

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2306-8744

# Вібрації в техніці та технологіях





## Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович

Відомий вчений Ростислав Дмитрович Іскович-Лотоцький сформував наукову школу «Машини вібраційної та віброударної дії», визнану в Україні та за кордоном.

Народився 6 червня 1947 р. у м. Чернівці, де закінчив СШ № 35 у 1965 р. В 1970 р. отримав диплом з відзнакою інженера-механіка Київського політехнічного інституту. Трудовий шлях почав у Вінницькому національному технічному університеті, в якому пропрацював майже 50 років. Спочатку інженером-конструктором, згодом — асистентом кафедри металорізальних верстатів та інструментів. З 1976 р. — старший викладач, з 1977 р. — доцент кафедри. У 1988–1993 рр. — професор і завідувач кафедри проектування обладнання автоматизованих виробництв.

З 1993 р. обіймає посаду завідувача кафедри металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих виробництв (з 2016 р. — кафедра галузевого машинобудування). Кафедра проводить підготовку інженерів-конструкторів для різних галузей машинобудування. Як результат, випускники факультету працюють на провідних підприємствах країни.

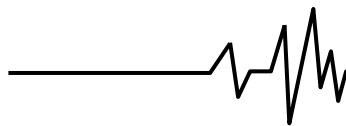
З 1974 р. — кандидат технічних наук, з 1987 р. — доктор технічних наук. Обидва захисти відбулися у спецраді Московського вищого технічного училища ім. М. Баумана. Докторська дисертація «Основи теорії розрахунку і розробка процесів і обладнання для віброударного пресування заготовок виробів із порошкових матеріалів», згодом стала основою для створення наукової школи.

Нині Ростислав Дмитрович здійснює науково-дослідну та конструкторську роботу з теорії розрахунку і розробки вібраційних процесів та обладнання з гідроімпульсним приводом, виробництва енергоносіїв із органічних відходів з використанням технологій фазового розділення, піролізу та газо- і парогенерації. В результаті розроблені: нові конструкції установок віброабразивної обробки та поверхневого шару металевих виробів. Розроблені теоретичні основи процесів високотемпературного розкладання і окислення токсичних компонентів відходів з подальшим очищенням викидів та ефективним використанням теплової енергії.

Він є автором понад 500 наукових праць (монографій, навчальних посібників, статей, патентів та авторських свідоцтв) основні з яких: «Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування» (2006), «Вібраційні та віброударні процеси і машини у ливарному виробництві» (2007), «Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин» (у співавторстві, 2008), «Вібраційні та віброударні пристрої для розвантаження транспортних засобів» (2012) та навчальні посібники «Приводи автоматизованого устаткування» (2002), «Обладнання та транспорт механообробних цехів» (2006), «Зубо- та різьбооброблювальні металорізальні верстати» (2008), «Системи автоматизованого проектування устаткування автоматизованого виробництва. Практикум. Самостійна та індивідуальна робота студентів» (2012), підручник «Історія інженерної діяльності» (2003). Співавтор Енциклопедії Машинобудування «Машини і обладнання кузнечно-штамповочного і литейного виробництва» Т.IV-4, 2005.

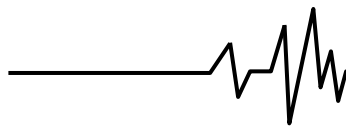
Серед виробничих впроваджень та наукових розробок: вібраційний високочастотний пристрій для розвантаження і очищення кузовів автомобілів-самоскидів, установка з отримання металевих порошоків, установка для утилізації відходів, які широко використовуються у різних галузях.

