

РОЗДІЛ I

АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ВІБРООСМОТИЧНОГО ЗНЕВОЛОЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

1.1 Закономірності технологій зневоложення сировини харчових та інших переробних виробництв

Більшість харчових продуктів є вологими матеріалами, що містять значну кількість води. Можна вважати, що більшість харчових продуктів – являє собою колоїдні тіла, а за структурою – капілярно-пористі матеріали, в яких вода перебуває в різному зв'язку із сухим скелетом матеріалу, пори якого можуть бути заповнені водою, водяною парою і повітрям.

Звичайно волога в матеріалі розподілена нерівномірно, тому розрізняють середню концентрацію вологи в матеріалі ω або ж концентрацію в даній точці.

Процес сушіння значною мірою залежить від характеру зв'язку вологи з матеріалом. На основі класифікації П.О. Ребіндера[9], яку широко застосовують у сушильній техніці, була розроблена класифікація способів зневоложення матеріалу, що відображає хімічний, фізико-хімічний, фізико-механічний їх тип (рис. 1.1).

Хімічний зв'язок води з матеріалом є найміцнішим, для порушення якого потрібне прокалювання або хімічний вплив. Фізико-хімічний зв'язок може бути зруйнований за допомогою сушіння, сорбції. Цій формі зв'язку відповідають адсорбційно зв'язана волога і волога, що утримується осмотично.

Адсорбційно зв'язана волога утримується молекулярним силовим полем на поверхні колоїдних частинок. Колоїдні матеріали характеризуються значною дисперсністю частинок, умовний радіус яких становить 0,1...0,001 мкм. Внаслідок такої дисперсності колоїдні тіла мають величезну

РОЗДІЛ I

АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ВІБРООСМОТИЧНОГО ЗНЕВОЛОЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

1.1 Закономірності технологій зневоложення сировини харчових та інших переробних виробництв

1.1.1 Вміст води у вторинних продуктах рослинного походження.

Більшість харчових продуктів є вологими матеріалами, що містять значну кількість води. За природою харчові продукти — це колоїдні тіла, а за структурою — капілярно-пористі матеріали. Вода перебуває в різному зв'язку із сухим скелетом матеріалу, пори якого можуть бути заповнені водою, водяною парою і повітрям.

Звичайно волога в матеріалі розподілена нерівномірно, тому розрізняють середню концентрацію вологи в матеріалі ω або ж концентрацію в даній точці.

У теорії сушіння часто користуються не вологістю матеріалу, а вологовмістом ω_c .

Вологовмістом зручніше користуватися при розрахунках, тому що маса сухого матеріалу в процесі сушіння залишається незмінною.

Процес сушіння значною мірою залежить від характеру зв'язку вологи з матеріалом. Згідно з класифікацією П. О. Ребіндера [8], яку широко застосовують у сушильній техніці, всі форми зв'язку вологи поділяють на три великі групи: хімічний, фізико-хімічний, фізико-механічний (рис. 1.1).

Хімічний зв'язок води з матеріалом є найміцнішим, для порушення якого потрібне прокалювання або хімічний вплив. Фізико-хімічний зв'язок може бути зруйнований за допомогою сушіння, сорбції. Цій формі зв'язку відповідають адсорбційно зв'язана волога і волога, що утримується осмотично.

Адсорбційно зв'язана волога утримується молекулярним силовим полем на поверхні колоїдних частинок. Колоїдні матеріали характеризуються значною дисперсністю частинок, умовний радіус яких становить 0,1...0,001 мкм. Внаслідок такої дисперсності колоїдні тіла мають величезну внутрішню

внутрішню поверхню, а отже, і значну вільну поверхневу енергію, завдяки якій відбувається адсорбційне зв'язування води. Для видалення адсорбційної вологи вона має бути перетворена у пару, після чого починається її переміщення до зовнішньої поверхні тіла.

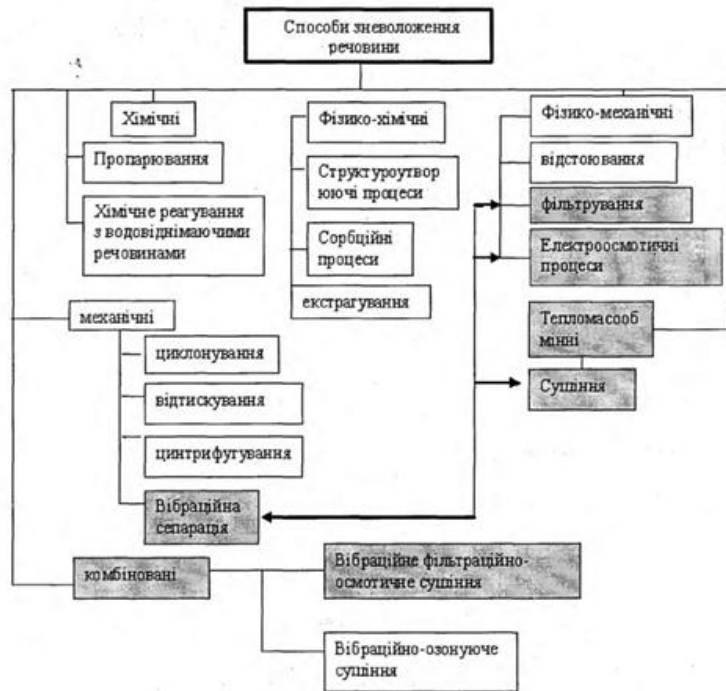


Рис. 1.1 Класифікація способів зневоложення матеріалу

Осмотичний зв'язок найсильніше виражений у розчинах. Природа цього зв'язку виражається в тому, що тиск пари над розчином менший від тиску пари над чистим розчинником. Осмотичним зв'язком утримується волога набухання і структурна волога. До цієї групи може бути віднесена волога, що міститься в клітинах рослинних тканин.

поверхню, а отже, і значну вільну поверхневу енергію, завдяки якій відбувається адсорбційне зв'язування води. Для видалення адсорбційної вологи вона має бути перетворена у пару, після чого починається її переміщення до зовнішньої поверхні тіла.

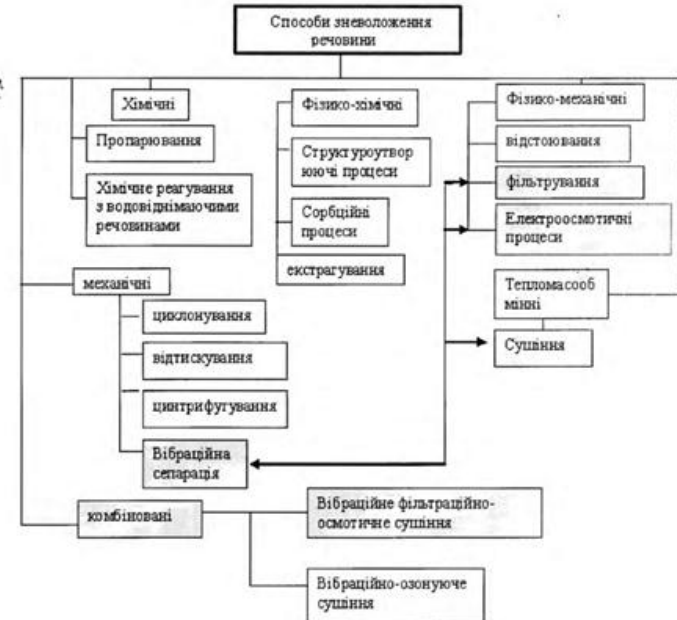


Рис. 1.1. Класифікація способів зневоложення матеріалу

Осмотичний зв'язок найсильніше виражений у розчинах. Природа цього зв'язку виражається в тому, що тиск пари над розчином менший від тиску пари над чистим розчинником. Осмотичним зв'язком утримується волога набухання і структурна волога. До цієї групи може бути віднесена волога, що міститься в клітинах рослинних тканин.

Волога змочування і волога макрокапілярів (пор), середній радіус яких перевищує 10-5 см, має дуже слабкий зв'язок з матеріалом і може бути видалена

волога набухання і структурна волога. До цієї групи може бути віднесена волога, що міститься в клітинах рослинних тканин.

Волога змочування і волога макрокапілярів (пор), середній радіус яких перевищує 5-10 см, має дуже слабкий зв'язок з матеріалом і може бути видалена механічним способом, зокрема відтискуванням. Волога мікрокапілярів, радіус яких менше ніж 5-10 см, на відміну від вологи макрокапілярів заповнює будь-які мікропори не тільки при безпосередньому зіткненні води з ними, а й завдяки сорбції із вологого повітря.

Вологий матеріал може не тільки віддавати вологу внаслідок випаровування в навколишнє середовище, а й за певних умов поглинати її з цього середовища. Якщо парціальний тиск пари біля поверхні матеріалу більший за парціальний тиск у навколишньому повітрі, то буде відбуватись випаровування, якщо менший, то матеріал буде зволожуватись. Якщо ці тиски зрівнюються, то встановиться рівновага і перехід вологи припиниться. Вологість матеріалу в цьому усталеному стані називають рівноважною вологістю. Очевидно, що рівноважна вологість є функцією парціального тиску водяної пари при заданій температурі. Змінюючи парціальний тиск пари при незмінній температурі, можна одержати ряд значень рівноважної вологості і нанести криву лінію – ізотерму сорбції вологи [10].

Можна вважати, що вологість становить найважливішу характеристику для всіх життєвих процесів насіння. Так, як життєдіяльність і дихання сухого насіння при зберіганні відбувається уповільнено (майже призупиняється), зберігаючи при цьому посівні якості. Відомо, що насіння після визрівання містить велику кількість води, яка являє собою клітинний сік, що містить в собі різні розчинні речовини, головним чином цукрів, органічних кислот та ін [86]. Слабозв'язана волога заповнює капілярну систему шкірястих покривів насіння. У процесі сушіння така волога видаляється в першу чергу. Волога, яка входить до складу протоплазми, де вона пов'язана з молекулами високомолекулярних (білкових) сполук є достатньо міцною, що збільшує

механічним способом, зокрема відтискуванням. Волога мікрокапілярів, радіус яких менше ніж 10-5 см, на відміну від вологи макрокапілярів заповнює будь-які мікропори не тільки при безпосередньому зіткненні води з ними, а й завдяки сорбції із вологого повітря.

Вологий матеріал може не тільки віддавати вологу внаслідок випаровування в навколишнє середовище, а й за певних умов поглинати її з цього середовища. Якщо парціальний тиск пари біля поверхні матеріалу більший за парціальний тиск у навколишньому повітрі, то буде відбуватись випаровування, якщо менший, то матеріал буде зволожуватись. При зрівнянні даних тисків, тобто за рівноважної вологості перехід вологи припиниться. Очевидно, що рівноважна вологість є функцією парціального тиску водяної пари при заданій температурі. Змінюючи парціальний тиск пари при незмінній температурі, можна одержати ряд значень рівноважної вологості і нанести криву лінію – ізотерму сорбції вологи. [6]

Вологість - найважливіша характеристика для всіх життєвих процесів насіння. Так, наприклад, життєдіяльність і дихання сухого насіння при зберіганні відбувається уповільнено (майже призупиняється), зберігаючи при цьому посівні якості. Відомо, що насіння після визрівання містить велику кількість води. Ця вода являє собою клітинний сік, що містить в собі різні розчинні речовини, головним чином цукрів, органічних кислот та ін [86]. Слабозв'язана волога заповнює капілярну систему шкірястих покривів насіння. У процесі сушіння така волога видаляється в першу чергу. Волога, яка входить до складу протоплазми, де вона пов'язана з молекулами високомолекулярних (білкових) сполук є достатньо міцною, що збільшує тривалість сушіння і витрати енергії на її випаровування [86].

1.1.2 Досліджувана сільськогосподарська сировина. Плоди баштанних культур є дієтичним продуктом харчування для людей будь-якого віку і вживаються як в свіжому, так і переробленому вигляді [88, 89, 90]. Також, баштанні є цінним джерелом низки вітамінів і мікроелементів, найважливіший з яких - каротин. Баштанні культури використовують у фармацевтичній

1.2.2 Насіння баштанних культур. Плоди баштанних культур є цінним продуктом харчування для людей будь-якого віку і вживаються в їжу як в свіжому, так і в переробленому вигляді. Кавуни, дині та гарбузи це цінна сировина для технічної переробки, а кормові сорти кавунів і гарбузів - цінні соковиті корми для сільськогосподарських тварин. Поживне значення баштанних полягає в наявності високого вмісту вуглеводів які добре засвоюються [39][40][41]. Технічний напрям баштанних культур базується на отриманні спирту, дріжджів, органічних кислот, вітамінів групи В і пектину [42].

Встановлено, що культури баштанних володіють життєво важливими властивостями в регулюванні процесу білкового та жирового обміну в організмі людини і сприяють поліпшенню роботи серця, печінки, шлунка, нирок, підвищення загального тонуусу людини. Вживання плодів цих культур сприяє виведенню з організму людей токсинів, солей важких металів, радіонуклідів.

До основних властивостей насіння відносяться фізико-механічні, гідромеханічні, теплофізичні, гігроскопічні, морфологічні, масоперенесення.

До основних фізико-механічними властивостями насіння відноситься розмірні характеристики, вологість, щільність, об'ємна маса, коефіцієнт форми, порозність, еквівалентний діаметр, питома активна поверхня, індекс форми, швидкість витання, що характеризують сипучі властивості: коефіцієнти динамічного, статичного тертя, кут природного укосу і орієнтація насіння в шарі.

Основні властивості кондиційних за вологістю насіння баштанних культур, встановленими Н.М. Ткаченко, Ф.А. Ткаченко, А.В. Голубковичем представлені у табл. 1.3, 1.4 [43].

Серед основних теплофізичних властивостей насіння, що є об'єктом обробки можна визначити теплоємність, температуру- і теплопровідність, зміну вологості насіння, які дозволяють науково обґрунтувати раціональні режими сушіння.

1.2. Аналіз фізико-механічних властивостей сировини, що зневоложується

Плоди баштанних культур є цінним продуктом харчування для людей будь-якого віку і вживаються в їжу як в свіжому, так і в переробленому вигляді. Кавуни, дині та гарбузи це цінна сировина для технічної переробки, а кормові сорти кавунів і гарбузів - цінні соковиті корми для сільськогосподарських тварин. Поживне значення баштанних полягає в наявності високого вмісту добре засвоюваних вуглеводів [90, 91, 99]. Технічний напрям баштанних культур базується на отриманні спирту, дріжджів, органічних кислот, вітамінів групи В і пектину [88].

Встановлено, що культури баштанних володіють життєво важливими властивостями в регулюванні процесу білкового та жирового обміну в організмі людини і сприяють поліпшенню роботи серця, печінки, шлунка, нирок, підвищення загального тонуусу людини. Вживання плодів цих культур сприяє виведенню з організму людей токсинів, солей важких металів, радіонуклідів. При післязбиральній обробки і зберіганні насіння баштанних культур піддаються впливу робочих органів, сушці і по різному реагують на ці дії, що обумовлено механіко- технологічними властивостями насіння.

До основних властивостей насіння відносяться фізико - механічні, гідромеханічні, теплофізичні, гігроскопічні, морфологічні, масоперенесення.

До основних фізико - механічними властивостями насіння відноситься розмірні характеристики, вологість, щільність, об'ємна маса, коефіцієнт форми, порозність, еквівалентний діаметр, питома активна поверхня, індекс форми, швидкість витання, що характеризують сипучі властивості: коефіцієнти динамічного, статичного тертя, кут природного укосу і орієнтація насіння в шарі.

Основні властивості кондиційних за вологістю насіння баштанних культур, встановленими Н.М. Ткаченко, Ф.А. Ткаченко, А.В. Голубкович та представлені у табл. 1.5, 1.6 [87] .

До теплофізичних властивостей насіння відносять теплоємність, температура- і теплопровідність насіння, які дозволяють науково обґрунтувати

Низький коефіцієнт теплопровідності ускладнює висушування шару насіння з обмеженою порозністю. Через високу порозність шару коефіцієнт теплопровідності насінневої маси низький [44]. Тому визначальними чинниками, які зумовлюють необхідність і глибину зневоложення, служать вихідні величини вологості насіння і порозності шару. Зниження вологості і підвищення порозності дозволяють скоротити витрати енергії на подальшу сушку, яка є однією з дорогих виробничих операцій, а також істотно прискорити її процес, спростити вибір і обслуговування сушарки.

Від вологості, а також форми, розміру насіння, характеру і стану їх поверхні, наявності домішок, стану поверхні, по якій переміщається маса насінневої маси, залежить сипучість насінневої маси, яку необхідно враховувати при конструюванні сушарок. Від сипучості насіння залежить вибір кутів нахилу площин тих частин сушильного апарату, за якими мають скочуватися насіння. Збільшення вологості насіння, як правило, призводить до зниження або повної втрати сипучості насінневої маси [45][46]. Кут природного укосу також визначає ступінь сипучості матеріалу [47].

Від порозності насіння залежить опір насінневого шару при продуванні його агентом сушіння або повітрям, так як свіжовиділене насіння, що надходить на сушіння, утримує у міжнасінневих порожнинах і на поверхні насіння вільну вологу, що викликає низьку порозність [48].

1.3 Оцінка конструктивно-технологічних характеристик досліджуваних методів зневоложення

Достатньо ефективним методом видалення вільної вологи є застосування механічних та фізико механічних технологічних дій, що представлені на рисунках 1.3, 1.4.

1.3.1 Відцентрове фільтрування. Видалення поверхневої вологи в полі відцентрованих сил потребує застосування складного і вартісного обладнання – центрифуг, зокрема є необхідність у використанні -

раціональні режими сушіння. Низький коефіцієнт теплопровідності ускладнює висушування шару насіння з обмеженою порозністю. Через високу порозність шару коефіцієнт теплопровідності насінневої маси низький [86]. Тому визначальними чинниками, які зумовлюють необхідність і глибину зневоложення, служать вихідні величини вологості насіння і порозності шару. Зниження вологості і підвищення порозності дозволяють скоротити витрати енергії на подальшу сушку, яка є однією з дорогих виробничих операцій, а також істотно прискорити її процес, спростити вибір і обслуговування сушарки.

Найважливіша характеристика для всіх життєвих процесів насіння - волога. Так, наприклад, життєдіяльність і дихання сухого насіння при зберіганні відбувається уповільнено (майже призупиняється), зберігаючи при цьому посівні якості. Крім того, вологість істотно впливає на інші властивості насіння [95].

Відомо, що насіння після визрівання містить велику кількість води. Ця вода являє собою клітинний сік, що містить в собі різні розчинні речовини, головним чином цукрів, органічних кислот та ін [86]. У процесі сушіння вільна волога віддається в першу чергу. Зв'язана волога входить до складу протоплазми, де вона пов'язана з молекулами високомолекулярних (білкових) сполук, що збільшує тривалість сушіння і витрати енергії на її випаровування [86].

Від вологості, а також форми, розміру насіння, характеру і стану їх поверхні, наявності домішок, стану поверхні, по якій переміщається маса насінневої маси, залежить сипучість насінневої маси, яку необхідно враховувати при конструюванні сушарок. Від сипучості насіння залежить вибір кутів нахилу площин тих частин сушильного апарату, за якими мають скочуватися насіння. Збільшення вологості насіння, як правило, призводить до зниження або повної втрати сипучості насінневої маси [86, 96]. Кут природного укосу також визначає ступінь сипучості матеріалу [118].

Таблиця 1.3

Основні властивості кондиційних по вологості насіння баштанних культур

Показники	Гарбуз	Кабачок	Кавун	Диня
Розміри, мм:				
довжина	18	13	6,2	5,6
ширина	7,0	6,0	4,3	3,8
товщина	3,0	2,2	1,5	1,4
Еквівалентний діаметр, мм	7,4	5,6	3,4	3,0
Індекс форми	1,8	1,8	1,5	2,1
Плотність, т/м ³	0,83	1,0	0,98	0,95
Маса 1000 насіння, г	195	120	45	36
Об'ємна маса, т/м ³	0,31	0,47	0,45	0,43
Питома маса оболонки по відношенню до маси насіння	0,26	-	0,43	0,29
Порозність шару	0,53	0,50	0,48	0,52

Таблиця 1.4

Характеристика насіння баштанних культур в залежності від їх вологості

Вологість насіння, %	Щільність, кг/м ³	Об'ємна маса, кг/м ³	Швидкість виносу, м/с	Питома активна поверхня, м ² /м ³	Еквівалентний діаметр, мм
Кавун					
10	810	450	5,5	1830	3,4
20	930	480	5,6	1850	3,5
40	1010	590	5,9	1680	3,7
55	1040	780	6,8	500	4,2
Гарбуз					
10	710	310	-	-	7,4
20	760	360	-	-	7,4
40	-	440	-	-	7,4
55	850	540	-	-	8,1
Диня					
10	880	430	4,9	1960	3,0
20	910	460	5,1	1900	3,1
40	1020	600	5,6	1820	3,5

Таблиця 1.5.

