

Всеукраїнський науково-технічний журнал

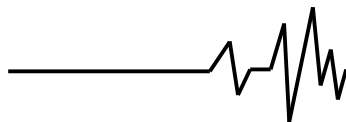
Ukrainian National Scientific Journal

ISBN 5-7763-9123

Вібрації в техніці та технологіях



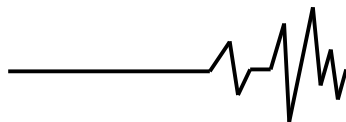
Л. І. Сердюк

**ЗМІСТ****I. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН**

<i>Корендій В. М.</i> КОЛИВНІ ПРОЦЕСИ ЛОПАТЕЙ ВІТРОУСТАНОВОК.....	5
<i>Кузьо І. В., Гурський В. М., Ланець О. С.</i> РЕАЛІЗАЦІЯ НЕЛІНІЙНИХ ПОЛІЧАСТОТНИХ РЕЗОНАНСНИХ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ ОДНОТАКТНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІВ.....	10
<i>Ляшок А. В.</i> МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИСПЕРГАТОРА ДЛЯ РОЗПИЛЕННЯ В ТОНКОМУ ШАРІ.....	15
<i>Надутьий В. П., Елисеєв В. И., Луценко В. И.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ НА ПРОЦЕСС ОБЕЗВОЖИВАНИЯ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ.....	21
<i>Надутьий В. П., Левченко П. В.</i> РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА ОТ КОМПЛЕКСА ВАРЬИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ.....	25
<i>Назаренко І. І., Баранов Ю. О., Свідерський А. Т., Ручинський М. М., Дєдов О. П., Орищенко С. В.</i> МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА РЕЖИМІВ РУХУ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН РІЗНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	30
<i>Рахманов С. Р.</i> К ВОПРОСУ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕБАНИЯМИ СТЕРЖНЯ ОПРАВКИ ПРОШИВНОГО СТАНА.....	36
<i>Стоцько З. А., Топільницький В. Г., Кусий Я. М., Сокіл М. Б.</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ РОБОЧИХ СЕРЕДОВИЩ ВІБРАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	41
<i>Фролов К. Ю. Давиденко Ю. О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАСТИННОЇ ІНВЕРСІЇ ТІЛ НА ЇХ ГАБАРИТИ.....	46
<i>Черевко А. Н., Хероим Е. А., Черевко П. А.</i> ВЛИЯНИЕ КОРИОЛИСОВОЙ СИЛЫ ИНЕРЦИИ НА ДИНАМИКУ БЛОКА УПРАВЛЯЕМЫХ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЕЙ.....	50
<i>Шевченко Г. А., Бобильов А. А., Ищук М. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ КОЛЕБАНИЙ ВИБРОУДАРНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА.....	56
<i>Шульженко Н. Г., Зайцев Б. Ф., Асаёнок А. В.</i> ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВЕСОМОГО УРАВНОВЕШЕННОГО РОТОРА С ПОПЕРЕЧНОЙ ТРЕЩИНОЙ.....	60

II. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА

<i>Гаврильченко О. В., Захаров В. М.</i> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІБРОВИКІНЧУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З КОЛИВНИМИ РУХАМИ ПРИТИРІВ.....	65
<i>Джемелінський В. В., Лесик Д. А., Гніліцький Я. М.</i> ВПЛИВ КОМБІНОВАНОЇ ЛАЗЕРНОЇ І УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ НА ЗМІНУ МІКРОРЕЛЬЄФУ ТА МІКРОТВЕРДОСТІ МЕТАЛЕВОЇ ПОВЕРХНІ.....	69
<i>Надутьий В. П., Ягнюков В. Ф.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ ВАЛКОВОГО ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА.....	73



