

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**І.П. Паламарчук, М.Ф. Друкований,
В.І. Паламарчук, З.А. Бурова**

**ВІБРОМЕХАНІЧНА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ
ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ОЛІЄМІСТКОЇ
СИРОВИНИ**

монографія

Київ 2017

УДК 621.9.048; 664.002.5

ББК 34.63

В 41

Рекомендовано до друку вченою радою Національного університету біоресурсів і природокористування України, протокол № 4 від 22.11.2017 р.

Автори: І.П. Паламарчук, М.Ф. Друкований,
В.І. Паламарчук, З.А. Бурова

Рецензенти: Професор кафедри мобільних енергетичних засобів
Таврійського державного агротехнологічного університету,
докт. техн. наук, проф. А. А. Волошина
Завідувач кафедри машинобудування, стандартизації та
сертифікації обладнання Національного університету
харчових технологій, докт. техн. наук, проф. Є. В. Штефан

В 41 Вібромеханічна інтенсифікація процесів сушіння оліємісткої сировини : Монографія / І.П. Паламарчук, М.Ф. Друкований, В.І. Паламарчук, З.А. Бурова; під ред. докт. техн. наук І.П. Паламарчука. – К., ЦП «КОМПРИНТ», 2017. – 325 с.

ISBN 978-966-929-598-9

У монографії відзначено основні тенденції виробництва олії з соняшнику, сої, ріпаку та інших енергетичних культур та перспективи її використання при створенні альтернативних джерел енергії, у переробних та харчових виробництвах. Проаналізовано ефективні способи сушіння даної сировини при застосуванні інфрачервоного опромінення. Обґрунтовано доцільність використання у досліджуваних процесах віброконвеєрних систем, які дозволяють разом з інтенсифікацією обробки забезпечити пошарову рівномірність температурного поля у масі сипкої продукції. Запропоновані схеми віброхвильових інфрачервоних сушарок дають можливість значно зменшити металоємність приводного механізму та енерговитрати при його експлуатації порівняно з типовими віброконвеєрними прототипами. Розроблено математичні моделі досліджуваних технічних систем при використанні методів Лагранжа і Коші, другої теореми подібності та теорії розмірностей. Представлено приклад інженерного розрахунку та техніко-економічний аналіз інфрачервоної сушарки з віброхвильовим інтенсифікатором.

Монографія може бути корисною широкому загалу науковців, технологів, конструкторів, аспірантів та магістрантів технічних спеціальностей за напрямками підготовки «Харчові технології», «Галузеве машинобудування»

ISBN 978-966-929-598-9

© І.П. Паламарчук, М.Ф. Друкований,
В.І. Паламарчук, З.А. Бурова, 2017

ЗМІСТ

| | |
|--|-----------|
| ВСТУП | 7 |
| РОЗДІЛ 1 ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР | 9 |
| 1.1 Загальні тенденції розвитку вирощування насіння олійних культур та виробництва олії в світі..... | 9 |
| 1.1.1 Вирощування насіння соняшнику | 11 |
| 1.1.2 Вирощування насіння ріпаку | 17 |
| 1.1.3 Вирощування насіння сої | 26 |
| 1.1.4 Світові тенденції використання олії..... | 27 |
| 1.2 Олійні культури України | 37 |
| 1.2.1 Соняшник..... | 37 |
| 1.2.2 Скорочення втрат насіння соняшнику в процесі збирання..... | 42 |
| 1.2.3 Післязбиральна обробка та зберігання насіння соняшника | 45 |
| 1.2.4 Ріпак..... | 49 |
| 1.2.5 Соя | 56 |
| 1.2.6 Льон-кудряш (льон олійний)..... | 57 |
| 1.2.7 Гірчиця | 58 |
| 1.2.8 Рицина | 59 |
| 1.2.9 Арахіс (земляний горіх)..... | 60 |
| 1.2.10 Рижій | 61 |
| Література до розділу 1..... | 62 |
| РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІКИ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА..... | 63 |
| 2.1 Сушіння як спосіб консервування зерна..... | 63 |
| 2.2 Теоретичні основи сушіння..... | 64 |
| 2.3 Основні способи та технологічні режими сушіння | 67 |
| 2.4 Зміна фізіолого-біохімічних властивостей насіння та якості олії при сушінні..... | 75 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 2.5 | Технологія і технічне устаткування сушіння | 77 |
| 2.6 | Апаратура і допоміжне сушильне устаткування..... | 94 |
| 2.7 | Використання інфрачервоного випромінювання для сушіння олійних культур | 99 |
| 2.8 | Аналіз способів, технологічних заходів і технічних рішень підвищення енергетичної економічності зерносушарок | 101 |
| 2.9 | Тенденції розвитку вібраційного транспортно-технологічного обладнання у тепломасообмінних процесах | 107 |
| 2.8.1 | Ознаки ефективності технологічного обладнання | 107 |
| 2.8.2 | Дія вібрації на технологічні системи | 109 |
| 2.8.3 | Тенденції розвитку конвеєрних вібраційних машин..... | 113 |
| | Література до розділу 2..... | 120 |

| | | |
|---|---|------------|
| РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | | 125 |
| 3.1 | План проведення експериментальних досліджень | 125 |
| 3.2 | Методика оцінки тепломасообмінних параметрів досліджуваного процесу інфрачервоного сушіння..... | 127 |
| 3.2.1 | Обробка у нерухомому шарі сировини | 128 |
| 3.2.2 | Обробка у рухомому шарі сировини..... | 130 |
| 3.2.3 | Обробка у віброзваженому шарі сировини | 133 |
| 3.3 | Методика визначення основних параметрів коливальної системи | 135 |
| 3.3.1 | Вибір критеріїв оцінки вібраційної машини як структурованої технологічної системи..... | 136 |
| 3.3.2 | Кінематичні та силові параметри вібрації | 137 |
| 3.3.3 | Енергетичні параметри вібрації..... | 140 |
| 3.4 | Методика визначення силових та енергетичних характеристик транспортерної стрічки при обробці продукції в рухомому шарі..... | 145 |
| 3.5 | Методика опрацювання експериментальних даних | 147 |

| | |
|---|-----|
| 3.6 Оцінка параметрів незрівноваженості коливальної системи | 159 |
| Література до розділу 3..... | 163 |

| | |
|---|------------|
| РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРА-ЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ ТА СОЇ..... | 165 |
| 4.1 Визначення параметрів тепломасообміну за нерухомого шару продукції..... | 165 |
| 4.2 Визначення основних тепломасообмінних параметрів інфрачервоного сушіння для рухомого шару продукції..... | 168 |
| 4.3 Оцінка основних параметрів коливальної системи при зміні її факторів незрівноваженості | 177 |
| 4.4 Перевірка адекватності математичного моделювання . | 183 |
| Література до розділу 4..... | 188 |

| | |
|---|------------|
| РОЗДІЛ 5 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ В УМОВАХ РУХОМОГО ТА ВІБРОЗВАЖЕНОГО ШАРУ СИРОВИНИ..... | 189 |
| 5.1 Математичне моделювання процесу в рухомому шарі продукції..... | 189 |
| 5.1.1 Аналіз основних характеристик процесу..... | 189 |
| 5.1.2 Складання критеріального рівняння інфрачервоного сушіння для рухомого та вібро-зваженого шару сировини..... | 197 |
| 5.1.3 Структура розрахунку кінетики масоперенесення | 203 |
| 5.2 Аналіз динаміки руху виконавчих органів віброконверсної системи | 205 |
| 5.2.1 Основні структурні складові..... | 205 |
| 5.2.2 Сили, що діють в розглянутих вібросистемах..... | 207 |
| 5.2.3 Складання, розв'язок та математичне опрацювання рівнянь руху конверсної вібромашини з дебалансним приводом..... | 210 |
| Література до розділу 5..... | 218 |