Основні властивості кондиційних по вологості насіння баштанних культур

Показники	Гарбуз	Кабачок	Кавун	Диня
Розміри, мм:				
довжина	18	13	6,2	5,6
ширина	7,0	6,0	4,3	3,8
товщина	3,0	2,2	1,5	1,4
Еквівалентний діаметр, мм	7,4	5,6	3,4	3,0
Індекс форми	1,8	1,8	1,5	2,1
Плотність, т/м ³	0,83	1,0	0,98	0,95
Маса 1000 насіння, г	195	120	45	36
Об'ємна маса, т/м ³	0,31	0,47	0,45	0,43
Питома маса оболонки по відношенню до маси насіння	0,26	-	0,43	0,29
Порозність стоса	0,53	0,50	0,48	0,52

Таблиця 1.6.

Характеристика насіння баштанних культур в залежності від їх вологості

Вологість насіння, %	Удавана щільність, кг/м ³	Об'ємна маса, кг/м ³	Швидкість виносу, м / с	Питома активна поверхня, м ² /м ³	Еквівалентний діаметр, мм
Кавун					
10	810	450	5,5	1830	3,4
20	930	480	5,6	1850	3,5
40	1010	590	5,9	1680	3,7
55	1040	780	6,8	500	4,2
Гарбуз					
10	710	310	-	-	7,4
20	760	360	-	-	7,4
40	-	440	-	-	7,4
55	850	540	-	-	8,1
Диня					
10	880	430	4,9	1960	3,0
20	910	460	5,1	1900	3,1
40	1020	600	5,6	1820	3,5

бурякового жому використовував вібрацію в другому періоді сушіння, що дозволило скоротити загальна тривалість процесу теплової обробки продукції на 40 ... 45%.

Області застосування вібраційних технологічних машин у процесах розділення неоднорідних систем харчових і переробних виробництв представлені на рисунку 1.5 [86].

1.3.3 Зневоложення за допомогою електромагнітного поля. Можна вважати, що при сушінні насіння струмом високої частоти температура продукту підвищується за рахунок діелектричного нагрівання речовини в змінному електромагнітному полі, тобто молекули насіння починають здійснювати коливальні рухи, що не збігаються з частотою зміни променів, в результаті чого продукція нагрівається. При цьому нагрів відбувається одночасно в кожній частині насінини і зсередини та інтенсифікується з підвищенням частоти коливань [87].

Ще одним електрофізичним спеціальним методом сушіння, є інфрачервоне нагрівання насіння, для якого характерним є більш рівномірна обробка продукції. Сушіння насіння в цьому випадку досягається за рахунок поглинання масою насіння оптичного випромінювання з довжинами хвиль від 0,78 мкм до 1 мм, які випускаються металевими, керамічними і газорозрядними випромінювачами[88].

В даний час досліджуються шляхи використання не тільки інфрачервоного впливу на біооб'єкт, а й здійснюється пошук інших прихованих можливостей електромагнетизму. При цьому електротехнології вступають в тісний контакт з іншими областями науки: біофізикою, біохімією, електрохімією тощо. Використання в технологіях сушіння та зберігання насіння низько енергетичних променів є однією з останніх розробок, що дозволяє надалі істотно знизити енерговитрати на сушіння і запобігти псуванню продукції [89][90][91], зокрема при зберіганні.

Від порозності насіння залежить опір насіннєвого шару при продуванні його агентом сушіння або повітрям, так як свіжовиділені насіння, що надходять на сушіння, утримують у міжнасіннєвих порожнинах і на поверхні насіння вільну вологу, що викликає низьку порозність, [86].

Такий фактор як швидкість агента сушіння в сушильних установках, в яких насіння сушаться у псевдозрідженому стані, залежить від швидкості завантаження насіння у робочій порожнині [86, 87, 96].

Підприємства птахопереробної промисловості характеризуються значною кількістю супутньої або вторинної сировини: голови, ноги, шлунки, серце, печінку, шкурка, перо та інші, використання яких потребує подальшого розвитку.

1.3 Оцінка конструктивно-технологічних характеристик досліджуваних методів зневоложення

1.3.1 Зневоложення за допомогою електромагнітного поля. Можна вважати, що при сушінні насіння струмом високої частоти температура продукту підвищується за рахунок діелектричного нагрівання речовини в змінному електромагнітному полі, тобто молекули насіння починають здійснювати коливальні рухи, що не збігаються з частотою зміни променів, в результаті чого продукція нагрівається. При цьому нагрів відбувається одночасно в кожній частині зернівки і зсередини та інтенсифікується з підвищенням частоти коливань [109].

Ще одним електрофізичним спеціальним методом сушіння, є інфрачервоне нагрівання насіння, для якого характерним є більш рівномірна обробка продукції. Сушіння насіння в цьому випадку досягається за рахунок поглинання масою насіння оптичного випромінювання з довжинами хвиль від 0,78 мкм до 1 мм, які випускаються металевими, керамічними і газорозрядними випромінювачами[108].

В даний час досліджуються шляхи використання не тільки інфрачервоного впливу на біооб'єкт, а й здійснюється пошук інших прихованих

Найважливішою перевагою способу сушіння насіння електроактивованим повітрям є низька енергоємність. Електроактивоване повітря, одержується за допомогою електроозонатора в результаті коронного розряду, являє собою озono-повітряну суміш, яка містить значне число іонів O^+ , H^+ OH^- . Дифузуючи в шар насіння, озон та іони змінюють фізико-хімічні властивості води, а саме в'язкість, щільність, рН, поверхневий натяг. Що дозволяє послаблювати водневі зв'язки води та призводить до збільшення коефіцієнта дифузії вологи [92]. Крім того, інтенсифікації сушіння сприяє і виділення деякого додаткової кількості теплоти, що супроводжує розпад озону в насінні на кисень [93].

В даний час використання електроосмосу в переробних і харчових виробництвах все ширше починають застосовувати в переробному сільськогосподарському виробництві не тільки для запуску механізмів, а також як безпосередній технологічний агент (як при електроосмосі) при обробці насіння, води, сільськогосподарської продукції, для приготування кормів та інших енергоактивних або енергонасичених домішок.

В дисперсних системах, які знаходяться в полі постійного струму, виникає явище електроосмосу, що застосовують для регулювання водного режиму землі в теплицях: вода під впливом електричного струму переміщується від анода до катода в значній кількості, для закріплення плавунів і пониження рівня ґрунтових вод. При обробці дисперсних систем електроосмосом можливе не тільки її зневоложення, але і знезараження.

Осмотичне зневоложення отримало багато уваги в останні роки в якості ефективного методу при первинній переробці фруктів та овочів при таких чинниках як простота, порівняно невисокі енерговитрати при максимальному збереженні первісних характеристик: кольору, аромату, текстури і поживного складу. Цей процес може бути здійснений при низькій або кімнатній температурі. Він має потенційні переваги для переробної промисловості для підтримки якості. В технологічному плані процес включає

властивостей електромагнетизму. При цьому електротехнології вступають в тісний контакт з іншими областями науки: біофізикою, біохімією, біохімією тощо. Використання в технологіях сушіння та зберігання насіння електроенергетичних променів є однією з останніх розробок, що дозволяє надалі суттєво знизити енерговитрати на сушіння і запобігати псуванню зберігається продукції [110, 111, 112], зокрема при зберіганні.

Електромагнітне поле може успішно використовуватися для отримання інформації про стан біооб'єкту, що особливо важливо для рослинництва в районах України з несприятливими погодно-кліматичними умовами. Позитивна дія електромагнітних променів на об'єкти рослинництва тісно пов'язана з явищем, яке колись називали «тваринною електрикою». Ще на початку XIX століття Лунд сформулював гіпотезу біоелектричної системи регуляції як найбільш загальної системи управління життєдіяльністю організму. За якою виведено, що рослинний організм, як і будь-який інший живий біооб'єкт, має своє власне електричне поле [113]. Це поле тісно пов'язане з метаболічними процесами в організмі, зокрема росту і диференціювання його тканин. Дослідження іонно-обмінних процесів в мембранах живих клітин дозволило зробити висновок, що жива клітина має по відношенню до зовнішнього середовища негативний потенціал або біопотенціал, що зумовлює виникнення біологічних внутрішньоклітинних мікрострумів, взаємодія з якими зовнішнього джерела енергії дозволяє також керувати ходом метаболічних процесів [100].

Найважливішою перевагою способу сушіння насіння електроактивованим повітрям є низька енергоємність. Електроактивоване повітря, одержується за допомогою електроозонатора в результаті коронного розряду, являє собою озono-повітряну суміш, яка містить значну число іонів O^+ , H^+ OH^- . Дифузуючи в шар насіння, озон та іони змінюють фізико-хімічні властивості води, а саме в'язкість, щільність, рН, поверхневий натяг. Що дозволяє послаблювати водневі зв'язки води та призводить до збільшення коефіцієнта дифузії вологи [117]. Крім того, інтенсифікації сушіння сприяє і виділення деякого додаткової кількості теплоти, що супроводжує розпад озону в насінні на кисень [115].

Найважливішою перевагою способу сушіння насіння електроактивованим повітрям є низька енергосміність. Електроактивоване повітря, одержується за допомогою електроозонатора в результаті коронного розряду, являє собою озono-повітряну суміш, яка містить значне число іонів O^+ , H^+ OH^- . Дифузуючи в шар насіння, озон та іони змінюють фізико-хімічні властивості води, а саме в'язкість, щільність, рН, поверхневий натяг. Що дозволяє послаблювати водневі зв'язки води та призводить до збільшення коефіцієнта дифузії вологи [92]. Крім того, інтенсифікації сушіння сприяє і виділення деякого додаткової кількості теплоти, що супроводжує розпад озону в насінні на кисень [93].

В даний час використання електроосмосу в переробних і харчових виробництвах все ширше починають застосовувати в переробному сільськогосподарському виробництві не тільки для запуску механізмів, а також як безпосередній технологічний агент (як при електроосмосі) при обробці насіння, води, сільськогосподарської продукції, для приготування кормів та інших енергоактивних або енергонасичених домішок.

В дисперсних системах, які знаходяться в полі постійного струму, виникає явище електроосмосу, що застосовують для регулювання водного режиму землі в теплицях: вода під впливом електричного струму переміщується від анода до катода в значній кількості, для закріплення плавунів і пониження рівня ґрунтових вод. При обробці дисперсних систем електроосмосом можливе не тільки її зневоложення, але і знезараження.

Осмотичне зневоложення отримало багато уваги в останні роки в якості ефективного методу при первинній переробці фруктів та овочів при таких чинниках як простота, порівняно невисокі енерговитрати при максимальному збереженні первісних характеристик: кольору, аромату, текстури і поживного складу. Цей процес може бути здійснений при низькій або кімнатній температурі. Він має потенційні переваги для переробної промисловості для підтримки якості. В технологічному плані процес включає

1.3.1.1 Використання електроосмосу в переробних і харчових виробництвах. В даний час досліджувані процеси все ширше починають застосовувати в переробному сільськогосподарському виробництві не тільки для запуску механізмів, а також як безпосередній технологічний агент (як при електроосмосі) при обробці насіння, води, сільськогосподарської продукції, для приготування кормів та інших енергоактивних або енергонасичених домішок.

В дисперсних системах, які знаходяться в полі постійного струму, виникає явище електроосмосу, що застосовують для регулювання водного режиму землі в теплицях: вода під впливом електричного струму переміщується від анода до катода в значній кількості, для закріплення плавунів і пониження рівня ґрунтових вод. При обробці дисперсних систем електроосмосом можливе не тільки її зневоложення, але і знезараження.

Комбінування конвективного та електроосмотичного зневоднення дешо стримує переміщення зони випаровування всередину та утворенню в поверхневих шарах продукту, збільшеного вмісту сухих речовин, що в подальшому стримує процес зневоднювання і погіршує випаровування вологи з глибини продукту [65].

Осмотичне зневоложення отримало багато уваги в останні роки в якості ефективного методу при первинній переробці фруктів та овочів при таких чинниках як простота, порівняно невисокі енерговитрати при максимальному збереженні первісних характеристик: кольору, аромату, текстури і поживного складу. Цей процес може бути здійснений при низькій або кімнатній температурі. Він має потенційні переваги для переробної промисловості для підтримки якості. В технологічному плані процес включає теплообмінну обробку шматочків фруктів у два етапи, видалення води з використанням осмотичного агента і подальше зневоднення в сушарці [66].

В процесі електроосмотичної обробки заряджений шар рідини під дією сил зовнішнього поля буде переміщатися в бік протилежно зарядженого джерела, захоплюючи за собою за рахунок внутрішнього тертя шари незарядженої рідини, викликаючи рух рідини відносно твердої фази [67].

теплообмінну обробку шматочків фруктів у два етапи, видалення води з використанням осмотичного агента і подальше зневоднення в сушарці [94].

В процесі електроосмотичної обробки заряджений шар рідини під дією сил зовнішнього поля буде переміщатися в бік протилежно зарядженого джерела, захоплюючи за собою за рахунок внутрішнього тертя шари незарядженої рідини, викликаючи рух рідини відносно твердої фази [95].

У результаті досліджень даного процесу в умовах високодисперсних твердих фаз з вмістом твердої речовини 10%, коли, здавалося б, повинен спостерігатися електрофорез, у міру збільшення концентрації дисперсійного середовища вплив електроосмоса різко зростає і досягає максимуму при концентрації твердої фази 13%. Вода під впливом електричного струму переміщається в ґрунті від анода до катода в значних кількостях; при цьому істотно підвищується температурасередовища, що дозволяє здійснити його електротермічну стерилізацію. Питомі витрати на електроенергію в такому процесі в 1,32-1,7 рази менше, ніж при знезараженні парою. Електроосмотичне ущільнення економічно вигідно для дисперсійних середовищ з пластичною і текучою консистенцією, особливо із зростанням дисперсності. Обробка постійним струмом свіжого гною повністю знищує кишкові бактерії - лактозопозитивні *E. Coli* і *Cokki* і більше половини життєздатних мікробів; виявляє стимулюючу дію на мікробні клітини в газоподібному середовищі при $E = 0,1-0,15 \text{ кВ/м}$ в рідкій $E = 50-250 \text{ В/м}$. При короткочасному впливі виникає іонізація поверхневих компонентів клітинної стінки, що активує адаптивні ферменти і спонукає клітину до інтенсифікації своєї життєдіяльності, тобто постійний електричний струм виконує роль своєрідного каталізатора.

Для насіння ярої пшениці, що електризувалося постійним струмом при витраті електрики 50-400 Кл/л і використанні мідних електродів, підвищується схожість, прискорюється ріст і розвиток рослини, збільшується врожай зерна на 13-41 %.

Застосування електроосмоса для зневоднення пружно-пластичних мас

У результаті досліджень даного процесу в умовах високодисперсних твердих фаз з вмістом твердої речовини 10%, коли, здавалося б, повинен спостерігатися електрофорез, у міру збільшення концентрації дисперсійного середовища вплив електроосмоса різко зростає і досягає максимуму при концентрації твердої фази 13%. Вода під впливом електричного струму переміщається в ґрунті від анода до катода в значних кількостях; при цьому істотно підвищується температура середовища, що дозволяє здійснити його електротермічну стерилізацію. Питомі витрати на електроенергію в такому процесі в 1,32-1,7 рази менше, ніж при знезараженні парою. Електроосмотичне ущільнення економічно вигідно для дисперсійних середовищ з пластичною і текучою консистенцією, особливо із зростанням дисперсності. Обробка постійним струмом свіжого гною повністю знищує кишкові бактерії - лактозопозитивні *E. Coli* і *Cokki* і більше половини життєздатних мікробів; виявляє стимулюючу дію на мікробні клітини в газоподібному середовищі при $E = 0,1-0,15 \text{ кВ/м}$ в рідкій $E = 50-250 \text{ В/м}$. При короткочасному впливі (5 -10с) виникає іонізація поверхневих компонентів клітинної стінки, що активує адаптивні ферменти і спонукає клітину до інтенсифікації своєї життєдіяльності, тобто постійний електричний струм виконує роль своєрідного каталізатора.

Для насіння ярої пшениці, що електризувалося постійним струмом при витраті електрики 50-400 Кл / л і використанні мідних електродів, підвищується схожість, прискорюється ріст і розвиток рослини, збільшується врожай зерна на 13-41 %]. Застосування електроосмоса для зневоднення пружно-пластичних мас в поєднанні з електротермообробкою змінним струмом дозволило встановити, що витрати електроенергії не перевищують 60-75 кВт-год / м, ефективність по порівнянню з парою в 2-2,5 рази більше.

1.3.1.2 Електроосмотичне зневоложення при контакті з електродами.

Відомий апарат для реалізації достатньо глибокого електроосмотичного зневоложення матеріалів [38], який має циліндричний корпус, бічна поверхня якого дренувана і є катодом, а анод розташований всередині корпусу 1.

в поєднанні з електротермообробкою змінним струмом дозволило встановити, що витрати електроенергії не перевищують 60-75 кВт·год/м, ефективність по порівнянню з парою в 2-2,5 рази більше.

1.3.4 Контактне та безконтактне електроосмотичне зневоложення.

Відомий апарат для реалізації достатньо глибокого електроосмотичного зневоложення матеріалів [96], який має циліндричний корпус, бічна поверхня якого дренажена і є катодом, а анод розташований всередині корпусу 1. (рис 1.6)

Апарат складається з корпусу, який виконаний із електропровідного матеріалу з дренажною бічною поверхнею 1 і дном 2; кришки 3 з прикріпленими до неї анодом у вигляді електропровідних стержнів 4, які розташовані на однаковій відстані один від одного; кожуха 5 з патрубком 6 для виведення виділеної рідини; шарніру 7.

Більш досконалим можна вважати апарат (рис.1.7) [97], який складається із діелектричного корпусу 1, перфорованого металічного циліндра-катода 2, анодів 3, виконаних у вигляді стрижнів і закріплених на кришці 4, встановлених в простір між анодом і катодом діелектричних пористих пластин 5, зливного патрубка 6 у днищі корпусу 1. Діелектричні пластини 5 виконані із матеріалу з високим значенням коефіцієнта діелектричної проникності.

Розміщення пластин пористого діелектричного матеріалу, який має відносну діелектричну проникність вищу, ніж ділянка зневодненого матеріалу в просторі між електродами, дещо покращує енергетичні параметри процесу, але призводить до зменшення ефективного об'єму реактора і додаткових матеріальних затрат, що в результаті знижує пропускну здатність і економічні показники процесу вологовидалення.

Інший електроосмотичний зневоложувач складається із циліндричного корпусу, який є електродом, патрубків для підведення і відведення матеріалу, який обробляється і другого електрода, який знаходиться всередині корпусу і виконаний у вигляді шнека з полим перфорованим валом 2. Недоліком такої машини є великі витрати електроенергії на зневоложення матеріалів внаслідок поляризації електродів та нерівномірності зневоднення всього об'єму матеріалу через знаходження окремої його частини в зонах реактора з низьким потенціалом.

Апарат для електроосмотичного зневоднення матеріалів (рис.1.5) складається з корпусу, який виконаний із електропровідного матеріалу з дренажною бічною поверхнею 1 і дном 2; кришки 3 з прикріпленими до неї анодом у вигляді електропровідних стержнів 4, які розташовані на однаковій відстані один від одного; кожуха 5 з патрубком 6 для виведення виділеної рідини; шарніру 7.

Більш досконалим можна вважати апарат [39], який складається із (рис.1.6) діелектричного корпусу 1, перфорованого металічного циліндра-катода 2, анодів 3, виконаних у вигляді стрижнів і закріплених на кришці 4, встановлених в простір між анодом і катодом діелектричних пористих пластин 5, зливного патрубка 6 у днищі корпусу 1. Діелектричні пластини 5 виконані із матеріалу з високим значенням коефіцієнта діелектричної проникності.

Розміщення пластин пористого діелектричного матеріалу, який має відносну діелектричну проникність вищу, ніж ділянка зневодненого матеріалу в просторі між електродами, дещо покращує енергетичні параметри процесу, але призводить до зменшення ефективного об'єму реактора і додаткових матеріальних затрат, що в результаті знижує пропускну здатність і економічні показники процесу вологовидалення.

