

УДК 691.9.048

## ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ В РІДКИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ ХАРЧОВИХ І ПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

*Полєвода Юрій Алікович к.т.н., ст. викладач  
Вінницький національний аграрний університет  
Polyevoda Yu.*

*Vinnitsia National Agrarian University*

*Анотація:* у статті обґрунтовано доцільність використання вібраційних ефектів для інтенсифікації процесів розділення і змішування рідких неоднорідних систем.

*Ключові слова:* розділення, змішування, вібраційна дія.

### **Вступ**

Опрацювання даних літературних джерел дозволило зібрати великий інформаційний матеріал, достатній для узагальнення та виділення основних закономірностей протікання досліджуваних процесів харчових і переробних виробництв, їх вплив на властивості сільськогосподарської сировини в умовах накладання вібраційного технологічного поля. При цьому структуру процесу переробки ототожнюємо з системою, що реалізує власне технологічну дію та містить об'єкт обробки у взаємозв'язку між складовими процесу, необхідними для його нормального функціонування [5].

Унікальні можливості вібраційного поля, а саме, ефективні руйнування, розпушування, ущільнення, контактний тепломасообмін та інші властивості обґрунтовують перспективність застосування вібраційних приводів для здійснення означених переробних процесів та зумовлюють пошук об'єкта досліджень даної наукової роботи серед механічних процесів переробних і харчових виробництв, зокрема, перемішування та механічного розділення рідких неоднорідних систем [2, 3, 5].

### **Постановка завдання**

Принципові переваги вібраційної дії, як основного технологічного фактора дозволяють ефективно вирішувати ряд технологічних задач при різних процесах обробки рідкого неоднорідного середовища. Найчастіше означені задачі потрібно вирішувати в харчовій, мікробіологічній та фармацевтичній промисловостях (рис. 1).

### **Основна частина**

Аналіз відомих досліджень вказує на те, що лише окремі вчені досліджували ефективність вібраційної дії при розділенні або змішуванні рідких неоднорідних систем в харчових чи переробних технологіях; такі дослідження не мали системного і комплексного характеру, що викликає труднощі при проектуванні перспективних технологічних та конструктивних схем вібраційної переробної техніки; а розроблені конструкції машин часто відзначаються високими динамічними навантаженнями на опорні механізми та недосконалою системою нівелювання паразитних коливань [2, 3, 5].

Принципові переваги вібраційної дії як основного технологічного впливу дозволяє вирішувати ряд технологічних задач при перемішуванні рідких неоднорідних систем у харчовій промисловості.

Механізм інтенсифікації сумішоутворення під дією робочих вібрацій технологічного середовища визначається, головним чином, тепломасообміном і наявністю градієнтних течій з коливаннями тиску, диспергуючими частинками речовин з іншою густиною, а ніж основне робоче тіло. При однаковій витраті енергії амплітуда переміщень компонентів середовища зростає із

зменшенням частоти коливань, а амплітуда коливань тиску зростає при підвищенні частоти коливань. Відповідно з метою інтенсифікації процесу перемішування необхідно створювати в системі нелінійні коливання, що забезпечують диспергування двофазної суміші, а також додаткові коливання, що покращують умови тепломасообміну. При накладанні цих коливань в робочому середовищі виникають кавітаційні розриви, що покращує умови проходження процесів подрібнення та деструкції частинок неоднорідної системи. У випадку резонансу рекомендується періодично змінювати частоту нелінійних коливань, що попереджає утворення застійних зон в змішувальній камері. Підвищення інтенсивності процесу обробки продукції досягається внаслідок введення в робочу ємкість активних або пасивних елементів, пропускання частинок матеріалу, що обробляється через перфоровані поверхні, що сприяє турбулізації технологічного середовища.



Рис. 1. Перспективні напрями засотування вібраційних ефектів в рідких технологічних системах

В залежності від особливостей конструктивного виконання робочих органів вібраційних змішувачів можна виділити лоткові, барабанні, шнекові, лопатні та установки з насадками та інші. При проектуванні нових ефективних віброзмішувачів слід керуватися не тільки конструктивними змінами але й потрібно вдосконалювати технологічні рішення. Нове обладнання має містити ознаки багатофункціональності та універсальності із мінімальними енерговитратами при обробці середовища.

