється нерівномірністю та неодноразовістю передачі силового імпульсу поверхні окремих моношарів завантаження; фізико-механічними характеристиками сипучого середовища, визначаючими його прямий опір (насіпною щільністю маси завантаження, ступенем завантаження робочої камери та іншими властивостями); особливостями технологічної реалізації процесу сепарації (в особливості, при «засалюванні» робочого середовища та утворенні в зоні обробки глиноподібної суспензії). Окрім того, взаємодія технологічного завантаження відбувається не тільки з ситом але й зі стінками робочого контейнера, приблизно через кожні четверть періоду, що може викликати одночасне збудження коливань по декількох степеням вільності, збільшуючи ймовірність виникнення резонансних явищ.

У всіх вібраційних машинах, працюючих в режимі, наближеного до резонансу, необхідно враховувати інерційні, пружні та непружні характеристики технологічного завантаження незалежно від величини останньої [2, 8, 9, 10]. В зарезонансному режимі спосіб обліку технологічного завантаження може привести до різниці в значеннях амплітуд коливань більше 20%, що виходить за рамки похибок при звичайних інженерних розрахунках. При інтенсивних режимах роботи сепаратора характер взаємодії технологічного завантаження з виконавчим органом буде суттєво нелінійним. Що стосується машин, працюючих в дорезонансному режимі, то наявність на виконавчому органі технологічного завантаження переводить дану машину в резонансний режим, а нелінійний характер дії завантаження значно розширює резонансну область.

Ріст амплітуди автоколивань досить швидко стабілізується, досягнувши стаціонарного стану, при якому з'являється рівність енергії, що подається та розсіюється за один цикл коливань. При цьому в даному автоколивальному процесі з появою «розкачки» в якійсь мірі стабілізується власна частота коливань, тобто в системі починає діяти зворотний зв'язок.

Із конструктивних параметрів, що впливають на стійкість коливальної системи можна виділити особливості схеми вібробудження. При дослідженні різних способів механічного вібробудження вібраційних сепараторів в якості критеріїв оцінки були прийняті амплітудно-частотні, силові та енергетичні характеристики альтернативних віброприводів. При цьому виявилось, що при використанні динамічного віброприводу спостерігається більш рівномірне розсіювання потужності в технологічному завантаженні, зменшуються динамічні



навантаження на основу сепаратора, має місце стабілізація величини збуджуючої сили на робочих режимах.

В Вінницькому національному аграрному університеті проводились подібні дослідження на вібраційному сепараторі. Для порівняльного аналізу були використані динамічний, кінематичний та комбінований привід з врівноваженням та без врівноваження стаціонарних мас. Розроблена в університеті схема комбінованого віброприводу має такі характерні особливості як кінематичний спосіб генерації коливань та наявність підпружинених опорних вузлів [7, 8]. В якості оцінки параметрів віброприводів були прийняті амплітудно-частотні та енергетичні характеристики. Для оцінки впливу технологічного завантаження на параметри даних віброприводів, експерименти проводились з різними по питомій вазі типами наповнювача та без нього. По результатам такого порівняльного дослідження з'ясувалось, що: наявність робочого наповнювача та його питома вага практично не впливають на величину затрат потужності на привід $N_{пр}$, яка в свою чергу суттєво залежить від типу віброзбуджувача (рис. 3, 4, 5, 6); наявність робочого наповнювача обумовлює активацію резонансних явищ як по величині, так по кількості в перехідному режимі для динамічного та комбінованого привода з статичним балансуванням; більш швидка стабілізація амплітуди коливань має місце для комбінованого віброприводу (рис. 1, 2) з врівноваженням стаціонарних мас; для комбінованого віброприводу без статичного балансування в перехідному режимі кількісні та якісні показники резонансних явищ практично не залежать від питомої ваги та наявності технологічного завантаження.