<i>Ольшанский В. П., Ольшанский С. В.</i> РАСЧЕТ БАЛКИ НА УДАР МЕТОДОМ СЕН-ВЕНАНА.....	76
<i>Сивак Р. И., Музычук В. И.</i> УЛУЧШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОЛОКИ ПУТЕМ ВИБРООБРАБОТКИ.....	81
<i>Сметанкіна Н. В., Сметанкін В. О.</i> КОЛИВАННЯ ШАРУВАТИХ ОБОЛОНОК СКЛАДНОЇ ФОРМИ ПРИ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ.....	84
<i>Шульженко Н. Г., Ефремов Ю. Г., Цыбулько В. И., Депарма А. В.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПРИЧИН ПОВЫШЕННОЙ ВИБРАЦИИ ТУРБООАГРЕГАТОВ....	89
III. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА	
<i>Боровець В. М., Коруняк П. С.</i> ШЛЯХИ ПІДВИШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БУНКЕРНИХ ПРИСТРОЇВ.....	93
<i>Дрючко О. Г., Стороженко Д. О., Бунякіна Н. В., Іваницька І. О.</i> БАГАТОЦІЛЬОВИЙ ПРИСТРІЙ ПЕРЕМІШУВАННЯ.....	96
<i>Завгородний А. И., Обыхвост А. В.</i> АНАЛИЗ ВИБРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПЛОСКИХ ЧАСТИЦ МАЛОГАБАРИТНОЙ ДЕКОЙ.....	100
<i>Надутый В. П., Лапшин Е. С., Шевченко А. И.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРОУДАРНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРОСЕИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ С УЧЕТОМ ДИССИПАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРОХОЧЕНИЯ.....	106
<i>Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Зозуляк О. В., Герасімов О. О.</i> ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЗНЕВОЛОЖЕННЯ НАСІННЯ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ТА ЕЛЕКТРООСМОТИЧНОГО ЕФЕКТІВ.....	110
<i>Тищенко Л. Н., Лукьяненко В. М., Никифоров А. А., Галич И. В.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ СЕМЯН ПО НАКЛОННОЙ ВИБРИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ С УЧЁТОМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.....	115
<i>Тищенко Л. Н., Ольшанский В. П., Ольшанский С. В.</i> КОЛЕБАНИЯ СКОРОСТИ СЕПАРИРУЕМОЙ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ ПРИ ПОПЕРЕЧНЫХ ВИБРАЦИЯХ ПЛОСКОГО РЕШЕТА.....	119
<i>Тищенко Л. Н., Слипченко М. В.</i> УРАВНЕНИЯ ДИНАМИКИ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ НА ТАРЕЛЬЧАТОМ РАЗБРАСЫВАТЕЛЕ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНОГО СЕПАРАТОРА.....	123
<i>Чубик Р. В., Зозуляк І. А., Бандура В. М.</i> ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЇ РЕЗОНАНСНОЇ ДВОХКОНТЕЙНЕРНОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ СУШАРКИ.....	128
До відома авторів.....	135
Відомості про авторів.....	136



Паламарчук І. П.

Цуркан О. В.

Зозуляк О. В.

Герасімов О. О.

Вінницький
національний
аграрний
університет

УДК 66.047

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЗНЕВОЛОЖЕННЯ НАСІННЯ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ТА ЕЛЕКТРООСМОТИЧНОГО ЕФЕКТІВ

В статье рассмотрено особенности фильтрационного обезвоживания в условиях действия центробежных сил. Приведена функциональная схема вибрационной фильтрационно-осмотической сушильной установки.

The questions of construction of mathematical model of vibrodiagnostics of diesel engines are examined in the article. It is shown that a curve of total twisting moment can be a diagnostic sign.

Вступ

Підвищення ефективності видалення поверхневої вологи в насінні сільськогосподарських культур потребує застосування як фізико-хімічних, так і фізико-механічних технологічних важелів. [1]

На початковому етапі обезводнення високодисперсних матеріалів доцільно застосовувати найбільш доступні і дешеві способи видалення вільної вологи – фільтрування, що можна інтенсифікувати активним вентиляванням, яке крім зниження вологості насіння спричинить підвищення перепаду тиску повітря в шарі сировини. Установлено, що з маси насіння значного видалення вологи можна досягти під розрідженням у підрешітному просторі сушильної камери в межах 0,5...1,0 кПа, а при температурі енергоносія 0...35^oC. Значне поліпшення умов тепломасообміну за рахунок підвищення коефіцієнта обтічності між теплоносієм та поверхнею продукції до величини 0,8...0,9 досягається при створенні псевдозрідженого шару технологічного середовища в результаті вібрацією опорної поверхні або проходження нагрітого повітря через перфорації днища робочої камери. [2] Окрім того, застосування електроосмотичного ефекту також є перспективним засобом інтенсифікації досліджуваного тепломасообміного процесу. Таким чином, результати дії представлених технологічних ефектів є актуальними при обґрунтуванні

ефективних технологій зневоложення сипкої сільськогосподарської сировини.

