**III. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА**

Зав'ялов В. Л.

Мисюра Т. Г.

Попова Н. В.

Запорожець Ю. В.

Деканський В. Є.

*Національний
університет харчових
технологій*

Zavialov V. L.

Misyura T. G.

Popova N. V.

Zaporozhets J. V.

Dekanskiy V. E.

*National University of
Food Technologies***УДК 664.061.4:084****РОЗРОБЛЕННЯ
ВИСОКОЕФЕКТИВНОЇ
ВІБРОЕКСТРАКЦІЙНОЇ
АПАРАТУРИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ
ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ**

Представлено переваги, будову та конструктивні особливості вискоефективної віброекстракційної апаратури періодичної та безперервної дії, розробленої в останнє десятиріччя на кафедрі процесів і апаратів НУХТ за пріоритетним напрямом наукових досліджень, а також перспективи її практичної реалізації в різних галузях промисловості для раціонального перероблення рослинної сировини, її відходів з високим ступенем подрібнення та з різною морфологічною структурою з метою створення нових вискоефективних технологій та обладнання. Акцентовано увагу на тому, що ефективність використання віброекстракторів для перероблення рослинної сировини та її відходів обумовлена створенням інтенсивних гідродинамічних режимів турбулентними пульсуючими струменями, генерованими віброперемішувальними елементами спеціальної конструкції.

Ключові слова: віброекстрагування, віброекстрактори, конструкція, періодичний та безперервний процес, масоперенесення, інтенсифікація, міжфазова взаємодія, пульсуючий потік, розділення фаз, проектування.

Вступ. Для найбільш енерго- та матеріалоємних галузей харчової промисловості, таких як цукрова, оліє-жирова, консервна, виноробна, пивоварна, лікєро-горілчана, крохмале-патокова, фармацевтична, де щорічно переробляються мільйони тон рослинної сировини та її відходів овочевого, кореневого, трав'яного, листового та плодово-ягідного походження, задачі раціонального вилучення з них екстрактивних речовин особливо актуальні.

Разом з тим, при всій різноманітності конструкцій сучасних екстракторів періодичної та безперервної дії існують загальні недоліки, обумовлені недостатньою проникністю екстрагента через шар підготовленої до процесу здрібноної сировини і, як наслідок, низькою активністю поверхні контакту фаз.

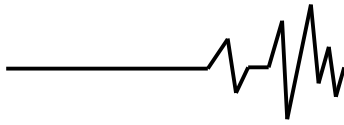
Аналіз традиційних способів екстрагування в системі тверде тіло-рідина вказав напрямок вирішення цієї проблеми, суть якої полягає в створенні режиму інтенсивної знакозмінної турбулізації робочого потоку.

Серед відомих апаратів, в роботі яких застосовують такі режими, найбільш перспективними є віброекстрактори, переваги яких визначаються специфікою їх гідродинаміки, що забезпечує оптимальне співвідношення між мікро-і макромасштабними параметрами дії турбулентних пульсуючих струменів.

Конструктивно та за процесними особливостями віброекстрактори мають значні відмінності від традиційних екстракторів, що викликає необхідність пошуку та розроблення оригінальних привідної, віброперемішувальної і, в окремих випадках, одночасно вібротранспортувальної систем [1].

Так, на кафедрі процесів і апаратів харчових виробництв НУХТ розроблено вискоефективну віброекстракційну апаратуру періодичної та безперервної дії та дано рекомендації її промислового використання.

Постановка завдання. Зосереджено увагу на тому, що всі конструктивні рішення розробленої віброекстракційної апаратури



можуть бути використані майже в усіх галузях промисловості для отримання екстрактів в системі тверде тіло – рідина з малою різницею густин фаз. Аналіз основних гідродинамічних та масообмінних характеристик розроблених віброекстракторів показує, що покладені в основу їх роботи ефекти створення спрямованої пульсуючої дії струменів на взаємодіючі фази, генеровані елементами віброперемішувальних пристроїв, сприяють організації інтенсивних гідродинамічних режимів взаємодії фаз, збільшуючи активну поверхню до 100%.

Виклад основного матеріалу.

Доцільність використання апаратів періодичної або безперервної дії визначатимуть лише масштаби виробництва відповідної продукції. Так, наприклад, в пивоварній — для більш повного вилучення гірких речовин при охмільванні сусли і переробці солодових ростків; у виноробній та консервній — для екстрагування барвних речовин з плодів та ягід, а також для перероблення пряно-ароматичної рослинної сировини при виробництві напоїв; в цукровій — для перероблення некондиційної бурякомаси (бою і хвостів буряка); у фармацевтичній — для екстрагування біологічно активних речовин із рослин лікарського призначення тощо. Новизна технічних рішень розробленої віброекстракційної апаратури та принципових апаратурно-технологічних схем підтверджена патентами України на винахід.

1. Нові конструктивні рішення періодично діючих екстракторів.

Віброекстрактори періодичної дії використовують новий принцип створення в робочому об'ємі апарата потужних вібротурбулізуючих потоків за допомогою віброперемішувальних пристроїв спеціальної конструкції незалежно від виду рослинної сировини та ступеню її подрібнення.

Так, під час розроблення апарата з гнучким стрічковим контейнером [2], ставилась задача створення у робочому об'ємі апарата умов оновлення поверхні контакту фаз спеціальними гнучкими перемішувальними пристроями (рис. 1.). Віброекстрактор має циліндричний корпус 1 з опорою 6 та кришкою із розміщеним на ній віброприводом. В корпусі змонтовано вібросистему з гнучкого контейнера 2, у вигляді окремих стрічок, та закріпленого через тарілку 8 та диск 4 із вібруючим штоком 9, що забезпечує вільну циркуляцію рідкої фази. Підведення екстрагенту та відведення екстракту здійснюється через відповідні штуцери.

до вакуумнасосу
(конденсатора)

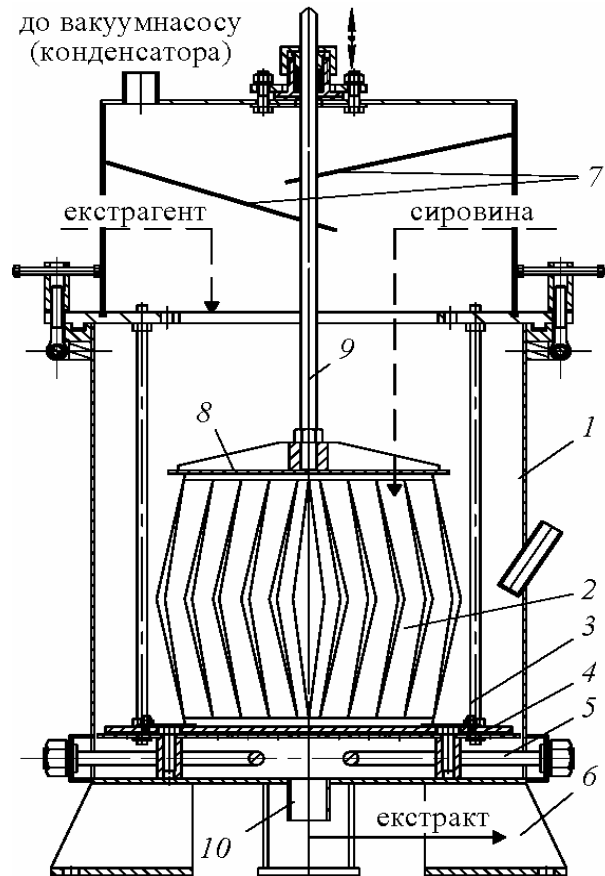


Рис. 1. Принципова схема віброекстрактора з гнучким контейнером: 1 – корпус; 2 – віброперемішувальний пристрій (контейнер); 3 – напрямна штанга; 4 – перфорований диск – основа; 5 – нагрівальний елемент; 6 – опора; 7 – лабиринтний бризкоуловлювач; 8 – тарілка; 9 – шток; 10 – штуцер

Під час екстрагування інтенсивність перемішування оцінюється швидкісним режимом обтікання екстрагентом поверхні частинок твердої фази.

При цьому, в середині контейнера створюються замкнені пульсуючі циркуляційні контури, а за його межами розімкнені, локалізовані на певній відстані, які утримують частинки твердої фази у завислому стані та створюють умови циркуляції екстрагенту навколо їх поверхні.

Гідродинамічні умови в цих потоках визначають їх дію як турбулізуючого фактора на мікрорівні та макромасштабного фактора, що усуває застійні зони.

Конструкція віброекстрактора періодичної дії з проміжним віджимом твердої фази (рис. 2) містить циліндричний корпус з кришкою та віброприводом, штуцери введення екстрагенту і виведення екстракту та проникний для

екстрагенту контейнер — основний робочий вузол екстрактора [3].

