

$$\ell_{2n-1}^4 \cdot 6.3694 \cdot 10^3 - \ell_{2n-1} \cdot 229.5326 - 5.3249 = 0 \quad (13)$$

Розв'язавши це рівняння за допомогою системи MATHCAD, отримаємо

$$\text{root}[\ell^{2.25} \cdot 6.3694 \cdot 10^3 - \ell \cdot 229.5326 - 5.3249, \ell] = 0.0849 \text{ м.}$$

Тобто мінімальна довжина торсіона, яка задовольняє умовам міцності при запропонованих вихідних даних, становить 0,0849 м або 85 мм.

Розрахунок на міцність пружної системи і визначення діаметрів торсіонів [3] необхідні для проектування працездатних, довговічних і надійних зміцнювальних пристроїв, які можна використати для зміцнення внутрішніх і зовнішніх поверхонь довговимірних циліндричних деталей типу бурових труб, торсійних валів і осей, жерл гармат, трубів високого тиску тощо. Оскільки попит і ціни на нафтогазове обладнання останнім часом почали різко зростати (за оцінками експертів, цей процес триватиме 10÷15 років) та зріс попит на військову техніку виробництва України, використання пристроїв для зміцнення довговимірних циліндричних деталей може принести значний економічний ефект.

1. Афтаназів І.С. Використання вібрацій для зміцнення деталей // *Вібрації в техніці і технологіях*. 1995. №1(2), с.27-34. 2. Афтаназів І.С., Кусий Я.М. Пристрій з електромагнітним приводом для зміцнення зовнішніх поверхонь довговимірних деталей // *Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні*. 1999. №359, с.36-41. 3. Афтаназів І.С., Кусий Я.М. Пристрій з електромагнітним приводом для зміцнення поверхонь довговимірних циліндричних деталей // *Машинознавство*. №12/99. 4. Oleg Soroczak, Wiktor Szabajkowicz. Docierarka wibracyjna do powierzchni płaskich o wysokiej dokładności // *MECHANICS Доп. Міжнар. наук.-техн. конф.* 29-30 червня 1998р., м.Жешув (Республіка Польща). С.325-332.

УДК 621 757 06-52

Афтаназів І.С., Баранецька О.Р., Волошкевич П.П., Кирилів Я.Б., Криницький І.І.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Технологія машинобудування”

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ І ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОПЕРЕМІШУВАННЯ СИПУЧОГО СЕРЕДОВИЩА

© Афтаназів І.С., Баранецька О.Р., Волошкевич П.П., Кирилів Я.Б., Криницький І.І., 2000

Наведені результати експериментальних досліджень динаміки сипучого середовища під час віброперемішування сумішей сипучих матеріалів, подано рекомендації щодо вибору оптимальних технологічних і конструктивних параметрів приготування сумішей із застосуванням низькочастотних вібрацій.

The outcomes of experimental researches speakers of the loose environment are reduced at vibrational intermixing of mixtures of loose materials. The guidelines are sent at the choice of optimal technological and design parameters to preparation of mixtures with usage of low-frequency vibrations.

У переважаючій більшості технологічні операції, які базуються на використанні низькочастотних вібрацій, здійснюються у пружно встановлених на рамі коливних контейнерах V-подібного чи круглого поперечного перерізів. Типовими представниками цих операцій є зачисні, або як їх інколи називають, оздоблювально-викінчувальні, зміцнювальні та віброперемішування, яке має за мету змішування компонентів (складників) сумішей сипучих матеріалів (ССМ). І якщо зміцнювальні та зачисні операції мають доволі широке промислове застосування; використання вібрацій для приготування сумішей в умовах виробництва, не зважаючи на універсальність і широкі технологічні можливості цього методу; має доволі обмежене розповсюдження. На наш погляд, основна причина обмеженого промислового використання технології віброперемішування полягає у недостатньому вивченні динаміки сипучого середовища у віброуючому контейнері, в невмінні вибрати оптимальні технологічні параметри під час змішування сумішей різноманітних груп якості, у відсутності рекомендацій щодо організації максимально корисних, тобто оптимальних, законів руху часток сипучих матеріалів.