Аналізуючи наукові праці І.І. Блехмана, П.С. Берника, І.Ф. Гончаревича, І.С. Гулого, В.Л. Зав'ялова, В.Г. Мирончука, С.І. Сергеева, Л.О. Орлова, І.П. Паламарчука, М.М. Пушанка, Л.І. Сердюка, В.Б. Струтинського, Л.М. Тіщенко можна зробити висновок, що при поєднанні вібраційної дії з механічним розділенням неоднорідної сировини має місце значна інтенсифікація даних процесів [5, 6].

Серед різноманітних форм механічного впливу на дисперсні системи вібрація займає особливе місце як найбільш ефективний спосіб створення регульованого динамічного стану дисперсних систем [3, 5, 6]. Головна відмінна особливість вібрації, як одного з видів механічної дії, – можливість передачі енергії системі великої питомої потужності при малій амплітуді її зміщення за період коливання. Можливість регулювання параметрів вібрації (частоти, амплітуди) в широких границях дозволяє впливати, як на значні об'єми дисперсної системи, так і, навпаки, на тонкий шар у декілька мікрон.

Універсальність вібрації полягає в тому, що вона є найбільш ефективним загальним засобом керування динамічним станом систем при здійсненні різноманітних технологічних операцій у різних процесах.

Особливість вібрації полягає не тільки в тому, що вона призводить до інтенсивного руху

частинок одна відносно одної в об'ємі системи, але і в тому, що при цьому різко збільшується швидкість руху кожної окремої частинки відносно центру її маси.

Важливо зазначити, що як і при механічних взаємодіях, так і при вібрації основні властивості грубодисперсних систем залежать від відношення маси частинок та прискорення, що виникає при дії зовнішніх сил, а роль сил з'єднання при цьому не велика. Основні властивості висококонцентрованих мікрогетерогенних систем визначаються відношенням між з'єднанням частинок дисперсних фаз та інтенсивністю зовнішніх механічних (вібраційних) взаємодій [3].

Враховуючи вищенаведене, можна зробити висновок, що закономірності масообмінних процесів у структурованих дисперсних і грубодисперсних системах суттєво відрізняються одна від одної, отже, критерії, що визначають оптимальні параметри цих процесів, – різні.

Є певні властивості, що зумовлюють закономірності руху структурних елементів даних систем у характерних положеннях об'ємної динамічної рівноваги в умовах вібраційного поля: в стані псевдозрідження, коли частки продукції здійснюють безвідривний рух одна відносно другої, що приводить до ущільнення структури; та в стані псевдокипіння, який супроводжується відриванням та збільшенням об'єму шару матеріалу. Саме критерії, що визначають межу переходу від псевдозрідження до псевдокипіння, істотно залежать від дисперсності маси продукції.

Для грубодисперсних систем основною умовою даного переходу є те, що прискорення силового поля дорівнює або дещо перевищує прискорення вільного падіння.

Для вискодисперсних систем даний перехід визначається умовою, що надане часткам середовища прискорення достатнє для розривання контактів між ними.

При цьому в процесі циркуляційного руху часток дисперсної системи в умовах великої кількості взаємних співударень безперервно здійснюються процеси розривання слабких контактів та утворення на певних ділянках поверхні матеріалу більш міцних контактів. Збільшення частоти та зменшення амплітуди коливань при зберіганні стану граничного переходу різко прискорюють даний процес.

Серед досліджуваних вібророздільних процесів можна виділити розділення сипучої маси на фракції, фільтрування, відокремлення рідкої фракції пресуванням, центрифугування. Вібраційне центрифугування набуло широкого використання при розділенні неоднорідних структур із рідким дисперсним середовищем. У процесі обробки з відцентровим поділом за допомогою обертального руху, має місце створення коливального руху робочих елементів машини у площині перпендикулярній напрямку відцентрових сил, що дає змогу руйнувати дисперсні структури з вивільненням рідкої фази. Рівномірний розподіл часток по поверхні ротора, краще їх просування, зниження ефективної в'язкості маси продукції, більш якісний поділ матеріалу досягається завдяки використанню роторів вібраційних центрифуг циліндричної та конічної форми. Слід зауважити, що ротори із конічною формою (з кутом нахилу стінок) більш практичні, так як мають менший коефіцієнт тертя матеріалу по даній поверхні. Додатковою технологічною дією в деяких машинах є здійснення процесу вивантаження осаду за допомогою вібрації.