до вакуумнаосу
(конденсатора)

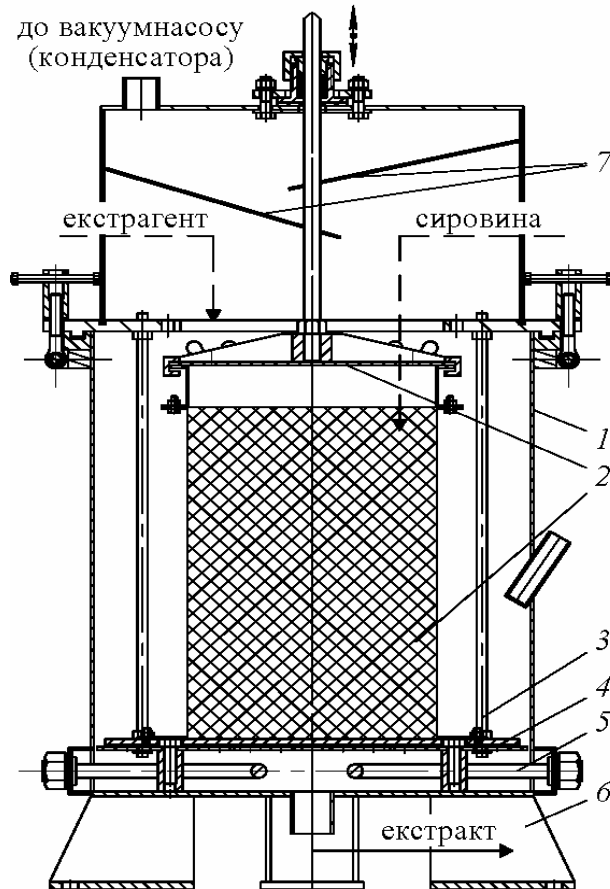


Рис. 2. Принципова схема віброекстрактора з сітчастим контейнером: 1 – корпус; 2 – віброперемішувальний пристрій з сітчастим контейнером; 3 – направляюча штанга; 4 – перфорований диск - основа; 5 – нагрівальний елемент; 6 – опора; 7 – лабіринтний бризкоуловлювач

При зворотно-поступальному русі верхньої частини контейнера (з певними частотою та амплітудою) створюються турбулентні пульсуючі потоки, що спрямовані як до периферії робочого об'єму апарата, так і до його центральної частини, усувають застійні зони та сприяють інтенсифікації процесу екстрагування на мікро- і макрорівні. Під час процесу також створюється двобічне фільтрування з ефектом періодичного віджиму сировини. Фільтрувальна властивість поверхні контейнера та її здатність стискуватися по вертикальній вісі завдяки його гнучкості, а також можливість регулювання у необхідних інтервалах амплітуди та частоти коливань його проникної для екстрагента поверхні забезпечують порівняно високу інтенсивність

процесу екстрагування та скорочення його тривалості.

На рис. 3 показано вібраційний екстрактор періодичної дії з комбінованим енергопідведенням [4]. В основу винаходу поставлено задачу створення конструкції, яка б забезпечувала комбіновані фізичні ефекти, що одночасно активізують зовнішню та внутрішню дифузію. На відміну від попередньої конструкції це вирішується тим, що в робочому об'ємі корпусу додатково розміщено високочастотний випромінювач 8.

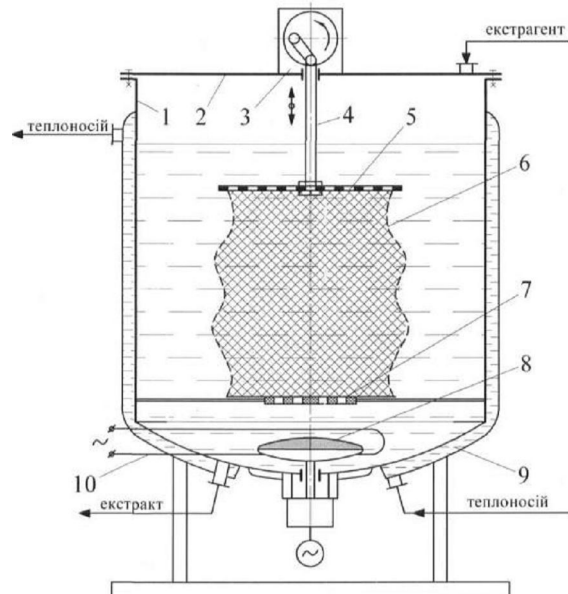
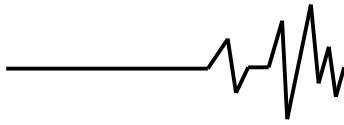


Рис. 3. Віброекстрактор з віброперемішувальною системою та з високочастотним випромінювачем: 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – вібропривід; 4 – шток; 5 – перфорований диск; 6 – гнучкий контейнер; 7 – опора; 8 – високочастотний випромінювач; 9 – нагрівна оболонка; 10 – ТЕН

Тобто в конструкції екстрактора одночасно реалізується накладання поля низькочастотних механічних коливань на робоче середовище механічним вібрувальним пристроєм (тарілкою 5 з отворами та з'єднаним з нею контейнером через електромеханічний привід) та поля високочастотних механічних коливань від електромеханічного випромінювача.

Під час роботи апарата у відповідності із прийнятим гідромодулем тверда фаза завантажується в контейнер 6, що фіксується на диску 5 та сітчастій опорі 7, які з'єднані через шток 4 з віброприводом 3. Після герметизації кришки 2 в робочий об'єм корпусу 1 подається в необхідній кількості екстрагент, стабілізується



температурний режим теплообміном від оболонки 9 та, при необхідності, від ТЕНа 10, вмикається вібропривід 3 із регульованими амплітудою та частотою коливань і, після відповідного до виду сировини часу розвитку та набуття усталеної зовнішньої дифузії, вмикається в роботу високочастотний випромінювач 8. Тривалість поодиноких низько- або високочастотних випромінювань, або тривалість їх одночасної дії на сировину залежить від виду та структурно-механічних властивостей сировини та від режимних параметрів процесу. Після закінчення процесу екстракт виводять із апарата через відповідний патрубок, а контейнер 6 із сировиною виводиться із апарата разом з кришкою 2, від'єднується від диска 5, звільнюється від шроту і піддається регенерації.

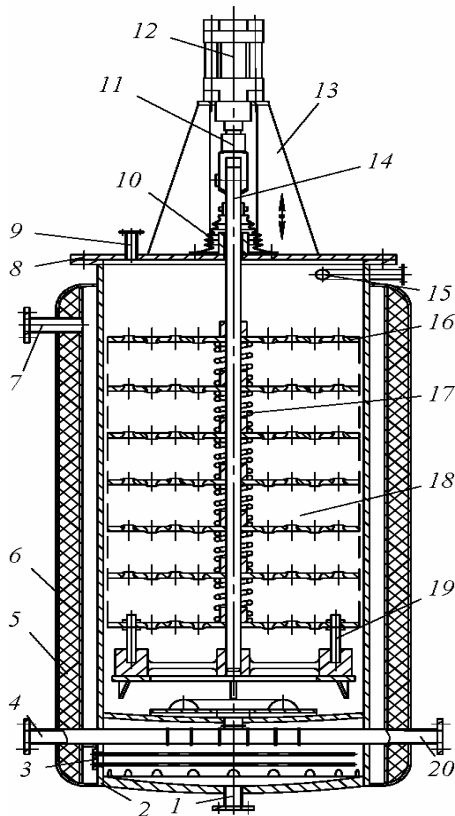


Рис. 4. Схема екстрактора періодичної дії з гнучкими мембранами: 1 – патрубок виведення конденсату; 2 – корпус; 3 – електронагрівач; 4 – патрубок підведення екстрагенту; 5, 6 – теплоізоляція з оболонкою; 7, 15 – патрубок підведення пари; 8 – кришка; 9 – патрубок підведення промивної води; 10 – сільфон; 11 – вилка; 12 – вібропривід; 13 – опора; 14 – шток; 16 – мембрана; 17 – пружина; 18 – ситчастий контейнер; 19 – напрямляючі; 20 – патрубок виведення екстракту

Віброекстрактор періодичної дії з жорсткими мембранами (рис.4) містить циліндричний корпус з кришкою та віброприводом, штуцери введення екстрагенту і виведення екстракту та контейнер, який виконано гнучким, набір тарілок, дві з яких закріплені через верхній та нижній фланці відповідно із віброуючим штоком та опорою [5].

За рахунок з'єднання пружинними вставками тарілок змінюється відстань між тарілками, як наслідок, уможливлення проміжного віджиму рослинної сировини в робочому об'ємі апарата.

При зворотно-поступальному русі верхньої тарілки (з певними частотою та амплітудою), рух передається через пружинні вставки на інші тарілки, високочастотні випромінювачі інтенсифікують масообмін у нижній частині, регулятор амплітуди дозволяє вести процес з проміжним сировини. Внаслідок проміжного вичавлювання інтенсифікується молекулярна дифузія.