Дійсно, для оздоблювально-викінчувальних і зміцнювальних операцій цілком достатнім є звичне вібропереміщення середовища у віброуючому контейнері, оскільки продуктивність та якість віброобробки в них зумовлені енергетичними параметрами руху і взаємних переміщень оброблювальних деталей і гранул наповнювача. У цьому разі саме енергія співударянь гранул із деталями регламентується основними технологічними параметрами, тобто амплітудою і частотою вібрацій, а швидкість і характер переміщень середовища в контейнері мають другорядне значення.

На противагу цьому, в технологічних процесах перемішування ССМ із використанням низькочастотних вібрацій саме швидкості відносних переміщень часток складників суміші, характер їх руху є визначальним з погляду продуктивності перемішування та якості готового продукту. Очевидно, саме підхід до операцій змішування ССМ із використанням низькочастотних вібрацій як до звичних процесів віброоброблювання і не дозволяє повною мірою розкрити широкі можливості цього універсального і високопродуктивного методу приготування сумішей сипучих матеріалів. Певною мірою доказом цьому є аналіз характеру рухів сипучого середовища у віброуючих контейнерах під час здійснення трьох вищеназваних технологічних операцій.

Як правило, незалежно від форми поперечного перерізу контейнера, яку обирають з умов побудови технологічного процесу V-подібною чи круглою та конструкції контейнера, яку призначають залежно від можливості і потреб механізації та автоматизації процесу прямолінійною чи спіралеподібною, завантаження контейнера здійснюють на 0,65-0,85 його об'єму і за рахунок вібрацій середовищу надають рух вздовж стінки контейнера (інколи просторових переміщень вздовж стінки і твірної). При цьому безпосередньо імпульс на просторові переміщення часткам (гранулам) середовища надає лише частина внутрішньої поверхні контейнера – приблизно 25-30 % від його внутрішньої “активної” площі, так звана “привідна” ділянка поверхні контейнера (рис.1,а,б). Як правило, при цьому незалежно від амплітуди та траєкторії коливань контейнера активні переміщення часток середовища відбуваються лише вздовж привідної ділянки поверхні (на рис. 1 вказано стрілками), а основна маса сипучого середовища (до 80-85% його об'єму) за рахунок дисипації ним енергії, тобто її поглинання, здійснює повільні просторові переміщення, котрі вельми нагадують повільний рух пересипання середовища у обертових барабанах. І

якщо для зачищувальних чи зміцнювальних вібротехнологій це явище не має вагомих негативних наслідків, оскільки вільно розміщені у наповнювачі оброблювані деталі в певні проміжки часу їх обробки “заносяться” середовищем в зону активного переміщення його часток (гранул), де і відбувається інтенсивне їх оброблювання, то під час віброперемішування такий характер рухів часток суміші, що підлягає перемішуванню, не забезпечує ні високої продуктивності, ні, що особливо вагово, належної якості. До того ж у переважачій більшості вібротехнологій оброблювання проводять із використанням наповнювачами твердих абразивних гранул (оздоблювально-викінчувальні операції) чи сталевих загартованих кульок (зміцнювальні операції). В обох цих випадках завдяки значним пружним властивостям гранул наповнювача енергія від коливної стінки якщо і поглинається за рахунок взаємного тертя гранул між собою, то незначною мірою (в межах 5-10 %).