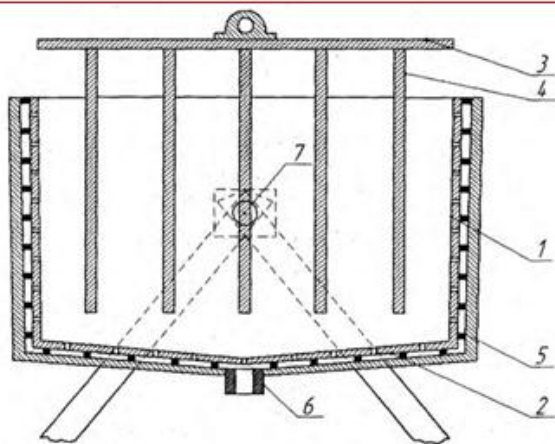


Рис. 1.6 Апарат для електроосмотичного зневоложення матеріалів

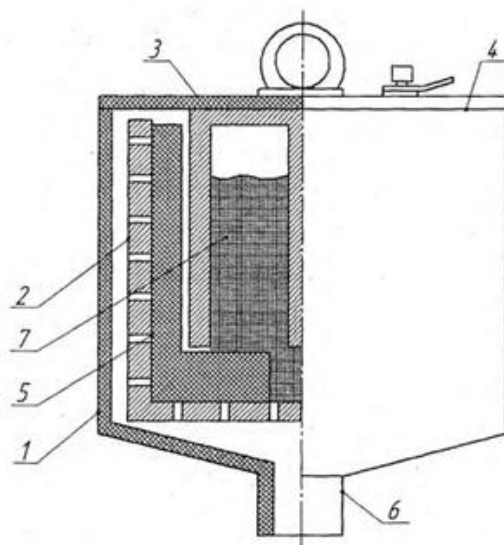


Рис.1.7 Загальний вигляд апарата для електроосмотичного зневоложення матеріалів

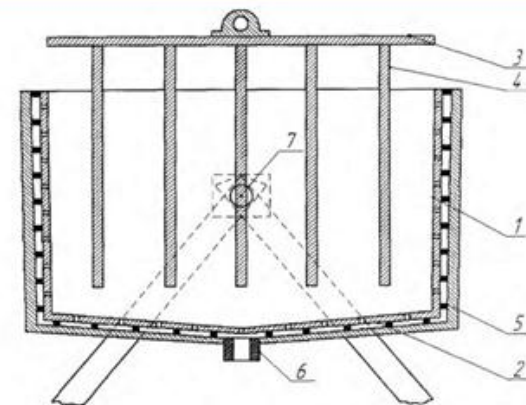


Рис.1.5 Апарат для електроосмотичного зневоложення матеріалів

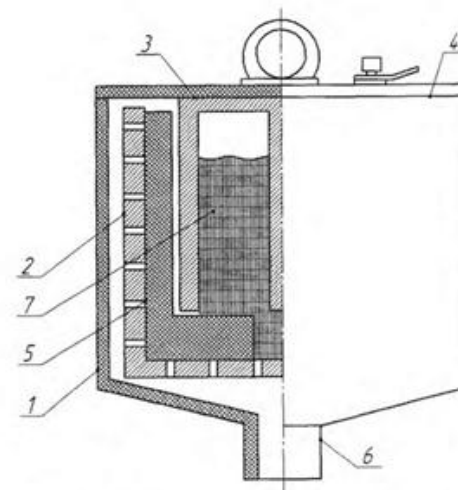


Рис.1.6 Загальний вигляд апарата для електроосмотичного зневоложення матеріалів

В лабораторії кафедри "Технологічне обладнання та процеси галузі" Московського державного університету прикладної біотехнології був розроблений пристрій для електроосмотичного зневолення вологих дисперсних матеріалів [98], переважно для тонко подрібненої кісткової тканини (рис. 1.8). Пристрій включає корпус, який є анодом, транспортуючий механізм, який є катодом, і вакуумну камеру. Корпус установки виконаний у формі труби з коаксіально розташованою усередині перфорованою трубою, в смістності якої міститься шнековий механізм, що спирається на електроізолюючу вставку. На хвостовику пристрою встановлений катодний ковзний струмознімач.

На рисунку 1.9 зображено пристрій для зневолення пастоподібного матеріалу за допомогою електроосмосу [99]. Матеріал, що піддається обробці, через патрубок для підведення 5 матеріалу потрапляє у циліндричний корпус 5, звідки повільно переміщається шнеком до патрубку 6 для відведення обробленого матеріалу. Під дією електроосмосу рідина з пасту рухається у напрямку до катода і за допомогою невеликого розрідження відсмоктується з порожнистого валу. Фільтрувальна тканина перешкоджає винесенню частинок осаду через патрубок 7.

Наведений аналітичний огляд існуючого обладнання для електроосмотичного зневолення матеріалів свідчить, що основними напрямками подальшого вдосконалення є мінімізація впливу поляризації електродів та ліквідація застійних статичних зон в об'ємі реактора, що можна досягти накладанням вібраційного поля, яке утворює псевдотекучий або псевдокиплячий шар матеріалу забезпеченням асиметричної форми та оптимальної частоти струму та інших чинників. Інтенсивний рух часток матеріалу у міжелектродному просторі змінює положення молекул води та активує їх взаємодію із зовнішнім електричним полем.

Спосіб сушіння матеріалів шляхом їх зарядки електричним потенціалом без контакту з електродами і обдування сушильним агентом,

В лабораторії кафедри "Технологічне обладнання та процеси галузі" Московського державного університету прикладної біотехнології був розроблений пристрій для електроосмотичного зневолення вологих дисперсних матеріалів [41], переважно для тонко подрібненої кісткової тканини (рис. 1.7). Пристрій включає корпус, який є анодом, транспортуючий механізм, який є катодом, і вакуумну камеру. Корпус установки виконаний у формі труби з коаксіально розташованою усередині перфорованою трубою, в смістності якої міститься шнековий механізм, що спирається на електроізолюючу вставку. На хвостовику пристрою встановлений катодний ковзний струмознімач.



Рис. 1.7. Пристрій для електроосмотичного зневолення матеріалів

На рис. 1.8 зображено пристрій для зневолення пастоподібного матеріалу за допомогою електроосмосу [42]. Матеріал, що піддається обробці, через патрубок для підведення 5 матеріалу потрапляє у циліндричний корпус 5, звідки повільно переміщається шнеком до патрубку 6 для відведення обробленого матеріалу. Під дією електроосмосу рідина з пасту рухається у напрямку до катода і за допомогою невеликого розрідження відсмоктується з порожнистого валу. Фільтрувальна тканина перешкоджає винесенню частинок осаду через патрубок 7.

представлений у роботі [100] та полягає у тому, що сушильний агент перед подачею в сушильну камеру насичують іонами одного знака в апараті з коронуючим і заземленим електродами, а об'єкт сушіння – матеріал заряджають електричним потенціалом. Далі відбувається іонізація сушильного агента з наданням йому електричного потенціалу, протилежного чи однакового з матеріалом продукції знака, що дозволяє змінювати інтенсивність процесу сушіння в 2 - 5 разів.

У роботі [101] представлений спосіб сушіння матеріалів, за якого продукції додатково надається обертальний або обертово-поступальний рух.

При цьому іонізацію сушильного агента можна здійснювати як однойменним, так і протилежним за знаком електричним потенціалом. У сушильну камеру 6 установки на металеву підставку 9 встановлюють продукт 7. Потім включають вентилятор У калорифер 3, джерело високої напруги, іонізатор 4 і електродвигун 10. Іонізований сушильний агент поступає в камеру 6, де здійснюється процес сушіння. Даний спосіб дозволяє інтенсифікувати процес сушіння виробів складної конфігурації і підвищити якість сушіння за рахунок рівномірної обробки (рис. 1.10).

Для скорочення енерговитрат при підготовці харчових продуктів до зберігання проводять їх обробку в полі коронного розряду з іонізованим повітрям у дві стадії. На першому етапі при напруженості поля від 0,4...0,8 МВ/м, при експозиції від 42 до 1080 с, а потім при напруженості від 0,2...0,3 МВ/м, причому відношення тривалості першої стадії обробки до другої становить 1/3.

Зниження енерговитрат на обробку продуктів забезпечується за рахунок того, що основна кількість мікроорганізмів гине в початковій стадії обробки, потім відбувається поступове зниження їх кількості за більш тривалий термін.

При роботі іншої установки [102] матеріал заряджають шляхом осадження на нього іонів з газового середовища через шар іонів, осаджених на матеріал, додатково пропускають дисипативний уніполярний електричний струм, однаковий за полярністю з іонним струмом. (рис. 1.11)

При цьому іонізацію сушильного агента можна здійснювати як однойменним, так і протилежним за знаком електричним потенціалом. У сушильну камеру 6 установки на металеву підставку 9 встановлюють продукт 7. Потім включають вентилятор У калорифер 3, джерело високої напруги, іонізатор 4 і електродвигун 10. Іонізований сушильний агент поступає в камеру 6, де здійснюється процес сушіння. Даний спосіб дозволяє інтенсифікувати процес сушіння виробів складної конфігурації і підвищити якість сушіння за рахунок рівномірної обробки.

Для скорочення енерговитрат при підготовці харчових продуктів до зберігання проводять їх обробку в полі коронного розряду з іонізованим повітрям у дві стадії. На першому етапі при напруженості поля від 0,4...0,8 МВ/м, при експозиції від 42 до 1080 с, а потім при напруженості від 0,2...0,3 МВ/м, причому відношення тривалості першої стадії обробки до другої становить 1/3.

Зниження енерговитрат на обробку продуктів забезпечується за рахунок того, що основна кількість мікроорганізмів гине в початковій стадії обробки, потім відбувається поступове зниження їх кількості за більш тривалий термін.

При роботі іншої установки [70] матеріал заряджають шляхом осадження на нього іонів з газового середовища через шар іонів, обложених на матеріал, додатково пропускають дисипативний уніполярний електричний струм, однаковий за полярністю з іонним струмом.

На електрод 3 машини і трубу 2 згідно зі схемою подають регульовану високу напругу від малопотужного джерела 4 високої напруги. При цьому між трубою 2 і електродом 3 не повинно бути ні коронного, ні іскрового розрядів. У цих умовах за допомогою осцилографа 6 реєструють відсутність на зразку 5 іонного та електронного струму при включеному джерелі 4 високої напруги. Для фіксування електронного струму поза зоною межелектронного проміжку

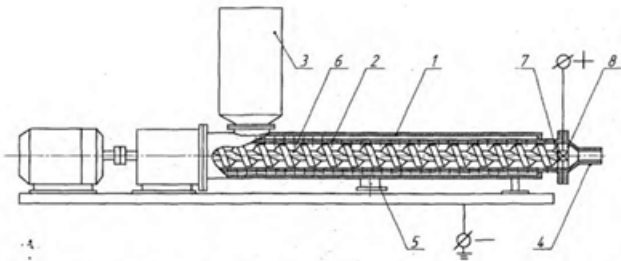


Рис. 1.8 Пристрій для електроосмотичного зневоложення матеріалів

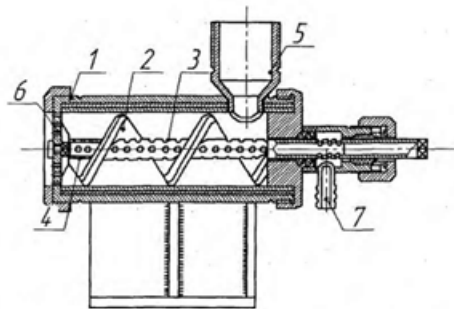


Рис. 1.9 Електроосмотичний зневоложувач пастоподібного матеріалу

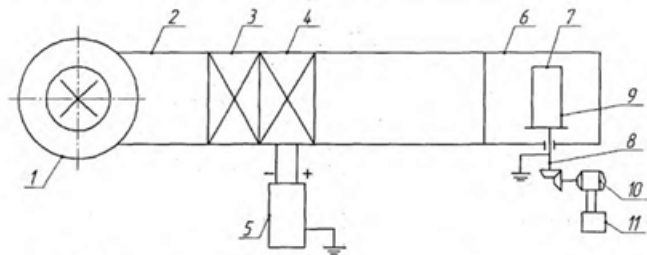


Рис. 1.10 Схема установки для сушіння матеріалів

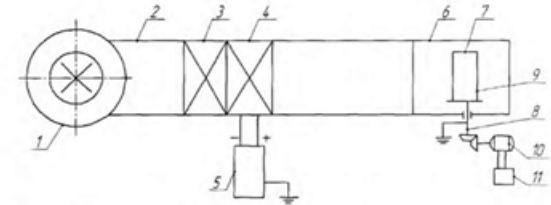


Рис. 1.9. Схема установки для сушіння матеріалів

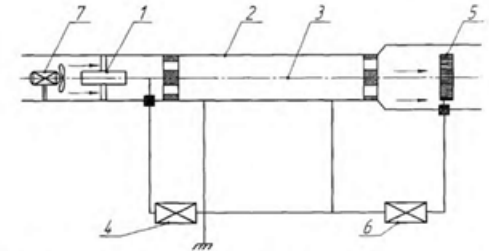


Рис. 1.10. Схема установки із зарядженням частинок матеріалу

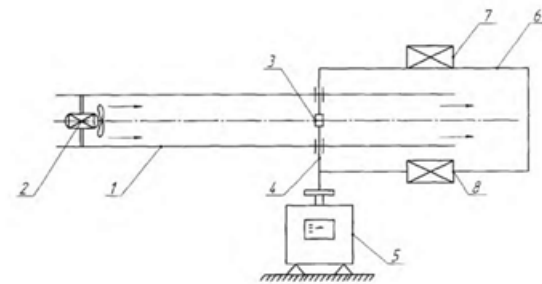


Рис. 1.11. Принципова схема пристрою для реалізації способу сушіння матеріалів

електронної складової дисипативного електричного струму, що можна контролювати шляхом реєстрації іонної складової за допомогою осцилографа 6 при включеному вентиляторі та вимкненому джерелі 4 високої напруги. В якості об'єктів для зарядки використовують частки різних матеріалів заморожених харчових продуктів при температурі $-15 \dots -10^{\circ}\text{C}$

При реалізації способу сушіння [103] на металевий зразок наносять шар оброблюваного матеріалу. Потім через зразок періодично пропускають імпульси уніполярного електричного струму, зневоднюючи матеріал. Тривалість імпульсів складає 0,001-10 с, амплітуда напруги змінюється в інтервалі 10-2500 В тарозбіжність імпульсів - в інтервалі 1,1-100. При такому способі час сушіння скорочується на 10-20% (рис. 1.12).

1.4 Обґрунтування конструктивної схеми вібраційного фільтраційно-осмотичного зневоджувача

1.4.1 Аналіз конструктивних схем зневоджувачів відцентрової дії. Провівши огляд сучасних машин даного типу слід відзначити провідні фірми такі як: "AKIKO" (Китай), ООО Стром Инжиниринг (Росія), швейцарський концерн SULZER, ООО "ТИРИТ" (Франція).

Сушильна фармацевтична центрифуга CDR (Centrifuge - Dryer) швейцарського концерну SULZER (рис.1.13) об'єднує операції сепарації та контактного сушіння при зниженому тиску в одному робочому просторі [104].

Триколонна центрифуга із скребками та нижнім вивантаженням серії SGZ компанії АКИКО (Китай) (рис.1.14) використовується в хімічній та фармацевтичній промисловості та реалізовує процес відцентрового центрифугування [105].

Центрифуга з фільтруючим мішком і нижнім ножовим зніманням осаду (рис. 1.15) має як основні функції, тобто поділ рідини високої щільності і ножове знімання осаду, так і додаткові, що полягають у видаленні твердого

інтенсифікуючи процес обробки в порівнянні з центрифугуванням від обертального руху. Для створення умов достатнього дезагрегування оброблюваної системи ротори вібраційних центрифуг виконують конічними з кутом нахилу стінок, меншим для тертя матеріалу по даній поверхні. Вплив вібрації в таких апаратах сприяє більш рівномірному розподілу і кращому просуванню часток по поверхні конуса, зниженню ефективної в'язкості маси продукції і більш якісному поділу матеріалу. Також, крім основної технологічної дії в ряді машин для центрифугування вібрація використовується для здійснення процесу вивантаження осаду.

1.4 Обґрунтування конструктивної схеми вібраційного фільтраційно-осмотичного зневоджувача

1.4.1 Аналіз конструктивних схем зневоджувачів відцентрової дії.

Провівши огляд сучасних машин даного типу слід відзначити провідні фірми такі як: "AKIKO" (Китай), ООО Стром Инжиниринг (Росія), швейцарський концерн SULZER, ООО "ТИРИТ" (Франція).

Сушильна фармацевтична центрифуга CDR (Centrifuge - Dryer) швейцарського концерну SULZER (Рис.1.14) об'єднує операції сепарації та контактного сушіння при зниженому тиску в одному робочому просторі.

Триколонна центрифуга із скребками та нижнім вивантаженням серії SGZ компанії АКИКО (Китай) (Рис.1.15) використовується в хімічній та фармацевтичній промисловості та реалізовує процес відцентрового центрифугування.

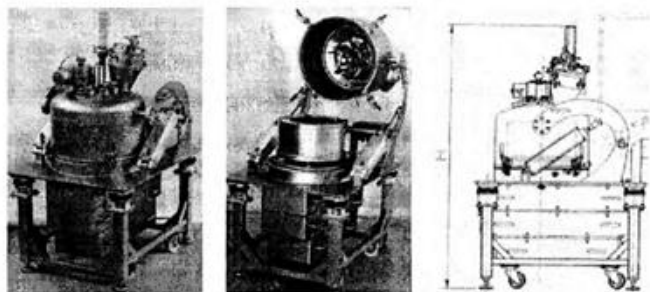
Центрифуга з фільтруючим мішком і нижнім ножовим зніманням осаду (Рис. 1.16.) має як основні функції, тобто поділ рідини високої щільності і ножове знімання осаду, так і додаткові, що полягають у видаленні твердого осаду з фільтруючої тканини з барабана центрифуги. Використання PLD серії дозволяє запобігти змішування різних фаз розділеного продукту і виключає утворення шару твердого осаду на стінках барабана. Дана центрифуга в

осаду з фільтруючої тканини з барабана центрифуги. Використання PLD серії дозволяє запобігти змішування різних фаз розділеного продукту і виключає утворення шару твердого осаду на стінках барабана. Дана центрифуга в основному застосовується при поділі рідини високої щільності в таких галузях, як фармацевтична, харчова та хімічна промисловість [106].

Триколонні центрифуги (рис.1.16) застосовують для відділення рідини від механічних домішок і поділу середньо-і крупнодисперсних суспензій, що вимагають тривалого центрифугування [107].

Центрифуга серії PSB/PBZ (рис. 1.17) має навісну кришку корпусу, вантажувальну і промивні труби, оглядовий отвір, підсвічування; автоматичну систему очищення, що виконується відповідно зі стандартами GMP. Вивантаження твердих частинок з мішка високоефективна при низьких витратах праці в таких галузях як фармацевтика, тонка хімія, харчова промисловість [108].

Вертикальні центрифуги серії DEC/DECR (рис. 1.18) застосовуються для сепарації твердих частинок і рідини у фармацевтичній, хімічній і харчовій промисловості, виконуються у вибухозахищеному виконанні з можливістю створення в ній інертної атмосфери [109].



а

б

Рис. 1.13 Сушильна фармацевтична центрифуга CDR (а) та її принципова схема (б)

в основному застосовується при поділі рідини високої щільності в таких галузях, як фармацевтична, харчова та хімічна промисловість.

Триколонні центрифуги (Рис.1.18.) застосовують для відділення рідини від механічних домішок і поділу середньо-і крупнодисперсних суспензій, що вимагають тривалого центрифугування.

Центрифуга серії PSB / PBZ (Рис. 1.19) має навісну кришку корпусу, вантажувальну і промивальну труби, оглядове отвір, підсвічування; автоматичну систему очищення, що виконується відповідно зі стандартами GMP. Вивантаження твердих частинок з мішка високоефективна при низьких витратах праці в таких галузях як фармацевтика, тонка хімія, харчова промисловість.

Вертикальні центрифуги серії DEC / DECR застосовуються для сепарації твердих частинок і рідини у фармацевтичній, хімічній і харчовій промисловості, виконуються у вибухозахищеному виконанні з можливістю створення в ній інертної атмосфери [154].