Фільтрувальна здатність проникної поверхні контейнера (проникність для екстрагенту поверхні контейнера) регулюється в залежності від ступеня подрібнення твердої фази.

2. Розроблені нові конструктивні рішення віброекстракторів безперервної дії для промислового використання також відрізняє висока відносна швидкість взаємодії фаз, технологічність виготовлення та простота експлуатації.

Так, апарат (рис. 5) складається з циліндричної колони 1 із завантажувальним U-подібним пристроєм 2, вібротранспортуючого пристрою з поперечними переділками (тарілками) 3, що закріплені по чергову на вертикальних штоках 4 і 5, і здійснюють зміщені на півперіода зустрічні гармонійні коливання. Вібропривід 9 із кривошипно-шатунним механізмом забезпечує фіксовані амплітуду і частоту руху штоків. Для розвантаження апарата від проекстрагованої сировини передбачено шкребачку 6 з лотком 7. Для подачі екстрагенту в апарат над верхньою тарілкою розміщено зрошувач 10 [6].

В такому апараті розвинена велика міжфазова поверхня, при виключно високій турбулізації в зоні тарілки, створює умови для інтенсивного масообміну. У той же час тривалість перебування усіх часток в робочому об'ємі апарата майже однакова.

В залежності від форми та розміру часток твердої фази розроблено ряд апаратів, що відрізняються за конструкцією вібротранспортувального пристрою та режимними параметрами їх роботи.

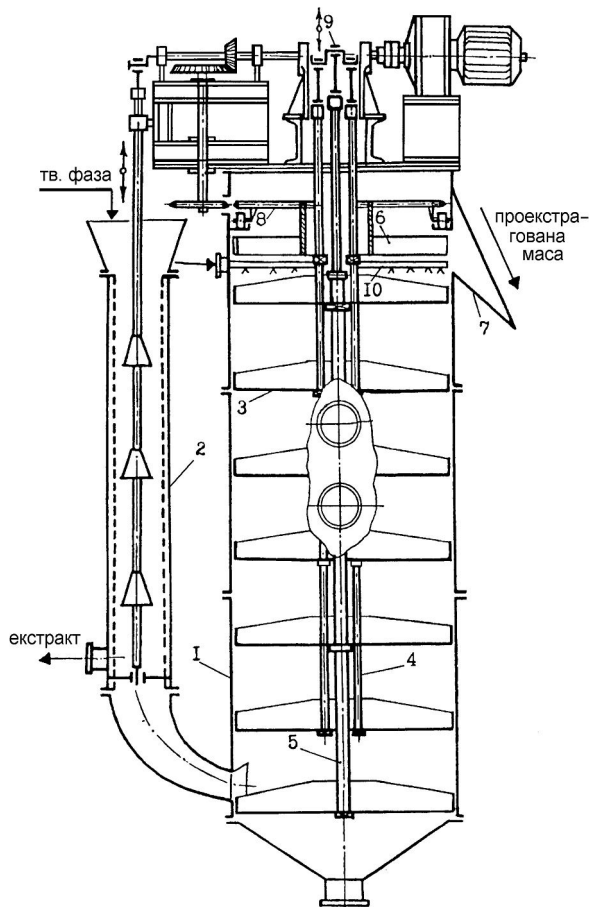


Рис. 5. Принципова схема віброекстрактора: 1 – корпус апарата; 2 – завантажувальний пристрій; 3 – вібротранспортувальна тарілка; 4, 5 – штоки; 6 – шкребачка; 7 – лоток; 8 – механізм для розвантаження; 9 – вібропривід; 10 – зрошувач

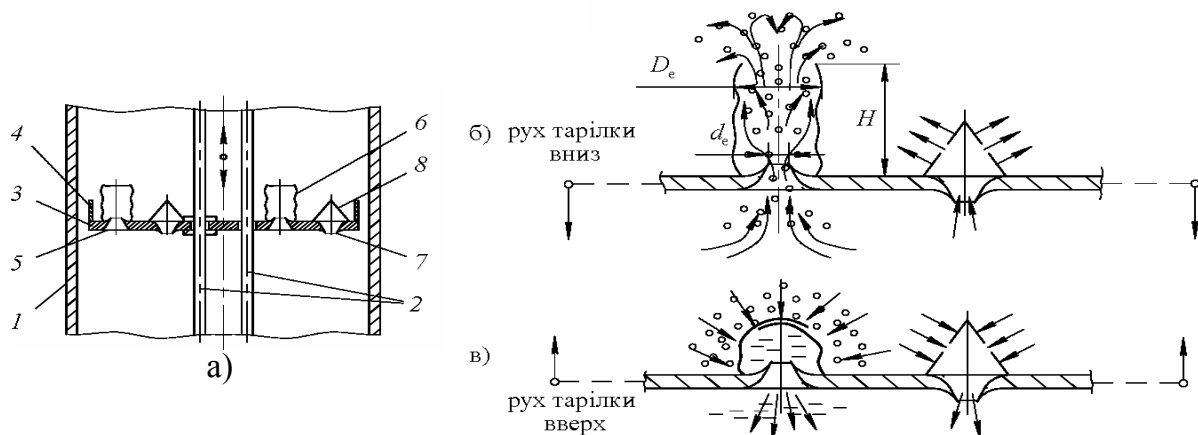
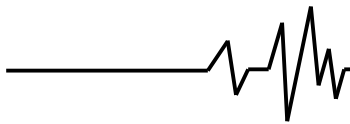


Рис. 6. Схема віброекстрактора безперервної дії з гнучкими транспортувальними патрубками: а) тарілка з гнучкими патрубками; б) рух тарілки вниз; в) рух тарілки вверх: 1 – корпус; 2 – штоки; 3 – транспортувальні тарілки; 4 – борт; 5 – транспортувальні елементи; 6 – гнучкі патрубки; 7 – фільтрувальні елементи; 8 – сітка

Конструкція тарілки з гнучкими патрубками [7] має закріплені на ній по периферії борт та однонаправлені елементи, які мають різний гідравлічний опір руху через них робочого середовища у взаємно протилежних напрямках і розташованими таким чином, що гідравлічний опір руху середовища у бік вивантаження твердої фази менше, а також протилежно направленими ним аналогічними елементами, закритими фільтруючими випуклими сітками, встановленими на стороні меншого гідравлічного опору елементів (рис. 6).

При русі тарілки вниз суспензія витискається через відкриті транспортувальні елементи 5 і потрапляє всередину гнучких патрубків 6, які набувають при цьому правильної встановленої форми і перепускають тверду фазу за їх межі. При виході з патрубка відбувається подальше розширення факела суспензії і тверді частинки рухаються за межі патрубка.

При русі тарілки вверх гнучкий патрубків втрачає свою утворену висхідним потоком форму і зникається, створюючи гідравлічний опір перетоку твердої фази у зворотному напрямі. При цьому відбувається поступове накопичення твердої фази над тарілкою. Зростаючий шар твердої фази через деякий час потрапляє в зону дії турбулентних струменів, генерованих фільтруючими елементами верхньої тарілки, активізується інтенсивним відносним фазовим рухом, потрапляє під транспортуючі елементи верхньої тарілки і процес транспортування повторюється до моменту розвантаження твердої фази з апарата.



В основу конструкції віброекстрактора з тарілкою змінної форми покладено задачу забезпечити ефективне, безперервне протитечійне розділення фаз з постійним оновленням поверхні їх контакту при виробництві екстрактів із рослинної сировини кореневого, трав'яного, зернового, та листового походження незалежно від їх ступеня подрібнення.

Інша конструкція тарілки (рис. 7) складається з гумової діафрагми, що закріплена через обичайку, а транспортуючі гумові тарілки 1 є перфорованими, мають зрізаний конус 2, що зменшує гідравлічний опір, і стопори 3, які жорстко закріплені у горизонтальному стані [8].