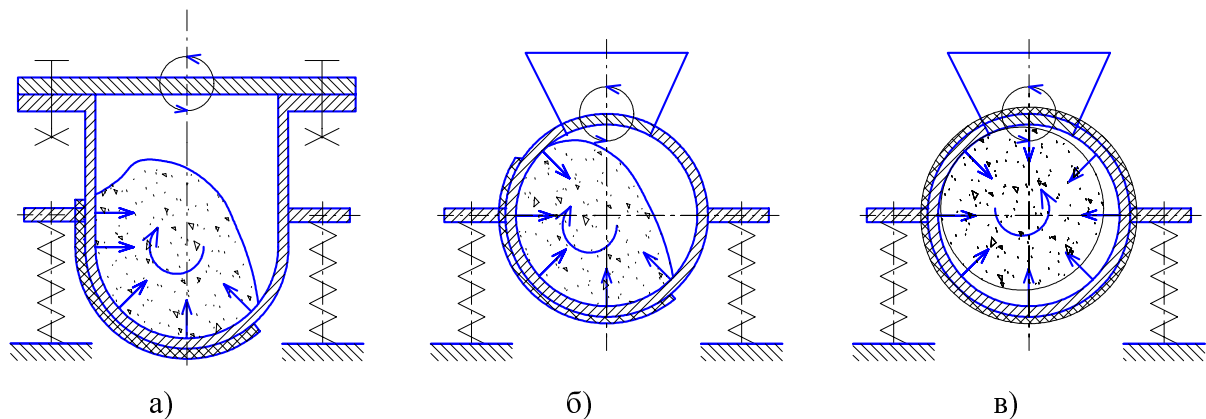


Рис. 1. Поперечні перерізи контейнерів V-подібної і круглої форми віброзмішувачів ССМ.

Під час віброперемішування сумішей сипучих матеріалів, окремі частки складників яких є, як правило, неправильної форми та із незначною питомою вагою поглинання енергії, що передається від коливної стінки завантаженому в контейнер середовищу, тобто її дисипація сягає доволі високих значень (до 50%). Тому збільшення амплітуди коливань контейнера під час віброперемішування, як правило, не забезпечує пропорційного йому зростання інтенсивності переміщень часток складників суміші. Бо хоч і зростає при цьому швидкість відносних переміщень часток суміші безпосередньо біля привідної стінки контейнера вже за декілька шарів вглиб контейнера в напрямку до його геометричної осі через дисипацію енергії це зростання зводиться нанівець. Спроби інтенсифікувати рух часток суміші під час віброперемішування за рахунок збільшення частоти коливань контейнера не дають бажаного результату, оскільки практично незмінною при цьому залишається площа привідної ділянки контейнера. Звичайно ж, під час збільшення частоти коливань все більша кількість часток суміші в одиницю часу потрапляє в зону активних переміщень, що в остаточному результаті скорочує тривалість приготування суміші. Однак рух основної маси в контейнері через високу дисипацію енергії частками суміші залишається повільним і малоінтенсивним. До того ж збільшення частот коливань не тільки ускладнює конструкцію віброперемішувачів, нарощує непродуктивні затрати енергії, а і суттєво погіршує санітарно-гігієнічні умови праці обслуговуючого персоналу.

Певною мірою інтенсифікувати віброперемішування вдається за рахунок використання розташованих у контейнері екранів-вставок різноманітної форми, які збільшують привідну площу контейнера.[1] Однак повного вирішення проблеми це не дає

через те, що в цілому все через ту ж дисипацію енергії характер руху сипучого середовища залишається повільним.

Складність вирішення цієї проблеми, очевидно, і є причиною обмеженого використання вібрації, особливо для приготування сумішей високої і надвисокої груп якості [2]. Проведений аналіз показує, що основна суть вирішення проблеми полягає у двох аспектах; насамперед – у максимальному нарощенні привідної внутрішньої поверхні контейнера, по-друге, у забезпеченні високих інтенсивності та швидкостей руху часток складників суміші по всій площі поперечного перерізу контейнера.