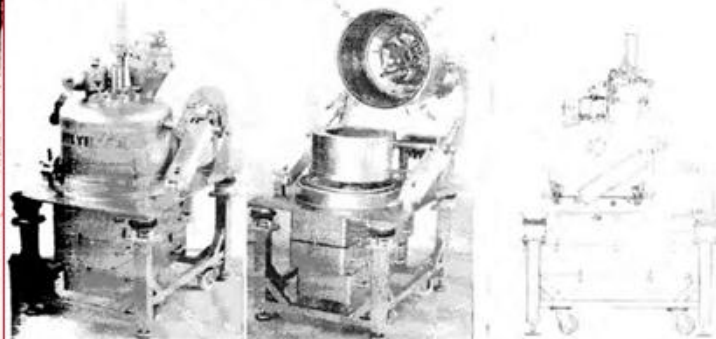


Рис. 1.14. Сушильна фармацевтична центрифуга CDR і її принципова схема

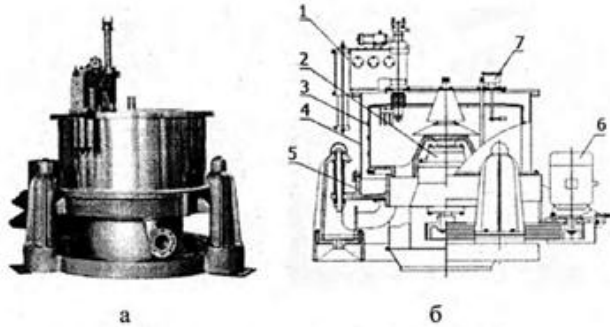


Рис. 1.14 Триколонна центрифуга зі скребками і нижнім вивантаженням (а) та її принципова схема (б)

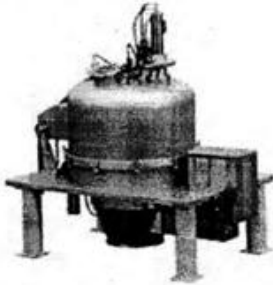


Рис. 1.15 Центрифуга з фільтруючим мішком і нижнім ножовим вивантаженням осаду

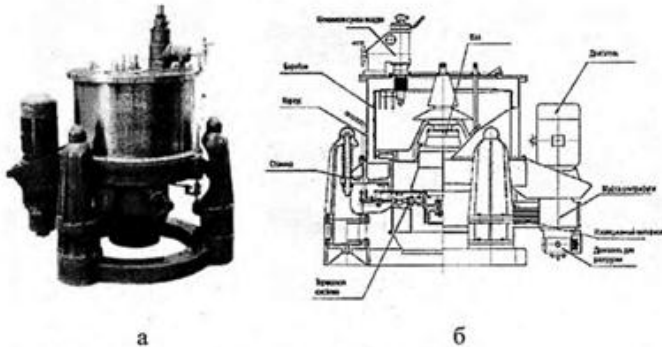


Рис. 1.16 Триколонна центрифуга зі скребками (ручне управління) і нижньої вивантаженням (а) та її принципова схема (б)

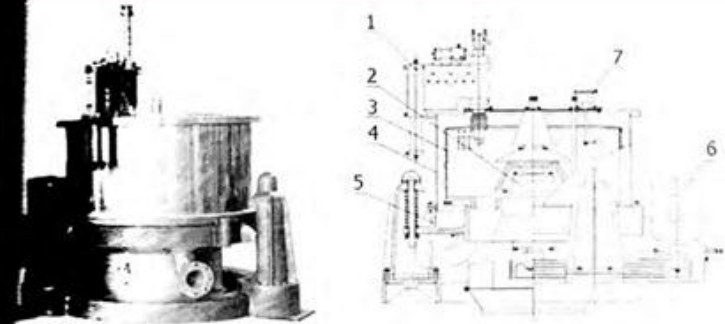


Рис. 1.15. Триколонна центрифуга зі скребками і нижнім вивантаженням:
1 - Ніж; 2 - Вал; 3 - Кошик; 4 - Корпус; 5 - Каркас; 6 - Мотор; 7 - Датчик вивантаження.



Рис. 1.16. Центрифуга з фільтруючим мішком і нижнім ножовим вивантаженням осаду

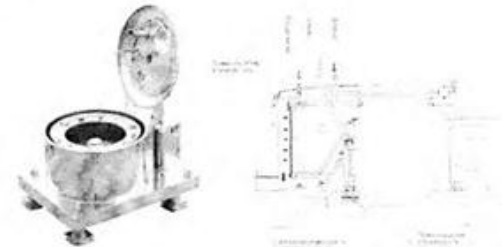
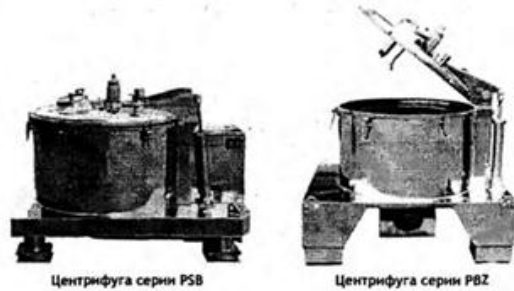
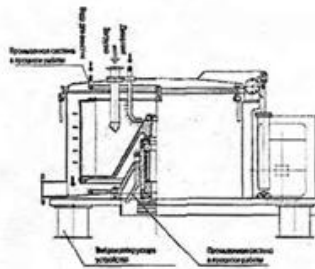


Рис. 1.17. Вертикальна центрифуга на платформі з верхнім вивантаженням та її принципова схема



а

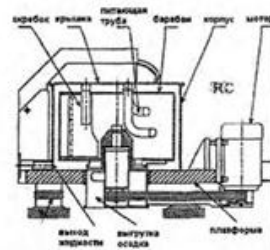


б

Рис. 1.17 Вертикальні центрифуги на платформі з верхнім завантаженням серії PSB/PBZ (а) та її принципова схема (б).



а



б

Рис. 1.18 Вертикальні центрифуги серії DEC/DEC (а) та її принципова схема (б)

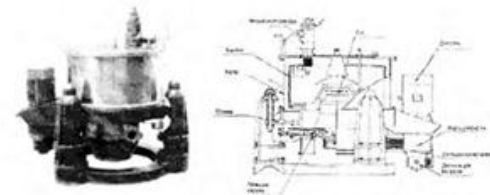


Рис. 1.18. Триколонна центрифуга зі скребками (ручне управління) і її вивантаженням та її принципова схема

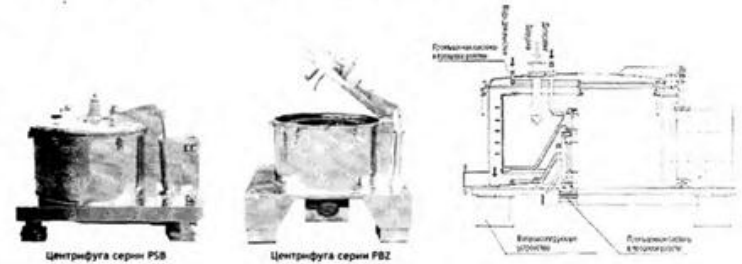


Рис. 1.19. Вертикальні центрифуги на платформі з верхнім завантаженням серії PSB / PBZ та її принципова схема

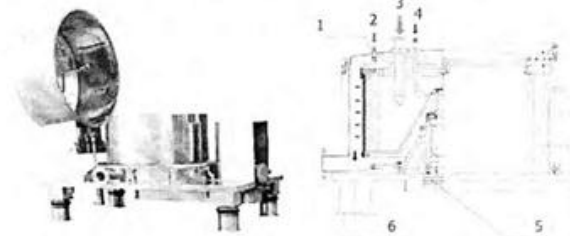
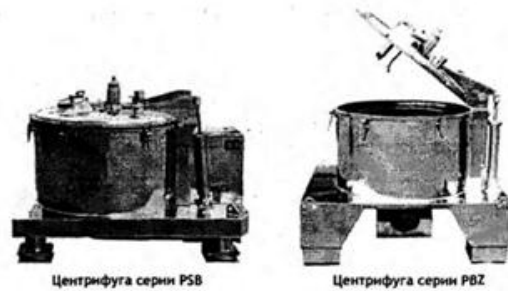
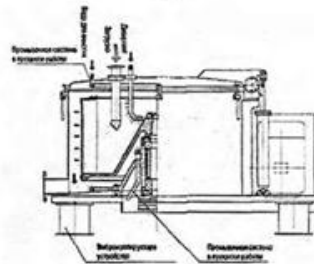


Рис. 1.20. Вертикальна центрифуга PQSB з відкидним корпусом і верхньої вивантаженням:

1 - Станина; 2 - Поворотний механізм; 3 - Барабан; 4 - Поворотний люк; 5 - Бічна промивальна труба; 6 - Промивна труба.

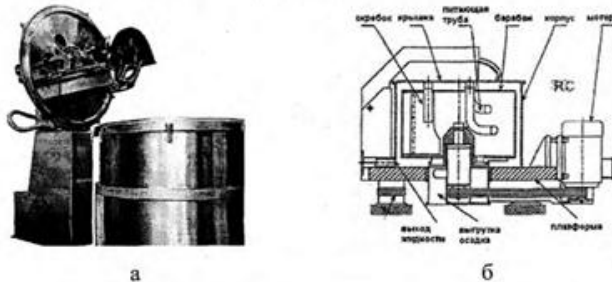


а

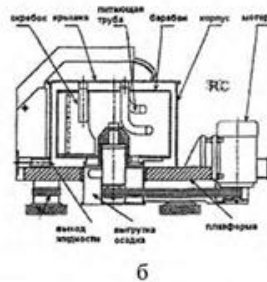


б

Рис. 1.17 Вертикальні центрифуги на платформі з верхнім живантаженням серії PSB/PBZ (а) та її принципова схема (б).



а



б

Рис. 1.18 Вертикальні центрифуги серії DEC/DECR (а) та її принципова схема (б)

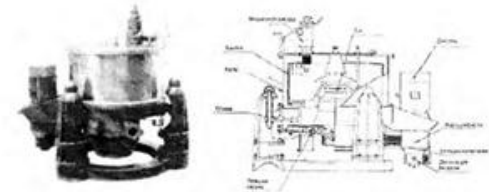


Рис. 1.18. Триколонна центрифуга зі скребками (ручне управління) і її вивантаженням та її принципова схема

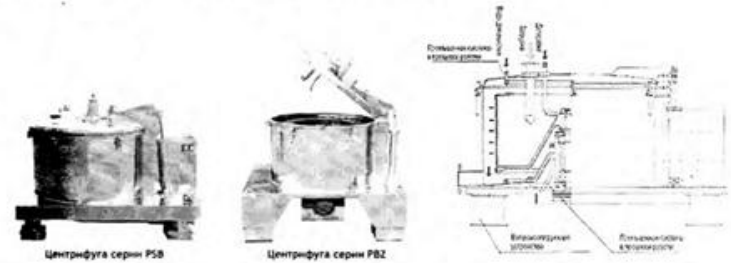


Рис. 1.19. Вертикальні центрифуги на платформі з верхнім живантаженням серії PSB / PBZ та її принципова схема

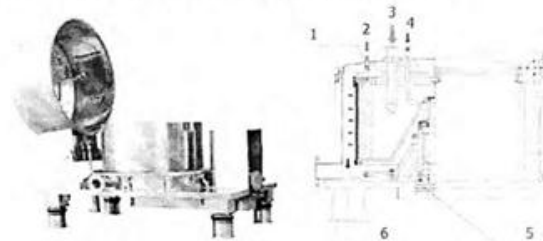


Рис. 1.20. Вертикальна центрифуга PQSB з відкидним корпусом і її вивантаженням:

1 - Станина; 2 - Поворотний механізм; 3 - Барабан; 4 - Поворотний люк; 5 - Бічна промивальна труба; 6 - Промивна труба.

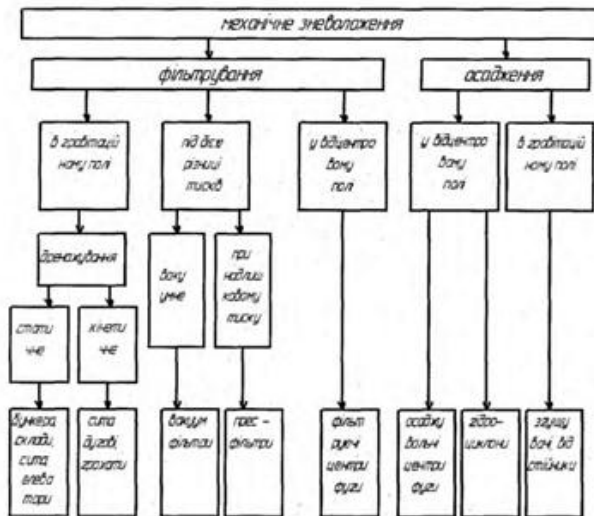


Рис. 1.3 Класифікація способів механічного зневодження

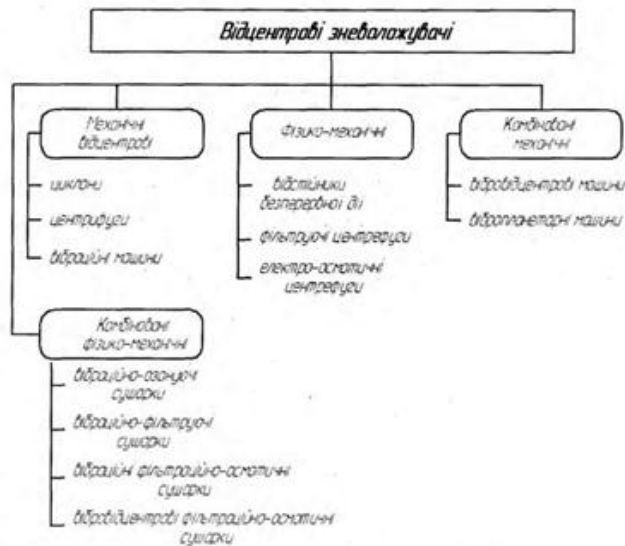


Рис. 1.4 Класифікація відцентрових зневоджувачів

осадження осадку [72], що має місце для обробки суспензій, крупно-, середньо- і дрібнозернистої твердої фази, яку утворює не сильно стиснутий осад. В результаті такої обробки виходить сухіший осад, ніж при осаджувальному центрифугуванні, причому вологість осадку тим менше, чим нижче його дисперсність. Якщо для дрібнозернистих матеріалів вологість осадку, отриманого після центрифугування, часто складає величину порядку 5-40%, то для середньозернистих і грубозернистих матеріалів ця вологість може бути значною 0,5-5%. Відцентрова фільтрація зазвичай здійснюється в нешвидкісних центрифугах у періодичному режимі. Для обробки високодисперсних матеріалів цей процес майже не застосовується.

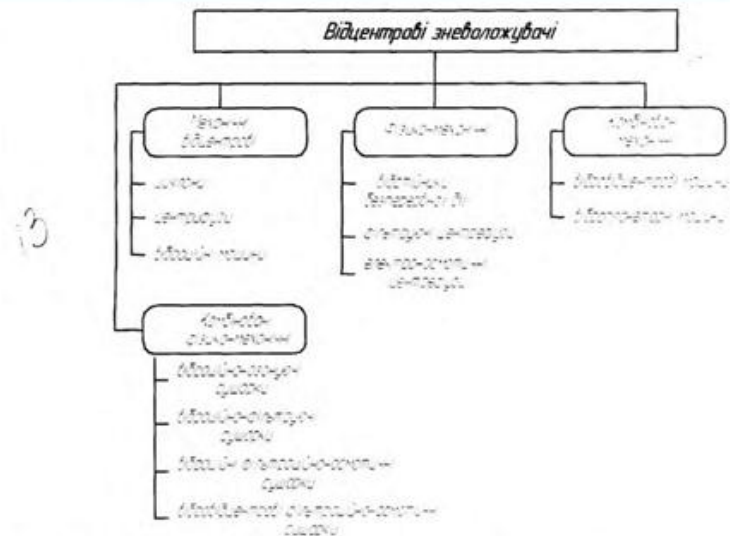


Рис. 1.13. Класифікація відцентрових зневоджувачів

1.3.2.1. Основні фактори, що визначають процеси фільтрування вологих дисперсних матеріалів. До таких процесів окрім розділення неоднорідних систем за допомогою пористих перегородок відносяться й розділення вологих дисперсних матеріалів. Основні положення теорії

Вплив фізико-хімічних факторів, тісно зв'язаних й з поверхневими явищами на межі розділу фаз матеріалу особливо помітно виявляється при невеликих розмірах твердих частинок (10 - 20 мкм). Такі частинки в процесі фільтрування стискаються у більшій мірі. Однак при цьому слід розрізняти ступінь стискання осаду і ступінь деформування твердих частинок, оскільки недеформовані частинки можуть стискатись за рахунок їх більш рівномірного та щільного укладання. В міру збільшення розмірів частинок посилюється відносний вплив гідродинамічних факторів [54].

Серед усіх робочих параметрів процесу фільтрування в найбільшій мірі на його протікання впливають перепад тисків на фільтрувальному елементі та температура матеріалу. Від останньої залежить в'язкість рідинної фази, а отже й здатність цієї фази проходити через шар осаду та пори фільтрувального елемента.

Таким чином, до макрофакторів [55] процесів статичного фільтрування слід віднести такі зміни, як площа поверхні фільтрувального елемента, різниця тисків на ньому, товщина шару осаду та в'язкість матеріалу. Вплив макрофакторів можна досить точно визначити за допомогою відповідних приладів. Основними мікрофакторами є: розміри пор у шарі осаду та у фільтрувальному елементі, товщина подвійного електричного шару на поверхні твердих частинок. В даний момент визначити вплив мікрофакторів за допомогою приладів досить проблематично, тому для їх кількісної оцінки застосовують аналітичні методи [56][57].

1.3.2 Вібраційне зневоложення. На сьогоднішній день вібраційні технології дедалі ширше використовуються в технологічних процесах переробного та харчового виробництва. Завдяки таким чинникам як підвищення продуктивності обладнання, скорочення виробничого циклу і покращення якості готового продукту [58][59][60]; інтенсифікації таких процесів, як транспортування і дозування матеріалів, розділення сумішей на

вання викладені у роботах В.А.Жижикова [74], Т. А. Малиновської [75], Герасимовського [76].

Вхідний матеріал, що знаходиться з однієї сторони фільтрувального елемента проходить скрізь нього під впливом перепаду тисків, величину якого визначають залежно від заданої продуктивності процесу обробки. При цьому перепаді тиску в міру забивання фільтрувального елемента, швидкість розділення падає, якщо ж підтримується постійна подача матеріалу на фільтр, то з часом на ньому підвищується перепад тисків. Постійну подачу матеріалу на фільтр забезпечують, наприклад, поршневі насоси. При використанні центробіжних насосів в міру забивання фільтра будуть змінюватись і його вхідний опір і швидкість проходження матеріалу [77].

У більшості випадків швидкість фільтрування зростає в меншій мірі, ніж на фільтрі, оскільки при підвищенні останнього пори перегородки та осад на ній зменшуються, тоді як опір їх збільшується. В цілому опір при фільтруванні складається з опору перегородки та осаду, що на ній накопичився [78].

Серед усіх робочих параметрів процесу фільтрування в найбільшій мірі на його протікання впливають перепад тисків на фільтрувальному елементі та температура матеріалу. Від останньої залежить в'язкість рідинної фази, а отже й здатність цієї фази проходити через шар осаду та пори фільтрувального елемента.

Таким чином, до макрофакторів [74] процесів статичного фільтрування слід віднести такі зміни, як площа поверхні фільтрувального елемента, різниця тисків на ньому, товщина шару осаду та в'язкість матеріалу. Вплив макрофакторів можна досить точно визначити за допомогою відповідних приладів. Основними мікрофакторами є: розміри пор у шарі осаду та у фільтрувальному елементі, товщина подвійного електричного шару на поверхні твердих частинок. В даний момент визначити вплив мікрофакторів за допомогою приладів досить проблематично, тому для їх кількісної оцінки застосовують аналітичні методи [84, 79].

Вплив фізико-хімічних факторів, тісно зв'язаних й з поверхневими явищами на межі розділу фаз матеріалу особливо помітно виявляється при невеликих розмірах твердих частинок (10 - 20 мкм). Такі частинки в процесі фільтрування стискаються у більшій мірі. Однак при цьому слід розрізняти ступінь стискання осаду і ступінь деформування твердих частинок, оскільки недеформовані частинки можуть стискатись за рахунок їх більш рівномірного та щільного укладання. В міру збільшення розмірів частинок посилюється відносний вплив гідродинамічних факторів [54].

Серед усіх робочих параметрів процесу фільтрування в найбільшій мірі на його протікання впливають перепад тисків на фільтрувальному елементі та температура матеріалу. Від останньої залежить в'язкість рідинної фази, а отже й здатність цієї фази проходити через шар осаду та пори фільтрувального елемента.