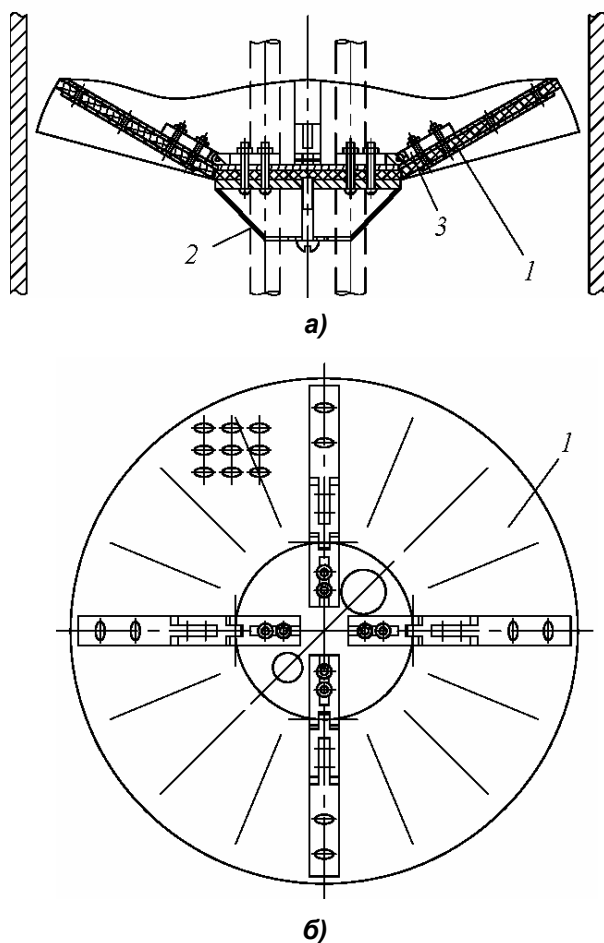


Рис. 7. Схема вібротранспортувальної тарілки змінної форми:

а) завантажувальна тарілка; б) тарілка (вид зверху): 1 – транспортувальна тарілка; 2 – конус опорний; 3 – стопор.

При русі транспортуючої тарілки вниз на відстань амплітуди її коливання під дією опору середовища відбувається вільне відхилення у бік транспортування твердої фази гнучких, незакріплених по периферії, створок тарілки. При цьому відбувається вільний перехід

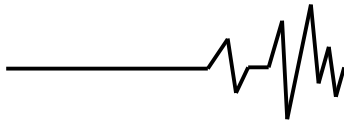
суспензії із зони під тарілкою на верхній її бік. При русі тарілки вверх гнучкі створки повертаються у попереднє положення з обмеженням їх подальшого руху стопорами 3, які жорстко закріплені у горизонтальному стані. На цій стадії разом із затриманням твердої фази на поверхні тарілки відбувається фільтрування через її шар екстрагенту та подальший вільний його перехід через перфорації в тарілках на інший її бік. Внаслідок почергового повторення цих стадій із встановленими амплітудою і частотою коливань відбувається протитечійне розділення фаз. Екстрагент, збагачуючись вилученим цільовим компонентом, рухається вниз апарата до зливного пристрою, а тверда фаза до розвантажувального пристрою.

Транспортувальні тарілки з пелюстками (рис. 8) складаються із базової частини, яка містить периферійну рамку-обичайку 1 із вертикальним по периферії бортом 2 певної висоти, центральну маточину 3 з радіальними спицями 4, що жорстко з'єднують обичайку 1 із маточиною 3, та з регулярної решітки 5 [9].

Гнучка регульована частина тарілки представляє собою багатопелюсткову із гнучкого еластичного перфорованого матеріалу конструкцію — пластини-пелюстки 6, що розташовані на решітці 5 та жорстко фіксовані накладкою 7 на маточині 3 і несе на собі обмежувальні рамки 8, які розміщені безпосередньо на верхніх площинах гнучких еластичних пластин-пелюстків 6 тарілки і мають змогу контактувати з ними, вільно переміщуватись і сковзати по ним, але, одночасно, в границях обмежувальних зазорів направляючих елементів 9.

Периферійні площини пластин-пелюстків 6 з певним зазором досягають борта 2 тарілки та лягають на горизонтальні опорні виступи обичайки 1, а нижні площини пелюстків 6 лягають на решітку 5, яка жорстко укладена в границях верхньої горизонтальної площині спиць 4. Наявні в маточині 3 отвори 10 забезпечують монтаж тарілок на вертикальних штоках 7.

При русі штока з "непарними" тарілками униз, пластини-пелюстки 6 тарілок піднімаються під дією сил тиску підтарілочастих стовпів рідини — двофазної суміші на висоту, яка обмежується регульованим радіусом сковзання рамок 8 і, таким способом, через утворені периферійні та внутрішні радіальні канали та їх живі перерізи, забезпечується розділення двофазної суміші; одночасно, при протифазовому русі штока з "парними" тарілками вверх, їх пластини-пелюстки 6 під дією сил тиску надтарілочного стовпа



двофазної суміші опускаються на площину решіток 5, перекривають живі перерізи робочого об'єму апарата і, як наслідок, забезпечують накопичення твердої фази у відповідному (своєму) надтарілочному робочому об'ємі. Форма, живі перерізи та визначальні геометричні розміри перфорацій

пластин-пелюсток співвідносяться з такими ж характеристиками частинок твердої фази (сировини), забезпечуючи сепарувально-транспортувальну здатність тарілки рідкої фази в підтарілочний робочий об'єм (фільтруванням через перфорації в пластинах-пелюстках).

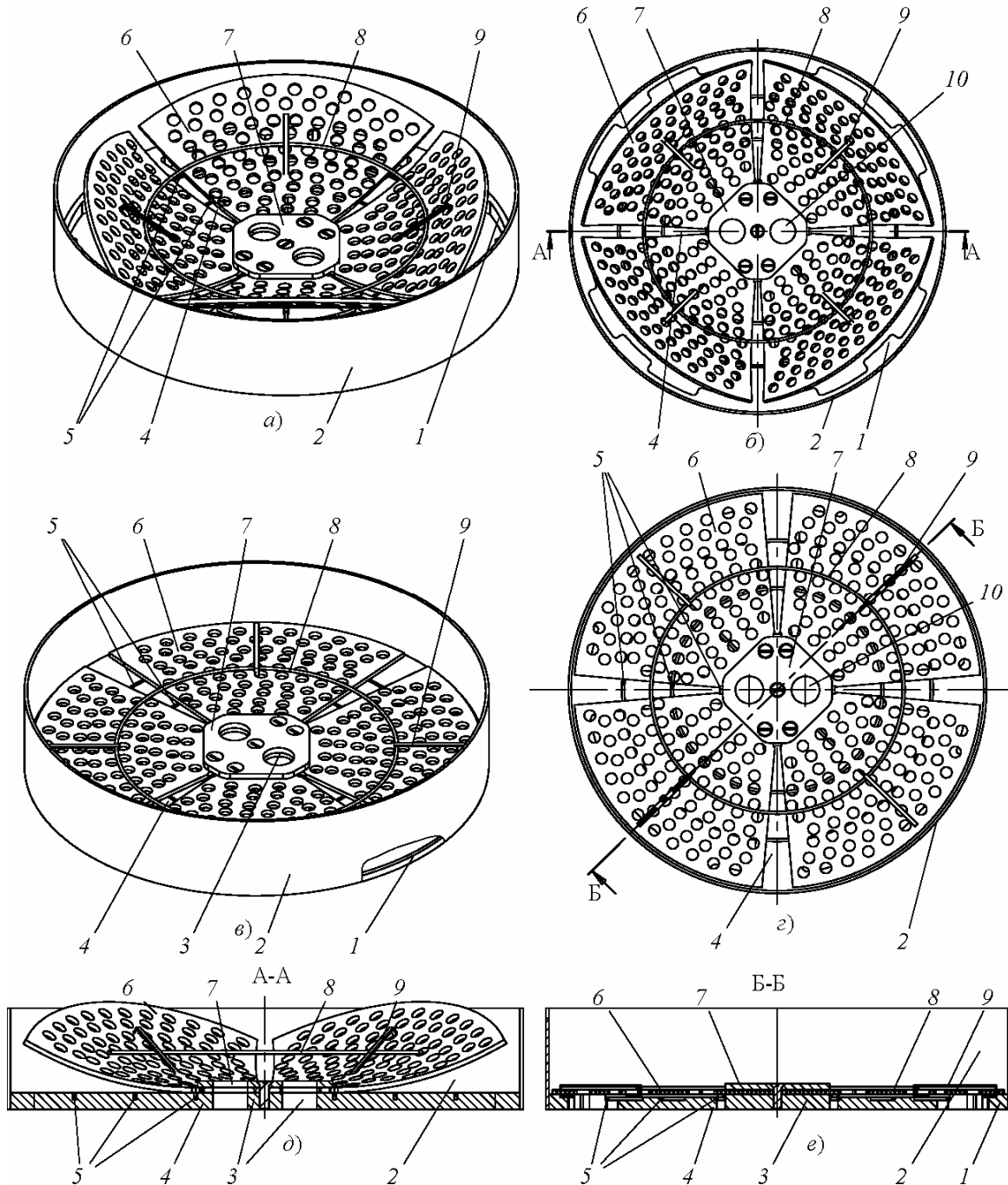
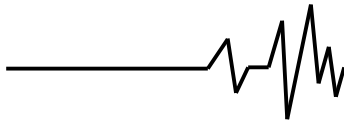


Рис. 8. Схема вібротранспортувальної тарілки з гнучкими еластичними пластинами-пелюстками: а), б), д) відповідно ізометрія, вид зверху та переріз А-А тарілки при її русі униз; в), г), е) відповідно ізометрія, вид зверху та переріз Б-Б тарілки при русі уверх; 1 – рамка-обичайка; 2 – борт; 3, 4 – відповідно, центральна маточина і радіальні спиці; 5 – регулярна решітка; 6 – пластини-пелюстки; 7 – накладка; 8 – обмежувальні рамки; 9 – направляючі елементи; 10 – отвори



Конструкція транспортувальних тарілок з гнучкими еластичними пластинами-стулками (рис.9) забезпечує рівномірність та усталеність у часі масових витрат двофазного потоку у всіх його перерізах по висоті апарата і, як наслідок,

вирівнювання його гідродинамічних та теплообмінних характеристик в таких перерізах та збільшення сепаруючої і транспортувальної ефективності робочих тарілок апарата [10].