З метою дослідження технологічних можливостей вібрацій під час змішування сумішей сипучих матеріалів, оптимізації технологічних і конструктивних параметрів проведено низку експериментальних досліджень динаміки сипучого середовища у віброуючому контейнері круглого поперечного перерізу. Дослідження проводили в циліндричному контейнері з круговою траєкторією коливань у площині, перпендикулярній до його геометричної осі, амплітуду яких дискретно через 0,5 мм змінювали в діапазоні від нуля до $A=10$ мм. Частота коливань становила 24 Гц. Сипучим середовищем використовували суміш із гранул полістиролу неправильної форми розміром 1-1,5 мм (70% від об'єму завантаження), таких же гранул діаметром 5-6 мм контрастного забарвлення (15-20%) та сталевих загартованих кульок $\varnothing 5-6$ мм (10-15%) відмінної від основної маси питомої ваги. Інтенсивність перемішування складників суміші оцінювали за лінійною швидкістю переміщень окремих часток (гранул), яку виміряли як переміщення частки в просторі (за градуванням на прозорій стінці контейнера) в одиницю часу, та круговій частоті обертання сипучого середовища у контейнері, яку оцінювали за частотою обертання зірочки-індикатора, вільно розміщеної з можливістю обертання по геометричній осі контейнера. Оцінку якості віброперемішування, під якою розуміли рівномірність розподілу гранул різних розмірів і питомої ваги в одиниці об'єму, здійснювали відбором проб (по 5 см³ кожна), які брали по трьох рівнях поздовжнього перерізу контейнера у вертикальній його площині симетрії (біля днища, на рівні геометричної осі та на верхній кромці рівня завантаження) у трьох поперечних перерізах контейнера (біля правої та лівої стінок і на площині симетрії). Тривалість перемішування визначали хронометруванням цього процесу, причому за оптимальний час перемішування приймали мінімальний час, впродовж якого забезпечується передбачена технічними умовами на готову суміш якість у всіх дев'яти вищевказаних ділянках забору проб.

Програма досліджень передбачала визначення

- впливу обсягу завантаження на інтенсивність, тривалість та якість віброперемішування;
- впливу амплітуди коливань контейнера на інтенсивність, тривалість та якість віброперемішування;
- оптимальних конструктивних та технологічних параметрів вібраційно-відцентрового перемішування сумішей сипучих матеріалів,

На першому етапі в діапазоні від 0,25 до 0,95 з інтервалом 0,05 змінювали значення коефіцієнта завантаження складників суміші, під яким розумілося співвідношення обсягу завантаженої в контейнер суміші $V_{зав}$ до внутрішнього об'єму контейнера V_k , тобто $C = V_{зав} / V_k$. Дослідження проводили при амплітуді коливань контейнера $A = 4$ мм, яка є найчастіше рекомендованою для традиційних віброзмішувальних процесів. Встановлено,

що в міру зростання коефіцієнта завантаження до $C=0,5-0,55$ інтенсивність віброперемішування плавно наростає, про що свідчить рівномірне збільшення швидкості відносних переміщень часток суміші від 0,13 м/с до 0,2 м/с. Максимального і доволі стабільного значення інтенсивність віброперемішування досягає в діапазоні $0,55 \leq C \leq 0,85$. При цьому швидкість руху окремих часток становить 0,3 м/с, середовище рівномірно переміщується по всій периферії поверхні контейнера, однак, інтенсивність перемішування на периферії середовища, особливо вздовж привідної ділянки стінки контейнера, перевищує інтенсивність у центральній (вздовж осі контейнера) частині. Внаслідок цього тривалість якісного віброперемішування одиничної порції заправки як і при малих значеннях коефіцієнта завантаження ($C=0,25-0,3$), так і при $C=0,8-0,85$ залишається практично однаковою і становить для цієї суміші –25 ... 30 хв..

У діапазоні завантаження $C > 0,85$, особливо в міру наближення до $C = 1$, очевидно через зменшення вільного простору для переміщень часток складників суміші, зростання дисипації енергії різко зменшується інтенсивність просторових переміщень часток суміші. Якісне приготування суміші через значне збільшення тривалості перемішування практично унеможлиблюється.