Метою даних досліджень є обґрунтування технологічної схеми процесу вібраційно-фільтруючого осмотичного зневоложення насіння, для реалізації якої були поставлені такі задачі:

- дослідити особливості фільтраційного зневоложення в умовах дії відцентрових сил;
- оцінити можливості електроосмотичного впливу на інтенсифікацію тепломасообміну;
- розробити функціональну схему вібраційної фільтраційно-осмотичної сушильної установки.

Викладення основного матеріалу.

Фільтраційне сушіння, схема якого приведена на рисунках 1 і 2, дозволяє сушильному агенту під дією перепаду тиску рухатися через пористу структуру газопроникного матеріалу. Процес такого вологоперенесення відбувається на внутрішньо-капілярній поверхні, яка на порядок-два перевищує геометричну поверхню висушеного матеріалу. При цьому має місце механічне витіснення і винесення вологи в залежності від природи зв'язку її з матеріалом. На гідравлічний опір шару матеріалу впливає як зростання швидкості сушильного агента, так і збільшення діаметра капілярів із зменшенням вологості сипкої речовини. Як показали дослідження, останній фактор має домінуючий вплив на гідравлічний опір шару. Зміна швидкості руху сушильного агента описується залежністю [2]:



$$\frac{\Delta P}{h} = \frac{1}{\gamma^3} (av + bv^2); \quad (1)$$

$$\gamma = \gamma_c - B\overline{W}; \quad (2)$$

де: ΔP - гідравлічний опір, Па;
 h - товщина шару, м;
 γ - поточний вільний об'єм, м³;
 v - швидкість руху (фільтрації) сушильного агента, м/с;

\overline{W} - середня вологість матеріалу, %;
 a, b, B - коефіцієнти пропорційності.

Узагальнення отриманих результатів дослідження гідродинаміки шару приведено у вигляді залежності [2]:

$$P_k^2 - P_o^2 = \frac{2G\mu P_o h}{FK_n \rho_o}; \quad (3)$$

P_k - тиск у сушильній камері, Па;
 P_o - атмосферний тиск, Па;
 G_{CA} - масова витрата сушильного агента, кг/с;
 μ - динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с;
 h - висота шару матеріалу, м;
 F - площа поверхні фільтрування, м²;
 K_n - коефіцієнт проникності, м²;
 ρ_o - густина середовища за нормальних умов, кг/м³.

Приведена формула свідчить, що величина гідравлічного опору залежить від витрати сушильного агента, коефіцієнта проникності та висоти шару матеріалу.

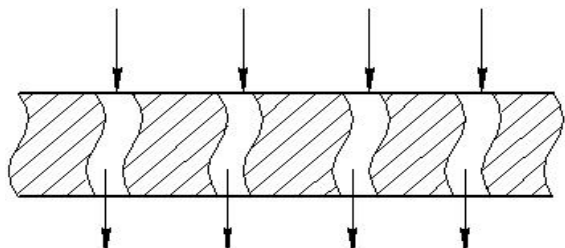


Рис. 1. Схема фільтраційного сушіння

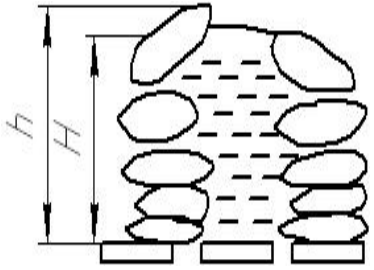


Рис. 2. Модель фільтрування шару насіння баштанових культур: фрагмент шару з центральною порою

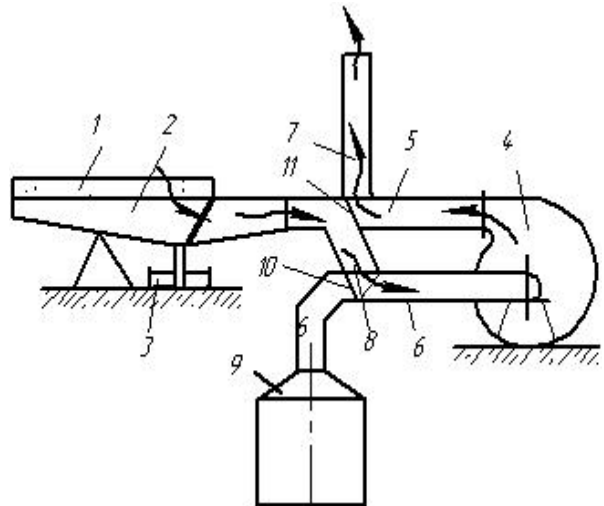
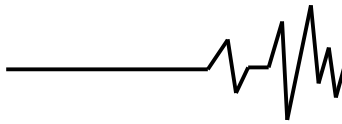