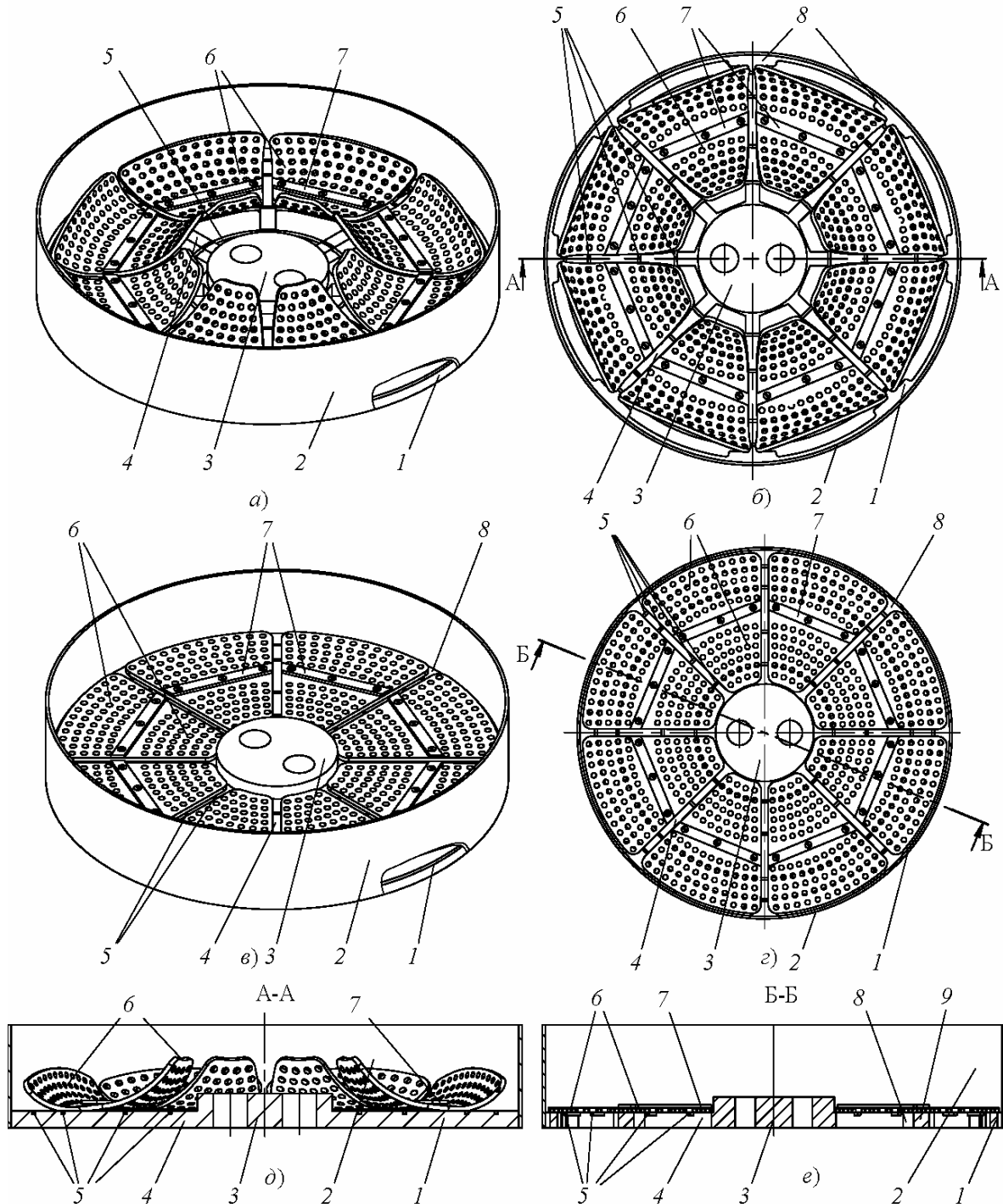
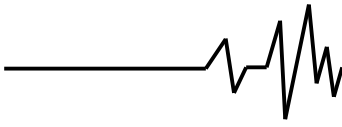


Рис. 9. Схема вібротранспортувальної тарілки з гнучкими еластичними пластинами-стулками: а), б), д) відповідно ізометрія, вид зверху та переріз А-А тарілки при її русі униз; в), г), е) відповідно ізометрія, вид зверху та переріз Б-Б тарілки при русі уверх; 1 – периферійна рамка-обичайка; 2 – борт; 3, 4 – відповідно, центральна маточина і радіальні спиці; 5 – регулярна решітка; 6 – пластины-стулки; 7 – накладка; 8 – опорні виступи; 9 – проміжні ребра



Тарілка складається з базової частини, що має периферійну рамку-обичайку 1 із вертикальним по периферії бортом 2 певної висоти, центральну маточину 3 з радіальними спицями 4, що жорстко з'єднують обичайку 1 із маточиною 3, та з регулярної решітки 5. Пластини-стулки 6, що розташовані на решітці 5 та жорстко фіксовані накладками 7 на проміжних ребрах 9. Периферійні площини пластин-стулок 6 з певним зазором досягають борта 2 тарілки та лягають на горизонтальні опорні виступи 8 обичайки 1, а внутрішні площини пластин-стулок також з певним зазором досягають маточину 3 та лягають на її опорні виступи; нижні площини пластин-стулок 6 лягають на решітку 5, яка жорстко укладена в границях верхньої площини спиць 4 та проміжних ребер 9.

Під час роботи апарата при русі штока з "непарними" тарілками донизу пластини-стулки 6 тарілок піднімаються під дією сил тиску підтарілочних стовпів рідини — двофазної суміші і таким чином утворені периферійні та внутрішні радіальні канали та їх живі перерізи забезпечують транспортування двофазної суміші в надтарілочний об'єм; одночасно, при протифазовому русі штока з "парними" тарілками догори (вверх) їх пластини-стулки 6 під дією сил тиску надтарілочного стовпа двофазної суміші опускаються на площину решітки 5 тарілки, перекривають живі перерізи в площині цих тарілок і, як наслідок, забезпечують накопичення твердої фази у відповідному надтарілочному робочому об'ємі та одночасне сепарування рідкої фази в підтарілочний робочий об'єм, — фільтруванням через перфорації в пластинах-стулках.

Такі протифазові із заданою амплітудою та частотою коливальні рухи певної сумарної кількості "парних" та "непарних" багатостулкових тарілок в усьому робочому об'ємі апарата забезпечують безперервне ступінчасте (послідовно-порційне) та протиспрямоване до напрямку руху рідкої фази транспортування твердої фази від її входу до виходу з апарата (знизу — вверх), а також, що є принциповим, забезпечує протиспрямовані напрями руху двофазних потоків, — від середини тарілки до її периферії та, одночасно, від середини тарілки до центральної частини надтарілочних робочих об'ємів, ліквідуючи застійні зони у всіх поперечних перерізах робочого об'єму апарата.

В апаратах безперервної дії усіх наведених конструкцій турбулентні пульсуючі струмені, що генеруються транспортувальними елементами, створюють оптимальні гідродинамічні умови для ефективного

протитечійного масообміну завдяки інтенсивному мікроперемішуванню в поперечному перерізі робочого об'єму апарата з мінімальним повздовжнім. При цьому тривалість перебування усіх часток у робочому об'ємі апарата майже однакова. Цей факт підтверджено дослідженнями структури потоків в апараті при безперервному віброекстрагуванні цільових компонентів з рослинної сировини.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень надали можливість науково обґрунтувати та реалізувати в лабораторних умовах найбільш ефективні режими роботи періодичного та безперервного віброекстрагування і як результат - створити нові промислові апарати та принципів апаратурно-технологічні схеми ефективного та поглибленого перероблення рослинної сировини з високим ступенем її подрібнення в різних галузях промисловості [1]

3. Розроблення апаратурно-технологічних схем поглибленого перероблення рослинної сировини та її відходів.