| | |
|---|-----|
| РОЗДІЛ 6 КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ. | 219 |
| 6.1 Віброконвеєрні системи з недеформованим транспортуючим органом | 219 |
| 6.2 Віброконвеєрні системи з деформованим транспортуючим органом | 234 |
| 6.3 Вибір схеми віброхвильової сушарки | 246 |
| Література до розділу 6..... | 253 |
| РОЗДІЛ 7 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ..... | 256 |
| 7.1 Оцінка кінематичних характеристик конвеєрної вібраційної машини..... | 256 |
| 7.2 Вибір схеми вібробудження транспортно- технологічної машини з гнучким контейнером | 269 |
| 7.3 Обґрунтування робочих параметрів хвильового конвеєра для нагнітання в'язкопластичної сировини..... | 279 |
| Література до розділу 7..... | 291 |
| РОЗДІЛ 8 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ РОЗРОБЛЕНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ | 293 |
| 8.1 Розрахунок техніко-економічних параметрів..... | 293 |
| 8.1.1 Складання балансу часу технологічного процесу . | 293 |
| 8.1.2 Розрахунок продуктивності машини..... | 294 |
| 8.1.3 Розрахунок витрат потужності на привід технологічної машини..... | 295 |
| 8.1.4 Визначення основних експлуатаційних витрат при роботі технологічної машини..... | 297 |
| 8.1.5 Оцінення ефективності представлених розробок .. | 298 |
| 8.2 Функціонально-вартісний аналіз | 299 |
| 8.3 Перспективи технологічної реалізації..... | 315 |
| Література до розділу 8..... | 320 |
| ОСНОВНІ ВИСНОВКИ..... | 323 |

ВСТУП

Відповідно до нового енергетичного плану ЄС, до 2020 року відновлювані джерела енергії в загальному споживанні енергії повинні скласти 20%. На відновлювані види енергії уже сьогодні переходять Ісландія (64,5%), Норвегія (47,8%), Нова Зеландія (32,3%), Швеція (25%), Австрія (22%), Фінляндія (20,9%). Альтернативні види рідинного та газового пального складають від 20 до 50% загальних обсягів відновлюваних джерел енергії.

В Україні виробництво біопалива розвивається дуже повільними темпами, що змусило нас розглядати можливості розвитку в нашій державі виробництва біодизелю. Світовий ринок насіння олійних культур та продуктів їх переробки за останнє десятиріччя розвивається дуже інтенсивно. В світі зростають харчові потреби в олії переважно для виробництва біодизелю та використання відходів переробки насіння олійних культур як кормових добавок високої якості при відгодівуванні тварин та птиці.

Тенденції розвитку технологій сушіння продукції рослинництва, зокрема при використанні інфрачервоних променів, фундаментальні теоретичні та експериментальні результати, досвід та основи проектування обладнання для їх реалізації покладені у надбаннях наукових шкіл та робіт таких відомих вчених як Баум А.Є., Гінзбург А.С., Гольденберг Я.М., Кудрявцев І.Ф., Ликов О.В., Лур'є М.Ю., Михайлов Ю.А., Птіцин С.Д., Стабніков В.М., Снежкін Ю.Ф. та ін.

Короткочасна інтенсивна дія інфрачервоного поля на поверхневий шар сировини створює водночас проблеми його перегріву та нерівномірності пошарової обробки. Тому є перспективним при транспортуванні продукції в зоні обробки використовувати віброконвеєрні та хвильові технології, що дозволяють створити сприятливі умови для інтенсифікації процесу виробництва та застосування ефективних методів дії на його об'єкт; реалізувати технологічний рух у безперервно-

му режимі; зменшити та усунути взагалі використання непродуктивної праці, зокрема при здійсненні допоміжних операцій; створити загальне керування динамічним станом системи, в якій відбувається технологічна дія; мінімізувати механічні пошкодження об'єкта.

Поєднання вібраційної та поточної технологій в конвеєрних вібромашинах обумовлює реалізацію вищої форми безперервності – автоматизації виробничого процесу, гармонійне співвідношення його основних структурних складових, здійснення ефективної об'ємної дії на продукцію, що відповідає вищим формам досконалості технологічного обладнання. Розвиток вібраційних конвеєрних машин веде початок із хвильових та вібраційних конвеєрів, що зумовило вибір предмета дослідження у даній науковій роботі. Фундаментальні роботи І.І. Блехмана, І.Ф. Гончаревича, Г.Ю. Джанелідзе, В.О. Повідайла, В.М. Потураєва, Р.І. Сіліна, А.О. Співаковського, В.Н. Франчука, К.В. Фролова, А.Г. Червоненко та інших вчених обґрунтовують теоретичні основи процесу вібропереміщення та конструктивні схеми вібротранспортних машин.

Глибокі теоретичні та експериментальні дослідження поведінки сипкого технологічного середовища в умовах вібро- та псевдозрідженого шару представлені у наукових працях Берника П.С., Богомолова О.В., Зав'ялова В.Л., Заїки П.М., Карташова І.М., Паламарчука І.П., Струтинського В.Б., Тіщенко Л.М., Урьєва Н.Б. та інших відомих вчених.

Таким чином, розвиток технологічної та конструктивної ефективності таких інтенсивних тепломасообмінних процесів як інфрачервоне сушіння оліємісткої сировини, що набуває все більшого попиту у харчових, фармацевтичних виробництвах та є перспективним джерелом енергії, зумовлює актуальність та перспективи розвитку представлених у монографії досліджень.

РОЗДІЛ 1 ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

1.1 Загальні тенденції розвитку вирощування насіння олійних культур та виробництва олії в світі

Світовий ринок насіння олійних культур та продуктів їх переробки за останнє десятиріччя розвивається дуже інтенсивно. В світі зростають харчові потреби в олії, використання її для виробництва біодизелю та використання відходів переробки насіння олійних культур як кормових добавок високої якості для відгодовування тварин та птиці.

Розвиток виробництва та переробки насіння олійних культур будемо розглядати, виходячи з інтересів нашої держави. Для нашої держави принципове значення має розвиток виробництва та переробки насіння таких культур як соняшник, ріпак та соя. Світове виробництво насіння соняшнику за останні роки інтенсивно розвивалось (табл. 1.1) та за останні 10 років збільшилось в 1,5 рази. Україна по виробництву соняшника вийшла на 1 місце в світі, виробляючи до 7,5 млн. т. в 2016 році (табл. 1.2). Але виробництво олії у нашій країні залишається на низькому рівні (табл. 1.3).

Таблиця 1.1

Динаміка світового виробництва насіння соняшнику

| Роки | Площа, млн. га | Виробництво, млн. т | Урожайність, т/га |
|------|----------------|---------------------|-------------------|
| 2006 | 19,9 | 23,1 | 1,2 |
| 2008 | 22,8 | 29,9 | 1,3 |
| 2010 | 23,7 | 33,3 | 1,4 |
| 2012 | 22,1 | 30,4 | 1,4 |
| 2014 | 22,4 | 31,0 | 1,4 |
| 2016 | 24,6 | 34,8 | 1,4 |

РОЗДІЛ 1

Однією з причин низького рівня переробки соняшнику є відсутність в Україні належної кількості великої рогатої худоби. В 1990 році у великих господарствах України нараховувалось до 29 млн. голів ВРХ, а на даний час – вже менше 1 млн. Розвиток тваринництва вимагає розвитку кормової бази, в тому числі зі шроту олійних культур.