Таким чином, до макрофакторів [55] процесів статичного фільтрування слід віднести такі зміни, як площа поверхні фільтрувального елемента, різниця тисків на ньому, товщина шару осаду та в'язкість матеріалу. Вплив макрофакторів можна досить точно визначити за допомогою відповідних приладів. Основними мікрофакторами є: розміри пор у шарі осаду та у фільтрувальному елементі, товщина подвійного електричного шару на поверхні твердих частинок. В даний момент визначити вплив мікрофакторів за допомогою приладів досить проблематично, тому для їх кількісної оцінки застосовують аналітичні методи [56][57].

1.3.2 Вібраційне зневоложення. На сьогоднішній день вібраційні технології дедалі ширше використовуються в технологічних процесах переробного та харчового виробництва. Завдяки таким чинникам як підвищення продуктивності обладнання, скорочення виробничого циклу і покращення якості готового продукту [58][59][60]; інтенсифікації таких процесів, як транспортування і дозування матеріалів, розділення сумішей на

Для забезпечення високої продуктивності обладнання для статичного фільтрування, доводиться збільшувати його габарити та масу, зменшувати опір осаду (шляхом попереднього додавання до матеріалу флокулянтів або збільшувати швидкість проходження через перегородку) або збільшувати швидкість проходження через перегородку в іншій фазі, за рахунок попереднього фільтрування матеріалу, а також зменшення вмісту в ньому смолистих, слизистих та колоїдних домішок, що є не дуже ефективним [85]. Тому перспективним є застосування динамічних та інтенсивних способів обробки, зокрема при застосуванні вібраційної технології дії.

1.3.3 Вібраційне зневоложення. На сьогоднішній день вібраційні технології дедалі ширше використовуються в технологічних процесах переробного та харчового виробництва. Завдяки таким чинникам як підвищення продуктивності обладнання, скорочення виробничого циклу і покращення якості готового продукту [119, 120, 121]; інтенсифікації таких процесів, як транспортування і дозування матеріалів, розділення сумішей на фракції, подрібнення і ущільнення, фільтрування, гранулювання, формування, сушіння, тощо [122, 123, 124, 125, 126]. При цьому параметри вібраційного впливу на оброблювані матеріали та середовища легко піддаються гранулюванню завдяки зміні частоти та амплітуди коливань, забезпечуючи його найбільш ефективні режими [123, 127]. Значні внески в розвиток вібраційних технологій та їх використання у харчовому виробництві належать А. П. Бабічеву, П. С. Бернику, П. О. Ребіндеру, Р. Д. Ісковичу, Лотоцькому, А. І. Українцю, Г. А. Хайлісу, І. П. Паламарчуку [].

Прикладом нецілеспрямованого використання вібраційного навантаження для зневоложення рослинної маси є процес її транспортування автотранспортом до кінцевого споживача. Під час перевезення рослинна маса піддається постійному стрясанню. Цей процес можна розділити на два етапи: імпульсний вплив з боку кузова автомобіля і інерційний вплив, що зумовлений силою власного тяжіння під час повернення у вихідне положення. Результатом цього процесу є суттєве зниження вологості рослинної маси, яку отримує споживач.

етапи: імпульсний вплив з боку кузова автомобіля і інерційний вплив, що зумовлений силою власного тяжіння під час повернення у вихідне положення. Результатом цього процесу є суттєве зниження вологості рослинної маси, яку отримує споживач. Але зневоложення таким чином має і свої недоліки, а саме: по-перше, споживач купує вторинний продукт високої вологості, витрачаючи кошти і на воду, яка втрачається під час перевезення, а по-друге, вода, яка видаляється під час транспортування, забруднює навколишнє середовище, оскільки містить у собі органічні кислоти, білки та інші сполуки[76].

У вібраційних сушарках або зневоложувачах. Накладення вібраційної дії на перфоровані решітки, похилі лотки, додаткові перетинки, а також різні виконавчі органи машини забезпечує рівномірне стійке кипіння в умовах псевдозрідженого шару продукції [77].

Рівномірність кипіння або зрідження такого шару залежить від властивостей матеріалу, який обробляється. Для сипучих матеріалів, що мають мале тертя між частинками і не схильних до агрегування, як вібрація виконавчих елементів так і продувка теплоносієм можуть створювати вищезазначену структуру шару [78][79]; у якому можна значно знижувати швидкість проходження сушильного агента та відповідно енерговитрат на реалізацію процесу.

Для деяких продуктів створити однорідний киплячий шар тільки шляхом продувки теплоносія важко, тому комбінований вплив сушильного агента створюють рівномірне зрідження шару. До таких продуктів слід віднести буряковий жом, оскільки він володіє полідисперсністю і високою вологістю, що сприяє агрегуванню частинок.

В даний час накопичений досить великий досвід з використання вібраційних сушарок в процесі сушіння харчових продуктів[80].

А.С. Гінзбург і В.І. Сиродовим [81] проведено дослідження процесу сушіння цукру-піску в віброзрідженому шарі з кондуктивним підведенням тепла. Частоти вібрації змінювалися від 20 до 80 Гц та амплітуди - від 0,5 до

Але зневоложення таким чином має і свої недоліки, а саме: по-перше, споживач купує вторинний продукт високої вологості, витрачаючи кошти і на воду, яка втрачається під час перевезення, а по-друге, вода, яка видаляється під час транспортування, забруднює навколишнє середовище, оскільки містить у собі органічні кислоти, білки та інші сполуки[134].

У вібраційних сушарках або зневоложувачах. Накладення вібраційної дії на перфоровані решітки, похилі лотки, додаткові перетинки, а також різні виконавчі органи машини забезпечує рівномірне стійке кипіння в умовах псевдозрідженого шару продукції [52].

Рівномірність кипіння або зрідження такого шару залежить від властивостей матеріалу, який обробляється. Для сипучих матеріалів, що мають мале тертя між частинками і не схильних до агрегування, як вібрація виконавчих елементів так і продувка теплоносієм можуть створювати вищезазначену структуру шару [101, 102]; у якому можна значно знижувати швидкість проходження сушильного агента та відповідно енерговитрат на реалізацію процесу.

А.П. Рисін і З.А. Кац [104] провели дослідження процесу сушіння картоплі і овочів у віброкиплячому шарі при конвективно-радіаційному підведенні теплоти, забезпечило вирівнювання вологості по перерізу зразка за рахунок ефективної термовологопровідності.

У роботах О.П. Калинівської [105] зазначається, що віброкиплячого шар створює умови, за яких збільшується загальна поверхня сипучої маси матеріалу, що знаходиться в контакт з сушильним агентом, в результаті чого відбувається інтенсивне видалення вологи та спостерігається збільшення швидкості сушіння.

При поділі неоднорідних структур з рідким дисперсійним середовищем високі технологічні результати були отримані при використанні вібраційного центрифугування. Так, створення коливального руху робочих елементів машини у площині, перпендикулярній напрямку відцентрових сил, дає можливість зруйнувати дисперсні структури з вивільненням рідкої фази, значно

2,5 мм. Було встановлено, що видалення вологи відбувається в основному в період постійної швидкості сушіння. На інтенсивність даного сушіння в більшій мірі впливає амплітуда коливань при оптимальній частоті вібрації 40...60 Гц.

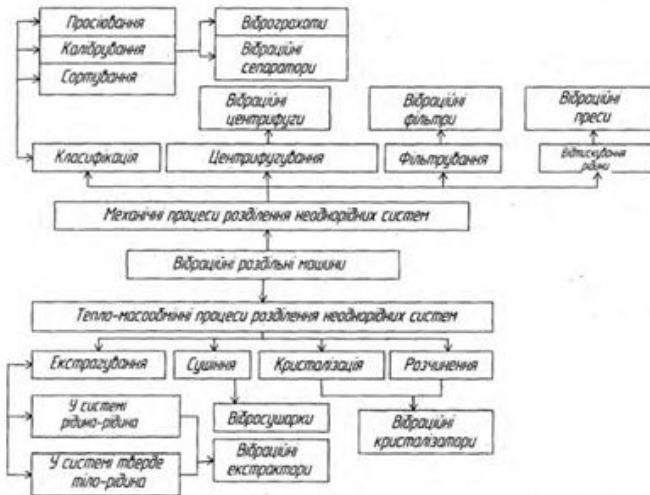


Рис. 1.5 Області застосування вібраційних технологічних машин у процесах розділення неоднорідних систем харчових і переробних виробництв [82]

А.П. Рисін і З.А. Кац [83] провели дослідження процесу сушіння картоплі і овочів у віброкиплячому шарі при конвективно-радіаційному підведенні теплоти, що забезпечило вирівнювання вологості по перерізу зразка за рахунок ефективної термовологопровідності.

У роботах О.П. Калиновської [84] зазначається, що віброкиплячий шар створює умови, за яких збільшується загальна поверхня сипучої маси матеріалу, що знаходиться в контакт з сушильним агентом, в результаті чого відбувається інтенсивне видалення вологи та спостерігається збільшення швидкості сушіння.

М.Г. Парфенопуло [85] при дослідженні процесу зневоложення

зневоложення таким чином має і свої недоліки, а саме: по-перше, споживач отримує вторинний продукт високої вологості, витрачаючи кошти і на воду, яка випаровується під час перевезення, а по-друге, вода, яка видаляється під час транспортування, забруднює навколишнє середовище, оскільки містить у собі органічні кислоти, білки та інші сполуки[134].

У вібраційних сушарках або зневоложувачах. Накладення вібраційної дії на перфоровані решітки, похилі лотки, додаткові перетинки, а також різні конструктивні органи машини забезпечує рівномірне стійке кипіння в умовах розрідженого шару продукції [52].

Рівномірність кипіння або зрідження такого шару залежить від властивостей матеріалу, який обробляється. Для сипучих матеріалів, що мають тертя між частинками і не схильних до агрегування, як вібрація конструктивних елементів так і продувка теплоносієм можуть створювати певну структуру шару [101, 102]; у якому можна значно знижувати швидкість проходження сушильного агента та відповідно енерговитрат на реалізацію процесу.

А.П. Рисін і З.А. Кац [104] провели дослідження процесу сушіння картоплі і овочів у віброкиплячому шарі при конвективно-радіаційному підведенні теплоти, забезпечило вирівнювання вологості по перерізу зразка за рахунок ефективної термовологопровідності.

У роботах О.П. Калиновської [105] зазначається, що віброкиплячий шар створює умови, за яких збільшується загальна поверхня сипучої маси матеріалу, що знаходиться в контакт з сушильним агентом, в результаті чого відбувається інтенсивне видалення вологи та спостерігається збільшення швидкості сушіння.

При поділі неоднорідних структур з рідким дисперсійним середовищем високі технологічні результати були отримані при використанні вібраційного центрифугування. Так, створення коливального руху робочих елементів машини у площині, перпендикулярній напрямку відцентрових сил, дає можливість зруйнувати дисперсні структури з вивільненням рідкої фази, значно

власностей, що забезпечують йому численні переваги: високі теплопровідність і тепловіддачу, низький внутрішньодифузійний опір при роботі з дисперсним матеріалом, ефективне використання робочого об'єму, простота конструкції апарату, легкість введення і виведення матеріалу тощо. Крім того, зневоложення у псевдозрідженому шарі дає найкращі результати в сенсі рівномірності зневоднення. При цьому практично усувається змивання і прилипання матеріалу до внутрішніх частин сушильної камери [35].

1.4.3 Техніка та технології для зневоложення харчового насіння баштаних культур. В технології післязбиральної обробки важливу роль займає зневоложення високовологого насіння баштаних культур до кондиційної вологості, що визначає якість оброблюваного продукту, як наслідок, властивості продукту [136][137][138]. Тому важливо вибрати та обґрунтувати спосіб зневоложення за якого забезпечуються високі якісні показники насіння баштаних культур та конструктивно-технологічні параметри машини [139]. Класифікація способів, сушильного обладнання для сушіння високовологого насіння баштаних культур представлена на рис. 1.25.

У господарствах при зневоложенні баштаних культур використовують платформні (підлогові) сушарки з камерами розмірами 35 і 50 м² (рис.1.26). Перша з них, як правило, виконується з одною сушильною камерою, друга - з двома камерами, загальною корисною площею 100 м² [140].

Для інтенсивної сушіння насіння також функціонують геліотеплові установки, що забезпечують максимальну швидкість теплоносія 0,4...0,5 м/с і температуру нагрівання його до 55°C.

Обладнання від фірми MeHac, ОАО (рис. 1.27) забезпечує сушіння насіння овочевих і баштаних культур та передбачає автоматичне ворування насіння в процесі сушіння [141].

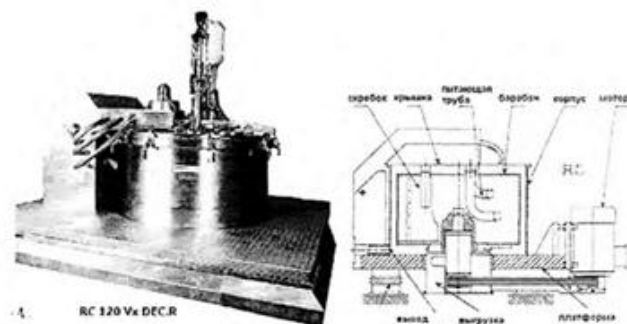


Рис. 1.23. Вертикальні центрифуги серії DEC / DEC-R

робота см 55

1.4.3. Техніка та технології для зневоложення насіння баштаних культур. В технології післязбиральної обробки важливу роль займає зневоложення високовологого насіння баштаних культур до кондиційної вологості, що визначає якість оброблюваного продукту, як наслідок, високі якісні властивості насіннєвого матеріалу [96 , 150 , 151]. Тому важливо вибрати та обґрунтувати спосіб зневоложення, за якого забезпечуються високі якісні показники насіннєвого матеріалу та конструктивно-технологічні параметри машини [95].

У насінницьких господарствах при зневоложенні баштаних культур використовують платформні (підлогові) сушарки з камерами розмірами 35 і 50 м² (Рис.1.24). Перша з них, як правило, виконується з одною сушильною камерою, друга - з двома камерами, об'ємною корисною площею 100 м².

Для інтенсивної сушіння насіння також функціонують геліотеплові установки, що забезпечують максимальну швидкість теплоносія 0,4...0,5 м/с і температуру нагрівання його до 55°C.

Обладнання від фірми MeHac, ОАО (Рис. 1.25) забезпечує сушіння насіння овочевих і баштаних культур та передбачає автоматичне ворування насіння в процесі сушіння.

Відома установка для сушіння насіння баштаних культур в киплячому шарі (рис. 1.26) [152] містить циліндричний корпус з незалежним підведенням

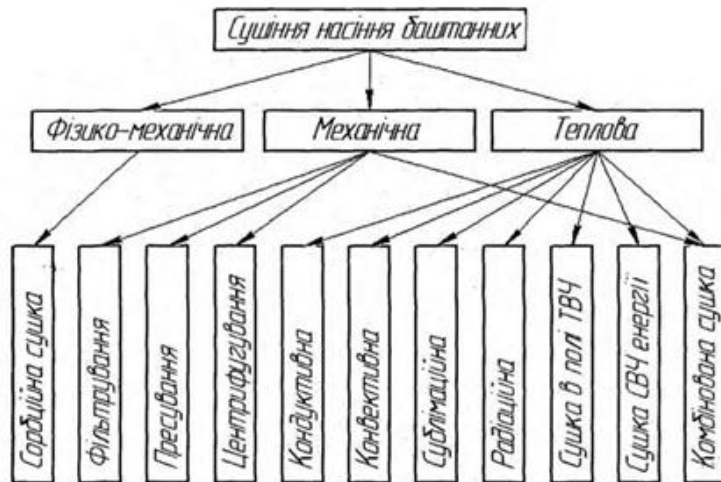


Рис. 1.25 Класифікація способів, сушильного обладнання для сушіння

■ сокового насіння баштанних культур

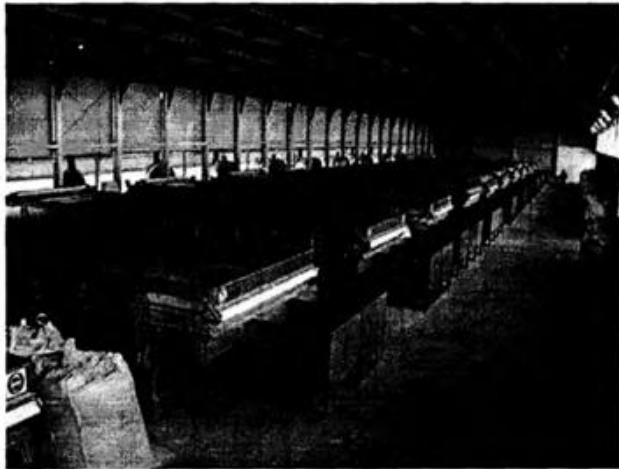


Рис.1.26 Платформні (підлогові) сушарки

сушильного агента під газорозподільну решітку і ротор з радіальними розташованими лопатями, що розподіляють киплячий шар на рівні секторні шліски, перебуваючи в яких матеріал переміщається при обертанні ротора від перевантажувального пристрою до місця перевантаження через секторні шліски газорозподільних решітках. До недоліків цієї конструкції відносяться складність конструктивного виконання газорозподільної решітки, неможливість уникнути від зони застою між обертовими роторами, складність управління лопатями розподільника потоку для забезпечення рівномірного потоку теплоносія по робочій камері, одноразове використання сушильного агента одноступеневе сушіння насіння зі складністю застосування диференційованого режиму обробки.



Рис.1.24. Платформні (підлогові) сушарки



Рис. 1.25. Сушарка для насіння баштанних культур

Відома установка для сушіння насіння баштанних культур в киплячому парі (рис. 1.28) [142] містить циліндричний корпус з незалежним підведенням сушильного агента під газорозподільну решітку і ротор з радіально розташованими лопатями, що розподіляють киплячий шар на рівні секторні шпалери, перебуваючи в яких матеріал переміщається при обертанні ротора від переважувального пристрою до місця переваження через секторні щілини в газорозподільних решітках. До недоліків цієї конструкції відносяться: складність конструктивного виконання газорозподільної решітки, неможливість позбутися від зони застою між обертаними роторами, складність управління лопатями розподільника потоку для забезпечення рівномірного потоку теплоносія по робочій камері, одноразове використання сушильного агента, одноступеневе сушіння насіння зі складністю застосування диференційованого режиму обробки.

Сушарка Romberger (рис.1.29.) складається з двох основних складових частин: пальників з піччю для виробництва теплого повітря з вентилятором та сушильної рами, в якій на перфорованій решітці розміщується продукт для просушування [143].

Сушарка призначена тільки для періодичного сушіння. При цьому вироблене пальником тепле повітря піддувається під сушильною рамою та пронизує масу продукту. Для запобігання підгоряння продукту і забезпечення рівномірного просушування продукту останній циклічно переміщується шнековою мішалкою.

Сушіння насіння баштанних культур інфрачервоними променями відбувається під дією спеціальних генераторів у вигляді спеціальних електричних ламп, керамічних та металевих панелей, що нагріваються електрострумом або газом. Інфрачервоні промені проникають в насінневий шар на глибину 10-15 мм, нагріваючи продукцію до гранично допустимої температури на протязі 1-2 хв., що може несприятливо позначитися на якості насіння баштанних культур, тому даний спосіб сушіння має обмежене застосування.

Сушарка Romberger (Рис.1.27.) складається з двох основних складових частин: пальників з піччю для виробництва теплого повітря з вентилятором та сушильної рами, в якій на перфорованій решітці розміщується продукт для просушування.

Сушарка призначена тільки для періодичного сушіння. При цьому вироблене пальником тепле повітря піддувається під сушильною рамою та пронизує масу продукту. Для запобігання підгоряння продукту і забезпечення рівномірного просушування продукту останній циклічно переміщується шнековою мішалкою.

Сушіння насіння баштанних культур інфрачервоними променями відбувається під дією спеціальних генераторів у вигляді спеціальних електричних ламп, керамічних та металевих панелей, що нагріваються електрострумом або газом. Інфрачервоні промені проникають в насінневий шар на глибину 10-15 мм, нагріваючи продукцію до гранично допустимої температури на протязі 1-2 хв., що може несприятливо позначитися на якості насіння баштанних культур, тому даний спосіб сушіння має обмежене застосування. Окрім того, такі сушарки характеризуються низьким к.к.д. і значною витратою електроенергії (1,5 кВт. год на 1 кг испаренной вологис.) [96, 98].

Сушарка (рис. 1.28) являє собою вібраційну конвеєрну сушильну камеру з нагріванням продукту інфрачервоним випромінюванням. Над металевої сітчастої конвеєрною стрічкою транспортера кожного ярусу всередині термокамери розміщені по 9 інфрачервоних термовипромінювачів, що здійснюють нагрів продукту, покладеного рівномірним шаром по всій ширині стрічки. Всі транспортери мають загальний привод, а швидкість руху стрічки і, відповідно, тривалість термообробки регулюються частотним перетворювачем, а температура нагріву продукту – зміною висоти підвіски термовипромінювачів над стрічкою і кількістю одночасно включених термовипромінювачів.