Технічні рішення наведеної віброекстракційної апаратури періодичної та безперервної дії знайшли своє втілення у відповідних апаратурно-технологічних схемах перероблення рослинної сировини з різною морфологічною структурою. Так, наприклад, лінія виробництва концентрату екстракту чаю, що використовує віброекстрагування періодичної дії за патентом на винахід № 84641 розглядається в комплексі з винаходами №№ 85435, 85436, 86485, 90802, 92560, 92851 [1]. За рахунок запропонованого поєднання у технологічній послідовності оригінального та традиційного обладнання наведена технологічна лінія виробництва концентрату чаю (рис. 10) забезпечує поглиблене вилучення водорозчинних сухих речовин із сировини, скорочення тривалості процесу виробництва концентрату екстракту — порошку чаю та виготовлення й утилізацію чайного шламу.

Використання такої лінії забезпечує збільшену продуктивність виробництва екстрактів за вилученими цільовими компонентами із рослинної сировини.

Переваги технічного рішення за винаходом полягають у наступному: використання робочого об'єму основного апарата — екстрактора — 97%; утилізація відходів — 100%; ступінь вилучення цільових компонентів — 90 %; концентрація сухих речовин у вихідному концентраті — рідині — до 80 %; вихідна вологість концентрату — порошку — 5—6 %.

Принципова апаратурно-технологічна схема виробництва (рис. 10) [11] базується на поєднаних технологічними та енергетичними потоками відповідних апаратів і комплектуючого обладнання, а саме (без обладнання ділянок підготовки технологічної води – екстрагента та чаю-сировини, переробки шротної суміші та ділянки купажування концентратів – рідини та порошку): збірник 2 і підігрівач 4 технологічної води – екстрагента,

екстрактор 5, центрифугу фільтрувальну 7, збірник шроту проекстрагованої сировини 8, збірник 9 осаду від центрифуги, збірник 11 та підігрівач 13 фільтрованого екстракту, трикорпусну випарну установку 14, 16, 18, конденсатор вторинної пари 21, збірник конденсату вакуумований 22, збірник 23 та підігрівач 26 концентрату, сушарку розпилювальну 27 та автомат фасувальний 33.

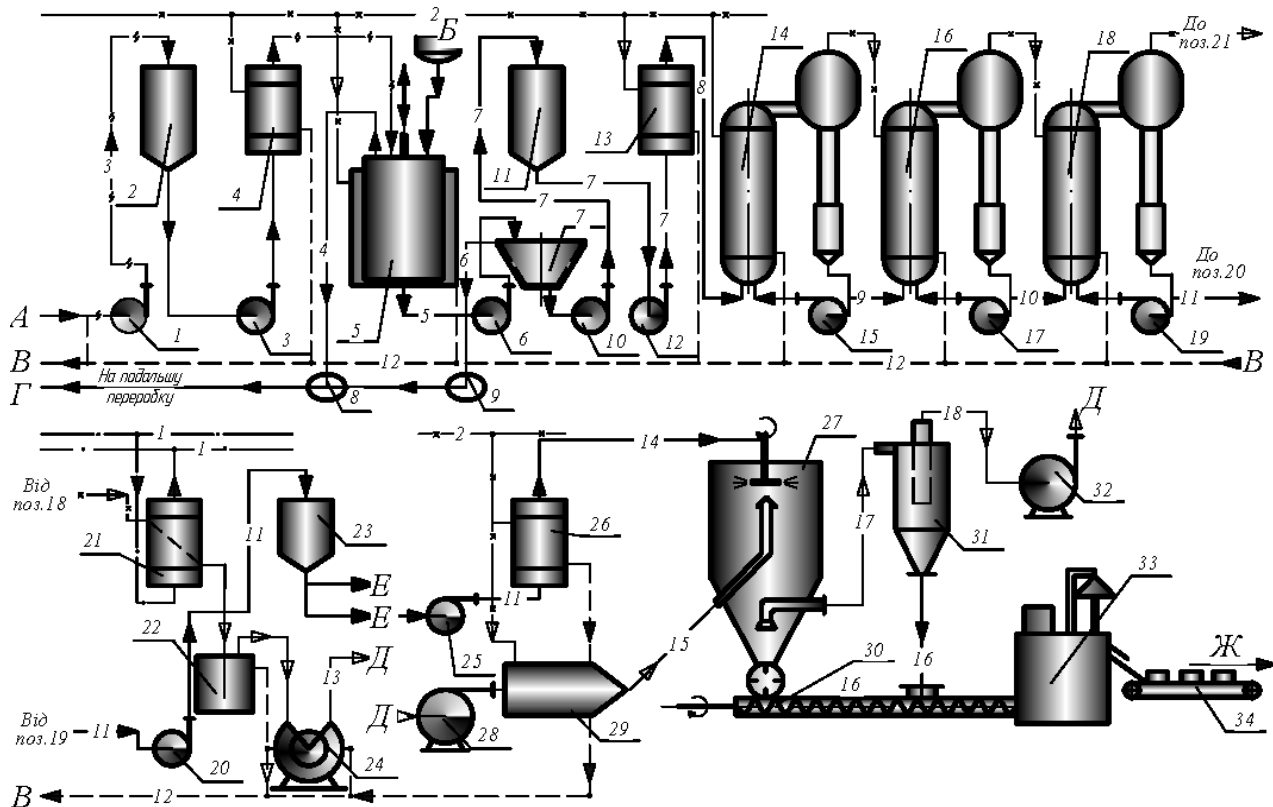


Рис. 10. Апаратурно-технологічна схема виробництва чайного концентрату: 2 – збірник, 4 – підігрівач технологічної води – екстрагента, 5 – віброекстрактор, 7 – центрифуга фільтрувальна, 8 – збірник шроту проекстрагованої сировини, 9 – збірник осаду від центрифуги, 11 – збірник, 13 – підігрівач фільтрованого екстракту, 14, 16, 18 – трикорпусна випарна установка, 21 – конденсатор вторинної пари, 22 – збірник конденсату вакуумований, 23 – збірник, 26 – підігрівач концентрату, 1, 3, 6, 10, 12, 15, 17, 19, 20, 25 – відцентрові насоси, 24 – вакуум-насос, 27 – сушарка розпилювальна, 28, 32 – вентилятори, 30, 34 – конвеєри, 29 – калорифер, 31 – циклон розпилювальної сушарки, 33 – автомат фасувальний. Позначення потоків: 1 – вода технічна, 2 – пара водяна, 3 – вода технологічна (підготовлена), 4 – шлам проекстрагованої сировини, 5 – екстракт нефільтрований, 6 – осад з фільтра, 7 – екстракт фільтрований, 8 – екстракт підігрітий, 9 – концентрат з 1-го корпусу ВУ, 10 – концентрат з 2-го корпусу ВУ, 11 – концентрат з 3-го корпусу ВУ, 12 – конденсат водяний, 13 – повітря атмосферне, 14 – концентрат підігрітий, 15 – повітря нагріте (сушильний агент – СА), 16 – концентрат-порошок, 17 – СА відпрацьований, 18 – повітря відпрацьоване; А – вхід технологічної води з підготовчої ділянки, Б – вхід підготовленої сировини з підготовчої ділянки, В – вихід конденсатів пари до збірника та подальшого використання, Г – вихід шламу проекстрагованої сировини та осаду з фільтра на подальшу переробку, Д – вхід – вихід повітря в (з) атмосферу(и), Е – вихід концентрованого екстракту (рідкого) на подальшу переробку (купажування, дозування), Ж – вихід екстракту порошку на розфасовку

З метою поглибленого вилучення водорозчинних сухих речовин із чаю-сировини, збільшення швидкості та, відповідно, скорочення тривалості процесу екстрагування в наведеній схемі можна встановити один або кілька вібраційних екстракторів періодичної дії. Технологічна лінія в режимі періодичної дії працює так. Чай-сировину, інспектований і подрібнений, завантажують у вібраційний екстрактор 5 і за допомогою насоса 3 заливають екстрагентом зі збірника 2 — підготовленою та підігрітою у підігрівачі 4 водою. Отриманий екстракт насосом 6 подають до фільтрувальної центрифуги 7 і далі насосом 10 — до збірника фільтрованого екстракту 11, звідки насосом 12 перекачують у підігрівач 13 і випарну установку 14, 16, 18 на концентрування. Сконцентрований екстракт-рідину (чайний концентрат) насосом 20 подають у збірник 23, звідки насосом 25 — у підігрівач 26 і далі — на висушування у

розпилювальну сушарку 27. Отриманий розчинний концентрат-порошок шнековим конвеєром 30 або пневмотранспортом подають до фасувального автомата 33, звідки упаковки переміщують стрічковим конвеєром 34 до складу. Проекстрагований чай-сировину у вигляді шроту виводять з екстрактора 5 і подають у збірник 8, а осад від центрифуги — у збірник 9 і далі, окремими потоками або сумішшю, до ділянки їх безвідходної переробки.

В основу розробки апаратурно-технологічної схеми лінії виробництва екстрактів із рослинної сировини та її відходів безперервним віброекстрагуванням (рис. 11) ставилася задача створення безперервнодіючої лінії виробництва рослинних екстрактів з поглибленим вилученням цільових компонентів із рослинної сировини кореневого, листового, трав'яного та плодово-ягідного походження з високим ступенем її подрібнення [12].