Таблиця 1.2

Динаміка виробництва насіння соняшнику в Україні

| Роки | Площа, млн. га | Виробництво, млн. т | Урожайність, т/га |
|------|-------------------|------------------------|----------------------|
| 2000 | 2,8 | 3,5 | 12,2 |
| 2005 | 3,7 | 4,7 | 12,8 |
| 2006 | 3,9 | 5,3 | 13,6 |
| 2008 | 4,3 | 6,5 | 15,3 |
| 2010 | 4,2 | 6,4 | 15,2 |
| 2012 | 4,5 | 6,8 | 15,0 |
| 2014 | 4,6 | 7,2 | 15,7 |
| 2016 | 4,6 | 7,5 | 16,2 |

Таблиця 1.3

Структура світового виробництва і експорту соняшнику в 2011– 2012 роках

| Країна | Виробництво, % | Експорт, % |
|-------------|----------------|------------|
| ЄС | 22 | 22 |
| Аргентина | 8 | 3 |
| Україна | 24 | 58 |
| Росія | 21 | - |
| Китай | 6 | - |
| Індія | 2 | - |
| Туреччина | 2 | - |
| Інші країни | 15 | - |

1.1.1 Вирощування насіння соняшнику

За виробництвом насіння та олії соняшнику наша держава поряд з Росією та Аргентиною входить до трійки найбільших виробників цієї культури (табл.1.3). Україна виробляє 24% світових об'ємів олії і експортує 58% світового експорту олії соняшнику.

Світове споживання олії в останні роки дуже інтенсивно збільшується. Виробництво та споживання рослинної олії (соя, соняшник, ріпак, пальма та інші), починаючи з 1998 р., збільшилося у три рази. Оскільки частка соняшnikової олії в обсязі світового виробництва олій становить близько 10%, то одним із найважливіших факторів попиту на соняшникову олію на світовому ринку є її вартість. Виробництво і використання олії в Україні має свої особливості. В нашій державі промисловістю переробляється тільки насіння соняшнику, ріпаку і сої.

Найбільшими підприємствами з виробництва олії з вітчизняним капіталом є: «КМТ» (Вінницький і Чернігівський олійно-жирові комбінати), група «Кернер» (власник торговельної марки «Щедрий дар» і Полтавського ОЕЗ), холдинг «Зерноторгівельна компанія» (ВАТ «Кіровоградолія»), ЗАТ «Єврорек» (ТМ «Стожар»). Значну частку у виробництві олії займають також інші великі виробники: Пологівський ОЕЗ, Одеський ОЕЗ, Слов'янський ОЖК, а також Запорізький ОЕЗ.

Одним з основних напрямів розвитку господарських зв'язків України є експорт. Основні експортні потоки соняшнику з України спрямовуються до країн Європейського Союзу, які є чистими імпортерами цієї категорії олійних. З огляду на те, що собівартість виробництва соняшнику в Україні становить приблизно 25% собівартості вирощування цієї культури в країнах Західної Європи, експорт соняшнику з України до країн ЄС матиме конкурентні переваги щодо власного виробництва цієї культури в самих країнах ЄС.

При подальшому розширенні переробних потужностей у нашій державі частка експорту соняшнику зменшуватиметься

РОЗДІЛ 1

на користь власної переробки і, залежно від урожаю, протягом наступних 5-6 років може становити не більше 10% урожаю. Таким чином, структура експорту соняшнику і олії зменшуватиметься на користь збільшення частки експорту саме олії як продукту переробки соняшнику. В 2016 році Україна експортувала 3,3 млн. т. соняшnikової олії на суму понад 3,5 млрд. доларів. Найбільшими експортерами олії 2016 року були Індія (31%), країни ЄС (17%), Єгипет (14%), Туреччина (7%), Росія (6%).

Таблиця 1.4

Світове виробництво й експорт насіння та олії соняшнику
(за даними Foreign Agricultural Service/USDA/Office of Global Analysis
станом на 1 березня 2011 року)

| Країни | Товарне насіння, млн. | | | Олія, млн. т | | |
|----------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 2011 - 2012 | 2013 - 2014 | 2015 - 2016 | 2011 - 2012 | 2013 - 2014 | 2015 - 2016 |
| Виробництво | | | | | | |
| Світ | 33,274 | 30,453 | 30,652 | 11,986 | 11,626 | 11,327 |
| Україна | 7,000 | 6,350 | 6,750 | 2,632 | 2,545 | 2,667 |
| Аргентина | 2,440 | 2,300 | 2,800 | 1,345 | 1,115 | 1,118 |
| Росія | 7,350 | 6,425 | 5,500 | 2,565 | 2,505 | 2,082 |
| Туреччина | 0,830 | 0,800 | 0,875 | 0,515 | 0,626 | 0,596 |
| ЄС-27 | 7,130 | 6,940 | 6,950 | 2,460 | 2,591 | 2,536 |
| Інші | 8,524 | 7,638 | 7,777 | 2,469 | 2,244 | 2,266 |
| % України в світі | 21,0 | 20,9 | 22,0 | 22,0 | 21,9 | 23,5 |
| Експорт | | | | | | |
| Світ | 2,142 | 1,565 | 1,527 | 4,568 | 4,651 | 4,331 |
| Україна | 0,767 | 0,354 | 0,400 | 2,098 | 2,645 | 2,500 |
| Аргентина | 0,074 | 0,067 | 0,050 | 0,850 | 0,690 | 0,975 |
| Росія | 0,160 | 0,020 | 0,010 | 0,802 | 0,504 | 0,170 |
| Туреччина | 0,013 | 0,020 | 0,010 | 0,131 | 0,068 | 0,060 |
| ЄС-27 | 0,449 | 0,543 | 0,450 | 0,120 | 0,150 | 0,130 |
| Інші | 0,679 | 0,561 | 0,607 | 0,567 | 0,594 | 0,519 |
| % України в світі | 35,8 | 22,6 | 26,2 | 45,9 | 56,9 | 57,7 |

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

Таблиця 1.5

Виробництво олії в Україні, тис. т

| Виробництво олії | 2013-2014 | 2015-2016 | Зростання, % |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------------|
| Всього | 1975,5 | 2084,7 | 105,5 |
| У тому числі: | | | |
| - соняшникової | 1929,5 | 2029,3 | 105,2 |
| - ріпакової | 24,8 | 20,0 | 80,6 |
| - соєвої | 7,7 | 6,7 | 87,0 |
| - інші види олії | 13,9 | 28,7 | 206,5 |
| Виробництво олії фасованої | 301,2 | 304,9 | 101,2 |

Через дефіцит жирів власного виробництва Росія є чистим імпортером жирової продукції й залишатиметься важливим торговельним партнером для олійно-жирової галузі України. Тож запровадження будь-яких додаткових заходів щодо захисту внутрішнього ринку Росії від імпорту з України неминуче призведе до зниження прибутковості української олійно-жирової галузі.

Олійно-жировий комплекс України нерозривно пов'язаний із світовими тенденціями й динамікою виробництва олійних культур, споживання жирів, а отже, й різноманітних факторів, що на них впливають. Залежно від балансу попиту і пропозиції на світовому ринку встановлюється відносна вартість на різні олійні культури та продукти їхньої переробки. Таким чином, ступінь впливу на ці чинники на макrorівні досить обмежений. Водночас необхідно максимально аналізувати й реагувати на динаміку світових ринків для подальшого підсилення конкурентоспроможності вітчизняного виробника.

Високий попит на соняшникову олію пожвавив міжнародну торгівлю, а її зростаюча частка у харчовому секторі внесла корективи у список країн-експортерів. Експортні поставки з 1990 по 2008 рік в середньому зростали на 6%

РОЗДІЛ 1

щорічно. А якщо порівняти основних постачальників олії за 1990-1998 роки з 2008-2016 роками, то можна побачити суттєві зміни у розподілі торговельних потоків (табл. 1.6). Відзначимо, що Україна змогла скористатися сприятливою кон'юнктурою та суттєво зміцнила свої позиції на ринку соняшникової олії.

В перспективі Україна, як країна з потужною власною сировинною базою, може і надалі утримувати лідируючі позиції з продажу соняшникової олії, цінове зростання тому тільки сприятиме.