**Редакційна колегія**

**ВІБРАЦІЇ В  
ТЕХНІЦІ ТА  
ТЕХНОЛОГІЯХ**Журнал науково-виробничого та навчального спрямування  
Видавець: Вінницький національний аграрний університетЗаснований у 1994 році під назвою "Вібрації в техніці та технологіях"  
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації  
КВ № 16643-5115 ПР від 30.04.2010 р.**Всеукраїнський науково-технічний журнал "Вібрації в техніці та технологіях" / Редколегія:**  
**Котов Б. І. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2017. – 2 (85) – 128 с.****Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету**  
**(протокол № 12 від 16. 06. 2017 р.)****Періодичне видання включено до Переліку наукових фахових видань України, що затверджений**  
**наказом Міністерства освіти і науки України від 21.12.2015 р. № 1328; індексується у міжнародній**  
**наукометричній базі даних Index Copernicus****Головний редактор****Котов Б.І.** – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет**Заступники головного редактора****Іскович-Лотоцький Р.Д.** – д.т.н., проф., Вінницький національний технічний університет  
**Ловейкін В.С.** – д.т.н., проф., Національний університет біоресурсів і природокористування України**Відповідальний секретар****Солоня О.В.** – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет**Члени редакційної колегії****Адамчук В.В.** – д.т.н., проф., акад. НААН, Національний науковий центр "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства"**Анісімов В.Ф.** – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет**Афтаназів І.С.** – д.т.н., проф., Національний університет "Львівська політехніка"**Бобир М.І.** – д.т.н., проф., Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**Булгаков В.М.** – д.т.н., проф., акад. НААН, Національний університет біоресурсів і природокористування України**Веселовська Н.Р.** – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет**Войтюк Д.Г.** – к.т.н., проф., чл.-кор. НААН, Національний університет біоресурсів і природокористування України**Джемелінський В.В.** – к.т.н., проф., Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**Дирда В.І.** – д.т.н., проф., Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова НАН України**Дудніков А.А.** – к.т.н., проф., Полтавська державна аграрна академія**Заєць Я.В.** – д.т.н., проф., Національний університет харчових технологій**Зінковський А.П.** – д.т.н., проф., Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України**Костогриз С.Г.** – д.т.н., проф., Хмельницький національний університет**Кузьо І.В.** – д.т.н., проф., Національний університет "Львівська політехніка"**Кушнар'єв А.С.** – д.т.н., проф., чл.-кор. НААН, Таврійський державний агротехнологічний університет**Мазоренко Д.І.** – к.т.н., проф., чл.-кор. НААН, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка**Матеев В.В.** – д.ф.-м.н., проф., акад. НААН, Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України**Матвійчук В.А.** – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет**Надутьий В.П.** – д.т.н., проф., Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова НАН України**Назаренко І.І.** – д.т.н., проф., Київський національний університет будівництва і архітектури**Ольшанський В.П.** – д.ф.-м.н., проф., Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка**Паламарчук І.П.** – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет**Ройзман В.П.** – д.т.н., проф., Хмельницький національний університет**Сілін Р.І.** – д.т.н., проф., Хмельницький національний університет**Струтинський В.Б.** – д.т.н., проф., Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**Шульженко М.Г.** – д.т.н., проф., Харківська національна академія міського господарства**Цуркан О.В.** – к.т.н. доц., Вінницький національний аграрний університет**Франчук В.П.** – д.т.н., проф., Державний ВНЗ "Національний гірничий університет"**Ярошевич М.П.** – д.т.н., проф., Луцький національний технічний університет**Ярошенко Л.В.** – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет**Зарубіжні члени редакційної колегії****Бабічев А.П.** – д.т.н., проф., чл.-кор. РАН, Донський державний технічний університет (м. Ростов-на-Дону, Росія)**Блехман І.І.** – д.т.н., проф., акад. РАН, Інститут проблем машинознавства РАН (м. Санкт-Петербург, Росія)**Копилов Ю.Р.** – д.т.н., проф., Воронежський державний технічний університет (м. Воронеж, Росія)**Серга Г.В.** – д.т.н., проф., Кубанський державний аграрний університет (м. Краснодар, Росія)**Субач А.П.** – д.т.н., проф., Ризький технічний університет, (м. Рига, Латвія)**Віба Янес** – д.т.н., проф., Ризький технічний університет (м. Рига, Латвія)**Войнаровський Юзеф** – д.т.н., проф., Силезький політехнічний інститут (м. Глівіце, Польща)**Яцун С.Ф.** – д.т.н., проф., Курський державний технічний університет (м. Курськ, Росія)Технічний редактор **Кудратова М.В.**

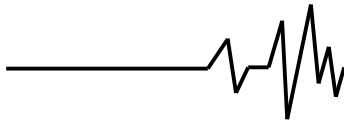
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет, тел. 46– 00– 03

Сайт журналу: <http://vibrojournal.vsau.org/>Електронна адреса: [vibrojournal@gmail.com](mailto:vibrojournal@gmail.com)