Під час дослідження впливу амплітуди коливань на показники віброперемішування експериментальні дослідження проводили при різноманітних значеннях коефіцієнта завантаження контейнера ($0,25 \leq C \leq 0,95$), змінюючи з інтервалом 0,5мм амплітуду коливань контейнера в діапазоні $0 < A \leq 10$ мм. Встановлено, що в міру наростання амплітуди коливань контейнера в доволі широкому діапазоні значень коефіцієнта завантаження ($0,25 \leq C \leq 0,80$), суттєво змінюються не тільки швидкість просторових переміщень часток складників суміші та тривалість перемішування, а і характер рухів середовища у вібруючому контейнері. Так, під час збільшення амплітуди коливань від 0 до 5,5 мм рівномірно зростає швидкість (особливо по периферії контейнера) і зменшується тривалість якісного віброперемішування. Напрямок переміщень суміші в контейнері при цьому протилежний напрямкові коливань контейнера. Під час подальшого збільшення амплітуди коливань в діапазоні $5,5 < A \leq 7$ мм характер руху середовища в контейнері стає хаотичним, неупорядкованим, чимось нагадуючи Броунівський рух молекул. Направлений рух завантаженої в контейнер маси сипучого середовища за чи проти напрямку коливань контейнера при цьому відсутній, перемішування часток складників суміші між собою практично не відбувається.

На рис. 2 зображено графік зміни амплітуди коливань контейнера A перехідного режиму від значень коефіцієнта завантаження контейнера C . Під перехідним у цьому випадку розуміють режим, за якого щезає звичне віброперемішування, але ще не самозбурюється обкочувальний рух. Яскравим проявом перехідного режиму є відсутність направленої кругової переміщення складників суміші у вібруючому контейнері, тобто рівність нулю кругової частоти обертового руху сипучого середовища навколо геометричної осі контейнера. Як видно з графіка, залежність $A = f(C)$ має яскраво виражений параболічний характер з екстремумом при $C = 0,4$. Збільшення амплітуди A перехідного режиму в міру наростання значення $C > 0,45$ черговий раз підтверджує вагомість впливу дисипації енергії сипучим середовищем під час його віброперемішування.

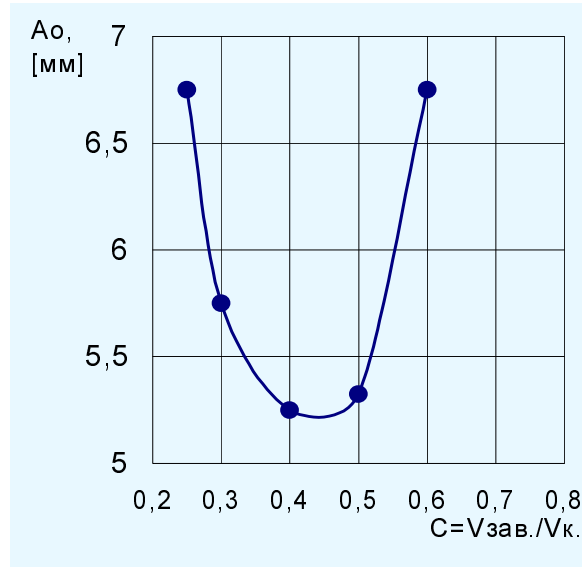


Рис. 2. Графік залежності амплітуди переходного режиму A_0 від значення коефіцієнта завантаження C складників суміші.

Чергове збільшення амплітуди коливань контейнера ($A > 7$ мм) призводить до контрастної зміни характеру руху завантаженого в нього сипучого середовища – при $0,63 \leq C \leq 0,76$ самовстановлюється стійкий обкочувальний рух сипучого середовища у коливному контейнері. При цьому за кожен період коливання контейнера маса розташованого в ньому сипучого середовища по чергово вступає у контакт із кожною з точок його внутрішньої поверхні, тобто обкочується по ньому, повернувшись на початок наступного періоду коливання у вихідну точку. Сипуче середовище у контейнері мов би формується у аморфну циліндричну поверхню діаметром D_0 (див. табл. 3), яка здійснює обкочувальний рух по внутрішній поверхні контейнера. При цьому змінюється на протилежний напрямок обертання маси сипучого середовища навколо геометричної осі контейнера, що яскраво свідчить про зміну характеру дії сил на сипуче середовище.