Таблиця 1.6

Зміна структури світового експорту соняшникової олії, %

| Країни | 1990-1998 рр. | 2008-2016 рр. |
|---------------|----------------------|----------------------|
| Аргентина | 54 | 38 |
| США | 12 | 4 |
| ЄС | 7 | 5 |
| Україна | 7 | 36 |
| Угорщина | 5 | - |
| Туреччина | 4 | - |
| Інші країни | 10 | 7 |
| Росія | - | 11 |

У світі спостерігаються високі темпи росту споживання соняшникової олії. Так, починаючи з 1990 року, споживання соняшникової олії в середньому зростало на 3% щорічно, а в деякі роки, наприклад в 2010/11 МР, цей показник сягав 15%. Високі темпи розвитку потребують адекватного забезпечення сировиною. Але після того, як посівні площі під насінням соняшнику у 1991 році зросли на 25% та протягом наступних 4 років досягли позначки в 2,5 млн.га, то далі вони зростали до 4,6 млн. га в 2012 році. Водночас не спостерігалось суттєвого збільшення врожайності. Такі обставини формують дефіцит сировини, посилюють конкуренцію за неї між виробниками олії та піднімають ціни. До 2010/11 МР цінова ситуа-

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

ція була загалом стабільною, але вже в наступному році ціни на соняшникове насіння та олію синхронно виростили на 30-40%, а в 2011/12 вони подвоїлися.

Окрім підвищеного попиту, на формування цін впливали також подорожчання енергоносіїв, мінеральних добрив та інших промислових ресурсів. Стабільно високий попит, що в здебільшого формується світовим ринком, та високий рівень цін, який забезпечує високорентабельне виробництво – ось два основних фактори, які впливали і впливатимуть на формування ринку олійних культур. Серед інших рослинницьких культур сільськогосподарського призначення, що виробляються в Україні, лише виробництво олійних культур з року в рік стабільно відзначається високим рівнем прибутковості. При цьому основним і, до останнього часу, майже єдиним споживачем олійної сировини виступав вітчизняний олійно-жировий комплекс з його величезним експортно-орієнтованим переробним потенціалом, завдяки якому Україна входить до трійки світових лідерів з виробництва та експорту соняшnikової олії. Безумовно, треба зауважити, що Україна вийшла на відповідні лідируючі позиції лише в останні роки. До того часу існуючий потенціал вітчизняних переробних підприємств фактично задовольняв лише споживчі потреби внутрішнього ринку в олії (рис. 1.1).

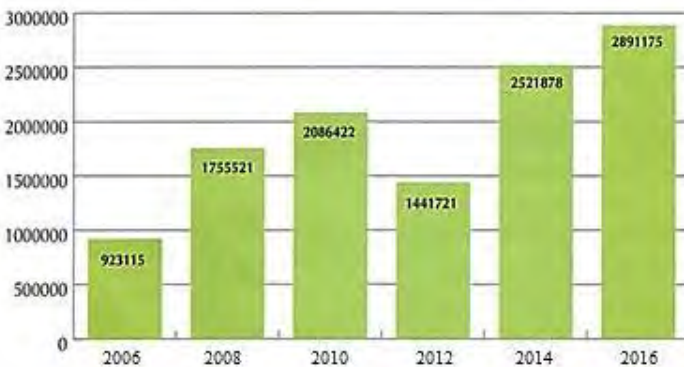


Рис. 1.1. Динаміка експорту соняшnikової олії в 2006-2016 роках, т

РОЗДІЛ 1

В світі великим попитом користується соняшниковий шрот. У 2016 році світове виробництво соняшникового шроту склало 14,8 млн. т. Виробництво соняшникового шроту зосереджено в країнах, що займаються вирощуванням насіння, а саме: Україні, Росії, Аргентині та країнах ЄС. Країни ЄС більшість виробленої продукції залишають для потреб внутрішнього ринку, на відміну від України, яка майже весь отриманий шрот експортує. Обсяг експорту соняшникового шроту з України оцінюється на рівні 3,45 млн. т., що становить 64% світового експорту.

На сьогодні Україна є одним із основних світових виробників насіння соняшнику. Питома вага України у світовому виробництві соняшнику та олії, виробленої з нього, складає близько 15%. З вересня 2012 року по квітень 2013 року олійно-жировими підприємствами України (без урахування олійниць) перероблено 3,9 млн. т. насіння соняшнику, з якого вироблено 1677,6 тис. т. соняшnikової олії, що на 321 тис. т. більше, ніж за відповідний період минулого року. Експортовано за цей період 178,5 тис. т. олії соняшnikової проти 14,03 тис. т. у квітні 2012 року, або у 12,8 разів більше. Більшість підприємств з виробництва олії (92%) в Україні одержують її екстракційним способом. Для збільшення випуску олії велике значення має підвищення коефіцієнта використання наявних потужностей підприємств та оптимізація сировинних зон і внутрішньогалузевих зв'язків. Членство України у Світовій організації торгівлі зумовлює нові умови функціонування виробництва олії в Україні, основною проблемою якого є нестабільність якості продукції через наявність різних домішок та пестицидів. Дуже часто висока якість олії нової марки поступово знижується. Впровадження системи якості ISO (наявність сертифіката ISO) і вироблення суворих норм щодо заходів захисту від шкідливих для рослин організмів та їх поширення, обмеження обсягів залишків пестицидів має підвищити якість олії, і зокрема соняшnikової, як на етапі підготовки її одержання, так і для підтримання належної якості в ці-

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

лому. Незважаючи на світову фінансову кризу, олійно-жирові підприємства України продовжують збільшувати обсяги виробництва олії соняшникової, а також нарощувати її експортний потенціал.

1.1.2 Вирощування насіння ріпаку

Світове виробництво ріпаку за останні 10 років перевищує 60 млн.т. Ріпак та ріпакова олія є товарами, виробництво яких у світі останніми роками постійно нарощується (табл. 1.7). Починаючи з 2000 року, виробництво ріпаку щорічно збільшувалося у середньому на 4,5%, а олії – на 4,6%. Таке зростання пов'язано з виробництвом біодизелю, що останніми роками динамічно розвивається.

Таблиця 1.7

Динаміка світового виробництва ріпаку

| Роки | Площа, млн. га | Виробництво, млн. т | Урожайність, т/га |
|------|-------------------|------------------------|----------------------|
| 2005 | 27,5 | 48,5 | 1,8 |
| 2006 | 26,5 | 45,1 | 1,7 |
| 2008 | 28,3 | 48,5 | 1,7 |
| 2010 | 31,4 | 57,8 | 1,9 |
| 2012 | 31,4 | 61,0 | 1,9 |
| 2014 | 33,0 | 60,6 | 1,8 |
| 2016 | 33,1 | 60,4 | 1,8 |

Основними споживачами даних видів продукції є країни Європейського Союзу. Так, у 2008/09 роках вони використали 39% від світового споживання ріпаку та 42% ріпакової олії.

Згідно з директивами Європейського Союзу 2003/30/ЕС9 та 2003/96/ЕС10, частка біопалива до 31 грудня 2010 року повинна збільшитись до 5,75%. Споживання країнами ЄС біодизелю в 2017 році становитиме 14,8 млрд. л, що приблизно дорівнює 15,1 млн. т. рослинних олій.

В ЄС біопаливо виробляється переважно на основі ріпакової олії. За різними оцінками його частка сягає 90%. Отже,

РОЗДІЛ 1

потреба в цьому виді олії становитиме близько 13,6 млн. т. Для порівняння: в 2007/08МР воно становило у 18,7 млн. т (ЄС–27 – 42,6%). Таке нарощування виробництва ріпакової олії потребуватиме відповідної сировинної бази. Країни ЄС самотужки не зможуть повністю забезпечити свої переробні потужності, тобто виникає потреба у великих обсягах імпортової сировини.

Як правило, потреба у великій кількості товару в стислий термін супроводжується на ринку підвищенням цін на нього. В середньому у 2007/08МР ціни на ріпак підвищилися в 1,7 рази порівняно з 2006/07 (649 дол. США/т проти 375 дол. США/т).