Рис. 3. Схема пристрою для фільтраційного вологовидалення з реверсивною подачею сушильного агента

Значно зменшити питомі затрати на процес фільтраційного волого-видалення дозволяє запропонований спосіб, який передбачає зміну напрямку подачі сушильного агента. Під дією перепаду тисків сушильний агент спочатку профільтровується в напрямку: вологий матеріал – перфорована перегородка, що дозволяє за короткий час витіснити вільну вологу з шару насіння. На другому етапі волого видалення фільтрування сушильного агента відбувається у напрямку перфороване днище - сипучий матеріал, зі створенням псевдозрідженого шару, що дозволяє зменшити витрати на створення перепадів тисків.

З метою вдосконалення способу фільтраційного волого-видалення для запропонованого пошарового видалення сухого матеріалу з активної зони, передбачається створення коливального руху опорної поверхні, що дозволяє зменшити гідравлічний опір шару, і відповідно енерговитрати. Зміна напрямку подачі сушильного агента досягається шляхом застосування перекидних заслонок 10 розробленого устаткування (рис.3)

Такий пристрій складається з лотка 1, газорозподільчої камери 2, ємності для стоку вологи 3, вентилятора 4, нагнітаючого трубопроводу 5, усмоктуючого трубопроводу 6, вихлопного патрубку 8, нагівача 9, перекидних заслонок 10,11. При продувці шару насіння знизу-доверху статичний натиск у підрешітному просторі дифузора досягав 550 Па, при просмоктуванні повітря через шар насіння розрідження в цій порожнині становило – 450...500 Па. Пропускна здатність сушарки при реверсивній продувці шару насіння збільшувалась з 26 до 33кг/год для сухого насіння. [4].



Значно інтенсифікувати процес фільтраційного вологовидалення можна при застосуванні вібраційної дії [2,3]. За таких умов порозність шару збільшується, відповідно зменшується його опір фільтруванню. Також застосування вібраційних коливань, особливо вертикальної їх складової, сприяє видаленню осаду на днищі сушильної камери (рис. 4).

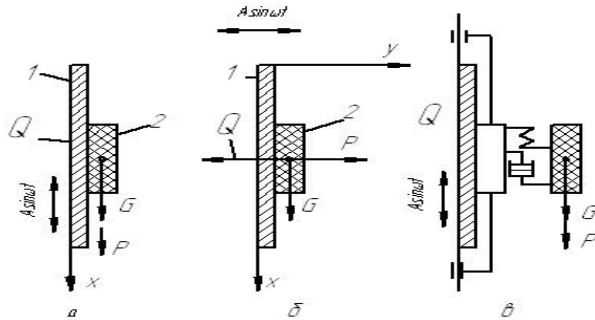


Рис. 4. Фізичні моделі вібраційного фільтрування осадів: а – недеформованих при поздовжній вібрації фільтруючої перетинки; б – недеформованих при поперечній вібрації фільтруючої перетинки; в – для пружнов'язкого осаду; 1 – фільтруюча поверхня; 2 – частка осаду

Використання осмотичного ефекту (осмос від грец. ὄσμος — поштовх, тиск) дозволяє інтенсифікувати дифузію речовини, зазвичай розчинника, через напівпроникну мембрану, що розділяє розчин і чистий розчинник або два розчини різної концентрації. Вирівнювання концентрацій по обидва боки такої мембрани можливо лише при однібічній дифузії від чистого розчинника до розчину або навпаки, створюючи зворотній осмотичний тиск, яким забезпечує перенесення розчинника через мембрану. Таким чином, робочий тиск дорівнює надлишковому зовнішньому тиску, який слід прикласти з боку розчину щоб припинити осмос, тобто створити умови осмотичної рівноваги. Перевищення надлишкового тиску над осмотичним може привести до звернення осмосу — зворотної дифузії розчинника. У випадках, коли мембрана проникла не лише для розчинника, але і для деяких розчинених речовин, дифузія останніх з розчину в розчинник дозволяє здійснити діаліз, вживаний як спосіб очищення полімерів і колоїдних систем від низькомолекулярних домішок, наприклад електролітів. Вперше осмос спостерігав А. Нолле в 1748, проте дослідження цього явища було почате через століття. Осмос має важливе значення для біологічних процесів, його широко використовують в лабораторній техніці при визначенні молярних характеристик полімерів,