## З М І С Т

<b>I. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН</b>	
<i>Кірієнко О. А.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ХВИЛЕВОДУ ДЛЯ ПРОКЛАДАННЯ ТРУБ НЕВЕЛИКОЇ ДОВЖИНИ МЕТОДОМ ВІБРОПРОКОЛУ В ЗВУКОРЕЗОНАНСНИХ РЕЖИМАХ.....	5
<i>Котов Б. І., Спірін А. В., Степаненко С. П.</i> ДО ТЕОРІЇ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОСІЮВАННЯ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ У ВІБРОРЕШІТНИХ СЕПАРАТОРАХ.....	9
<i>Надутый В. П., Сухарев В. В., Костыря С. В.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНХРОННОГО ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....	16
<i>Ольшанський В. П., Бурлака В. В., Сліпченко М. В., Малець О. М.</i> ПРО РУХ ШАРУ ЗЕРНОСУМІШІ НА ПЛОСКОМУ ВІБРОРЕШЕТІ.....	20
<i>Рахманов С. Р., Вышинский В. Т., Морозова Л. А.</i> ДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛАВНОЙ СИЛОВОЙ ЛИНИИ СТАНА ХПТ.....	28
<b>II. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА</b>	
<i>Іванов М. І., Переяславський О. М., Шаргородський С. А., Ковальова І. М.</i> СИЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНІЗМУ РЕГУЛЮВАННЯ КУТА НАХИЛУ ПОХИЛОГО ДИСКА РЕГУЛЬОВАНОГО АКСІАЛЬНОГО РОТОРНОПОРШНЕВОГО НАСОСА.....	37
<i>Іскович-Лотоцький Р. Д., Веселовська Н. Р., Зелінська О. В., Веселовський Я. П.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ ІНЕРЦІЙНОГО ВІБРОПРЕС-МОЛОТА З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ.....	43
<i>Сивак Р. І.</i> НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ ПЛАСТИЧНОМУ ДЕФОРМУВАННІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ.....	47
<i>Веселовська Н. Р., Турич В. В., Руткевич В. С.</i> КОНТАКТНА ВЗАЄМОДІЯ ІНСТРУМЕНТА З ДЕТАЛЛЮ У ПРОЦЕСАХ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ З УЛЬТРАЗВУКОМ.....	51
<i>Шатохин В. М.</i> ГЛОБАЛЬНО СХОДЯЩИЙСЯ АЛГОРИТМ РЕШЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ УРАВНЕНІЙ УСТАНОВИВШИХСЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЯХ МАШИННЫХ АГРЕГАТОВ.....	59
<i>Ярошенко Л. В., Чубик Р. В., Зрайло Н. М.</i> КЕРОВАНІЙ СИМЕТРИЧНИЙ ДЕБАЛАНСНИЙ ВІБРОПРИВОД ДЛЯ ПРОТЯЖНИХ ВІБРОМАШИН.....	70
<i>Біліченко В. В., Романюк О. Н., Яцковський В. І., Борисюк Д. В.</i> АНАЛОГО-ЦИФРОВЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВІБРОАКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ.....	78
<b>III. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА</b>	
<i>Зав'ялов В. Л., Мисюра Т. Г., Попова Н. В., Запорожець Ю. В., Деканський В. Є.</i> РОЗРОБЛЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНОЇ ВІБРОЕКСТРАКЦІЙНОЇ АПАРАТУРИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ.....	81
<i>Калініченко Р. А., Солоня О. В., Твердохліб І. В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНО-КОНВЕКТИВНОЇ ТЕРМООБРОБКИ ЗЕРНА У ВІБРОКИПЛЯЧОМУ ШАРІ.....	95
<i>Котов Б. І., Деревенько І. А., Степаненко С. П.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА СТУПІНЧАСТО-КОНІЧНОМУ РЕШЕТІ ВІБРОВІДЦЕНТРОВИХ МАШИН.....	99
<i>Цуркан О. В., Величко Л. Д., Присяжнюк Д. В.</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВІБРАЦІЙНОЇ СУШАРКИ З МАЯТНИКОВИМИ МЕХАНІЗМАМИ ВІЛЬНОГО ХОДУ.....	103
<b>IV. ДУМКА МОЛОДОГО ВЧЕНОГО</b>	
<i>Михальова Ю. О.</i> ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ КРИТЕРІЇВ ВІБРОЛОПАТЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДІЇ.....	114
<i>Омельянов О. М.</i> АНАЛІЗ ПРИВОДНИХ МЕХАНІЗМІВ СЕПАРАТОРА КОМБІКОРМІВ.....	121

**IV. ДУМКА МОЛОДОГО ВЧЕНОГО**

Михальова Ю. О.\*

Вінницький  
національний аграрний  
університет

Mikhalova Yu. O.

Vinnitsia National  
Agrarian University

УДК:001.8:621.929.2

**ОБҐРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ  
КРИТЕРІЇВ ВІБРОЛОПАТЕВОЇ  
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДІЇ**

В статті проведено аналіз основних методик оцінки визначення однорідності сипкої суміші за вібролопатевої дії, в результаті чого встановлено, що досягнення однорідності суміші залежить від поєднання зовнішніх силових та внутрішніх фізико-механічних параметрів суміші. Наведені основні критерії ефективності процесу перемішування, характеристики вібромеханічного впливу на сипке технологічне середовище та якості вихідного продукту. Запропоновані розроблені аналітичні та графоаналітичні методи розрахунку даних критеріїв, що дозволяють обґрунтувати ефективні режими вібромеханічної обробки сипких технологічних мас.

**Ключові слова:** сипкі суміші, однорідність, індекс перемішування, якість суміші, стандартне відхилення, вібролопатева обробка, амплітудно-частотні характеристики.

**Вступ.** За останні десятиріччя вібраційна технологія набула більш широкого використання в різних галузях господарства України, зокрема, що стосується агропромислової галузі економіки. Її застосування дало змогу докорінно вдосконалити традиційні та розробити нові технологічні процеси і засоби для їх реалізації. Зокрема, при такій обробці сипких мас прослідковується високий потенціал регулювання динамічного стану таких систем, що відображається у можливостях досягнення високої однорідності суміші при мінімізації енерговитрат. Так коливальний режим руху часток технологічного завантаження забезпечує як ефективне перемішування, так і зменшення внутрішньої в'язкості суміші та, як наслідок, зменшення сили тертя при лопатевому перемішуванні. Тому у більшості існуючих технологій може використовуватись вібротехніка, так як дані машини значно ефективніші від звичайних, як за енерговитратами, так і за часом обробки.