Високі ціни – чи не найкращий стимул для виробників. В даному контексті покажемо є приклад України – найближчого та найбільшого сусіда Європейського Союзу. До початку XXI століття така культура як ріпак майже не культивувалася в країні, а зараз виробляється більше 1,5 млн. т. Майже всі об'єми Україна експортує, і нині є другою в світі, після Канади, країною – найбільшим постачальником ріпаку на світовий ринок (табл. 1.8).

Таблиця 1.8

Динаміка виробництва ріпаку в Україні

| Роки | Площа, млн. га | Виробництво, млн. т | Урожайність, т/га |
|-------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 2006 | 387 | 606 | 15,7 |
| 2008 | 800 | 1047 | 13,1 |
| 2010 | 1380 | 2875 | 20,8 |
| 2012 | 1010 | 1873 | 18,5 |
| 2014 | 863 | 1470 | 17 |
| 2016 | 833 | 1457 | 17,5 |

Зважаючи на заплановане щодо нарощування виробництва біодизелю в ЄС, можна очікувати, що виробництво ріпаку та його експорт будуть зростати в Україні і надалі.

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

З огляду на зростаючий попит на олію на світових ринках, досить закономірним є той факт, що в Україні почали стрімко зростати інвестиції в олійно-жирову галузь, насамперед, іноземні. В період з 1997 до 2001 року іноземні інвестиції в галузь збільшилися в 4,7 рази – з 15 до 70 млн. дол. США. Більше іноземних інвестицій серед усіх галузей харчової промисловості за відповідний період було залучено у підприємства з виробництва напоїв. На даний час основними гравцями на ринку переробки олійних культур в Україні залишаються провідні світові компанії, такі як CARGILL, KERNEL Group, BUNGE. За експертними оцінками, переробні потужності цих компаній формують близько 50% загальних потужностей вітчизняного ринку.

В останні роки «бум» біопаливної індустрії створив ненажерливий дефіцит на світовому ринку на таку олійну культуру як ріпак. У відповідь на зростання світового попиту вітчизняні товаровиробники, мотивовані високорентабельним експортно-орієнтованим виробництвом, в період з 20011 по 2014 рік щорічно вдвічі збільшували загальні посівні площі під ріпаком. Не став винятком і 2015 рік. Під урожай 2015 року озимого ріпаку було посіяно на рекордній для цієї культури площі в 1,5 млн. га, що є на 87,7% більше, ніж у попередньому році. Не дивно, що за таких умов загальні посівні площі, зайняті олійними культурами в усіх категоріях господарств, в Україні збільшилися в період з 1991 року по 2014 рік більш ніж у 3 рази. І в подальшому, за умови збереження високих світових цін і попиту на олійні культури, теж слід очікувати поступового зростання частки технічних олійних культур у валовому виробництві сільськогосподарської продукції в Україні (табл. 1.9).

Серед країн світу найбільші посівні площі ріпаку і об'єми виробництва мають Китай, Індія, Україна, Австралія, США, Росія та інші країни. Світове виробництво насіння ріпаку приведено в таблиці 1.10, а структура – в табл. 1.11.

РОЗДІЛ 1

Таблиця 1.9

Виробництво основних видів олійних культур в Україні у 2015-2016 роках

| Олійні культури | Площа, тис. га | Урожайність, ц/га | Валовий збір, тис. т |
|-----------------|----------------|-------------------|----------------------|
| Соняшник | 4600 | 15,7 | 7200 |
| Ріпак | 989 | 18,2 | 1800 |
| Соя | 1129 | 17,7 | 2000 |

Таблиця 1.10

Світове виробництво насіння ріпаку, млн. т

| Країни | 2010-2011 | 2011-2012 | 2015-2016 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| ЄС-27 | 11,06 | 14,63 | 18,8 |
| Китай | 11,41 | 11,9 | 12,8 |
| Канада | 6,86 | 7,1 | 12,6 |
| Індія | 6,3 | 5,4 | 7,0 |
| Австралія | 1,58 | 1,55 | 2,3 |
| США | 0,69 | 0,57 | 0,78 |
| Інші країни | 1,12 | 1,21 | 4,52 |
| Всього | 39,02 | 42,36 | 58,8 |

Таблиця 1.11

Структура світового виробництва ріпаку у 2015 – 2016 роках

| Країна | % |
|-------------|----|
| ЄС-27 | 32 |
| Канада | 23 |
| Китай | 21 |
| Індія | 11 |
| Україна | 2 |
| Австралія | 2 |
| Інші країни | 9 |

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

Загалом олійно-жирова галузь України орієнтована на виробництво насіння та продуктів його переробки. До основних олійних культур, які вирощуються в Україні, відносять соняшник, сою та ріпак. Соняшник – головна культура в структурі вітчизняного виробництва олійних культур. У загальному обсязі виробництва олійних культур в Україні він займає близько 62%, а в структурі посівних площ – не менше 10%. Але слід зазначити, що до основних олійних культур світового виробництва соняшник не належить (в 2012 році в світі частка соєвих бобів становила 56,4%, ріпаку – 12,4%, а соняшнику – лише 7%).

Серед олійних культур ріпак є однією з найцінніших культур як за вмістом олії, так і за потенційною врожайністю. Насіння ріпаку – важливе джерело дешевої рослинної олії, високоякісної макухи, екологічно чистого біодизельного палива, мастил тощо. З відкриттям нових сфер застосування ріпакової олії і створенням нових сортів їх використання у технічній сфері в перспективі становитиме від 50 до 80%, а для харчування людини – від 20 до 50%.

Ріпак за останнє десятиріччя зміцнив свої конкурентні позиції на світовому ринку серед олійних культур, суттєво збільшилися валові збори насіння та розширилися ринки збуту, ринкові ціни на насіння і продукти його переробки досягли досить високого рівня.

Площа посівів ріпаку в світі сягає 24 млн. га за середньої врожайності 13-15 ц/га. Світове виробництво цієї культури у 2017 році прогнозується на рівні 59,9 млн. т. Найбільшими виробниками ріпаку у світі на сьогодні є країни ЄС-27 (21,6 млн. т), Китай (13,5 млн. т), Канада (11,8 млн. т), Індія (7,2млн. т), Австралія (1,9 млн. т). Україна з виробництва насіння ріпаку ділить з Австралією 5-6 місце.

Ріпак – друга в Україні олійна культура за площею посіву та валовим виробництвом. Він поступається лише соняшнику. Під вирощування культури, залежно від року, використовується майже 2% ріллі. Вирощуванням культури зайнято

РОЗДІЛ 1

більш ніж 3 тис. сільськогосподарських підприємств. Валовий збір насіння ріпаку в країні був рекордним у 2008 році і становив понад 2,87 млн. т., що майже втричі перевищувало показники попереднього року. В результаті зниження посівних площ і незадовільної перезимівлі озимого ріпаку в 2014 і 2015 роках під культурою було зайнято відповідно 1013,6 і 913,3 тис. га. Валове виробництво насіння у 2014 році дорівнювало 1,818 млн. т., у 2015-му – 1,331 млн. т. Середня урожайність озимого ріпаку в 2013 році становила 20,8 ц/га; у 2014 – 18,7 ц/га; у 2015 – 17,5 ц/га.

Ґрунтово-кліматичні умови України є сприятливими для нормального росту та розвитку ріпаку як озимого, так і ярого та відповідають його біологічним вимогам. Зокрема, доволі висока родючість ґрунтів, їх задовільна водо- та повітропроникність, значна кількість опадів і температурний режим сприяють при застосуванні рекомендованих агротехнологічних заходів вирощування цієї культури в усіх регіонах отримувати понад 20 ц/га насіння.