концентрації розчинів, дослідженні біологічних структур; при виробництві деяких полімерних матеріалів, очищенні високо-мінералізованої води методом «зворотного» осмосу рідин. Клітини рослин використовують осмос також для збільшення об'єму вакуолі при створенні певного внутрішньоклітинного тиску (тургорного тиску), зокрема, шляхом запасання сахарози: збільшуючи або зменшуючи концентрацію сахарози в цитоплазмі, клітини можуть регулювати осмос, що дає можливість підвищити пружність рослини в цілому.

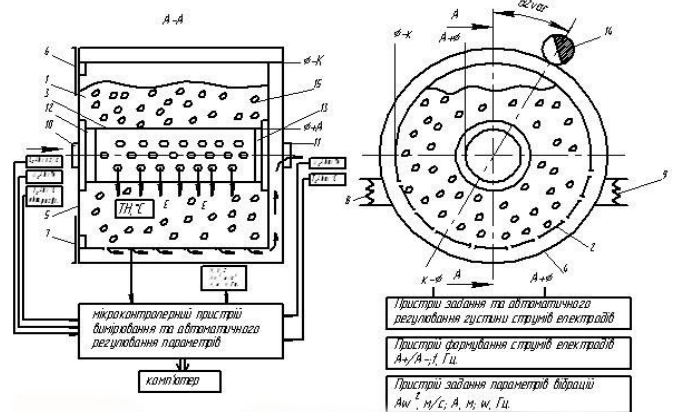


Рис. 5. Функціональна схема вібраційної фільтраційно-осмотичної сушильної установки: 1 – сушильна камера-катод; 2 – перфороване днище; 3 – порожнистий перфорований циліндр-анод; 4 – зовнішній кожух; 5 – герметизуюча панель; 6 – пристрій завантаження продукції; 7 – пристрій розвантаження продукції; 8,9 – пружні опори; 10,11 – патрубки подачі та відбору сушильного агента; 12, 13 – ізоляційні втулки; 14 – віброзбуджувач; 15 – насіння

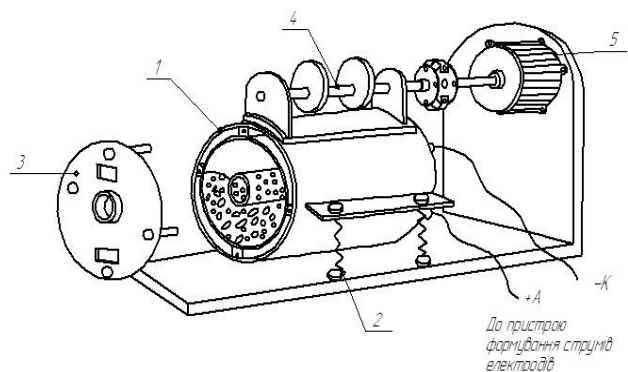
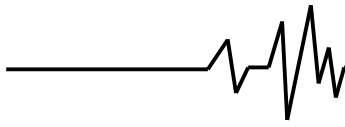


Рис. 6. Вібраційно-осмотична сушильна установка: 1 – робоча камера; 2 – пружинні опори; 3 – торцева кришка; 4 – дебалансний вал; 5 – двигун; 6 – пружна муфта



Враховуючи наведені напрямки вдосконалення процесу осмотичного вологовидалення з метою визначення оптимальних конструктивних параметрів обладнання та режимних параметрів процесу, було розроблено функціональну схему (рис.5) комплексу пристроїв, основою якого є експериментальна вібраційна установка. (рис. 6)

Основними складовими сушильної установки є циліндрична сушильна камера – катод 1 (рис.5) з перфорованим днищем 2; анод 3, виконаний як порожнистий перфорований циліндр, що розміщений по вісі сушильної камери – катод 1; зовнішній циліндричний кожух 4 з герметизуючою панеллю 5, в якій розміщено пристрій завантаження 7 та розвантаження продуктів 8; патрубок подачі сушильного агента 10, який сполучено з анодом 3. Патрубок відбору сушильного агента 11 розміщено на торцевій поверхні зовнішнього циліндричного кожуха 4. Анод 3 електрично ізольований від сушильної камери 1 двома втулками 12, 13. На поверхні зовнішнього кожуха 4, встановленого на пружних опорах 8, 9, закріплено дебалансний віброзбуджувач 14 з можливістю зміни кутових координат у межах 0...360 градусів із кроком 45 градусів.