У переробних та харчових виробництвах сьогодні все більшу увагу приділяють більш тонким масообмінним процесам розділення, в яких методом створення в технологічному середовищі коливального режиму прискорюються процеси тепло й масообміну внаслідок різкого підвищення у вібраційному полі поверхонь взаємодіючих фаз. Найбільш суттєвим для проведення масообмінних процесів є дослідження виникнення й розриву контактів у високонаповнених твердою фазою дисперсних системах – зміна їх структурно-механічних (реологічних) властивостей, що характеризується різкою залежністю в'язкості  $\mu_p$ , модуля пружності  $E$ , періодів релаксації  $\theta$  від швидкості деформації  $\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt}$  або швидкості зміни об'єму системи  $\dot{V} = \frac{dV}{dt}$ , тобто в кінцевому рахунку, від ступеня руйнування структури [3]. До масообмінних процесів розділення належить сушіння продукції в умовах віброкиплячого шару, екстрагування маси продукції як у системі рідина-рідина так і у системі

тверде тіло-рідина; розчинення і кристалізація структурних компонентів при коливаннях неоднорідного середовища тощо.

У залежності від  $\dot{\epsilon}$  або  $\dot{\gamma}$  діапазон зміни даних характеристик виключно великий; він тим більший, чим вища дисперсність твердої фази  $S$  і її концентрація в дисперсійному середовищі  $\phi$  [6]. Так, наприклад, ефективна в'язкість  $\eta_p$  таких систем по мірі збільшення швидкості деформації  $\dot{\epsilon}$  (або напруги здвигу  $P$ ) може зменшуватися в мільйони й сотні мільйонів разів, від найбільшої в'язкості практично незруйнованої структури  $\eta_0$  (при  $\dot{\epsilon} \rightarrow 0$ ) до найменшої в'язкості гранично зруйнованої структури  $\eta_m$ , що відповідає повному руйнуванню агрегатів із частинок та всіх контактів між ними.

Впливаючи вібраційною дією на робочу поверхню, можна підсилити просіваючий або дренуючий ефект, сприяти кращій регенерації поверхонь виконавчих органів, збільшити рухливість часток суміші або поліпшити їхнє орієнтування щодо поверхні розділення й до умов розділення. Крім цього, спостерігається процес самосортування, при якому частинки менших розмірів або більшої щільності переміщуються до нижніх шарів маси продукції.

На відміну від сипких матеріалів, для досягнення оптимального ущільнення пружно-пластичної продукції необхідно хоча б частково порушити структурні зв'язки з подальшим їх відновленням після закінченні механічної дії на матеріал. Для даної системи характерна дія трьох силових параметрів: інерційного, напрям якого є протилежним прискоренню виконавчого органу вібромашини; пружного, що є протилежним за напрямком до деформації граничного шару середовища; дисипативного, що містить пластичну та в'язку складові та є протилежним до швидкості виконавчих органів.

При достатній інтенсивності динамічного впливу на продукцію відбувається взаємне проковзування зерен твердої фази, що входять до складу ущільнюючого середовища. Це приводить до вібраційного зниження сухого тертя та розжиження маси продукції. Одночасно розташована між зернами зв'язуюча речовина, що містить колоїдно-дисперсні частки, під дією вібрації розжижається внаслідок зниження структурної в'язкості та явища тиксотропії.

При комбінованій технологічній дії адгезійних та відцентрових сил у вібраційному полі швидкість та глибина руйнування структури за період коливань різко зростає, рівноважний рівень в'язкості знижується, а тиксотропне відновлення структури уповільнюється. Даний технологічний вплив дозволяє зменшити інтенсивність робочих коливань, що є більш дієвим для сировини з вищим ступенем руйнування структури (можливо досягнути зниження інтенсивності вібрацій у сотні разів [6]).

Таким чином, дія вібраційного поля є одним із найбільш ефективних способів здійснення різних технологічних операцій (механічних, гідро- та пневмомеханічних, тепломасообмінних процесів) як у сипучих та дрібнокускових, так і у в'язких та пружно-пластичних середовищах, зокрема з досить високою в'язкістю їх компонентів. При цьому вибір параметрів вібрації визначається також структурою неоднорідної системи, що обробляється.

Якщо процес виділення дисперсних частин із дисперсного середовища проходить дуже повільно або бажано попереднє освітлення неоднорідної системи, використовують ряд методів, таких як коагуляція, флокуляція, дефлокуляція, флотація, класифікація та інші [6].