Враховуючи пристосованість ріпаку до помірного клімату, а також набутий досвід вирощування, переробки і реалізації продуктів його переробки, посівні площі під озиму і яру форму в Україні можна суттєво розширити до 2,0-2,2 млн. га з метою повного забезпечення внутрішніх потреб країни в харчовій олії, макусі, шроту, виготовлення біодизельного палива, мастил, а також експорту як насіння, так і високоліквідних продуктів його переробки й отримання твердої валюти.

Програмою розвитку ріпаківництва в Україні на 2010-2017 роки передбачається комплексний розвиток цієї галузі, починаючи від оптимізації площ, їх розміщення, підвищення урожайності, поглибленої переробки насіння та впровадження сучасних промислових технологічних розробок, в загальному рільництві ріпаківництво розширити до 7%, довести посівну площу у 2015-2017 роках до 2000 тис. га, отримати 5600-6000 тис. т високоякісного насіння ріпаку за урожайності 20 ц/га.

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

Розвиток цієї галузі буде успішним за умов створення регіональних зон концентрованого вирощування озимого і ярого ріпаку на значних площах від 10-15 до 30-40 тис. га, що дасть можливість оптимально сконцентрувати й ефективно використати сучасну техніку, інші ресурси для забезпечення технологічного процесу на великих площах, вчасно і без втрат зібрати і сертифікувати вирощений урожай згідно з вимогами сталого агровиробництва Європейського Союзу до імпортованої сировини для виробництва біопалива, а також знизити собівартість вирощеної продукції.

Ріпак – надзвичайно цінна олійна культура, один із найважливіших джерел рослинної олії. Насіння озимого ріпаку містить 45-50% олії, ярого - до 35%, 24-31% білка, 6-12% клітковини. Ріпакова олія за своїм жирнокислотним складом і смаковими якостями наближається до маслинової, і є більш корисною для людини, ніж соняшникова і соєва.

До складу олії з насіння сучасних сортів ріпаку входить значна кількість гліцеридів ненасичених жирних кислот, що знижують можливість тромбоутворення і, відповідно, протидіють серцево-судинним захворюванням, знижують вміст холестерину в крові, регулюють рівень кров'яного тиску. Ріпакова олія містить речовини, стійкі до опромінювання. Вона належить до групи напіввисихаючих харчових рослинних олій і може використовуватися для споживання у натуральному вигляді за безпосереднього її додавання до кулінарних страв, а також при виготовленні овочевих, рибних, м'ясних консервів та маринадів. Ріпакова олія є найкращою сировиною для виробництва маргаринів, бутербродного масла, різноманітних харчових продуктів.

Завдяки цим властивостям ріпакова олія користується популярністю. За обсягами виробництва вона стала третьою у світі після маслинової і соєвої, а за обсягам імпорту-експорту займає четверту позицію після маслинової, соєвої та соняшникової.

РОЗДІЛ 1

Згідно з європейським стандартом, харчова олія із сучасних безерукових сортів ріпаку (00) повинна містити тільки сліди ненасичених кислот – ерукової та ейкозенової, 5-8% насичених кислот, 60-65% мононасичених кислот і 30-35% полінасичених кислот.

Не втрачає своєї актуальності і використання олії з високим вмістом ерукової кислоти. Вона використовується у багатьох галузях промисловості: металургійній, машинобудівельній, лакофарбовій, поліграфічній, хімічній, текстильній.

Як високобілкова культура, озима і яра форма ріпаку є джерелом забезпечення протеїном кормів для сільськогосподарських тварин. В 1 кг насіння міститься 1,7-2,1 кормових одиниць. Однак у насінні, крім протеїну (18-22%), є ще й сірчані органічні сполуки – тіоглюкозиди або глюकोзинолати, котрі в організмі утворюють шкідливі для тварин сполуки – ізотіоціанати та нітриди. Тому для поповнення раціону протеїном краще використовувати побічні продукти виробництва ріпакової олії: шрот і макуху, що містять 30-32 і 25-28% протеїну відповідно та 8-11% жиру. У 100 кг ріпакового шроту міститься у середньому 0,9 кормових одиниць. Коефіцієнт перетравності його органічних речовин становить 70%, тоді як соняшникового шроту – лише 56%.

Ріпаковий шрот і макуху доцільно включати до кормових раціонів бройлерів і курей-несучок – до 15%, свиней – 10-15%, дійних корів – 20-30%.

Важливим резервом виробництва кормів і білка є посіви ріпаку, що використовуються на зелений корм худобі, для приготування силосу, виготовлення трав'яного борошна. Найвища поживна цінність зеленої маси спостерігається у період бутонізації-початку цвітіння рослин і становить 0,08 кормових одиниць на кілограм корму. На одну кормову одиницю припадає 200 г перетравного протеїну, в сухій речовині 244 г/кг.

Ріпак є прекрасним попередником для зернових, особливо озимої пшениці. Він поліпшує фітосанітарний стан

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

наступних посівів зернових, знижує ураження цих культур кореневим гнилям, різними плямистостями листя і стебел на 15-20%, оскільки його кореневі рештки згубно діють на збудників хвороб, що знаходяться у ґрунті. Завдяки наявності сіркових сполучень (глюкозинолатів) у рослині за розкладання у ґрунті ріпак проявляє фумігантний ефект – дезінфікує ґрунт для наступних культур. Значно покращує структуру ґрунту, розпушує підґрунтя, оскільки майже 90% коренів знаходиться в орному шарі на глибині до 20%. Збільшення врожаю зернових після озимого ріпаку сягає від 3 до 6 ц/га без додаткових витрат на придбання і внесення добрив.

Важливе агрономічне значення має ріпак при його вирощуванні на зелене (сидератне) добриво, яке сприяє підвищенню органіки в ґрунті, еквівалентної 10-15 т/га гною. З кореневими і поживними залишками при зорюванні в ґрунт повертається понад 15 кг азоту, 15 кг фосфору, 70 кг кальцію і 12 кг сірки.

Велика користь ріпаку як медоноса. За період його цвітіння можна отримати 80-90 кг меду з гектара.

Останнім часом стрімко розвивається новий напрям використання ріпакової олії – біопаливо для двигунів внутрішнього згорання. Воно більш екологічне і економне. Використання біопалива дає можливість частково скоротити споживання обмежених запасів природної нафти і знизити навантаження CO₂ на навколишнє середовище. За врожаю насіння ріпаку 20 ц/га можна виробити 700 л біодизельного палива.

Отримання високого і якісного врожаю ріпаку неможливе без дотримання загальної технології вирощування культури, інтегрованої системи захисту від шкідників, хвороб та бур'янів.

Іntenсивна технологія вирощування як озимого, так і ярого ріпаку базується на комплексному і раціональному використанні ґрунтово-кліматичних, біологічних, технічних, матеріальних і грошових ресурсів для максимально можливого задоволення потреб рослин в основних факторах життя з

метою отримання високого і стабільного врожаю. Вона органічно поєднує три основні напрями господарської діяльності: технологічний, технічний і розрахунково-економічний.

Технологічний напрям передбачає розробку й послідовність проведення технологічних операцій та агротехнічних вимог до них.

Технічний напрям – комплектацію машинно-тракторних агрегатів, марочний підбір тракторів, сільськогосподарських та спеціальних машин і знарядь, установлення норм виробітку та кількості обслуговуючого персоналу.

Розрахунково-економічний напрям - визначення потреб у робочій силі й техніці, матеріально-грошових витрат за видами робіт і загалом по культурі, а також собівартості виробленої продукції.

Інтенсивна технологія спрямована на виконання цілого комплексу науково-обґрунтованих агротехнічних, фізико-механічних, селекційно-наслідкових, хімічних заходів, які обумовлюють отримання якісного врожаю при найменших витратах праці та ресурсів на одиницю отриманої продукції.