Приготування сипких сумішей є невід'ємною складовою багатьох сучасних технологічних процесів в агропромисловому комплексі країни у переробних та харчових виробництвах[1]. Однорідність вихідних сумішей значним чином впливає на формування різноманітних фізико-механічних властивостей та якісних характеристик

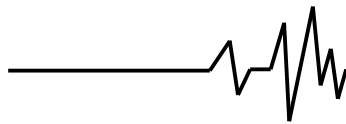
продукту, що обґрунтовує актуальність проведення досліджень.

Для оцінки якості суміші із компонентів сипучих матеріалів запропоновані десятки критеріїв, основними з яких є: рівномірність змішування(однорідність суміші), нерівномірність змішування(неоднорідність суміші), степінь змішування, міра розсіювання, коефіцієнт неоднорідності, стандартне відхилення, критерій однорідності, повнота змішування та інші. Враховуючи особливості силової дії на технологічне середовище, набувають ваги такі параметри як амплітуда та частота коливань, віброшвидкість та віброприскорення, маса коливних частин приводу, питомі енерговитрати на реалізацію коливального руху, дослідження яких вимагає розробки спеціальної методики графоаналітичного аналізу.

**Метою даної роботи є** обґрунтування ефективної системи оцінки однорідності сипкої суміші за вібролопатевої технологічної дії за рахунок розробки експериментальних, теоретичних та графоаналітичних методів аналізу факторного поля досліджуваної вібромеханічної коливальної системи.

**Основна частина.** Будь-яка якісна характеристика матеріалів та процесів, що відбуваються в них неможлива без створення відповідних критеріїв та одиниць їх виміру. Критерії, засновані на відмінностях реальної

\*Науковий керівник: д.т.н., професор Паламарчук І.П



суміші і матеріалу, можуть розподілятися: за ступенем постійності густини компонентів суміші на різних ділянках об'єму суміші та по крупності суцільних обсягів кожного компонента. Відповідно до цього запропоновані наступні критерії: ступінь сегрегації, ступінь змішування, крупність і подрібненість суміші [2].

Ступінь сепарації  $S$  або питоме середнє відхилення густини компонентів суміші від їх середньої густини, можна визначити як:

$$S = \frac{1}{V} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{ср.ср}}} \sum_n \sum_m [(\rho_i - \rho_{\text{ср.і}})] \Delta V_{\text{ср.і}}, \quad (1)$$

де  $V$  – повний геометричний об'єм суміші, включаючи порожнини;  $\rho_{\text{ср.ср}}$  – середня густина суміші;  $\rho_i$  – густина компонента суміші на ділянці суміші;  $\rho_{\text{ср.і}}$  – середня густина компонента у всьому об'ємі суміші.

$$\text{Ступінь крупності складає: } C = \frac{1}{S} \quad (2)$$

Крупність часток оброблюваної суміші визначається за формулою:  $K = \frac{V_{\text{ср.н}}}{V}$ , (3)

де  $V_{\text{ср}}$  – середня величина об'ємів всіх компонентів, ізольованих прислойками.

Подрібненість суміші можна визначити із рівняння:

$$D = \frac{1}{K} = \frac{V}{V_{\text{ср.н}}}. \quad (4)$$

Ступінь неоднорідності та однорідності відповідно визначається як:

$$N = SK; \quad (5)$$

$$O = CD. \quad (6)$$

Процес утворення суміші з використанням вище описаних критеріїв якості змішування буде характеризуватися рівнянням:

$$S = S_{\text{max}} \left[ \frac{K_2}{K_1 + K_2} + K_1 e^{-(K_1 + K_2)x} \right], \quad (7)$$

де  $S_{\text{max}}$  – максимальна ступінь сегрегації на початку процесу;  $K_1, K_2$  – константи, що характеризують процес, що залежить від природи і стану змішування матеріалу, а також конструкції та режиму роботи змішувача;  $x$  – деякий аргумент – час, загальне число обертів змішувача.

Як видно із співвідношення (7), процес утворення суміші підпорядковується експоненціальному закону. При нескінченно тривалому змішуванні суміш не стане ідеальною. Граничне значення ступені сегрегації  $S_{\text{гран}}$  прямо пропорційне вихідному значенню змінної  $S_{\text{max}}$ , що свідчить про

необхідність врахування значення первинної підготовки компонентів суміші, їх взаємного розташування, порядку завантаження [3].

Різноманіття видів сумішей, що використовується в тій чи іншій галузі сільського господарства переробних і харчових виробництвах, зумовило різноманітність методів визначення ступені однорідності. Вибір метода визначення ступеня однорідності суміші залежить, в першу чергу, від фізико-механічних, хімічних властивостей її компонентів.

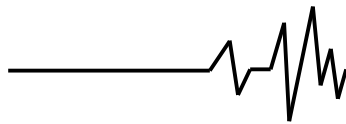
Процес змішування критично залежить від таких параметрів як час та механізм обробки, тип змішувача і очікування продуктивності, що визначає вибір методу кількісної оцінки суміші.