При дії вібрації на багатофазні середовища спостерігаються специфічні явища. Вивчення динамічної поведінки багатофазних середовищ при коливаннях показує, що такі форми руху можуть бути ефективно реалізовані за допомогою вібраційних впливів [5, 6]. Виявлення й вивчення механізмів виникнення різних форм руху багатофазних середовищ при періодичних впливах представляє собою предмет нового напрямку в динаміці багатофазних середовищ (теорія нелінійних коливань і стійкості руху багатофазних середовищ).

Коливальні дії породжують не тільки коливальні, а й односторонньо направлені рухи. Крім цього, вони обумовлюють виникнення в об'ємі, що зайнятий багатофазним середовищем, зрівноважених положень елементів мілкодисперсних фаз та їх стійкість.

Дані явища визначаються дією так званих вібраційних сил, що представляють собою незалежні

від часу силові поля, розподілення котрих у просторі, зайнятому середовищем, визначається характеристиками вібрації, а також нелінійностями різного роду.

У реальних умовах багатофазне середовище завжди знаходиться під дією деяких зовнішніх сил вібраційної природи, наприклад, гравітаційних. Режим руху середовища при вібраційних діях визначається відношенням між величинами цих і вібраційних сил. Величини останніх визначаються амплітудами й частотами зовнішніх періодичних впливів.

Підбираючи вібраційну дію таким чином, можна як і підсилювати, так і ослаблювати дії невібраційних сил за допомогою вібраційних. Таким чином, технологічні процеси, що проходять під дією зовнішніх сил невібраційної природи, можуть бути значно інтенсифіковані. Крім цього, специфічні властивості вібраційних сил (неоднорідність розподілення в об'ємі середовища, можливість керування шляхом зміни вібраційних впливів, виключний вплив на рух окремих елементів багатофазних середовищ) відкривають широкі можливості для створення нових технологічних процесів.

На сьогоднішній день, не зважаючи на актуальність, задача про проникнення вібрації в рідке середовище не може рахуватися вирішеною: розглянуто лише ряд важливих окремих випадків, побудовано декілька узагальнених моделей і накопичується ряд експериментальних даних [6]. Задача про рух в'язкої рідини, що не стискається й заповнює напівпростір над пластиною, яка здійснює поздовжні гармонічні коливання, розглядалась ще Стоксом. Подібними питаннями займалися такі вчені, як: Л.Д. Ландау, Е.М. Ліфшиц, В.М. Челомей, Л.І. Блехман, Б.В. Кізевальтер, С.І. Сергєєв.

Для досягнення граничного або близького до нього рівня руйнування дисперсної структури необхідно застосовувати такі форми механічного впливу, які створювали б миттєвий контакт по всій поверхні виникаючого при деформації розриву суцільності або дозволили б виключити саму можливість реалізації такого розриву. Як показали наукові дослідження [6], режими вібраційної дії виявилися досить ефективними в означених умовах, зокрема, при обробці висококонцентрованих пластично-в'язких систем. Так при дії на дану систему навіть найбільш простих гармонійних коливань, напрямом розповсюдження яких є перпендикулярним площині зсуву, спостерігається тиксотропне "затягування" структури та її відновлення в потоці.

Проте досягнення граничного рівня руйнування в умовах "вібраційного поля" має місце при досить високих параметрах силового поля ( $a_B = A\omega^2/g > 50$ ), що вимагає значних енерговитрат.

Граничні розтягуючі зусилля, які витримує шар рідини, визначали станом рівноваги між напругою  $\sigma$  і силами натягу, що діють на поверхні зародку каверни.

Рідина, що містить у собі зважені частинки, має слабше щеплення внаслідок дії поверхнево активних молекулярних плівок. Дані домішки створюють центри початкового розриву неоднорідної рідини.

Основною особливістю сучасного обладнання є його енергозберігаючі властивості. Для ефективної роботи вібраційних технологічних машин слід керуватися удосконаленням схем віброприводу, пружної системи, форми контейнера тощо. Поєднуючи дію вібраційну із сепарацією, аспірацією, електромагнітним розділенням, можливо значно інтенсифікувати технологічну дію на той чи інший продукт. Перевагою вібраційних машин є багатофункціональність. Змінюючи робочі параметри машини, можливо виконати декілька операцій (процесів).

При вібраційній дії на дисперсну систему руйнується її структура, що дозволяє досягнути найменшої в'язкості та забезпечує рівномірний розподіл компонентів по об'єму матеріалу. Доведено, що найбільш ефективною формою впливу на висококонцентровані пластично-в'язкі системи є вібрація [6].