1.1.3 Вирощування насіння сої

Основною світовою олійною культурою є соя. На її частку, припадає більше половини всього обсягу олійних культур, що вирощуються в світі. Виробництво соєвої олії в світі зростає, хоча й не так стрімко, як пальмової. За обсягами виробництва соєвих бобів, і, відповідно, продукції їхньої переробки, на глобальному рівні лідирують США. Другим світовим виробником сої та одночасно четвертим серед виробників продукції переробки сої є Бразилія. США та Бразилія забезпечують 38 та 25% світового виробництва сої, 27 та 15% соєвої олії, 26 та 19% соєвого шроту, відповідно. Останніми роками зростання виробництва соєвої олії забезпечують США, Бразилія та Китай (18%), де досить великі обсяги соєвих бобів виробляють та імпортують (імпорт нарощується). Цей вид рос-

линної олії найбільш поширений у США (займає майже 4/5 ринку олії), а також у Китаї та Японії.

У Європі виробництво сої невелике, соєва олія тут особливою популярністю не користується. Значно більшим попитом користується соєвий шрот, який досить активно імпортують. У країнах ЄС виробляють 7% світового виробництва олії та шроту із сої. Валовий збір соєвих бобів щороку зростає.

На думку експертів, у майбутньому основними тенденціями на сировинному соєвому ринку залишаться подальше збільшення посівних площ під соєю і збільшення врожайності у зв'язку з впровадженням сучасних технологій вирощування сої, а акцент буде зроблено на вирощуванні генетично не модифікованих сортів.

1.1.4 Світові тенденції використання олії

Поліпшення якості ріпакової олії викликало збільшення попиту на неї в усьому світі. Ріпакова олія посідає третє місце за обсягами світового виробництва рослинних олій після пальмової та соєвої. Площі культивування ріпаку в світі збільшуються й донині, проте частка цієї культури в загальному обсязі виробництва олійних дорівнює близько 25%. Ріпак поширений у Європі, Азії, Америці й Австралії. Потенціал подальшого збільшення світового виробництва ріпаку не вичерпаний: можливе розширення його посівів, зокрема в Україні та Росії, за наявності високого попиту на цей вид олійної сировини.

Ріпакову олію у багатьох країнах використовують для смаження, заправлення салатів, а також як сировину для виготовлення маргаринів. Ця олія досить тривалий час зберігає прозорість, не набуває неприємного запаху під впливом повітря, як наприклад, соєва. За смаковими якостями вважається однією з кращих рослинних олій, користується попитом, зокрема, вибагливих європейських споживачів.

Досить великий відсоток ріпакової олії (10 років тому був на рівні 10%, останнім часом – 20-25%, у 2009, як очіку-

РОЗДІЛ 1

валось, перевищив 30%) використовують на технічні цілі. Цей фактор призводить до зростання переробки ріпаку, а відтак стимулювання виробництва цієї олійної культури.

Переробляти насіння ріпаку в біодизель в Україні почали лише в останні роки. Повна достовірна інформація про стан виробництва біодизеля в нашій державі відсутня. За різними оцінками понад 40 об'єктів із виробництва біодизеля (міні-заводи або дослідні установки) працювали в 12 областях і виробили близько 20 тис. т. продукції переважно для задоволення власних потреб. Дані обсяги досить малі порівняно зі світовим виробництвом біодизеля.

У 2016 році світове виробництво біодизеля склало 40 млн. т. Основними країнами-виробниками біодизелю стали країни Євросоюзу 25 млн. т. 1,6 млн. т. вироблено в Бразилії і 1 млн. т – в Аргентині.

За оцінками експертів, розвиток сільськогосподарськими виробниками власної переробки насіння ріпаку на біопаливо в малих переробних цехах потужністю 2-6 т. біопалива на добу призведе до певного зростання внутрішнього попиту на ринку в Україні.

Загалом, слід зазначити, що поступове збільшення виробництва продукції олійних культур можливе тільки за умови чіткої та виваженої експортно-орієнтованої позиції з боку держави. При цьому зовнішні ринки збуту будуть визначальними при формуванні обсягів попиту та цінової кон'юнктури на відповідну продукцію. Стабільне зростання загального попиту на олійні культури, а також значні обсяги субсидій, що спрямовуються на виробництво та споживання біопалив в ЄС, США та інших країнах, лише сприятимуть високому рівню світових цін. Завдяки цьому вітчизняний товаровиробник матиме можливість отримати високий рівень доходу, одночасно з поступовим збільшенням обсягів виробництва, керуючись відповідним рівнем попиту. Щоб реалізувати ці можливості в перспективі, необхідно зробити певні кроки вже зараз. Насамперед, в напрямку застосування нових ефективних технологій

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

у виробництві, розбудови та розширення експортної інфраструктури, реалізації виваженої експортно-орієнтованої політики та підтримки з боку держави. Потенціал для цього в Україні існує.

Отже, протягом останніх років обсяги виробництва олійних культур стрімко зростають, а їх асортимент диверсифікується відповідно до попиту світового аграрного ринку. В Україні основною олійною культурою залишається соняшник, олія якого використовується для задоволення харчових потреб населення та на експорт. Насіння ріпаку і сої переважно екпортується як сировина через незначні обсяги переробки.

Напруга на світових продовольчих ринках найближчими роками зростатиме і Україна має використати цю ситуацію та отримати максимальний зиск від експорту продовольства.

В найближчі роки виробництво олійних культур в Україні (зокрема, ріпаку) буде рости з огляду на великий попит, гарантований збут та привабливі ціни. Головна умова забезпечення конкурентоспроможності на внутрішньому та зовнішньому ринках олійних культур – перехід до прогресивних високоефективних технологій виробництва.

З огляду на невисокий рівень потужності внутрішнього ринку олійних культур та об'єктивні причини, що заважають його швидкому зростанню (скорочення населення та повільне зростання темпів купівельної спроможності), дана продукція має бути експортно-орієнтованою. Значного збільшення внутрішнього попиту на продукцію можна досягнути за рахунок переробних підприємств, зокрема, виробництва біопалива.

Для цього необхідна продумана раціональна державна політика та збалансованість між загальним попитом та пропозицією на соняшник, сою, та ріпак.

Переробка власної агросировини всередині країни (у тому числі на біопаливо) має суттєві переваги порівняно з її експортом. Суттєве збільшення внутрішнього попиту в Україні у перспективі можливе завдяки розвитку промислового виробництва біопалива, вдосконаленню законодавчої бази щодо

РОЗДІЛ 1

регламентування переробки насіння ріпаку та використанню його продуктів (біодизель, шрот і гліцерин). Все це вимагає докорінних коригувань пріоритетів і планів щодо розвитку біоенергетичного сектору.

Світове виробництво ріпаку перевищує 47 млн. т., річний приріст посівних площ становить останнім часом 17%. Сумарна світова площа посіву ріпаку має стійку тенденцію до росту. Серед країн світу найбільші посівні площі ріпаку в Індії, Китаї, Канаді, США, Австралії. В країнах Європи посівні площі ріпаку сягають близько 3,5 млн. га. Найбільшими виробниками ріпаку є країни ЄС, їх частка у світовому виробництві ріпаку складає 38,5 відсотки.

Збільшення обсягів світового споживання ріпакової олії протягом 2000–20016 років зумовлено її особливостями – придатна як для харчового використання, так і для переробки на біодизель. Завдяки цьому ріпакова олія за своєю цінністю посідає перше місце в світі серед рослинних олій. Зважаючи на це, особливо відчутними темпами зростає попит та обсяги виробництва ріпаку.

В Україні ріпак як промислову культуру почали інтенсивно впроваджувати лише в останні 10–15 років. Серед основних олійних культур України в структурі посівних площ ріпак посідає друге місце (27%), поступаючись тільки соняшнику (62%) та випереджає сою (11%).

Згідно з прогнозами ІА «АПК-Інформ», в 2017 р. валовий збір ріпаку (озимого та ярого) в Україні складе 1,8 млн. тонн, що на 0,5 млн. тонн перевищить показник минулого року. Відповідно, на стільки ж збільшиться і експортний потенціал культури в 2017/18 МР.