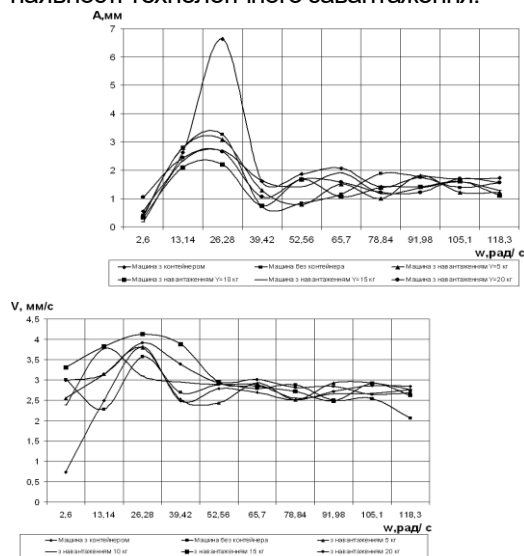


Рис.1. Графік залежності амплітуди коливань від маси завантаження
Рис.2. Графік залежності віброшвидкості від маси завантаження

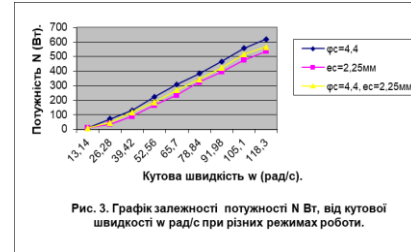


Рис. 3. Графік залежності потужності $N_{Вт}$ від кутової швидкості w рад/с при різних режимах роботи.

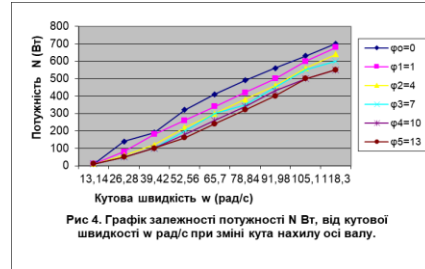


Рис. 4. Графік залежності потужності $N_{Вт}$ від кутової швидкості w рад/с при зміні кута нахилу осі валу.

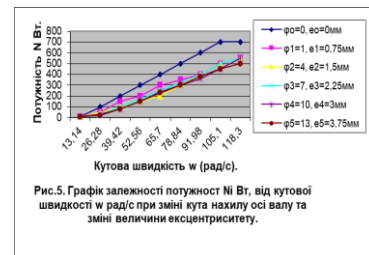


Рис.5. Графік залежності потужності $N_{Вт}$ від кутової швидкості w рад/с при зміні кута нахилу осі валу та зміні величини ексцентриситету.

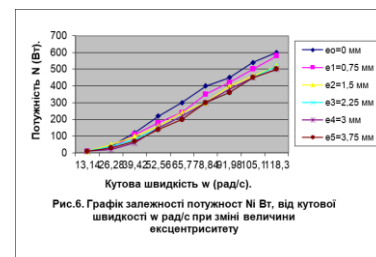


Рис.6. Графік залежності потужності $N_{Вт}$ від кутової швидкості w рад/с при зміні величини ексцентриситету

Висновки:

1. В цілому коливальна система при взаємодії з масою завантаження втрачає свою стійкість.
2. Серед найбільш простих способів її стабілізації можна виділити накладання додаткового пружного зв'язку в системі.
3. При дослідженні амплітудно-частотних характеристик машини, а тим більше при визначенні навантажень на елементи конструкції, необхідно враховувати пружні, непружні та інерційні характеристики технологічного завантаження незалежно від режимів роботи машини.

Список використаних джерел

1. Потораев В. Н. Об учете влияния технологической нагрузки при динамическом расчете вибрационных конвейеров и грохотов / В. Н. Потораев, А. Г. Червоненко // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб.. – 1967. – Вып. 2. – С. 81-91.



2. Конради В. Я. Опыт применения резонансных грохотов на углеобогатительной фабрике / В. Я. Конради, Ф. И. Марковский, В. Н. Потураев, В. П. Франчук, В. И. Мунтян // Кокс и химия. – 1964. - №8. – С. 53-56.

3. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / И. И. Блехман, Г. Ю. Джанелидзе. – М.: Наука, 1964. – 410 с.

4. Сергеев А. П. Отделочная обработка в абразивных средах без жесткой кинематической связи / А. П. Сергеев // Автореферат дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук. – Мариуполь: ММИ, 1989. – 304 с.