На сучасному етапі розвитку харчової та фармацевтичної промисловості відносно новим напрямком сучасної техніки, який швидко розвивається, є вібраційні машини. Завдяки вібрації здійснюється широкий спектр технологічних процесів.

У процесах технологічної обробки переробних і харчових виробництв накладання вібрації (певних параметрів) у робочому просторі машин сприяє якісному поліпшенню існуючих процесів.

Дані ефекти визначають основні методи підвищення ефективності вібраційних переробних машин (рис. 2). Подальші дослідження в цій області, без сумніву, актуальні та прогресивні. Вони можуть забезпечити ефективні вирішення багатьох невирішених задач.

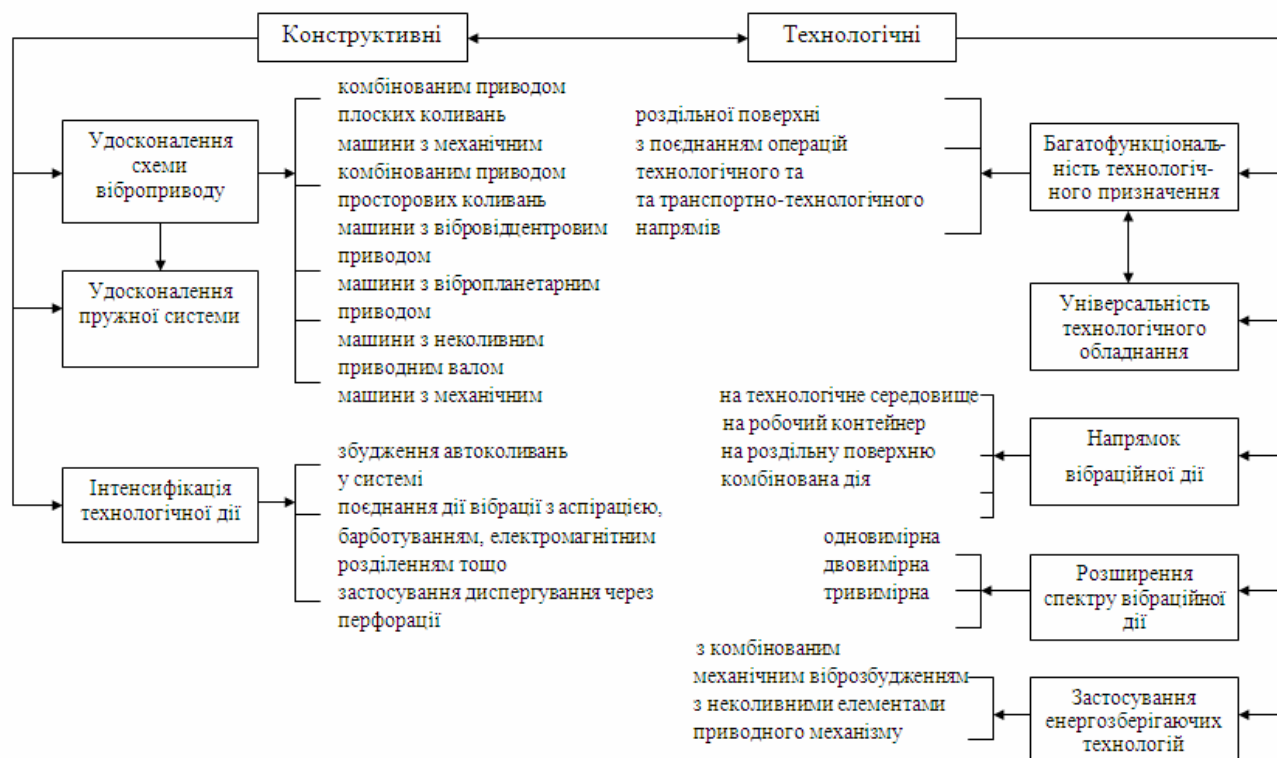


Рис. 2. Методи підвищення ефективності машин для вібраційного розділення та перемішування неоднорідних систем

### Висновок

Вібраційні ефекти знаходять все більшого розповсюдження в процесах переробних і харчових виробництв для інтенсифікації таких операцій, як перемішування, фільтрування, центрифугування, осадження, циклонування рідких неоднорідних систем та інших.