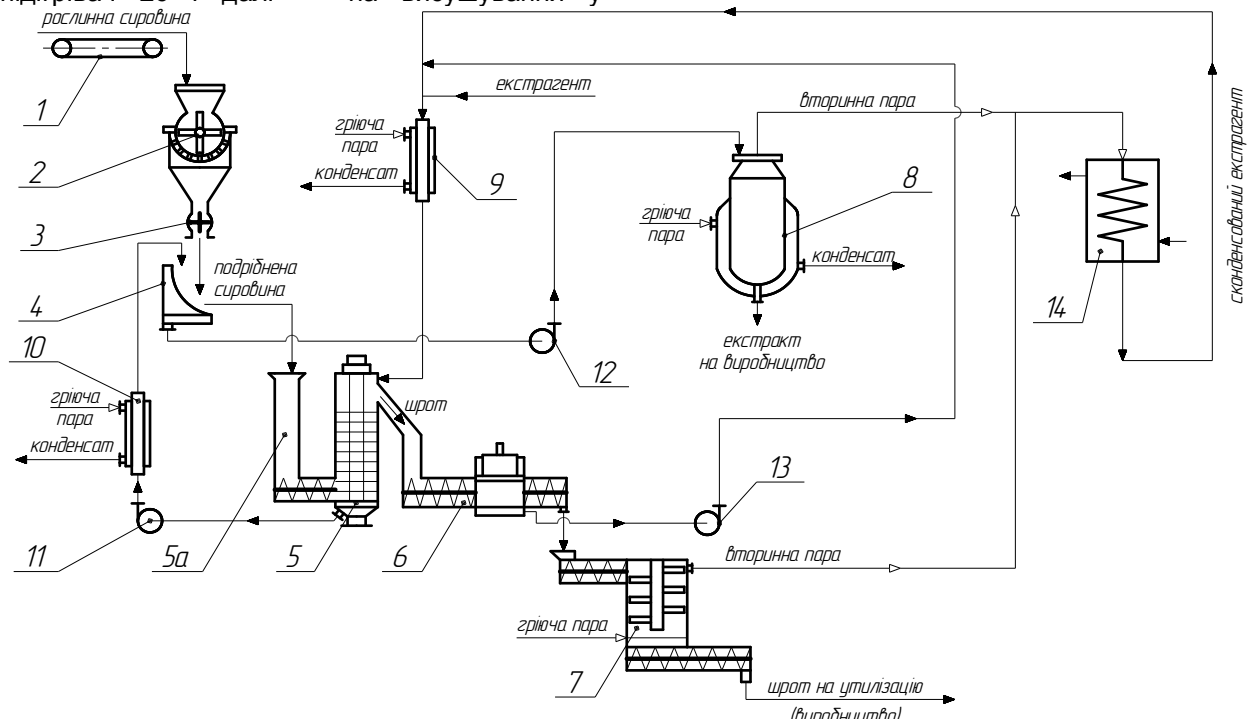
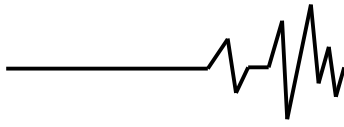


Рис. 11. Апаратурно-технологічна схема виробництва екстрактів із рослинної сировини та її відходів: 1 – транспортер; 2 – дозатор; 3 – відокремлювач екстракту; 4 – дугове сито; 5 – віброекстрактор безперервної дії; 5а – завантажувальний пристрій; 6 – прес шроту; 7 – дистилятор легкого екстрагенту; 8 – випарний апарат; 9 – підігрівач екстрагенту; 10 – підігрівач сокостружкової суміші; 11 – циркуляційний насос; 12 – насос відкачки екстракту; 13 – насос відкачки віджатого екстрагенту; 14 – конденсатор

Лінія містить послідовно встановлені транспортер подачі сировини, дозатор, віброекстрактор неперервної дії із завантажувальним пристроєм, конденсатор легкого компонента, а також підігрівач екстрагенту, підігрівач сокостружкової суміші,

циркуляційний насос, насоси відкачки екстракта та віджатого екстрагенту. Відокремлювач екстракту послідовно з'єднаний з віброекстрактором неперервної дії, що оснащений транспортувально-перемішувальною системою спеціальної



конструкції та системою утилізації шроту, що включає прес та дистилятор леткого компонента. Така схема одночасно з основним процесом вилучення цільових компонентів із рослинної сировини і отримання концентрату екстракту забезпечує утилізацію віджатого шроту з можливістю регенерації леткого екстрагента, в разі використання такого.

Інтенсифікація масообміну привіброекстрагуванні та встановлення обладнання з підготовки екстрагента та утилізації шроту дозволяє збільшити продуктивність лінії по вилученню цільових компонентів з можливістю поглиблено переробляти рослинну сировину з різною морфологічною структурою.

Класифікована та очищена від сторонніх речовин рослинна сировина транспортером 1 через подрібнювач 2 подається на дозатор 3, далі на відокремлювач екстракту з дуговым ситом 4, куди циркуляційним насосом 11 подається частина суспензії (тверда фаза та рідина), підігріта до необхідної для ведення екстрагування температури. Частина відокремленого екстракту, що пройшов крізь пори дугового сита відокремлювача насосом 12 подається для концентрування на випарний апарат 8 і далі на подальше його використання за призначенням.

З дугового сита відокремлювача 4 свіжа рослинна сировина, а також та що зійшла з нього після підігріву, подається у завантажувальний пристрій 5а віброекстрактора 5.

Під дією зворотно-поступального руху тарілок віброекстрактора відбувається розділення твердої та рідкої фаз (екстрагента), що подається через теплообмінник 9 на верхню тарілку віброекстрактора. Проекстрогована рослинна сировина (шрот) з верхньої тарілки віброекстрактора потрапляє на прес шроту 6, звідки насосом 13 відкачується відокремлений від шроту екстрагент на теплообмінник 9 і змішується зі свіжим.

Віджятий шрот, в разі використання для екстрагування леткого екстрагента, потрапляє в дистилятор 7 для відокремлення легколеткого компонента і далі направляється для подальшого технологічного використання. Відпрацьована вторинна пара, що містить легколеткий компонент, з дистилятора 7 та випарного апарата 8 конденсується в конденсаторі 14 і далі змішується з основним (свіжим) екстрагентом у теплообміннику 9.

У порівнянні з відомими лініями передбачено ведення процесу екстрагування в неперервному режимі, збільшення продуктивності за твердою фазою та

зменшення втрат в ній екстрактивних речовин за рахунок активізації та оновлення поверхні міжфазового контакту, створеними у віброекстракторі турбулентними пульсуючими струменями, з мінімальним поздовжнім перемішуванням в ньому.

Лінія може бути використана і в хімічній промисловості при екстрагуванні в системі рідина - тверде тіло з малою різницею густин фаз.

Доведені переваги віброекстракторів відкривають перед ними перспективи широкого використання в різноманітних галузях народного господарства.

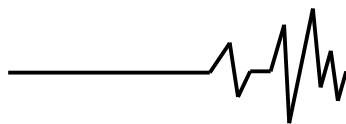
Матеріали досліджень використані Яготинським і Ніжинським машинобудівними заводами при сумісному розробленні з НУХТ технічної документації на віброекстрактор періодичної та безперервної дії.

Висновки. Враховуючи масштаби сучасного харчового виробництва на основі екстрактів слід зазначити, що вибір віброекстрактора тієї чи іншої конструкції обумовлено специфікою виробництва і у першу чергу — структурними та фізико-хімічними особливостями сировини.

Промислова реалізація конструктивних рішень віброекстракторів періодичної дії, а також розроблених принципів апаратурно-технологічних схем може бути рекомендована для безвідходного та поглибленого перероблення рослинної сировини кореневого, трав'яного, плодово-ягідного і овочевого походження та її відходів: у пивоварній — для більш повного вилучення гірких речовин із хмельової сировини; у виноробній та консервній для екстрагування барвних речовин з темно фарбованих плодів і ягід, а також для переробки пряно-ароматичної рослинної сировини при виробництві напоїв; у цукровій — для переробки некондиційної бурякомаси (бою і хвостиків буряка); у фармацевтичній — для екстрагування біологічно-активних речовин із рослинної сировини лікарського призначення; у чайній промисловості — для отримання рідких чайних екстрактів; у хімічній — для екстрагування в системі тверде тіло — рідина з малою різницею густин взаємодіючих фаз. Перспективним також може бути застосування віброекстрагування у технологічній лінії з виробництва пектину на стадії вилучення його з цитрусових та яблучних вичавок.

Список використаних джерел

1. Зав'ялов В.Л. Наукове обґрунтування та апаратурне оформлення процесу віброекстрагування в харчовій промисловості: автореф. дис. доктора техн. наук: 05.18.12 / Зав'ялов Володимир Леонідович. – К., 2014.