Для визначення якості означеного процесу застосовуємо почасовий метод оцінки суміші, що ґрунтується на статистичному аналізі, де на основі вибірок здійснюється оцінка за однією випадковою величиною. Тому якість змішування сипкого матеріалу оцінюється за однією випадковою величиною та умовно розділяють на двокомпонентний ГОСТ Р 52249-2004 [4]. Для цього із суміші виділяємо один ключовий компонент, а всі інші компоненти об'єднуємо разом. Про якість змішування робимо висновок за ступенем розподілу ключового компонента в масі іншого умовного компонента. Таким чином, у двокомпонентній суміші випадковою величиною  $M$  є вміст ключового компонента в її мікрооб'ємах. Випадкова дискретна величина  $M$  може бути повністю охарактеризована, якщо є закон її розподілу, математичне сподівання  $X$ , дисперсія  $D$  або середньоквадратичне відхилення  $S$ . Більшість дослідників як основу критерію оцінки якості суміші приймають середнє квадратичне відхилення вмісту ключового компонента у пробах, відібраних із результуючої суміші. Величину середнього квадратичного відхилення  $S$  визначають за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{m})^2}{n-1}}, \quad (8)$$

де  $M_i$  – значення випадкової величини  $M$  у 1-му досліді, у нашому випадку – вміст ключового компонента в  $i$ -ій пробі;  $\bar{m}$  – середнє арифметичне спостережених значень величини  $M$ , у нашому випадку – середнє арифметичне вмісту ключового компонента у всіх пробах;  $n$  – загальне число вибірок.

При великій кількості вибірок величина  $\bar{m}$  за ймовірнісним прогнозуванням рівна



математичному очікуванню  $X$  випадкової величини  $M$ . Середнє квадратичне відхилення  $\bar{m}$  залежить від величини і має її розмірність.

Якщо багатокомпонентна суміш складається з частинок різних розмірів, але частинки, що утворюють кожен компонент однакові за розміром, то якість суміші можна визначити ситовим методом [48]. Якість змішування визначається за індексом перемішування:

$$I = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \cdot 100, \quad (9)$$

де  $I$  – індекс перемішування;  $n$  – кількість проб, відібраних одночасно в різних зонах перемішування;  $x_i$  – відсоток змішування в пробі, що визначається за формулою:

$$x_i = \frac{C}{C_0} \cdot 100\% \text{ при } C < 50\%;$$
$$x_i = \frac{100-C}{100-C_0} \cdot 100\% \text{ при } C > 50\%, \quad (10)$$

де  $C_0$  – загальний відсотковий вміст частинок однієї фракції в суміші;  $C$  – відсотковий вміст частинок однієї фракції в пробі.

Чим вище чисельне значення індексу перемішування, тим вища однорідність. У випадку, якщо суміш складається з компонентів, з яких один при впливі на нього температури згорить або значно змінить свою вагу, а інші при цій же температурі залишаються сталими у вазі, то співвідношення між даними компонентами можна визначити методом зольності. Зольність у відсотках визначається за формулою:

$$N = \frac{G_2}{G_1} \cdot 100\%, \quad (11)$$

$$\text{відносне стандартне відхилення} = \frac{\text{стандартне відхилення}}{\text{середня концентрація}} \cdot 100\% \quad (12)$$

Змішування вважається задовільним, якщо значення відносного стандартного відхилення становить менше 5 % [5].

Із відомих методів відбору проб для оцінки якості суміші у змішувачах періодичної дії широкого розповсюдження набули два методи [7, 104]:

– метод квадратування (поділу на квадрати);

– метод точкового відбору проб.

Використання першого методу не дозволяє виявляти застійні зони в змішувачі, вимагає вивантаження суміші після кожного дослідження, що призводить до втрати реальної

де  $G_1$  – вага наважки до проколу;  $G_2$  – вага наважки після проколу.

Метод зольності широко використовується при визначенні ступеня однорідності суміші, що складається з компонентів органічного та неорганічного походження.

Данкверт встановив поняття шкали контролю, яка описує мінімальний розмір області розподілу в тій чи іншій суміші, яка розглядається як недостатньо неоднозначна. Низькопродуктивна суміш буде мати великі масштаби розподілу і високу її інтенсивність, і навпаки. Якщо масштаб та інтенсивність суміші знижується, то суміш зі стадії незадовільної стає задовільною.

Дослідження встановило, що поверхнева енергія частинок порошку може бути використана для забезпечення однорідності суміші. Також зміни поверхневої енергії по відношенню до зменшення розмірів або розмелювання, в свою чергу впливає на однорідність суміші. Якісна оцінка суміші буде дійсна тільки при ретельній перевірці за мінімально необхідної кількості дослідів для отримання вірогідного результату при використанні технічно засвідченої за відповідними стандартами апаратури та при застосуванні загально визнаних методик оцінки.

Однорідність суміші в кінці процесу змішування перевіряється для гарантії, що на процес відправляється рівномірно розподілена суміш АФІ і допоміжної речовини. Це робиться шляхом вилучення зразків з різних місць в змішувачі та їх аналізу. Середня концентрація активного інгредієнта у всіх зразках обчислюється і зрівнюється з стандартом відхилень. Величина результату відносно стандартне відхилення:

схеми розподілу контрольного компонента в суміші. Тому в експериментальних дослідженнях використовувався метод точкового відбору проб. Через рівні проміжки часу відбиралися проби із контейнера змішувача за допомогою спеціального пробовідбірника [6] (рис.1). Пробовідбірник, зображений на рис. 1., виконаний у вигляді труби 1 з конічним наконечником та вікнами. В трубу 1 по довжині щільно вставляється труба 2, яка розділена внутрішніми перетинками 3 на ряд камер 4. Кожна камера має вікно, яке за розмірами та розміщенням співпадає з відповідним отвором у трубі 1.