Відомо, що циліндричні тіла, будучи розміщеними в аналогічній їм циліндричній поверхні, за відповідних умов коливання осі так званого “привідного” тіла, тобто зовнішнього циліндра, вступають у режим вібраційного підтримування обертового руху, який супроводжується обкаткою внутрішнього циліндра по внутрішній поверхні зовнішнього циліндра. Це явище відоме в техніці під назвою “вібраційне підтримування обертання тіла при гармонійних коливаннях його осі” і доволі широко використовується у конічних вібраційних дробарках, вібраційно-відцентровій зміцнювальній обробці, у планетарних вібраторах. [3] Саме з таким явищем вібраційного підтримування обертового руху, але не твердого, а аморфного тіла, ми і маємо справу в цьому випадку.

Характерною ознакою цього обкочувального руху є прояв впливу на обкатну масу відцентрових та інерційних сил, які на першому етапі протидіють силам інерції на переміщення часток суміші в режимі віброперемішування (так званий перехідний режим), а надалі, переважаючи їх, самозбурюють режим обкочувального руху сипучого середовища по віброуючій поверхні контейнера. Більше того, обкочувальний рух сипучого середовища супроводжується сталим контактом “дія – протидія” між стінкою контейнера і безпосередньо частками середовища, надаючи їм, часткам, радіального переміщення (рис. 1, в). А саме воно, радіальне переміщення часток по всій площині поперечного перерізу маси

суміші в супроводі із значною круговою частотою руху сприяє активному переміщенню часток складників, тобто інтенсивному їх перемішуванню. Внаслідок цього підвищується якість приготованих сумішей, різко зменшується тривалість їх перемішування.

Специфіка характеру переміщень маси сипучого середовища, його обкочувальний рух у контейнері круглого поперечного перерізу при гармонійних коливаннях осі, значна інтенсифікація при цьому швидкостей і переміщень часток складників суміші, чітко означені межі самовстановлення і стійкого підтримування обкочувального руху дають підставу для ствердження про існування принципово незалежного і відмінного від звичного режиму вібропереміщень руху у коливному контейнері. Враховуючи особливість реалізуючих його рухів і сил метод названо “вібраційно-відцентровим перемішуванням сумішей (ВВПС)” і його можна означити як метод дискретного чи неперервного перемішування сумішей сипучих матеріалів у вібруючому контейнері замкнутого круглого чи наближеного до круглого поперечного перерізу під час самовстановлення і стійкого підтримування внаслідок дії відцентрової сили обкочувального руху сипучого середовища дотриманням обумовлених параметрів вібрацій і співвідношень обсягу завантаження складників суміші до робочого об’єму контейнера.

Поряд з тим було зауважено, що режим повного обкочування сипучого середовища по внутрішній поверхні контейнера, коли всі точки довжини кола внутрішньої поверхні контейнера почергово взаємодіють із середовищем, відбувається лише при значеннях коефіцієнта завантаження в межах $0,63 \leq C < 0,80$. При значеннях коефіцієнта завантаження $C < 0,63$ обкатний рух є неповним, тобто обкатка середовищем здійснюється до певної точки (точки відриву) на довжині кола внутрішньої поверхні контейнера, далі сипуче середовище віддаляється від поверхні контейнера, вільно рухається в просторі, переміщаючись поперек контейнера до контакту із протилежно розташованою точці відриву точкою зустрічі. Точки відриву і зустрічі симетричні поздовжній площині симетрії контейнера і розміщені на однаковій висоті, яка залежить від значення коефіцієнта завантаження C і збільшується із його зростанням. Після контакту сипучого середовища з поверхнею контейнера продовжується його обкатний рух.