При експлуатації вібраційної фільтраційно-осмотичної сушарки підігрітий сушильний агент через патрубок подачі 10 (рис. 5) поступає у внутрішню частину порожнистого циліндра-анода 3 з перфорованою бічною поверхнею. Псевдозріджений шар оброблюваного насіння 15 проходить через нього зверху-донизу і проникає у піддонний простір, в якому створюється розрідження. Відпрацьований вологий сушильний агент виводиться з піддона через патрубок відведення сушильного агента 11, розміщеного на торцевій поверхні зовнішнього циліндричного кожуха 4. Насіння 15 потрапляє в сушильну камеру – катод 1 через пристрій завантаження продукції 6, суміщений з герметизуючою поверхнею. Віброзбуджувач 14 створює коливання сушильної камери-катода 1 і потоку сушильного агента, в результаті чого насіння 15 переходить у віброзваний стан і рівномірним шаром заповнює сушильну камеру-катод 1. В результаті вібраційного та електроосмотичного ефекту спостерігається збільшення поверхні тепло масообміну за даних умов, а також перепаду тисків сушильного агента над і під шаром продукції насіння 15, що потрапляє до сушильної камери- катода 1. Взаємодія з рухомим підігрітим сушильним агентом, що

призводить до інтенсивного волого видалення через патрубок відбору сушильного агента 11.

При досягненні потрібного вологом'єсткості насіння 15 під дією вібрацій видалається з сушильної камери-катода 1 через пристрій розвантаження 7, що суміщений з герметизуючою панеллю 5. Для отримання інформації про стан середовища використовуємо розроблений мікроконтролерний пристрій, який отримує наступні дані від давачів вхідних параметрів сушильного агента: витрати, кг/с; відносної вологості, %; температури, °С; вихідних параметрів сушильного агента: відносної вологості, %; температури шару насіння, °С; віброприскорення, м/с; амплітуди, М; частоти, Гц. Також пристрій здійснює автоматичне регулювання заданої температури сушильного агента. Дані про параметри даного процесу через організований інтерфейс USB, 2,0 передаються на комп'ютер для подальшої обробки, збереження та графічної інтерпретації в реальному часі.

В якості досліджуваного матеріалу використовувалось гарбузове насіння, шар якого насичений поверхневою незв'язаною вологою з початковою вологістю – близько 60%. [4]

Комплекс розробленого обладнання робить можливим імітувати процес конвективного фільтраційного сушіння, використовуючи електроосмотичний ефект зі зміною основних робочих параметрів в широких межах, що дозволяє провести дослідження ступеню впливу різних факторів на часові та енергетичні параметри процесу.

Основні способи зневоложення продукції або речовини при врахуванні розроблених процесів, що були зазначені вище, представляємо у вигляді блок-схеми (рис. 7).

Висновки

1. Проведений аналіз основних способів зневоложення сільськогосподарської сировини та продукції дозволив відзначити перспективні фізико-механічні процеси інтенсифікації сушіння сипкої маси, зокрема насіння баштанних культур .

2. Застосування електроосмотичного та фільтраційного вологовидалення в на відміну від руйнівного для насіння конвективного сушіння дозволяє інтенсифікувати досліджуваний процес, зокрема стосовно термолабільних матеріалів зі збереженням їх основних вихідних якостей, а саме, схожості та енергії проростання.