5. Членов В. А. Виброкипящий слой / В. А. Членов, Н. В. Михайлов. - М.: Наука, 1972. – 343 с.

6. Франчук В. П. К вопросу учета массы технологической загрузки вибрационной мельницы. / В. П. Франчук, А. А. Тарасенко, П. П. Королев. – К.: Наукова думка, 1970. – С. 193-197.

7. Берник П. С., Паламарчук І. П. Конвеєрні вібраційні машини для оздоблювально-зміцнювальної обробки / П. С. Берник, І. П. Паламарчук. – К.: Вища школа, 1996. – 237 с.

8. Берник П. С. Разработка вибрационного грохота с пространственными колебаниями рабочих органов / П. С. Берник, И. П. Паламарчук, О. Н. Омелянов // Вибрации в технике и технологиях. – 1998. – № 2(6). – С. 8-13.

9. Берник П. С. Вибрационные технологические машины с пространственными колебаниями рабочих органов / П. С. Берник, Л. В. Ярошенко // Винница, издательский центр ВГСХИ, 1998. - 116 с.

10. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. Т.4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. - М.: Машиностроение, 1981. – 509 с.

Список джерел в транслітерації

1. Potyraev, V. N., Chervonenko, A. G. (1967). Ob uchete vliyaniya tehnologichnoye nagruzki pri raschete vibratsionnykh konveerov i grohotov [On taking into account the influence of technological load in the dynamic calculation of vibrating conveyors and screens] *Obogazhenie poleznuh iskopaemuh: resp.mezhved. nauch. – texn. sb. - Mineral processing*, 2, 81-91[in Russian].

2. Konradi, V. Ya., Markovskiy, F. I., Poturaev, V.N., Franchuk, V. P., Muntyan, V.I. (1964) Oput primeneniya rezonansnuh grohotov na ugleobogatitelnoi fabrike [The experience of using resonant screens in a coal preparation plant]. *Koks i ximiya - Coke and chemistry*, 8, 53-56 [in Russian].

3. Blehman, I. I. (1964). *Vibratsionnoe peremeschenie [Vibrating movement]*. Moskva: Nauka [in Russian]

4. Sergeev, A. P. (1989). *Otdelochnaya obrabotka v abrazivnykh sredakh bez zhoctkoi kinematesheskoi svyazi. [Finishing treatment in*

abrasive media without rigid kinematic connection]. Mariupol: MMI [in Ukrainian].

5. Chlenov, V. A., Mihaylov, N. V. (1972). *Vibrokipyazhiy sloy [Vibro-boiling layer]*. M.: Nauka [in Russian].

6. Franchuk, V. P., Tarasenko, A. A., Korolev, P. P. (1970) *K voprosu ucheta massu tehnologicheskoy zagruzki vibratsionnoy melnitsu [On the issue of accounting for the mass of the technological load of a vibration mill]*. K.: Naukova dumka [in Ukrainian].

7. Berynk, P. S., Palamarchuk, I. P. (1996). *Konveerni vibratsiyni mashyny dlya ozdobyvalno-zmitsnyuvalnoy obrobku [Conveyor machines for randomly-machining]*. K.: Vuzcha shkola. [in Ukrainian].

8. Berynk, P. S., Palamarchuk, I. P., Omelyanov O. M. (1998). *Razrabotka vibratsionnogo grohota s prostranstvyennymi kolebaniyamy rabochoyh organov [Development of a vibrating screen with spatial oscillations of working organs]* [in Russian].

9. Berynk, P. S. & Yaroshenko, L. V. (1998). *Vibratsionnyye tehnologicheskiye mashyny s prostranstvyennymi kolebaniyamy rabochoyh organov [Vibrating technological machines with spatial oscillations of workinbodies]*. Vinnytsya.: VNAU [in Ukrainian].