2. Пат. 85436 Україна, МПК В 01 D 11/02. Екстрактор / Зав'ялов В. Л., Попова Н. В. – № а 2007 03027; заявл. 22.03.07; опубл. 26.01.09, Бюл. № 2.

3. Пат. 99991 України МПК В01D 11/02 (2006.01). Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В. Л., Бодров В. С., Попова Н. В., Мисюра Т. Г., Варганова І. В., Мілютин О. І. № а 2011 12896; опубл. 25.10.12, Бюл. № 20.

4. Пат. 103838 Україна, МПК В 01 D 11/02 (2006.01). Вібраційний екстрактор періодичної дії з комбінованим енергопідведенням / Зав'ялов В. Л., Деканський В. Є., Попова Н. В., Мисюра Т. Г., Бодров В. С., Запорожець Ю. В. – № а 2012 08141; заявл. 03.07.12; опубл. 25.11.13, Бюл. № 22.

5. Пат. 14515 України на корисну модель, МПК В 01 D 11/02. Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В. Л., Бодров В. С., Попова Н. В., Мисюра Т. Г. – № U 2005 11361; заявл. 30.11.05; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5.

6. Пат. 3730 Україна, МПК В 01 D 11/02. Вібраційний екстрактор / Лобода П. П., Зав'ялов В. Л. – № 3783403/SU; заявл. 30.06.94; опубл. 30.12.94, Бюл. № 4.

7. Пат. 86485 Україна, МПК В 01 D 11/02. Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В.Л., Запорожець Ю.В., Бодров В.С. – № а2007 07563; заявл. 05.07.07; опубл. 27.04.09, Бюл.№8.

8. Пат. 85435 Україна, МПК В 01 D 11/02. Екстрактор / Зав'ялов В. Л., Попова Н. В. – №а 2007 03023; заявл. 22.03.07; опубл. 26.01.09, Бюл. № 2.

9. Пат. 90802 України, МПК В 01 D 11/02. Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В. Л., Бодров В. С., Мисюра Т. Г., Попова Н. В., – № U 2008 12893; заявл. 05.11.08; опубл. 25.05.10, Бюл. №10.

10. Пат. 92851 України, МПК В01D11/02. Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В. Л., Бодров В.С., Мисюра Т.Г., Попова Н.В. – № а 2009 07181; заявл. 09.11.07; опубл. 10.12.10, Бюл. №23.

11. Пат. 84641 Україна, МПК С 11 В 9/02. Лінія виробництва концентрату екстракту чаю / Зав'ялов В. Л., Попова Н. В., Мисюра Т. Г. – № U 2007 03026; заявл. 22.03.07; опубл. 10.11.08, Бюл. № 21.

12. Пат. 96234 України, МПК В 01 D 11/02. (2006.01). Лінія виробництва екстрактів із рослинної сировини та її відходів / Запорожець Ю. В., Зав'ялов В. Л., Дашковський Ю. О.; заявл. 03.09.10; опубл. 10.10.11, Бюл. № 19.

Список джерел в транслітерації

1. Zavalov V.L. Naukove ob'runuvannja ta aparaturne oformlennja procesu

vibroekstraguvan-nja v harchovij promislovosti: avtoref. dis. doktora tehn. nauk: 05.18.12 / Zav'jalov Volodimir Leonidovich. – К., 2014.

2. Pat. 85436 Ukraïna, MPK V 01 D 11/02. Ekstraktor / Zav'jalov V. L., Popova N. V. – № а 2007 03027; zajavl. 22.03.07; opubl. 26.01.09, Bjul. № 2.

3. Pat. 99991 Ukraïni MPK V01D 11/02 (2006.01). Vibracijnij ekstraktor / Zav'jalov V. L., Bodrov V. S., Popova N. V., Misjura T. G., Varganova I. V., Miljutin O. I. № а 2011 12896; opubl. 25.10.12, Bjul. № 20.

4. Pat. 103838 Ukraïna, MPK V 01 D 11/02 (2006.01). Vibracijnij ekstraktor periodichnoj diï z kombinovanim energopidvedennjam / Zav'jalov V. L., Dekans'kij V. Є., Popova N. V., Misjura T. G., Bodrov V. S., Zaporozhec Ju. V. – № а 2012 08141; zajavl. 03.07.12; opubl. 25.11.13, Bjul. №22.

5. Pat. 14515 Ukraïni na korisnu model', MPK V 01 D 11/02. Vibracijnij ekstraktor / Zav'jalov V. L., Bodrov V. S., Popova N. V., Misjura T. G. – № U 2005 11361; zajavl. 30.11.05; opubl. 15.05.06, Bjul. № 5.

6. Pat. 3730 Ukraïna, MPK V 01 D 11/02. Vibracijnij ekstraktor / Loboda P. P., Zav'jalov V. L. – № 3783403/SU; zajavl. 30.06.94; opubl. 30.12.94, Bjul. № 4.

7. Pat. 86485 Ukraïna, MPK V 01 D 11/02. Vibracijnij ekstraktor / Zav'jalov V. L., Zaporozhec' Ju. V., Bodrov V. S. – № а 2007 07563; zajavl. 05.07.07; opubl. 27.04.09, Bjul. № 8.

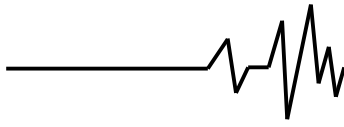
8. Pat. 85435 Ukraïna, MPK V 01 D 11/02. Ekstraktor / Zav'jalov V. L., Popova N. V. – №а 2007 03023; zajavl. 22.03.07; opubl. 26.01.09, Bjul. № 2.

9. Pat. 90802 Ukraïni, MPK V 01 D 11/02. Vibracijnij ekstraktor / Zav'jalov V. L., Bodrov V. S., Misjura T. G., Popova N. V., – № U 2008 12893; zajavl. 05.11.08; opubl. 25.05.10, Bjul. № 10.

10. Pat. 92851 Ukraïni, MPK V 01 D 11/02. Vibracijnij ekstraktor / Zav'jalov V. L., Bodrov V. S., Misjura T. G., Popova N. V. – № а 2009 07181; zajavl. 09.11.07; opubl. 10.12.10, Bjul. № 23.

11. Pat. 84641 Ukraïna, MPK S 11 V 9/02. Linija virobnictva koncentratu ekstraktu chaju / Zav'jalov V. L., Popova N. V., Misjura T. G. – № U 2007 03026; zajavl. 22.03.07; opubl. 10.11.08, Bjul. № 21.

12. Pat. 96234 Ukraïni, MPK V 01 D 11/02. (2006.01). Linija virobnictva ekstraktiv iz roslinnoj sirovini ta її vidhodiv / Zaporozhec' Ju. V., Zav'jalov V. L., Dashkovs'kij Ju. O.; zajavl. 03.09.10; opubl. 10.10.11, Bjul. № 19.

**РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ
ВИБРОЭКСТРАКЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ И
ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Аннотация. Представлены преимущества, устройство и конструктивные особенности высокоэффективной виброэкстракционной аппаратуры периодического и непрерывного действия, разработанной в последнее десятилетие на кафедре процессов и аппаратов НУХТ по приоритетному направлению научных исследований, а также перспективы ее практической реализации в различных отраслях промышленности для рационального переработки растительного сырья, его отходов с высокой степенью измельчения и с разной морфологической структурой с целью создания новых высокоэффективных технологий и оборудования. Акцентировано внимание на том, что эффективность использования виброэкстракторов для переработки растительного сырья и его отходов обусловлена созданием интенсивных гидродинамических режимов турбулентными пульсирующими струями, генерируемыми виброперемешивательными элементами специальной конструкции.

Ключевые слова: виброэкстракторы, виброэкстрагирование, периодический и

непрерывный процесс, конструкция, массоперенос, интенсификация, межфазное взаимодействие, пульсирующий поток, разделение фаз, проектирование.

**DEVELOPMENT OF HIGH-EFFICIENT
VIBRATION-EXTRACTION EQUIPMENT AND
PROSPECTS OF ITS PRACTICAL USE**

Annotation. Advantages, devices and design features of high-performance vibroextraction apparatus for periodic and continuous operation developed in the last decade at the Department of Processes and Apparatuses of the Scientific and Technical University for the priority direction of scientific research are presented, as well as prospects for its practical implementation in various industries for rational processing of plant raw materials, High degree of grinding and with different morphological structure with the aim of creating new high Technologies and equipment. Attention is focused on the fact that the effectiveness of using vibroextractors for the processing of plant raw materials and waste is due to the creation of intensive hydrodynamic regimes by turbulent pulsating jets generated by special mixing vibro-mixing elements.

Key words: vibroextractors, vibroextraction, batch and continuous process, design, mass transfer, intensification, interfacial interaction, pulsating flow, phase separa.