Треба відмітити, що незалежно від амплітуди коливань контейнера обкатний рух сипучого середовища в ньому самозбурюється і стабільно підтримується тільки до певного значення коефіцієнта завантаження контейнера C . Для суміші верхня межа обкочувального руху сипучого середовища незалежно від значень амплітуди коливань наближається до 0,8. Подальше збільшення обсягу завантаження навіть при $A=10$ мм, очевидно через відсутність вільного простору для забезпечення обкатаного руху, відновлює режим звичного віброперемішування.

Дані експериментальних досліджень наведені в таблицях.

Вплив коефіцієнта завантаження на швидкість руху часток сипучого середовища у віброуючому контейнері

№ п/п	Значення коефіцієнта завантаження $C = \frac{V_{\text{зав.}}}{V_{\text{к}}}$	Швидкість руху часток сипучого середовища					
		Режим звичного віброперемішування ($A \leq 5$ мм)			Вібраційно-відцентрове перемішування суміші ($A \geq 7$ мм)		
		Лінійна швидкість руху часток, м/с		Кругова частота руху середовища, об/хв	Лінійна швидкість руху часток, м/с		Кругова частота руху середовища, об/хв
		На периферії (біля стілки контейнера)	У центральній частині контейнера		На периферії (біля стілки контейнера)	У центральній частині контейнера	
1	0,25	0,13	0,06	2,61	0,35	0,25	3,5
2	0,3	0,15	0,08	3,74	0,36	0,28	7,4
3	0,4	0,17	0,1	4,42	0,38	0,3	12,7
4	0,5	0,20	0,14	7,48	0,4	0,31	14,3
5	0,55	0,23	0,17	7,55	0,43	0,32	15,2
6	0,6	0,27	0,19	7,84	0,46	0,33	16,7
7	0,65	0,3	0,2	8,0	0,5	0,35	17,0
8	0,7	0,31	0,2	9,7	0,5	0,35	17,0
9	0,75	0,33	0,2	9,7	0,5	0,35	17,0
10	0,8	0,35	0,22	13,8	---	---	---

**Вплив амплітуди коливань на швидкість руху часток сипучого середовища у віброуючому контейнері
(коефіцієнт завантаження $C=0,75$)**

№ п/п	Амплітуда коливань контейнера, мм	Швидкість руху сипучого середовища				Характер руху сипучого середовища
		Лінійна швидкість руху часток сипучого середовища, м/с			Кругова частота руху середовища, об/хв.	
		На периферії (біля стілки контейнера)	У середній частині контейнера	У центральній частині контейнера		
1	1	0,1	0,08	0,03	2,2	віброперемішування
2	2	0,15	0,1	0,07	5,4	віброперемішування
3	3	0,25	0,2	0,16	6,2	віброперемішування
4	4	0,3	0,23	0,18	10,1	віброперемішування
5	5	0,33	0,25	0,21	11,2	віброперемішування
6	6	0,15	0,1	---	---	хаотичний
7	6,5	0,17	0,11	---	---	хаотичний
8	7	0,46	0,40	0,35	16,7	віброобкатування
9	8	0,5	0,45	0,35	17,0	віброобкатування
10	9	0,5	0,45	0,35	17,1	віброобкатування
11	10	0,5	0,45	0,35	17,2	віброобкатування

Таблиця 3

Умови самозбурення і стійкого підтримування обкочувального руху сипучого середовища у віброуючому контейнері

№ п/п	Значення коефіцієнта завантаження $C = \frac{V_{\text{зав.}}}{V_{\text{к}}}$	Різниця діаметра контейнера і висоти завантаженої у ньому суміші, мм	Умовний діаметр обкочувального циліндра D_0 , мм	Ексцентриситет, мм $b = \frac{D - D_0}{2}$	Амплітуда, мм		Кругова частота обкатного руху середовища, об./хв.	Характер обкатки середовища (повна- неповна)
					перехідного режиму від віброперемішуван ня до обкатного руху.	самозбурення обкатного руху		
1	0,25	140	100,0	50,0	6,75	7,0	3,5	неповна
2	0,30	130	109,54	45,23	5,75	5,8	7,5	неповна
3	0,40	113	126,49	36,755	5,25	5,35	13,0	неповна
4	0,50	100	141,42	29,29	5,5	5,6	14,5	неповна
5	0,55	94	148,32	25,84	5,75	5,8	15,5	неповна
6	0,60	87	154,92	22,54	6,0	6,1	16,8	неповна
7	0,65	79	159,0	20,5	6,25	6,3	17,0	повна
8	0,70	70	167,33	16,335	6,50	6,55	17,0	повна
9	0,75	60	174,0	13,0	6,75	6,8	17,0	повна
10	0,80	54	178,9	10,55	---	---	---	відсутня
11	0,90	35	189,74	5,13	---	---	---	відсутня
12	0,95	24	194,9	2,55	---	---	---	відсутня