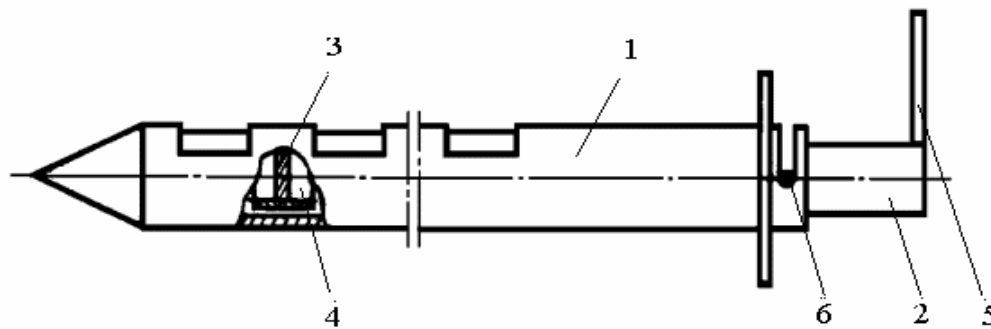
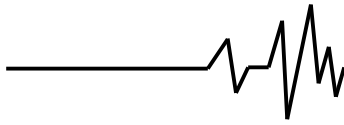


Рис.1. Схема трубчатого пробовідбірника

При повороті внутрішньої труби 2 за допомогою важеля 5 отвори в ній можуть співпадати з отворами в зовнішній трубі 1 або перекриватися її стінками. Положення „Камери відкриті” або „Камери закриті” фіксуються важелем 6, що з’єднаний із стінкою внутрішньої труби та рухається по напрямній зовнішньої труби. При введенні пробовідбірника в суміш камери внутрішньої труби закриті. Після фіксації глибини введення пробовідбірника камери відкриваються, в них самопливом засипається суміш, після чого камери закриваються і пробовідбірник виймають. Суміш кожної камери складає одну пробу. Конструкція такого пробовідбірника, що широко використовується дослідниками, дає можливість одночасно відбирати від 4-х до 20-ти проб. Проби відбиралися пробовідбірником в шахматному порядку з чотирьох глибин контейнера.

У відповідності із [6, 7] мінімальна маса проби обчислюється за формулою:

$$G_M = \frac{10^4 \pi d^3 \rho}{c_0 + 1,5c_0} \approx \frac{1,26 \cdot 10^4 d^3 \rho}{c_0}, \text{ г, (13)}$$

де  $d$  – діаметр часток суміші, см;  $\rho$  – насипна густина часток суміші, г/см<sup>3</sup>;  $c_0$  – значення заданої концентрації ключового компонента. Кількість проб 16, повторність дослідів трикратна.

Серед основних параметрів досліджуваних вібр машин, що використовуються при оптимізації режимів обробки, можна виділити амплітудно-частотні, силові та енергетичні характеристики. Амплітудно-частотні характеристики дозволяють виявити ділянки резонансних піків та усталеного режиму роботи виконавчих органів машин. Комплексний аналіз означених параметрів дозволяє знайти режими, що відповідають максимальній динамічності системи за мінімальних енерговитрат на привод. Крім того, досліджувани вібраційні

машини барабанного та дискового типів оснащені механізмом ступінчастої зміни ексцентриситету приводного валу (рис. 2).

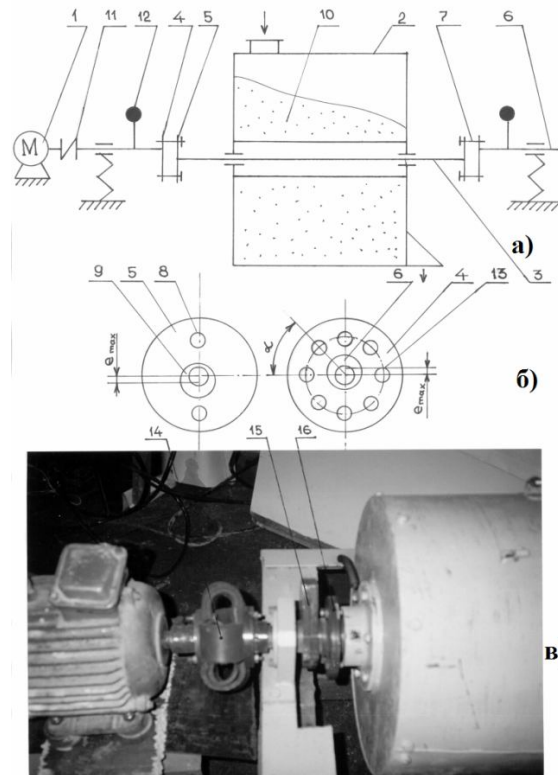
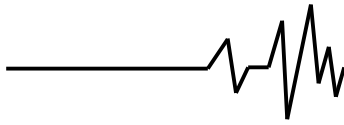