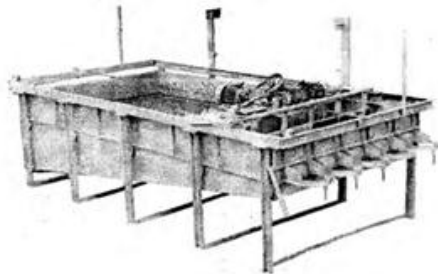


Рис. 1.27 Сушарка для насіння баштанних культур

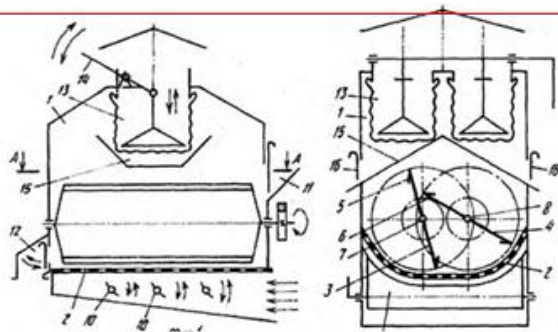


Рис. 1.28 Установка для сушіння сипучих матеріалів в киплячому шарі

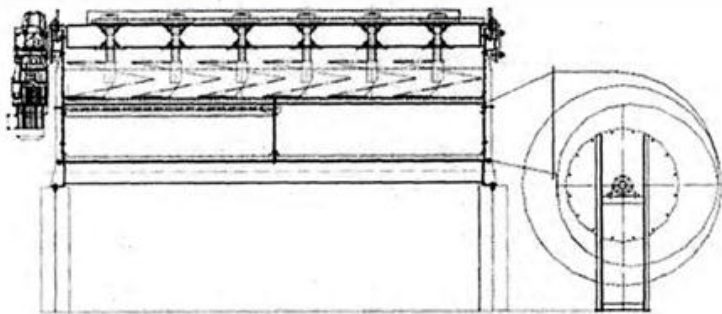


Рис. 1.29 Плоска сушарка Romberger

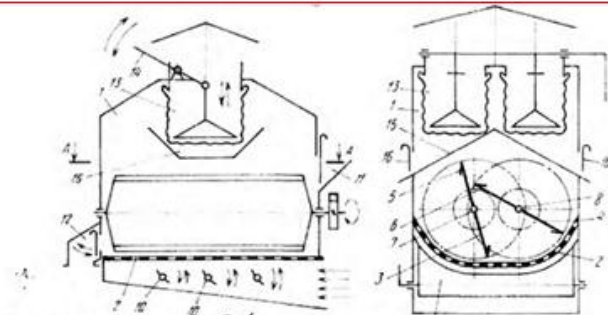


Рис. 1.26. Установка для сушіння сипучих матеріалів в киплячому шарі

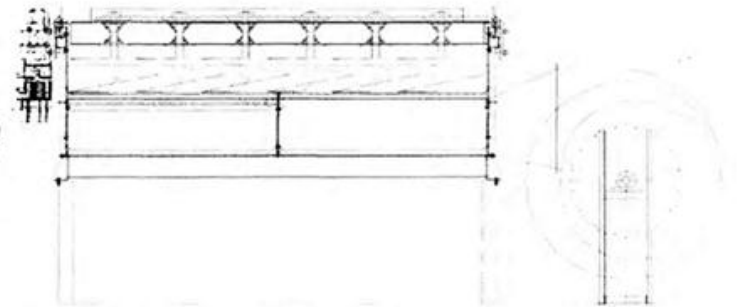


Рис. 1.27. Плоска сушарка Romberger

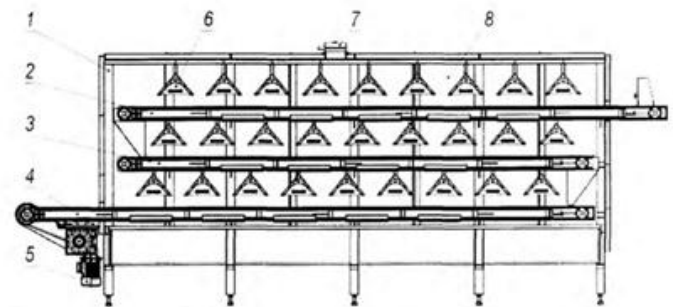


Рис. 1.28. Вібраційна сушарка з інфрачервоним випромінюванням

електродвигун вібропривода; 5-корпус центрифуги; 6-електродвигун центрифуги; 7-патрубок; 8-теплогенератор; 9-компресор; 10-електроди; 11-перетворювач напруги.

Експериментальний зневоложувач працює наступним чином.

У горловину подається високоволога сировина. Для вилучення вільної вологи розпочинається перший етап обробки – відцентрове центрифугування. При цьому за рахунок двигуна 6 здійснюється обертання контейнера 2, за рахунок відцентрової сили, відбувається що приводить до притискання сировини до перфорованих стінок контейнера 2. Після віддалення вільної вологи перфорований ротор центрифуги 2 зупиняється. Під дією відцентрових сил сировина на бічній поверхні ротора 2 утворює щільний, непроникний для повітря шар, для руйнування якого створюємо коливання контейнера при обертанні дебалансного валу 3. Після руйнування шару сировини за рахунок вібрації в ротор 2 для досушування сировини подається теплоносії, що нагнітається компресором 9 та підігрівається теплогенератором 8 і подається в контейнер через перефорований патрубок 7. Розпушений шар сировини підсушується теплим повітрям. Одночасно до корпусу перфорованого ротора 2 та до секції електродів 10 підводиться електричний струм, за рахунок проходження якого крізь шар сировини виникає ефект електроосмосу, який дозволяє інтенсифікувати дифузію вологи через напівпроникну мембрану. Вологе повітря видаляється через лоток 12, зневоложена сировина - через горловину.

1.5 Висновки до 1 розділу

1.Оцінка закономірностей процесів технологічного зневоложення харчових та переробних виробництв виявила різноманітність та складність обладнання для обробки різної за властивостями продукції, що дозволило розробити класифікацію об'єктів дослідження та перспективні напрямки

1.4.4. Конструктивно-технологічна схема розробленої машини.

Районна фільтраційно-осмотична експериментальна сушарка складається з центрифуги 5 (рис. 1.30), яка за допомогою пружних елементів кріпиться до дебалансного вібропривода 3, який приводиться до руху за допомогою електродвигуна 4. Ротор центрифуги 2 обертається двигуном 6. По периферії ротора розміщені електроди електроосмоса 10. Для підведення теплоагенту, нагнітається компресором 9 та нагрівається в теплогенераторі 8, в корпусі центрифуги розміщений перфорований патрубок.

Експериментальна сушарка працює наступним чином.

У горловину подається високоволога сировина. Для вилучення вільної вологи розпочинається перший етап обробки – відцентрове центрифугування. При цьому за допомогою двигуна 6 здійснюється обертання контейнера 2. Під дією відцентрових сил відбувається притискання сировини до перфорованих стінок контейнера 2. Видалена волога видаляється через лоток 12. Після віддалення вільної вологи перфорований ротор центрифуги 2 зупиняється. Під дією відцентрових сил сировина на бічній поверхні ротора 2 утворює щільний, непроникний для повітря шар, для руйнування якого створюємо коливання контейнера при обертанні дебалансного валу 3. Після руйнування шару сировини за рахунок вібрації в ротор 2 для досушування сировини подається теплоносії, що нагнітається компресором 9 та підігрівається теплогенератором 8 і подається в контейнер через перефорований патрубок 7. Розпушений шар сировини підсушується теплим повітрям. Одночасно до корпусу перфорованого ротора 2 та до секції електродів 10 підводиться електричний струм, за рахунок проходження якого крізь шар сировини виникає ефект електроосмосу, який дозволяє інтенсифікувати дифузію вологи через напівпроникну мембрану. Вологе повітря видаляється через лоток 12, зневоложена сировина - через горловину.

дифузійного видалення вологи з матеріалу через патрубков.

2.1.2 Експериментальне оснащення для оцінки силових та енергетичних характеристик процесу, що досліджується. Для виявлення якісної картини споживання енергії розробленого устаткування, оцінки амплітудно-частотних, кінетичних та якісних параметрів досліджуваних процесів було здійснено експериментальні дослідження на дослідній установці вібровідцентрового осмотично-фільтраційного зневоложувача.

Для оцінки енергетичних параметрів було використано безпроводний датчик реєстрації амплітудно-частотних характеристик з незалежним живленням на основі акселерометра LIS3DH компанії STMicroelectronics (рис. 2.2), який має наступні характеристики: ультранизке енергоспоживання – 2 мкА; споживана напруга від 1,71 – 3,6 В; регульований діапазон вимірювання прискорення: $\pm 4g$; $\pm 8g$; $\pm 16g$; інтерфейс SPI/I2C для зчитування даних; вмонтований модуль самотестування; маса 1,5 г.

Після зупинки обладнання за допомогою програмного забезпечення та адаптивного шнура, отримані АЧХ інтерпретуються у вигляді графічних залежностей та цифрової матриці даних.

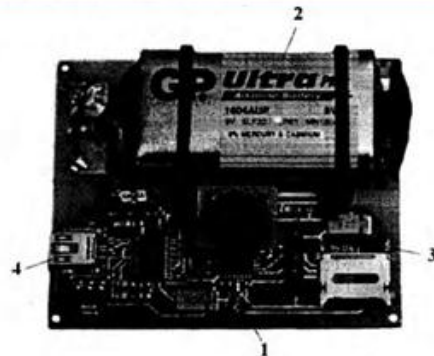


Рис. 2.2. Автономний акселерометр: 1 – акселерометр; 2 – батарейка живлення; 3 – карта пам'яті; 4 – адаптивний мікропорт для зчитування даних

Для керування та зміни частоти обертання вала електродвигуна використовувався автотрансформатор АОСН-20-220-75 (рис. 2.10), який призначений для роботи зі змінним струмом. Він містить рухомий скользящий контакт у вигляді графітового ролика, що дозволяє плавно регулювати напругу від нуля до максимуму. Також обмотка згаданого трансформатора має декілька клем, завдяки яким можна отримувати різні характеристики струму на виході. Прилад можна застосовувати як стабілізатор напруги при підключенні до установки запобігає стрибкам напруги в мережі.

Експлуатаційні характеристики лабораторного автотрансформатора АОСН-20-220-75 дають змогу в режимі реального часу знімати показники та регулювати споживану потужність та кількість обертів електродвигуна.

Для визначення енергетичних характеристик досліджуваної машини використовувався електронний ватметр EMF-1 (рис. 2.11), який призначений для вимірювання споживаної потужності у мережі 220В, 16А (максимум) з підключенням через побутову розетку.

За допомогою цього приладу здійснювались заміри наступних показників: напруга в мережі, частота та сила змінного струму, споживана потужність, коефіцієнт потужності (100% для активного навантаження), час роботи обладнання та сумарна спожита потужність за весь період роботи машини в кВт/год.

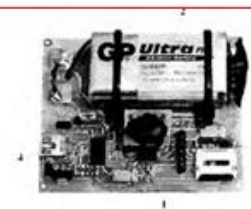


Рис. 2.6. Розроблений автономний акселерометр:
1 – акселерометр; 2 – батарейка живлення; 3 – карта пам'яті; 4 – адаптивний мікропорт для зчитування даних



Рис. 2.3. Частотомір UNI-T

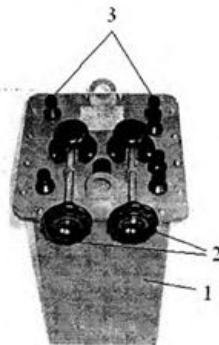


Рис. 2.4. Лабораторний

автотрансформатор АОСН-20-220-75:
 1 – лазерний зчитувач; 2 – цифровий індикатор;
 3 – панель керування

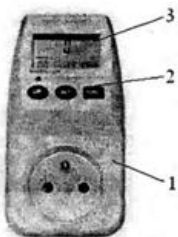


Рис. 2.5. Електронний

вагетметр EMF-1:1 – корпус
 вагетметра; 2 – панель керування;
 3 – індикаторний дисплей

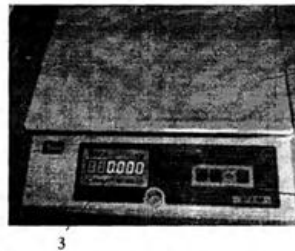


Рис. 2.6. Електронні

лабораторні технічні ваги ВТА-60:
 1 – звішувальне деко; 2 –
 панель калібрування; 3 –
 індикаторний дисплей



Рис. 2.8. Зчитування амплітудно-частотних характеристик



Рис. 2.9. Частотомір UNI-T

УТ372: 1 – лазерний зчитувач;
 2 – цифровий індикатор;
 3 – панель керування

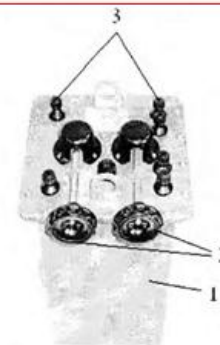


Рис. 2.10. Лабораторний

автотрансформатор АОСН-20-220-75:
 1 – зовнішній кожух; 2 – регулятори
 напруги; 3 – вхідні та вихідні клеми

(кінематичне віброзбудження), або комбінованим способом.

Величина збурюючої сили визначається за формулою:

$$F = m_0 r \omega^2 \quad (2.1)$$

де: m_0 - невідновжена маса (у випадку силового віброзбудження m_0 - маса інерційного елемента);

r - радіус інерції невідновженої маси (у випадку силового віброзбудження r - відстань від центра ваги інерційного елемента до осі обертання);

ω - кутова швидкість приводного вала віброзбуджувача.

Моментна незрівноваженість має місце за наявності в коливальній системі незрівноваженого моменту. Такий збурюючий момент у механічних системах виникає також або силовим способом під час обертання інерційного елемента відносно осі, що не збігається з головною віссю інерції і не паралельна їй; або кінематичним способом, коли декілька ексцентрикових валів приводу виконавчих органів машини розташовуються таким чином, що в системі утворюється незрівноважений момент [147].

Величину такого моменту незрівноваженості можна представити виразом:

$$M = r S_m \omega^2 \quad (2.2)$$

де r - радіус-вектор центра мас однієї із симетричних складових незрівноваженої маси;

S_m - вектор статичного моменту (дисбалансу) однієї із симетричних складових незрівноваженої маси.

Величина пружних чи відновлюючих силових параметрів залежить від типу збурюючого фактора та коефіцієнта жорсткості пружного елемента:

$$F_{пр} = k_f \Delta; \quad M_{пр} = k_m \Theta, \quad (2.3)$$

де Δ - пружне переміщення в напрямку дії сили $F_{пр}$;

Θ - кут повороту пружного елемента під дією моменту $M_{пр}$.

Сумарний коефіцієнт жорсткості паралельної групи пружних -n-

темі утворюється незрівноважений момент [146].

Величину такого моменту незрівноваженості можна представити виразом:

$$M = r S_m \omega^2 \quad (2.5)$$

де r - радіус-вектор центра мас однієї із симетричних складових незрівноваженої маси; S_m - вектор статичного моменту (дисбалансу) однієї із симетричних складових незрівноваженої маси.

Величина пружних чи відновлюючих силових параметрів залежить від типу збурюючого фактора та коефіцієнта жорсткості пружного елемента:

$$F_{пр} = k_f \Delta; \quad M_{пр} = k_m \Theta, \quad (2.6)$$

де Δ - пружне переміщення в напрямку дії сили $F_{пр}$; Θ - кут повороту пружного елемента під дією моменту $M_{пр}$.

Сумарний коефіцієнт жорсткості паралельної групи пружних -n- елементів становить:

$$k = \sum_{i=1}^n k_i$$

де k_i - коефіцієнти жорсткості складових елементів.

Сумарна піддатливість $\frac{1}{k}$ послідовної групи -n- пружних елементів

виражається як:

$$\frac{1}{k} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i}$$

де $\frac{1}{k_i}$ - піддатливість складових елементів пружної системи.

Аналогічно сумарний коефіцієнт опору в паралельній групі -n- демпферів визначається як:

$$b = \sum_{i=1}^n b_i$$

де b_i - коефіцієнт опору складових елементів; а для послідовної групи -n- демпферів:

$$\frac{1}{b} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{b_i}$$

$\frac{1}{b}, \frac{1}{b_i}$ - сумарна рухливість і рухливість складових демпферів.

елементів становить:

$$k = \sum_{i=1}^n k_i \quad (2.4)$$

де k_i - коефіцієнти жорсткості складових елементів.

Сумарна піддатливість $\frac{1}{k}$ послідовної групи n - пружних елементів виражається як:

$$\frac{1}{k} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \quad (2.5)$$

де $\frac{1}{k_i}$ - піддатливість складових елементів пружної системи.

Аналогічно сумарний коефіцієнт опору в паралельній групі n -

демпферів визначається як:

$$b = \sum_{i=1}^n b_i \quad (2.6)$$

де b_i - коефіцієнт опору складових елементів; а для послідовної групи n -

демпферів:

$$\frac{1}{b} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{b_i} \quad (2.7)$$

$\frac{1}{b}$, $\frac{1}{b_i}$ - сумарна рухливість і рухливість складових демпферів.

За допомогою даних залежностей можна визначити приведений коефіцієнт пружності або приведений коефіцієнт опору, дія якого еквівалентна дії фактичного пружного елемента. Критерієм еквівалентності пружини може бути рівність потенційних енергій, що запасуються пружними елементами в умовах даних кінематичних зв'язків коливальної системи при переміщенні її виконавчих органів:

$$k_\phi \delta_\phi^2 = k_{\phi\phi} \delta_{\phi\phi}^2 \quad (2.8)$$

де k_ϕ , $k_{\phi\phi}$ - коефіцієнти пружності відповідно фактичного і приведенного пружного елемента;

δ_ϕ^2 , $\delta_{\phi\phi}^2$ - фактичне та приведенне пружне

емі утворюється незрівноважений момент [146].

Величину такого моменту незрівноваженості можна представити

зом:

$$M = r S_m \omega^2 \quad (2.5)$$

де r - радіус-вектор центра мас однієї із симетричних складових незрівноваженої маси; S_m - вектор статичного моменту (дисбалансу) однієї із симетричних складових незрівноваженої маси.

Величина пружних чи відновлюючих силових параметрів залежить від збурюючого фактора та коефіцієнта жорсткості пружного елемента:

$$F_{\text{пр}} = k_f \Delta; \quad M_{\text{пр}} = k_m \Theta, \quad (2.6)$$

де Δ - пружне переміщення в напрямку дії сили $F_{\text{пр}}$; Θ - кут повороту пружного елемента під дією моменту $M_{\text{пр}}$.

Сумарний коефіцієнт жорсткості паралельної групи пружних n -

елементів становить:

$$k = \sum_{i=1}^n k_i$$

де k_i - коефіцієнти жорсткості складових елементів.

Сумарна піддатливість $\frac{1}{k}$ послідовної групи n - пружних елементів

виражається як:

$$\frac{1}{k} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i}$$

де $\frac{1}{k_i}$ - піддатливість складових елементів пружної системи.

Аналогічно сумарний коефіцієнт опору в паралельній групі n - демпферів визначається як:

$$b = \sum_{i=1}^n b_i$$

де b_i - коефіцієнт опору складових елементів; а для послідовної групи n - демпферів:

$$\frac{1}{b} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{b_i}$$

$\frac{1}{b}$, $\frac{1}{b_i}$ - сумарна рухливість і рухливість складових демпферів.

переміщення.

$$b_{\phi} \delta_{\phi}^2 = b_{\text{пр}} \delta_{\text{пр}}^2, \quad (2.9)$$

де b_{ϕ} , $b_{\text{пр}}$ - коефіцієнти опору відповідно фактичного і приведенного демпферів.

До основних енергетичних параметрів вібрації можна віднести роботу внутрішніх та зовнішніх сил коливальної системи, а також складові потужності, що витрачаються на здійснення технологічного циклу.

Робота зовнішніх сил коливальної системи створюється збудовувачем та витрачається на подолання сил опору системи і забезпечення необхідних робочих режимів виконавчих органів машини. Внутрішні сили системи становлять сили реактивного і дисипативного опору.