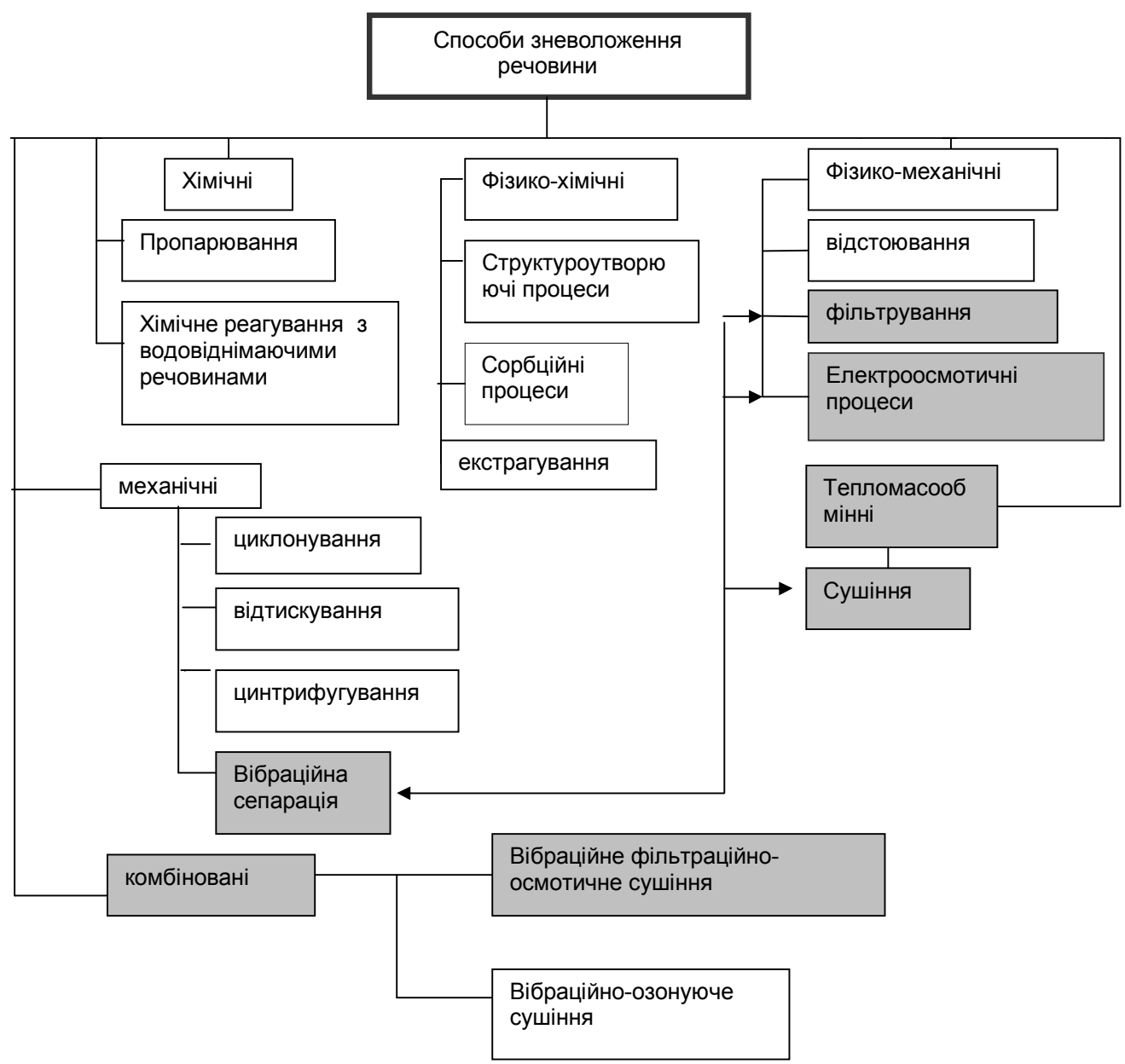
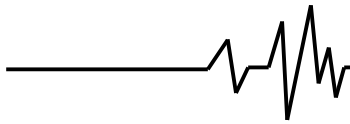


Рис. 7. Аналіз основних способів зневоложення сипкої речовини

3. Запропонована технологія покращує техніко-економічні параметри процесів сушіння: питомі енерговитрати на видалення 1 кг вологи знижуються в 2,7 рази порівняно з традиційним конвективним сушінням; пропускна здатність сушарки збільшилась до 33 кг/год для сухого насіння.

Література

1. Голубкович А. В. Уборка и сушка семян овощных и бахчевых культур / А. В. Голубкович. – М. : Россельхозиздат, 1984 – 129 с.

2. Повідайло П. Г., Рашковская Н. Б. Сушка во взвешеном состоянии./ П. Г. Повідайло, Рашковская Н. Б. – Ленинград: Химия, 1979 – 250 с.

3. Куцакова В. Е., Богатырев А. Н. Интенсификация тепломасообмена при сушке пищевых продуктов./ В. Е. Куцакова, А. Н. Богатырев. – К.: Агпроимиздат, 1987 – 152 с.

4. Урьев М. Б. Физические основы интенсификации технологических процессов в дисперстных системах./ М. Б. Урьев. – М.: Знание, 1990 – 113 с.