Рис. 2. Пристрій для ступінчастої зміни ексцентриситету приводного валу віброзбуджувача

- а) принципова схема барабанної вібр машини з пристроєм для зміни ексцентриситету приводного валу; б) напівмуфти з ексцентриковими втулками; в) фотографія машини з пристроєм для зміни ексцентриситету: 1 – двигун; 2 – робочий барабан; 3 – приводний вал; 4, 5, 16 – напівмуфти; 6, 9 – ексцентрикові втулки; 7 – регульовальні болти; 8, 13 – отвори для регульовальних болтів; 10 – технологічне середовище; 11, 14 – пружна муфта; 12, 15 – протизвага





Це дає можливість відтворювати та порівняльно оцінити на означених машинах дебалансний, ексцентриковий та комбінований механічний вібробуджувачі з варіюваним ексцентриситетом приводного вала. В якості критеріїв порівняльної оцінки використовуємо амплітуди коливань приводного вала та контейнера, потужність змушуючої сили та витрати енергії на привод, коефіцієнти ефективності, віддачі та постачання енергії. Амплітуда коливань контейнера виступає як міра динамічності коливальної системи, в той час як амплітуда коливань приводного вала дозволяє оцінити зрівноваженість та відповідно довговічність роботи його опорних вузлів, які є найбільш завантажені при експлуатації вібраційної машини. Означені енергетичні параметри обґрунтовують техніко-економічну ефективність використання досліджуваних вібробуджувачів.



а)



б)

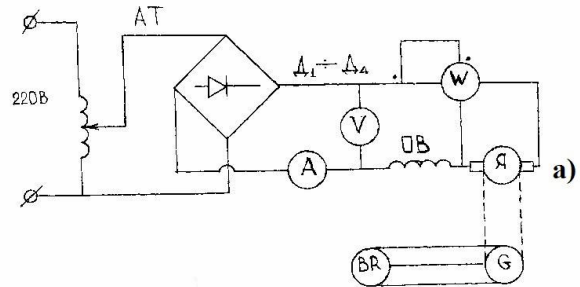
**Рис. 3 Вібровимірвальна апаратура для проведення експериментальних досліджень**  
**а) вібровимірвальна апаратура "Robotron"; б – апаратура для вимірювання амплітуди та траєкторії коливань:**  
**1 – лазер; 2 – датчик; 3 – мітка на робочому контейнері; 4 – осцилограф**

В процесі теоретичного аналізу за допомогою ЕОМ чисельним методом розв'язуємо необхідні диференціальні рівняння руху досліджуваних коливальних систем та оцінюємо основні параметри їх вібробуджувачів. При виконанні експериментальних досліджень шукані параметри вібраційних машин отримуємо, використовуючи апаратуру Robotron, а саме аналізатори спектру, вимірювачі рівня та віброметри (рис.3), які дозволяють отримати для заданих режимів обробки величини амплітуди коливань, віброшвидкості та

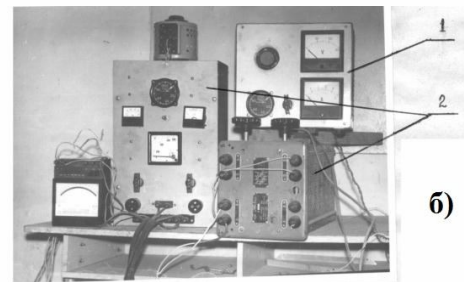
віброприскорення, траєкторії коливань та інші параметри вібраційного поля.

При обробці результатів експериментальних досліджень скористаємось статистичним аналізом, який базується на теорії випадкових похибок, що дає можливість з певною ймовірністю вирахувати дійсне значення виміряної величини і оцінити можливі похибки.

Для оцінки та регулювання параметрів електричного струму використовуємо пульт керування, представлений на рис. 4.



а)

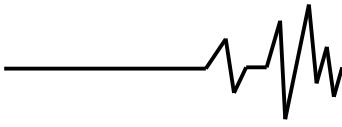


б)



в)

**Рис. 4 Пульт оцінки та керування параметрами електричного струму при експериментальних дослідженнях**  
**а) схема керування параметрами електричного струму для повільної зміни частоти обертання приводного вала вібробуджувача; б) фотографія пульта керування: 1 – прилади для оцінки параметрів електричного струму; 2 – прилади для регулювання частоти обертання приводного вала; в) фотографія приводного органа машини з датчиками для вимірювання частоти обертання приводного вала: 1, 2 – приводні електродвигуни; 3, 4 – датчики для оцінки частоти обертання приводних валів вібробуджувачів**



Основу теорії випадкових похибок складають твердження про те, що при великій кількості вимірювань випадкові похибки однакової величини, але різного виду, зустрічаються однаково часто; більші похибки зустрічаються рідше, ніж малі; ймовірність появи похибки зменшується з ростом її величини; при нескінченно великій кількості вимірів істинне значення вимірюваної величини рівне середньоарифметичному значенню всіх результатів вимірювання, а поява того чи іншого результату вимірювання як випадкової події описується нормальним законом розподілу.