Поєднання вібрації з механічними гідродинамічними діями на продукцію дає можливість покращення реалізації більшості технологічних процесів харчової й фармацевтичної промисловостей при сепаруванні, сорбції, кристалізації, розчиненні.

Серед найбільш перспективних тенденцій розвитку процесів комбінованої вібромеханічної дії є перемішування та розділення рідких неоднорідних систем. При цьому забезпечується рівномірний розподіл компонентів по об'єму матеріалу, збільшуються контактні площі в 2,5...3,5 разів, коефіцієнт охоплення рідиною дисперсної фази досягає 1,0 (100%).

### Список літератури

1. Берник П. С. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва / П. С. Берник, З. А. Стоцько, І. П. Паламарчук. – К. : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. – 336 с. – ISBN 966-553-406-8.
2. Быховский И. И. Основы теории вибрационной техники / И. И. Быховский. – М. : Машигиз, 1969. – 363 с.
3. Гончаревич И. Ф. Вибрационная техника в пищевой промышленности / И. Ф. Гончаревич, Н. Б. Урьев, М. А. Талейсник. – М. : Пищевая промышленность, 1977. – 278 с.
4. Гулий І. С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості / І. С. Гулий, М. М. Пушанко, [та ін.]; за ред. В. Г. Мирончука – 2-ге вид., перероб. і доп. – Вінниця. : Нова книга, 2007. – 648 с. – ISBN 966-382-096-5.
5. Паламарчук І. П. Науково-технічні основи розроблення енергозберігаючих вібромашин механічної дії

харчових і переробних виробництв : дис. доктора техн. наук : 05.18.12 / Паламарчук Ігор Павлович. – Київ, 2008. – 461 с.

6. Полевода Ю. А. Інтенсифікація первинного очищення гліцерину вібровідцентровими засобами : дис. кандидата техн. наук : 05.18.12 / Полевода Юрій Алікович. – Вінниця, 2013. – 248 с.

### References

1. Beryuk P. S. Mekhanichni protsesy u obladnannya pererobnoho ta kharchovykh vyrobnystv / P. S. Beryuk, Z. A. Stotskyu, I. P. Palamarchuk. - K.: Vydavnytstvo Natsyonalnoho unyversyteta "Lvivska politehnika", 2008. - 336 s. - ISBN 966-553-406-8.

2. Bykhovskiy I. I. Osnovy teorii vibratsionnoye tekhniki / I. I. Bykhovskiy. - M. : Mashgiz, 1969. - 363 s.

3. Goncharevich I. F. Vibratsionnaya tekhnika v pishchevoy promyshlennosti / I. F. Goncharevich, N. B. Ur'yev, M. A. Taleysnik. - M. : Pishchevaya promyshlennost', 1977. - 278 s. 4. Hulyy I. S. Obladnannya pidpryyemstv pererobnoyi ta kharchovoyi promyslovosti / I. S. Hulyy, M. M. Pushanko, [ta in.]; za red. V. H. Myronchuka - 2-he vyd., Pererob. y dop. - Vinnytsya. : Nova knyha, 2007. - 648 s. - ISBN 966-382-096-5.

5. Palamarchuk I. P. Naukovo-tekhnichni osnovy rozroblennya enerhozberihayuchikh vibromashin mekhanichnoyi Dyi kharchovykh y pererobnikh vyrobnystv: dys. doktora tekhn. nauk: 05.18.12 / Palamarchuk Ihor Pavlovych. - Kyiv, 2008. - 461 s.

6. Polyevoda YU. A. Intensifikatsiya pervynnoho ochyshchennya hlitserinu vibrovidtsentrovimi Zasoba: dys. kandydata tekhn. nauk: 05.18.12 / Polyevoda Yuriy Alikovich. - Vinnytsya, 2013. - 248 s.

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В ЖИДКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПИЩЕВЫХ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

**Аннотация:** в статье обосновано целесообразность использования вибрационных эффектов для интенсификации процессов разделения и смешивания жидких неоднородных систем.

**Ключевые слова:** разделение, смешивание, вибрационное воздействие.

### PROSPECTS OF VIBRATION EFFECT IN LIQUID PROCESS SYSTEMS FOOD AND PROCESSING INDUSTRY

**Summary:** in the article expediency of the use of oscillation effects is reasonable for intensification of processes of division and mixing of the liquid heterogeneous systems

**Keywords:** separation, mixing, vibrating action.