10. *Vibratsii v tekhnike: Spravochnik. V 6-tit. / Red. sovet: V.N. Chelomey (pred.) I dr. // M.:Mashinostroyeniye, 1981. – Т. 4. Vibratsionnyye protsessy i mashiny / Pod red. E.E. Lavendela, 1981. – 509 s.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ НА ПАРАМЕТРЫ ДВИЖЕНИЯ ВИБРАЦИОННОГО СЕПАРАТОРА

В статье представлено исследование влияния технологической нагрузки на стабилизацию колебательной системы. Вибрационный сепаратор рассматривается как колебательная система, осуществляющая под действием возмущающей силы вынужденные колебания. Особенностью вибрационных технологических машин, таких как вибрационные сепараторы, является существенное влияние технологической нагрузки, которое вызывает как количественные, так и качественные изменения движения исполнительного органа. В данном случае понятие присоединенной массы неприемлемо. Известные исследования не решают проблему неравномерной удельной загрузки рабочей поверхности сита в полной мере. Растущая производительность современных сепараторов предусматривает увеличение загрузки рабочей поверхности виброрешетного сепарирования очень чувствителен к увеличению загрузки, приводит к снижению качества разделение, нуждается более



интенсивных режимах работы. Величина начальной удельной загрузки существенно влияет на взаимное расположение участков перегрузки и недогрузки рабочей поверхности. Процесс просеивания усложняется при наличии участков перегрузки, которая приводит к росту толщины слоя и уплотнения смеси. Появление участков недогрузки приводит к уменьшению использования площади рабочей поверхности. В данных случаях происходит снижение эффективности процесса сепарации. Для вибрационных сепараторов, работающих в далеко зарезонансных режимах при сравнительно небольшой величине технологической нагрузки влияние его мало ощущается. Для резонансных сепараторов незначительные величины технологической нагрузки на исполнительном органе приводили к существенным изменениям параметров его движения. Для подтверждения этого влияния на параметры движения исполнительного органа были проведены специальные исследования вибрационного сепаратора с комбинированным приводом. На основе результатов исследований влияния технологической нагрузки на параметры движения вибрационной технологической машины делаются выводы о целесообразности использования комбинированного вибровозбудителя для стабилизации колебательной системы.

Ключевые слова: технологическая нагрузка, вибрационный сепаратор, вибровозбудитель, исполнительный орган.

RESEARCH INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL DOWNLOADING ON MOTION PARAMETERS OF VIBRATION SEPARATOR

In the article research of influence of the technological loading is presented on stabilizing of the oscillating system. An oscillation separator is examined as an oscillating system that carries out force vibrations

under the action of revolting force. By the feature of oscillation technological machines, such as oscillation separators, there is substantial influence of the technological loading that causes both quantitative and quality changes of motion of executive branch. In this case a concept of the added mass is unacceptable. The known researches do not decide the problem of the uneven specific loading of working surface of sieve in a complete measure. The growing productivity of modern separators envisages the increase of loading of working surface of vibrosieves. The process of vibrosieve separation is very sensible to the increase of loading, brings a division over to the decline of quality, needs more intensive office hours. The size of the initial specific loading substantially influences on the mutual location of areas of overload and underloading of working surface. The process of sifting becomes complicated at presence of areas of overload that results in the increase of thickness of layer and compression of mixture. Appearance of areas of underloading results in reduction of the use to the area of working surface. There is a decline of efficiency of process in these cases. For oscillation separators working in far superresonance modes at the comparatively small size of the technological loading influence of him is small felt. For resonant separators the insignificant sizes of the technological loading on an executive branch resulted in the substantial changes of parameters of his motion. For confirmation of this influence on the parameters of motion of executive branch special studies of oscillation separator were undertaken with the combined occasion. On the basis of results of researches of influence of the technological loading on the parameters of motion of oscillation technological machine drawn conclusion in relation to expediency of the use of the combined causative vibroagent for stabilizing system.

Keywords: technological loading, oscillation separator, causative vibroagent, executive branch..

Відомості про авторів

Омельянов Олег Миколайович – асистент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету. Службова адреса: м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ 21008

Омельянов Олег Николаевич – асистент кафедри общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета. Служебный адрес: г. Винница, ул. Солнечная 3, ВНАУ 21008

Omelyanov Oleg Mykolaovich – Assistant of the Department of General Technical Disciplines and Occupational Safety of Vinnitsa National Agrarian University, service address: Vinnitsa st. Sonyachna 3, VNAU 21008