Робота сил реактивного опору є роботою пружно-інерційних сил коливальної системи [148]. В алгебраїчному виразі кожна з цих складових має різні знаки, що постійно змінюються відповідно до коливального руху елементів вібраційної системи. У тому разі, коли розрахунок здійснюється для цілого числа повних коливань, обидві означені роботи виключаються із загального балансу енергії системи. Рівень накопичення енергії в системі і співвідношення між кінетичною енергією рухомої маси і потенційною енергією пружних елементів визначаються вертикальною складовою збудовуючої сили. При цьому рівність амплітудних значень кінетичної і потенційної енергій реактивних елементів вказує на можливість роботи коливальної системи в резонансному режимі коливань.

Робота сил дисипативного опору є роботою сил тертя в коливальній системі і може бути представлена: у вигляді гістерезисних втрат енергії при деформуванні пружин; енергії, що розсівається у демпферах робочих органів і опорних вузлах вібромашини; енергії дисипації технологічного середовища; енергії, що витрачається на тертя в різних з'єднаннях, на подолання опору повітря та інших дисипативних опорів. Крім того, частина енергії зовнішнього джерела витрачається в різних проміжних передачах,

За допомогою даних залежностей можна визначити приведений коефіцієнт пружності або приведений коефіцієнт опору, дія якого еквівалентна фактичного пружного елемента. Критерієм еквівалентності пружини може бути рівність потенційних енергій, що запасуються пружними елементами в даних кінематичних зв'язків коливальної системи при переміщенні її виконавчих органів:

$$k_{\phi} \delta_{\phi}^2 = k_{\text{пр}} \delta_{\text{пр}}^2, \quad (2.6)$$

де k_{ϕ} , $k_{\text{пр}}$ - коефіцієнти пружності відповідно фактичного і приведенного пружного елемента; δ_{ϕ}^2 , $\delta_{\text{пр}}^2$ - фактичне та приведенне пружне переміщення.

$$b_{\phi} \delta_{\phi}^2 = b_{\text{пр}} \delta_{\text{пр}}^2, \quad (2.7)$$

де b_{ϕ} , $b_{\text{пр}}$ - коефіцієнти опору відповідно фактичного і приведенного демпферів.

До основних енергетичних параметрів вібрації можна віднести роботу внутрішніх та зовнішніх сил коливальної системи, а також складові потужності, що витрачаються на здійснення технологічного циклу.

Робота зовнішніх сил коливальної системи створюється збудовувачем та витрачається на подолання сил опору системи і забезпечення необхідних робочих режимів виконавчих органів машини. Внутрішні сили системи становлять сили реактивного і дисипативного опору.

Робота сил реактивного опору є роботою пружно-інерційних сил коливальної системи [147]. В алгебраїчному виразі кожна з цих складових має різні знаки, що постійно змінюються відповідно до коливального руху елементів вібраційної системи. У тому разі, коли розрахунок здійснюється для цілого числа повних коливань, обидві означені роботи виключаються із загального балансу енергії системи. Рівень накопичення енергії в системі і співвідношення між кінетичною енергією рухомої маси і потенційною енергією пружних елементів визначаються вертикальною складовою збудовуючої сили. При цьому рівність амплітудних значень кінетичної і потенційної енергій реактивних елементів вказує на можливість роботи коливальної системи в

За допомогою отриманих рівнянь (2.19) ÷ (2.24) перетворюємо рівняння (2.18) до вигляду

$$\begin{aligned} \frac{\beta}{df} &= \frac{1}{df} \cdot \left(\frac{d^2 f}{v} \right)^m \cdot \left(\frac{v}{d^2} \right)^n \cdot \left(\frac{F_m}{\rho v^2} \right)^r \cdot (\rho v^2)^p \cdot v^j \cdot \rho^s \cdot d^k \cdot D^q \cdot E_1^t \cdot v^s \Rightarrow \\ St &= Re_n^m \cdot Eu^p \cdot \left(\frac{v}{D} \right)^n \cdot \left(\frac{D}{d^2} \right)^m \cdot \frac{1}{df} \cdot v^j \cdot \rho^s \cdot d^k \cdot D^q \cdot E_1^t \cdot v^s \Rightarrow \\ St &= Re_n^m \cdot Eu^p \cdot Sc^n \cdot \left(\frac{ud^2}{v} \right) \cdot \left(\frac{v}{d} \right)^n \cdot \left(\frac{D}{d^2} \right)^m \cdot \frac{1}{df} \cdot v^j \cdot \rho^s \cdot d^k \cdot D^q \cdot E^r \Rightarrow \\ St &= Pe_n^m \cdot Eu^p \cdot Re^r \cdot v^{(j+r)} \cdot D^{(m+q)} \cdot f^{-1} \cdot \rho^s \cdot E_1^t \cdot d^{(k-s-2m-1)} \end{aligned} \quad (2.25)$$

Рівняння (2.25) можна представити у вигляді наступних складових:

$$St = A \cdot Pe_n^m \cdot Eu^p \cdot Re^r \cdot E^r \quad (2.26)$$

де $A = v^{(j+r)} \cdot D^{(m+q)} \cdot f^{-1} \cdot \rho^s \cdot d^{(k-s-2m-1)}$ – постійна складова.

Для знаходження степеневих коефіцієнтів використовуємо експериментальну базу даних за результатами досліджень процесів зневолення.

2.4 Обробка результатів досліджень

Під час отримання результатів експериментальних досліджень виникає потреба у перевірці достовірності результатів, а також адекватності теоретичних висновків і залежностей.

Достовірність результатів експериментальних досліджень оцінюємо за вірогідною ймовірністю P_n (надійністю) або ймовірністю того, що дійсне значення ймовірності величини потрапляє у вірогідний інтервал:

$$m = \pm t_{\beta} \sigma_m \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}{N-1}}, \quad (2.32)$$

де t_{β} – гарантійний коефіцієнт Ст'юдента для довірчої вірогідності (ГОСТ 8.207-76); σ_m – середньоквадратичне відхилення (дисперсія) вимірів:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}{N-1}}, \quad (2.33)$$

коefficient, що враховує процентний вміст води в продукті в певному вихідному стані.

Звідси в загальному вигляді маємо:

$$M = Q_1 / m_{\text{в}} (C_1 \Delta T + c_{\text{в}} \Delta t) \quad (4.3)$$

2.6 Обробка результатів досліджень

Під час отримання результатів експериментальних досліджень виникає потреба у перевірці достовірності цих результатів, а також адекватності теоретичних висновків і залежностей.

Достовірність результатів експериментальних досліджень оцінюємо за вірогідною ймовірністю P_n (надійністю) або ймовірністю того, що дійсне значення ймовірності величини потрапляє у вірогідний інтервал:

$$m = \pm t_{\beta} \sigma_m \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}{N-1}}, \quad (2.36)$$

де t_{β} – гарантійний коефіцієнт Ст'юдента для довірчої вірогідності (ГОСТ 8.207-76); σ_m – середньоквадратичне відхилення (дисперсія) вимірів:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}{N-1}}, \quad (2.33)$$

де N – кількість вимірів; x_i – значення вимірюваної величини; \bar{x} – середньоарифметичне значення вимірюваної величини:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.34)$$

Щоб отримати вірогідне значення вимірюваних величин, необхідну кількість вимірів під час розподілу похибок, близькому до нормального [141], визначаємо за формулою:

$$N \geq \frac{1 + P_n + 2n_{\text{см}}}{1 - P_n}, \quad (2.35)$$

де $n_{\text{см}}$ – число вимірів із грубими похибками, які відкидали.

N – кількість вимірів; x_i – значення вимірюваної величини;
 \bar{x} – середньоарифметичне значення вимірюваної величини:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.34)$$

Вірогідне значення вимірюваних величин, яке необхідне для кількості вимірів під час розподілу похибок, близькому до нормального [154], визначаємо за формулою:

$$N \geq \frac{1 + P_{\alpha} + 2n_{\alpha}}{1 - P_{\alpha}}, \quad (2.35)$$

n_{α} – число вимірів із грубими похибками, які відкидали.

Відповідно до рекомендацій [155], вірогідна ймовірність вибрана в інтервалі (0,8...0,9), тоді при $n_{\alpha} = 0$ маємо:

$$N \geq \frac{1 + (0.8...0.9)}{1 - (0.8...0.9)}. \quad (2.36)$$

У подальшому за N відомих вимірів визначається ймовірність P_{α} за умови, що похибка середнього значення не виходить за межі вірогідного інтервалу m . Для цього вираховуємо середньоарифметичне значення σ_o середньоквадратичного відхилення σ_m :

$$\sigma_o = \frac{\sigma_m}{N}, \quad (2.37)$$

З формули 2.37. визначаємо коефіцієнт Ст'юдента:

$$\alpha_{cm} = \frac{\mu}{\sigma_o}. \quad (2.38)$$

Після чого, за відомими α_{cm} та N визначаємо розрахункову вірогідну ймовірність $P_{\alpha 1}$. Якщо $P_{\alpha 1}$ виявляється нижчою за необхідну, то визначаємо мінімальну кількість вимірів:

$$N_{\min} = \frac{k_B^2 \Delta^2}{\Delta^2}, \quad (2.39)$$

де Δ – точність вимірів; k_B – коефіцієнт варіацій, рівний:

Відповідно до рекомендацій [142], вірогідна ймовірність вибрана в інтервалі (0,8...0,9), тоді при $n_{\alpha} = 0$ маємо:

$$N \geq \frac{1 + (0.8...0.9)}{1 - (0.8...0.9)}. \quad (2.36)$$

У подальшому за N відомих вимірів визначається ймовірність P_{α} за умови, що похибка середнього значення не виходить за межі вірогідного інтервалу m . Для цього вираховуємо середньоарифметичне значення σ_o середньоквадратичного відхилення σ_m :

$$\sigma_o = \frac{\sigma_m}{N}, \quad (2.37)$$

Потім визначається коефіцієнт Ст'юдента:

$$\alpha_{cm} = \frac{\mu}{\sigma_o}. \quad (2.38)$$

Після чого, за відомими α_{cm} та N визначаємо розрахункову вірогідну ймовірність $P_{\alpha 1}$. Якщо $P_{\alpha 1}$ виявляється нижчою за необхідну, то визначаємо мінімальну кількість вимірів:

$$N_{\min} = \frac{k_B^2 \Delta^2}{\Delta^2}, \quad (2.39)$$

де Δ – точність вимірів; k_B – коефіцієнт варіацій, рівний:

$$k_B = \frac{\sigma_m}{\bar{x}}. \quad (2.40)$$

Перевірка адекватності теоретичних залежностей проводимо за допомогою відхилень, що вираховуються за теоретичними залежностями, значень шуканого параметра \hat{y} від експериментально встановлених та усереднених \bar{y} за числом повторень дослідів m .

Оцінку відхилень проводимо із використанням теорії Фішера, для чого розраховуємо екстремальне значення критерія Фішера f_e і порівнюємо із теоретичним f_m , яке приймається за необхідного рівня значущості. Якщо $f_e \leq f_m$, то теоретична залежність адекватна.

Значення критерія Фішера для експериментальних вимірів визначаємо за залежністю:

$$k_B = \frac{\sigma_m}{\bar{x}}. \quad (2.40)$$

Перевірка адекватності теоретичних залежностей проводимо за допомогою відхилень, що вираховуються за теоретичними залежностями, значень шуканого параметра у від експериментально встановлених та усереднених \bar{y} за числом повторень дослідів m .

Оцінку відхилень проводимо із використанням теорії Фішера, для чого розраховуємо екстремальне значення критерія Фішера f_e і порівнюємо із теоретичним f_m , яке приймається за необхідного рівня значущості. Якщо $f_e \leq f_m$, то теоретична залежність адекватна.

Значення критерія Фішера для експериментальних вимірів визначаємо за залежністю:

$$f_e = \frac{S_a}{S_b}, \quad (2.41)$$

S_a – дисперсія адекватності, яка рівна (2.42).

$$S_a = \frac{m}{n-1} \sum_{i=1}^N (\bar{y} - y)^2, \quad (2.42)$$

S_b – дисперсія відтворюваності:

$$S_b = \frac{l}{N(m-l)} \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^m (y_m - y), \quad (2.43)$$

m – кількість паралельних дослідів; l – кількість значущих коефіцієнтів теоретичної залежності.

Теоретичне значення критерія Фішера приймаємо за таблицею при відповідних ступенях вільності f_1 і f_2 та рівні значущості q (зазвичай $q=0,05$), тоді:

$$f_1 = N-1, \quad (2.44)$$

$$f_2 = N(m-1). \quad (2.45)$$

У випадку, якщо теоретичні розрахунки виявляються неадекватними, порівняно з даними експериментів, то необхідно переходити до більш

$$f_e = \frac{S_a}{S_b}, \quad (2.41)$$

S_a – дисперсія адекватності, яка рівна (2.42).

$$S_a = \frac{m}{n-1} \sum_{i=1}^N (\bar{y} - \hat{y})^2, \quad (2.42)$$

S_b – дисперсія відтворюваності:

$$S_b = \frac{l}{N(m-l)} \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^m (y_m - \hat{y}), \quad (2.43)$$

m – кількість паралельних дослідів; l – кількість значущих коефіцієнтів теоретичної залежності.

Теоретичне значення критерія Фішера приймаємо за таблицею при відповідних ступенях вільності f_1 і f_2 та рівні значущості q (зазвичай $q=0,05$), тоді:

$$f_1 = N-1, \quad (2.44)$$

$$f_2 = N(m-1). \quad (2.45)$$

Якщо теоретичні розрахунки виявляються неадекватними, порівняно з даними експериментів, то необхідно переходити до більш складних, досліджуючи раніше прийняті під час складання теоретичних припущень.

Також під час обробки експериментальних даних використовуємо методи графічного зображення, які дають найбільш наочне уявлення про результати експерименту, дозволяють краще зрозуміти фізичну сутність досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності досліджуваних перемінних величин, встановити наявність екстремумів функції. При цьому отримані точки на графіку з'єднуємо плавною лінією так, щоб вона по змозі проходила щонайближче до всіх екстремальних точок, оскільки більшість функцій мають плавний характер.

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО
ФІЛЬТРАЦІЙНО-ОСМОТИЧНОГО ЗНЕВОЛОЖЕННЯ

3.1 Динаміка руху виконавчих органів розробленої машини

3.1.1 Розробка розрахункової схеми.

Досліджувана технологічна система складатиметься з таких узгоджено-
функціональних блоків:

- механізму центрифугування та вібраційного ущільнення технічної маси;
- фільтрування та відокремлення отриманих фракцій;
- система електроосмотичного видалення рідини.

Система адаптивного регулювання параметрами вібротехнічної та
теплофізичної дії

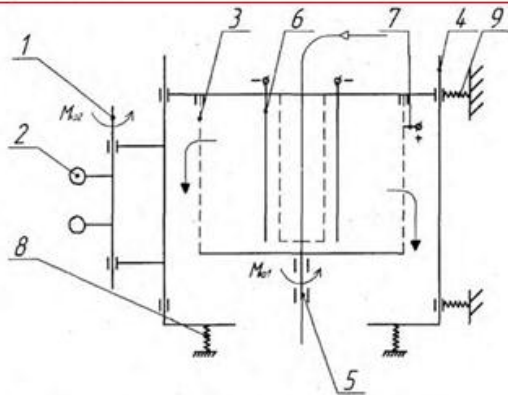


Рис. 3.1. Принципова схема розробленої машини:

1 – приводний вал вібробудувача, 2 – дебаланс, 3 – контейнер, 4 – зовнішній корпус або віброплатформа, 5 – приводний вал центрифуги, 6, 7 – електроди, 8 – пружна опора, 9 – пружний елемент віброплатформи

3.2 Дослідження механіки руху виконавчих органів розробленої машини

3.2.1 Розробка розрахункової схеми.

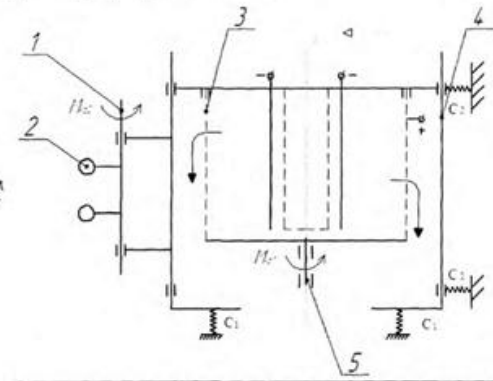


Рис. 3.1. Принципова схема розробленої машини:

1 – приводний вал вібробудувача m_{B1} ; 2 – дебаланс $m_{деб}$; 3 – контейнер m_K ; 4 – зовнішній корпус m_{3K} ; 5 – приводний вал центрифуги m_{B2} .

У даній системі можна виділити три основні маси:

$m_1 = m_{B1} + m_{зов} \xi_m + m_K$; $m_2 = m_{B2} + m_{деб}$; $m_3 = m_{3K}$; $m_{зов}$ – маса завантаження; ξ_m – коефіцієнт приєднаної маси.

Система має 6 степенів вільності: χ_1 – горизонтальне зміщення центра мас m_1 ; γ_1 – вертикальне зміщення центра мас m_1 ; ϕ_1 – кутове обертання центра мас m_1 ; ϕ_2 – кутове обертання центра мас m_2 ; ψ_1 – кутове зміщення центра мас m_1 ; ψ_2 – кутове зміщення центра мас $(m_2 + m_3)$.

У даній системі можна виділити три основні маси:

$$m_1 = m_{B_1} + m_{\text{зов}} + m_k; \quad (3.1)$$

$$m_2 = m_{B_2} + m_{\text{деб}};$$

$$m_3 = m_{3_1};$$

$m_{\text{зов}}$ – маса завантаження;

m_{B_1} – маса вібробудувача;

$m_{\text{деб}}$ – маса дебаланса;

m_k – маса контейнера;

m_{3_1} – маса зовнішнього корпусу;

m_{B_2} – маса приводного вала центрифуги;

ξ_m – коефіцієнт приєднаної маси.

Система має 6 степенів вільності: x_1 – горизонтальне зміщення центра

мас m_1 ; y_1 – вертикальне зміщення центра мас m_1 ; ϕ_1 – кутове обертання центра

мас m_1 ; ϕ_2 – кутове обертання центра мас m_2 ; ψ_1 – кутове зміщення центра

мас m_1 ; ψ_2 – кутове зміщення центра мас $(m_2 + m_3)$.