У табл. 1 подано результати досліджень впливу коефіцієнта завантаження контейнера, а в табл. 2 – амплітуди його коливань на швидкість руху часток сипучого середовища у вібруючому контейнері. У табл. 3 відображені умови самозбурення і стійкого підтримування обкочувального руху сипучого середовища у вібруючому контейнері і заштрихованою смугою виділено оптимальні з погляду максимальної продуктивності якісного перемішування режими. Тут подано значення різниці діаметра контейнера і висоти завантаженої в нього суміші, умовного діаметра обкочувального циліндра і його ексцентриситет, які в сумі із значенням коефіцієнта завантаження дають змогу обрати оптимальні конструктивні параметри вібраційного змішувального обладнання, а наведені значення амплітуди коливань контейнера і забезпечуваної нею інтенсивності просторових переміщень часток сипучого середовища (кругова швидкість руху середовища в контейнері) – дозволяють призначити оптимальні технологічні параметри процесу.

Поряд з тим було зауважено, що в межах стабільного обкочувального руху сипучого середовища ($0,63 \leq C < 0,80$) зміна амплітуди коливань контейнера за значенням амплітуди його самозбурення не впливає на інтенсивність та швидкість просторових переміщень часток складників суміші і тривалість якісного перемішування.

Отже, експериментально встановлено, що наявність декількох режимів рухів сипучого середовища у вібруючому контейнері в міру наростання амплітуди його коливань. А саме:

- режим звичного віброперемішування при $A \leq 5,5$ мм;
- перехідний режим, який супроводжується хаотичним неупорядкованим рухом часток складників суміші і залежно від зміни значень коефіцієнта завантаження існує в діапазоні $5,5 \leq A \leq 7$;
- режим вібраційно-відцентрового перемішування суміші, який супроводжується обкочувальним рухом сипучого середовища по внутрішній поверхні контейнера, самозбурюється і стабільно підтримується при $A > 7$.

Вказані режими рухів сипучого середовища суттєво різняться між собою за швидкістю і напрямком рухів часток складників та тривалістю якісного перемішування суміші.

2. Під час будь-якого із режимів рухів сипучого середовища максимальні швидкості переміщень часток складників та продуктивність перемішування забезпечуються в діапазоні значень коефіцієнта завантаження $0,65 \leq C \leq 0,80$.

3. Швидкість руху часток складників суміші при ВВПС на 20 ... 25 % перевищує швидкість при звичному віброперемішуванні. До того ж вона є практично однаково високою по всій площі поперечного перерізу контейнера, що в результаті забезпечує підвищення на 50 % продуктивності віброзмішувальної операції.

Однак треба відмітити, що умови самозбурення і стійкого підтримування ВВПС значною мірою залежать від питомої ваги суміші та її здатності до дисипації енергії, що висуває потребу в експериментальному їх уточненні під час встановлення технологічних параметрів віброзмішування тої чи іншої суміші.

1. *Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей. М., 1974.* 2. *Афтаназів І.С., Баранецька О.Р. Методика вибору оптимальних технологій і обладнання при змішуванні сипучих матеріалів. Вісник ДУ "Львівська політехніка". 1999. № 371. С.14-21.* 3. *Блехман И.И. Синхронизация динамических систем. М., 1971.*

УДК 621.9.048.6