### Висновки

Запропонована методика для оцінки однорідності суміші дає можливість в лабораторних умовах визначити однорідність сипкої суміші за вібролопатевої технологічної дії, а як наслідок значно підвищити ефективність управління якістю продукції. Комбінована оцінка зовнішніх, зокрема вібраційних та відцентрових параметрів процесу, а також внутрішніх, тобто фізико-механічних властивостей отриманої суміші дозволяє адекватно реагувати на зміну якісних характеристик продукції при можливості їх корегування, обґрунтовуючи оптимальні параметри робочого режиму процесів змішування за комбінованої фізико-механічної технологічної дії.

### Список використаних джерел

1. Цуркан О.В. Комбінований вібраційний змішувач / О.В. Цуркан, І.М. Кесарчук // Вібрації в техніці та технологіях. 2009. – № 1(53). – С.114-115.
2. Бунин М.В. О критериях качества смесей / М.В. Бунин // Сб. Известия высших учебных заведений МВО «Строительство и архитектура». 1958. – № 10.
3. Бунин М.В. Вопросы теории процессов смесеобразования / М.В. Бунин // Труды Харьковского автомобильно-дорожного института. 1962. – вып.28.
4. Аракава Р. Характеристики порошков и их измерения / Р. Аракава // Сэра-миккусу. – 1977. – Т. 2, № 5. – С. 399–412.
5. Sarang O. Effects of powder cohesion and segregation on pharmaceutical mixing and granulation: dissertation doctor of philosophy: 05.2003/ O.Sarang // USA: New Jersey. – 2016. – P.1-8 (140).

6. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И.Макаров // М.:Машиностроение. 1973. – 212 с.

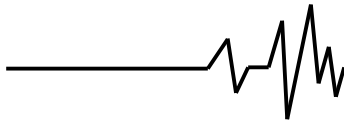
7. Практикум по технологии мукомольного, крупяного и комбикормового производства / Егоров Г.А., Гинзбург М.Е., Мельников Е. М. и др. – М.: Колос, 1974. – 208 с.

### Список джерел в транслітерації

1. Tsurkan O.V. Kombinovanyi vibratsiyniy zmishuvach / O.V. Tsurkan, I.M. Kesarchuk // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. 2009. – № 1(53). – S.114-115.
2. Bunin M.V. O kryteriiakh kachestva smesei / M.V. Bunin // Izvestiia vysshykh uchebnykh zavedenii MVO "Stroitelstvo I arkhitektura". 1958. – №10.
3. Bunin M.V. Voprosy teorii protsessov smeseobrazovaniya / M.V. Bunin // Trudy Kharkovskoho avtomobylno-dorozhnoho institute. 1962. – vyp.28.
4. Arakova R. Kharakterystika poroshkov i ikh izmerenie / R. Arakova // Sera-mikkusy. – 1977. – Т.2 № 5. – S. 399-412.
5. Sarang O. Effects of powder cohesion and segregation on pharmaceutical mixing and granulation: dissertation doctor of philosophy: 05.2003/ O.Sarang // USA: New Jersey. – 2016. – P.1-8 (140).
6. Makarov Yu.I. Apparaty dlya smesheniya sypuchykh materyalov / Yu.I. Makarov // M.: Mashynostroyeniye.1973. – 212 s.
7. Praktikum po tekhnolohii mukomolnoho, krupianoho I korbikormovoho proizvodstva / Yehorov H.A., Hinzburh M. Ye, Melnikov Ye. M I dr. – M :Kolos, 1974. – 208 s.

### ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ВИБРОЛОПАСТНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

**Аннотація.** В статті проведено аналіз основних методик оцінки визначення однородності сыпучей суміші за вібролопастного діяння, в результаті чого встановлено, що досягнення однородності суміші залежить від сочетания зовнішніх силових і внутрішніх фізико-механічних параметрів суміші. Приведені основні критерії ефективності процесу перемішування, характеристики вібромеханічного впливу на сыпучее технологическая среда и качества исходного продукта. Предложенные разработаны аналитические и графоаналитические



методы расчета данных критериев, позволяющих обосновать эффективные режимы вибромеханической обработки сыпучих технологических масс.

**Ключевые слова:** сыпучие смеси, однородность, индекс перемешивания, качество смеси, стандартное отклонение, вибролопастная обработка, амплитудно-частотные характеристики.

#### THE SUBSTANTIATION RATIONALE CRITERIA OF ASSESSMENT FOR VIBROBLADING TECHNOLOGICAL ACTION

**Annotation.** The article analyses the main methods for estimating the homogeneity of the loose mixture by vibro blading action was carried

out, as a result, it is established that the achievement of homogeneity of a mixture depends on the combination of external force and internal physico-mechanical parameters of the mixture. The main criteria for the effectiveness of the mixing process, the characteristics of the vibromechanical effect on the free-flowing technological medium and the quality of the initial product are given. The offered analytical and graphoanalytical methods of calculation of these criteria are developed, allowing to substantiate effective modes of vibromechanical processing of bulk technological masses.

**Key words:** loose mixtures, homogeneity, mixing index, mixture quality, standard deviation, vibroblade processing, amplitude-frequency characteristics.