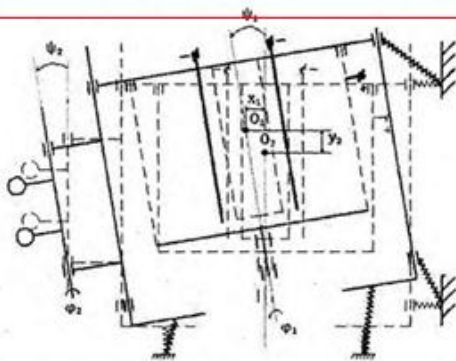


Рис. 3.2. Розрахункова схема розробленої машини: O_1 , O_2 – положення центра мас контейнера

3.1.2 Кінематичний аналіз системи. Використовуючи вираз для

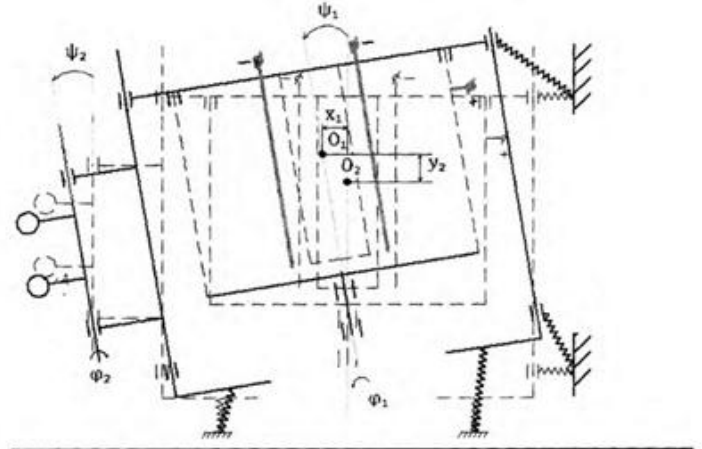


Рис. 3.2. Розрахункова схема розробленої машини

3.2.2 Кінетичний аналіз системи. Використовуючи вираз для кінетичної енергії рухомих мас і узагальнених сил, що діють в системі, складаємо рівняння Лагранжа II роду для кожної з степенів свободи системи.

$$T = T_1 + T_2 + T_3$$

$T_1 = 0,5m_1(\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2) + 0,5(I_1\dot{\phi}_1^2 + I_2'\dot{\psi}_1^2)$ – кінетична енергія маси m_1 при роботі машини

I_1 – момент інерції маси m_1 при кутовому обертанні зі швидкістю $\omega_1 = \dot{\phi}_1$;

I_1' – момент інерції маси m_1 при кутовому зміщенні на кут ψ_1 зі швидкістю $\dot{\psi}_1 = \omega_1$

$T_2 = 0,5m_2(\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2) + 0,5(I_2\dot{\phi}_2^2 + I_2'\dot{\psi}_2^2)$ – кінетична енергія маси m_2 при роботі машини

I_2 – момент інерції маси m_1 при кутовому обертанні зі швидкістю $\omega_2 = \dot{\phi}_2$;

I_2' – момент інерції маси m_2 при кутовому зміщенні на кут ψ_2 зі швидкістю $\dot{\psi}_2 = \omega_2$

гляд:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} = m_0 \dot{x}_1; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1} = m_0 \dot{y}_1; \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_1} = I_1 \dot{\phi}_1; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_2} = I_2 \dot{\phi}_2; \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_1} = I'_1 \dot{\psi}_1; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_2} = (I'_2 + I_3) \dot{\psi}_2; \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x_1} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial y_1} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \phi_1} = 0; \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \phi_2} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \psi_1} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \psi_2} = 0; \quad (3.10)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_0 \ddot{x}_1; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1} \right) = m_0 \ddot{y}_1; \quad (3.11)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_1} \right) = I_1 \ddot{\phi}_1; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_2} \right) = I_2 \ddot{\phi}_2; \quad (3.12)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_1} \right) = I'_1 \ddot{\psi}_1; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_2} \right) = (I'_2 + I_3) \ddot{\psi}_2; \quad (3.13)$$

3.1.3 Силевий аналіз системи. В досліджуваній системі діють такі

силеві фактори:

- змушуюча сила при обертанні приводного валу вібробудувача:

$$F = m_{\text{дес}} l \dot{\phi}_2^2 = m_{\text{дес}} l \omega_2^2; \quad (3.14)$$

де l – ордината центра мас дебаланса

- сили ваги мас системи, відповідно:

$$G_1 = m_1 g; \quad G_2 = m_2 g; \quad G_3 = m_3 g; \quad (3.15)$$

- відцентрові сили, що виникають при обертанні приводного валу

центрофугиз крутним моментом $M_{кр1}$;

- відцентрові сили, що виникають при обертанні приводного валу

вібробудувача з крутним моментом $M_{кр2}$;

- сили опору в опорних вузлах приводних валів системи з моментами

$= 0,5 m_3 (\dot{\chi}_1^2 + \dot{\gamma}_1^2) + 0,5 I_3 \dot{\psi}_2^2$ – кінетична енергія маси m_3 при роботі

шини

– момент інерції маси m_3 при кутовому зміщенні на кут ψ_2 зі швидкістю $\dot{\psi}_2$

Таким чином, загальна кінетична енергія рухомих мас системи становить

$$T = 0,5 m_0 (\dot{\chi}_1^2 + \dot{\gamma}_1^2) + 0,5 (I_1 \dot{\phi}_1^2 + I'_1 \dot{\psi}_1^2) + 0,5 \dot{\phi}_2 I_2 + 0,5 \dot{\psi}_2 (I'_2 + I_3).$$

$$m_0 = m_1 + m_2 + m_3$$

Залежності для часткових похідних кінетичної енергії системи мають

гляд:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} = m_0 \dot{x}_1; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1} = m_0 \dot{y}_1;$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_1} = I_1 \dot{\phi}_1; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_2} = I_2 \dot{\phi}_2;$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_1} = I'_1 \dot{\psi}_1; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_2} = (I'_2 + I_3) \dot{\psi}_2;$$

$$\frac{\partial T}{\partial x_1} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial y_1} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \phi_1} = 0;$$

$$\frac{\partial T}{\partial \phi_2} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \psi_1} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \psi_2} = 0;$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_0 \ddot{x}_1; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1} \right) = m_0 \ddot{y}_1;$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_1} \right) = I_1 \ddot{\phi}_1; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_2} \right) = I_2 \ddot{\phi}_2;$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_1} \right) = I'_1 \ddot{\psi}_1; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_2} \right) = (I'_2 + I_3) \ddot{\psi}_2$$

3.2.3 Силевий аналіз системи. В досліджуваній системі діють такі

силеві фактори:

- змушуюча сила при обертанні приводного валу вібробудувача:

$$F = m_{\text{дес}} l \dot{\phi}_2^2 = m_{\text{дес}} l \omega_2^2;$$

де l – ордината центра мас дебаланса

- сили ваги мас системи, відповідно:

ювідно $M_{оп1}, M_{оп2}$.

- сили осмотичного тиску у системі при проходженні електричного уму через шар продукції.

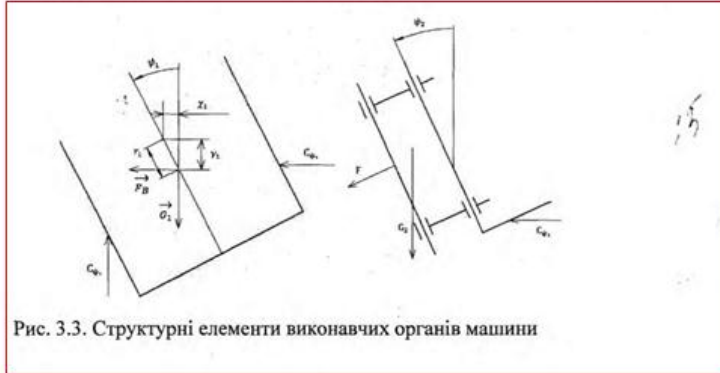


Рис. 3.3. Структурні елементи виконавчих органів машини

Вирази для узагальнених сил системи

$$Q_{x_1} = F \cos \varphi_2 - (x_1 - x_2) - x_1 + F_{осм} \cos \psi_1 + F_B \cos \varphi_1 \quad (3.16)$$

C_{x_1}, C_{x_2} — жорсткості пружних елементів за напрямом ОХ;

$= \frac{m_1 \dot{x}_1^2}{r}$ — відцентрові сили при обертанні центрифуги за напрямом ОХ;

радіус приводного валу центрифуги

Таким чином,

$$Q_{x_1} = m_{осм} I \dot{\varphi}_2^2 \cos \varphi_2 - (C_{x_1} + C_{x_2}) x_1 + F_{осм} \cos \psi_1 + \frac{m_1 \dot{x}_1^2}{r} \cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 (m_{осм} I \dot{\varphi}_2^2 + \frac{m_1 \dot{x}_1^2}{r}) \cos \varphi_1 + F_{осм} \cos \psi_1 - (C_{x_1} + C_{x_2}) x_1 \quad (3.17)$$

Аналогічно,

$$Q_{y_1} = \sin \varphi_2 m_{осм} I \dot{\varphi}_2^2 + \frac{m_1 \dot{y}_1^2}{r} \sin \varphi_1 + F_{осм} \sin \psi_1 - (C_{y_1} + C_{y_2}) y_1 + m_1 g \quad (3.19)$$

C_{y_1}, C_{y_2} — жорсткості пружних елементів системи за напрямом ОУ

$$G_1 = m_1 g$$

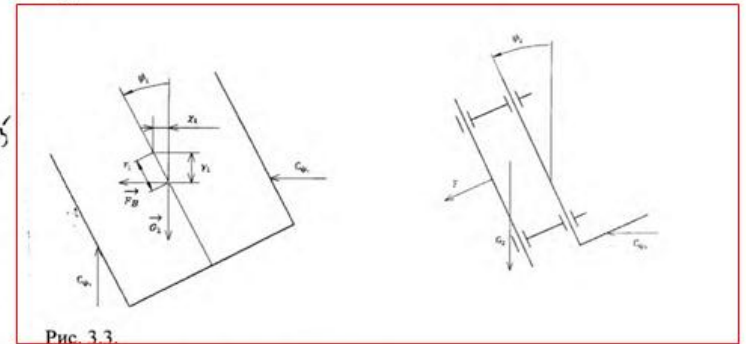


Рис. 3.3.

$$Q_{\psi_2} = F \sin \psi_2 - (m_2 + m_3) g \cos \psi_2 - C_{\varphi_2} r_1$$

$$G_2 = (m_2 + m_3) g$$

3.2.4 Складання рівнянь Лагранжа для досліджуваної системи.

Загальний вигляд рівнянь Лагранжа II роду для досліджуваної системи становить:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_1} = Q_{x_1} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial y_1} = Q_{y_1} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} = Q_{\varphi_1} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} = Q_{\varphi_2} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial \psi_1} = Q_{\psi_1} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_2} \right) - \frac{\partial T}{\partial \psi_2} = Q_{\psi_2} \end{cases}$$

Враховуючи отримані вище залежності узагальнюючих сил та часткових похідних кінетичної енергії рухомих мас системи складають:

$$Q_{\phi_1} = M_{K\phi_1} - M_{O\phi_1} - C_{\phi} \phi_1 \quad (3.20)$$

C_{ϕ} - жорсткість пружних елементів при обертанні контейнера

$$Q_{\phi_2} = M_{K\phi_2} - M_{O\phi_2} - C_{\phi} \phi_2 \quad (3.21)$$

$$Q_{\psi_1} = F_B \sin \psi_1 - m_1 g \cos \psi_1 - C_{\psi_1} r_1 \quad (3.22)$$

$$r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \quad (3.23)$$

$$G_1 = m_1 g \quad (3.24)$$

$$Q_{\psi_2} = F \sin \psi_2 - (m_2 + m_3) g \cos \psi_2 - C_{\psi_2} r_1 \quad (3.25)$$

$$G_2 = (m_2 + m_3) g \quad (3.26)$$

3.1.4 Складання рівнянь Лагранжа для досліджуваної системи.

Загальний вигляд рівнянь Лагранжа II роду для досліджуваної системи

має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_1} = Q_{x_1} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial y_1} = Q_{y_1} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial \phi_1} = Q_{\phi_1} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_2} \right) - \frac{\partial T}{\partial \phi_2} = Q_{\phi_2} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial \psi_1} = Q_{\psi_1} \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}_2} \right) - \frac{\partial T}{\partial \psi_2} = Q_{\psi_2} \end{cases} \quad (3.27)$$

Враховуючи отримані вище залежності узагальнюючих сил та часткових охідних кінетичної енергії рухомих мас системи складають:

$$\begin{cases} m_0 \ddot{x}_1 = m_{\text{ос}} I \dot{\phi}_2^2 \cos \phi_2 - (C_{x_1} + C_{x_2}) x_1 + F_{\text{ос}} \cos \psi_1 + \frac{m_1 \dot{x}_1^2 \cos \phi_1}{r} \\ m_0 \ddot{y}_1 = m_{\text{ос}} I \dot{\phi}_2^2 \sin \phi_2 - (C_{y_1} + C_{y_2}) y_1 + F_{\text{ос}} \sin \psi_1 + \frac{m_1 \dot{y}_1^2 \sin \phi_1}{r} + m_1 g \\ I_1 \ddot{\phi}_1 = M_{K\phi_1} - M_{O\phi_1} - C_{\phi} \phi_1 \\ I_1 \ddot{\phi}_2 = M_{K\phi_2} - M_{O\phi_2} - C_{\phi} \phi_2 \\ (I_2 + I_1) \ddot{\psi}_2 = m_{\text{ос}} I \dot{\phi}_2^2 \sin \psi_2 - (m_2 + m_3) g \cos \psi_2 - C_{\psi_2} \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \\ I_1 \ddot{\psi}_1 = m_1 (\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2) \frac{\sin \psi_1}{r} - m_1 g \cos \psi_1 - C_{\psi_1} \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \end{cases} \quad (3.28)$$

Після певних математичних перетворень перших двох рівнянь системи,

також із врахуванням дисипативних сил у системі, отримуємо:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + \dot{x}_1 \left(\alpha_x - \frac{m_1}{m_0 r} \dot{x}_1 \cos \phi_1 \right) + \frac{C_{x_1} + C_{x_2}}{m_0} x_1 = F_{\text{ос}} \cos \psi_1 + m_{\text{ос}} I \dot{\phi}_2^2 \cos \phi_2 \\ \ddot{y}_1 + \dot{y}_1 \left(\alpha_y - \frac{m_1}{m_0 r} \dot{y}_1 \sin \phi_1 \right) + \frac{C_{y_1} + C_{y_2}}{m_0} y_1 = F_{\text{ос}} \sin \psi_1 + m_{\text{ос}} I \dot{\phi}_2^2 \sin \phi_2 + m_1 g \end{cases} \quad (3.29)$$

$$\omega_x^2 = \frac{C_{x_1} + C_{x_2}}{m_0} - \text{власна частота коливань системи}$$

Розв'язуючи рівняння вільних коливань даної системи знаходимо, що

$$\begin{aligned} \alpha_x &= 2\sqrt{k_x^2 - \dot{\phi}_2^2} = 2\sqrt{k_x^2 - \omega_2^2} \\ \alpha_y &= 2\sqrt{k_y^2 - \dot{\phi}_2^2} = 2\sqrt{k_y^2 - \omega_2^2} \end{aligned} - \text{коефіцієнти дисипації відповідно до напрямів ОХ}$$

та ОУ

Вводимо припущення стосовно меж зміни зміщень ψ_1 та ψ_2 і використовуємо математичне середовище Math CAD знаходимо рівняння траєкторії руху центра мас контейнера $y_1 = f(t\omega)$, $y_1 = f(t\omega)$ швидкісні характеристики $\dot{x}_1 = f(t\omega)$, $\dot{y}_1 = f(t\omega)$

Тоді вираз для витрат енергії при роботі системи становить:

$$N = |F|g = m_{\text{ос}} \text{Im}_2 \sqrt{\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2} \quad (3.30)$$

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + \alpha_x \dot{x}_1 + \frac{C_x}{m} x_1 = \frac{F}{m} \cos \omega_2 t \\ \ddot{y}_1 + \alpha_y \dot{y}_1 + \frac{C_y}{m} y_1 = \frac{F}{m} \sin \omega_2 t \\ \ddot{z}_1 + \alpha_z \dot{z}_1 + \frac{C_z}{m} z_1 = g \\ \ddot{\psi}_1 + \alpha_{\psi} \dot{\psi}_1 + \frac{C_{\psi}}{r_1} = \frac{C}{r_1} \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \end{cases} \quad (3.31)$$

$$\begin{cases} m_0 \ddot{\chi}_1 = m_{\text{деб}} l \dot{\phi}_2^2 \cos \phi_2 - (C_{\chi_1} + C_{\chi_2}) \chi_1 + F_{\text{осм}} \cos \psi_1 + \frac{m_1 \dot{\chi}_1^2 \cos \phi_1}{r} \\ m_0 \ddot{\gamma}_1 = m_{\text{деб}} l \dot{\phi}_2^2 \sin \phi_2 - (C_{\gamma_1} + C_{\gamma_2}) \gamma_1 + F_{\text{осм}} \sin \psi_1 + \frac{m_1 \dot{\chi}_1^2 \sin \phi_1}{r} + m_1 g \\ I_1 \ddot{\phi}_1 = M_{\text{кр}1} - M_{\text{оп}1} - C_{\phi} \phi_1 \\ I_1 \ddot{\phi}_1 = M_{\text{кр}2} - M_{\text{оп}2} - C_{\phi} \phi_2 \\ (I_2 + I_3) \ddot{\psi}_2 = m_{\text{деб}} l \dot{\phi}_2^2 \sin \psi_2 - (m_2 + m_3) g \cos \psi_2 - C_{\psi_2} \sqrt{\chi_1^2 + \gamma_1^2} \\ I_1 \ddot{\psi}_1 = m_1 (\dot{\chi}_1^2 + \dot{\gamma}_1^2) \frac{\sin \psi_1}{r} - m_1 g \cos \psi_1 - C_{\psi_2} \sqrt{\chi_1^2 + \gamma_1^2} \end{cases}$$

Після певних математичних перетворень перших двох рівнянь системи, а також із врахуванням дисипативних сил у системі, отримуємо:

$$\ddot{\chi}_1 + \dot{\chi}_1 \left(\alpha_{\chi} - \frac{m_1}{m_0 r} \dot{\chi}_1 \cos \phi_1 \right) + \frac{C_{\chi_1} + C_{\chi_2}}{m_0} \chi_1 = F_{\text{осм}} \cos \psi_1 + m_{\text{деб}} l \dot{\phi}_2^2 \cos \phi_2$$

$$\ddot{\gamma}_1 + \dot{\gamma}_1 \left(\alpha_{\gamma} - \frac{m_1}{m_0 r} \dot{\gamma}_1 \sin \phi_1 \right) + \frac{C_{\gamma_1} + C_{\gamma_2}}{m_0} \gamma_1 = F_{\text{осм}} \sin \psi_1 + m_{\text{деб}} l \dot{\phi}_2^2 \sin \phi_2 + m_1 g$$

де $k_{\chi}^2 = \frac{C_{\chi_1} + C_{\chi_2}}{m_0}$ - власна частина коливань системи

Розв'язуючи рівняння вільних коливань даної системи знаходимо, що

$$\alpha_{\chi} = 2 \sqrt{k_{\chi}^2 - \dot{\phi}_2^2} = 2 \sqrt{k_{\chi}^2 - \dot{\omega}_2^2}$$

$$\alpha_{\gamma} = 2 \sqrt{k_{\gamma}^2 - \dot{\phi}_2^2} = 2 \sqrt{k_{\gamma}^2 - \dot{\omega}_2^2}$$

ОХ та ОУ

Вводимо припущення стосовно меж зміни зміщень ψ_1 та ψ_2 і використовуємо математичне середовище Math CAD знаходимо рівняння траєкторії руху центра мас контейнера $\chi_1 = f(t\omega)$, $\gamma_1 = f(t\omega)$, швидкісні характеристики $\dot{\chi}_1 = f(t\omega)$,

$$\dot{\gamma}_1 = f(t\omega)$$

Тоді вираз для витрат енергії при роботі системи становить:

$$N = |F| \dot{\theta} = m_{\text{деб}} l \omega_2 \sqrt{\dot{\chi}_1^2 + \dot{\gamma}_1^2}$$

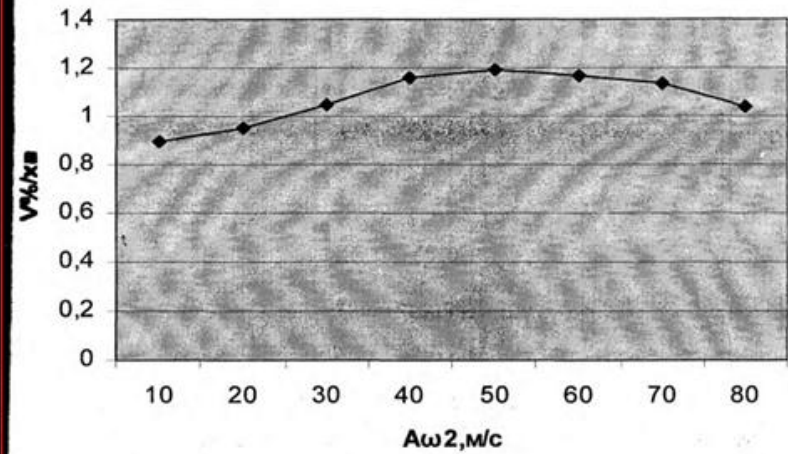


Рис. 4.11. Залежність швидкості зневоложення від віброприскорення

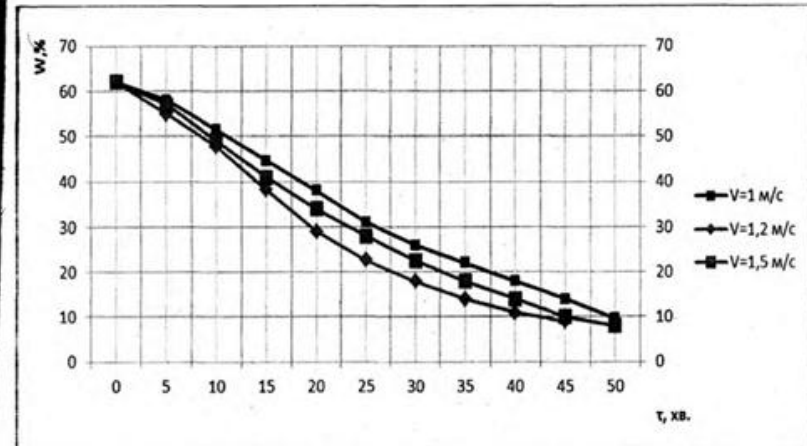


Рис. 4.12. Залежність вологості насіння W , % від часу зневоложення τ , хв. при різних швидкостях повітряного потоку $W_n = 62\%$, $A = 4$ мм, $Q = 3$, $E = 80$ В/см, $F = 200$ Гц, $\Pi = 0,75$