На сьогодні, забезпеченість олієпереробних підприємств України сировиною має пріоритетний напрямок. Так, у 2012 році потужності з переробки насіння соняшнику складають близько 7 млн. тонн. При цьому частка крупних спеціалізованих підприємств складає близько 6 млн. тонн. Тенденція до зростання потужностей олієпереробних підприємств триває.

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

При максимальних валових зборах в межах 6 млн. тонн забезпеченість сировиною переробних потужностей є більш жорсткою. Це свідчить про необхідність розширення частки переробки олійних культур. В коротко- та середньостроковій перспективі передбачається збільшення частки внутрішньої переробки насіння ріпаку в Україні через ускладнення сировинного забезпечення потужностей олієпереробних підприємств. Виробництво ріпаку залишиться економічно ефективним напрямком сільськогосподарського виробництва.

Основним напрямком подальшого розвитку використання олійних культур є значне збільшення їх переробки в Україні. Якщо розглядати використання урожаю ріпаку, то бачимо, що він в основному експортується (табл. 1.12).

Динаміку світового споживання соняшникової олії показано на рис. 1.2.

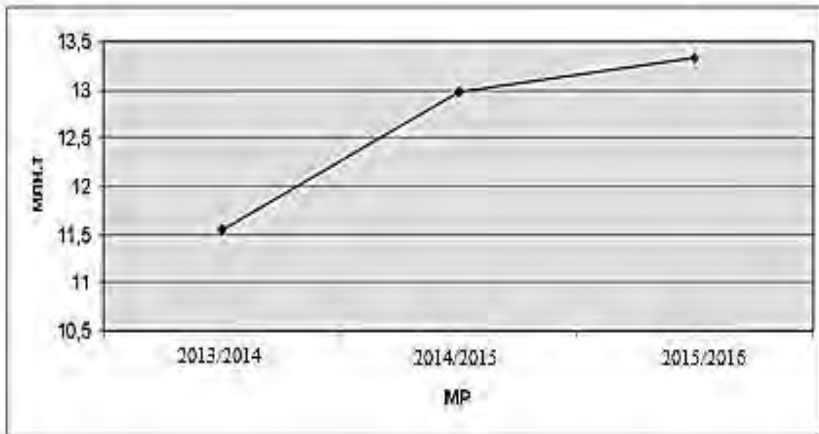


Рис. 1.2. Динаміка світового споживання соняшникової олії

Таблиця 1.12

Пропозиція та розподіл ріпаку в Україні

| Основні ринкові позиції | 2011/12 | | 2013/14 | | | | 2015/16 | | | | Відхилення, % | | |
|-------------------------|-----------|---------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|--|--|
| | тис. тонн | тис. га | січень тис. тонн | лютий тис. тонн | січень тис. тонн | лютий тис. тонн | січень тис. тонн | лютий тис. тонн | 2013/14- 2011/12 | 2015/16- лют.-січ. 2016 | 2015/16- 2013/14 | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Початкові запаси | 27,1 | | 14,8 | 14,8 | 60,4 | 138,4 | | | -45,5 | 129,3 | 836,0 | | |
| Посівна площа, тис. га | 1 543,0 | | 1 158,1 | 1 158,1 | 1 057,7 | 1 057,7 | | | -24,9 | - | -8,7 | | |
| Площа збирання, тис. га | 862,5 | | 832,7 | 832,7 | 546,9 | 546,9 | | | -3,5 | - | -34,3 | | |
| Урожайність т/га | 1,7 | | 1,73 | 1,73 | 2,2 | 2,2 | | | 1,3 | - | 27,6 | | |
| Валовий збір | 1 433,00 | | 1 401,5 | 1 401,5 | 1 174,3 | 1 180,3 | | | -2,2 | 0,5 | -15,8 | | |
| Імпорт | 2,48 | | 3,0 | 3,0 | 4,5 | 4,5 | | | 21,2 | - | 49,8 | | |
| Загальна пропозиція | 1 462,60 | | 1 419,3 | 1 419,3 | 1 239,2 | 1 323,2 | | | -3,0 | 6,8 | -6,8 | | |
| Споживання | 31,6 | | 151,0 | 72,9 | 34,6 | 34,1 | | | 130,7 | -1,4 | -53,2 | | |
| Переробка на масло | 5,0 | | 40,0 | 40,0 | 10,0 | 10 | | | 700,0 | - | -75,0 | | |
| Насіння | 12,7 | | 11,6 | 11,6 | 12,2 | 12,2 | | | -8,7 | - | 5,2 | | |
| Втрапи | 13,9 | | 99,4 | 21,3 | 12,4 | 11,9 | | | 53,3 | -3,9 | -44,1 | | |
| Експорт | 1 416,2 | | 1 208,0 | 1 208,0 | 1 190,00 | 1 270,00 | | | -14,7 | 6,7 | 5,1 | | |
| Загальний розподіл | 1 447,8 | | 1 359,0 | 1 280,9 | 1 224,60 | 1 304,10 | | | -11,5 | 6,5 | 1,8 | | |
| Кінцеві залишки | 14,8 | | 60,4 | 138,4 | 14,6 | 19,1 | | | 836,0 | 31,3 | -86,2 | | |
| Запаси розподіл | 1,0 | | 4,4 | 10,8 | 1,2 | 1,50 | | | | | | | |

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

За оцінками експертів, враховуючи поточний стан посівів озимого ріпаку, підвищення запасів продуктивної вологи в ґрунті до оптимальних, валовий збір за збереження існуючих умов може скласти близько 2,5 млн. тонн (при урожайності 17,6 ц/га).

Аналіз споживання рослинних олій в світі показує, що за останні роки значно збільшилось споживання олії для технічних цілей.

З 2016 року частка споживання на нехарчові потреби рослинних олій зросла з 8,9% до 18,7% від обсягів загального споживання олії в 2014/15 роках. Такі темпи змусили значно збільшити обсяги світового виробництва рослинних олій, але все одно задовольнити в повному обсязі зростаючі потреби ринку не змогли. Співвідношення кінцевих запасів до загального використання, як показник стабільності ринку, за цей період знизився більш ніж на 30% і становив 7,4%. Зважаючи на світові прогнози з виробництва олійних культур, тенденції останніх років до стрімкого зростання й перевищення попиту на олійні культури над загальносвітовими обсягами виробництва збережуться, що, в свою чергу, провокуватиме подальше зростання ціни на олійні культури.



Рис. 1.3. Динаміка рентабельності виробництва насіння соняшнику в Україні, %

РОЗДІЛ 1

В найближчі роки Україна може внести певний стабілізаційний внесок для подолання дефіциту олійної сировини та олійної продукції на світовому ринку за рахунок збільшення власного виробництва і, відповідно, нарощування обсягів експорту олійних культур. Основним стимулом для сільськогосподарського товаровиробника до збільшення обсягів виробництва продукції буде залишатися висока рентабельність виробництва олійних культур.

На жаль, урожайність олійних культур в Україні, як один із показників технічної ефективності виробництва, залишається на низькому рівні в порівнянні з іншими країнами-лідерами з виробництва олійних культур в світі. Незважаючи на стабільно високу рентабельність, яка мала в перспективі забезпечити певний технічний розвиток власного виробництва, середня урожайність олійних за останнє десятиріччя в Україні фактично не змінилась. Щорічні коливання показника середньої урожайності олійних культур, головним чином, визначалися кліматичними умовами у відповідні роки (рис. 1.4, 1.5).



Рис. 1.4. Динаміка світового виробництва насіння соняшнику

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР



Рис. 1.5. Динаміка виробництва насіння соняшнику в Україні

Життя вимагає комплексного розвитку аграрного сектору. В галузі вирощування олійних культур потрібні зміни. Основними причинами гальмування процесу запровадження високотехнологічного виробництва олійних культур є ті ж самі, що стримують загальний розвиток як рослинницької галузі, так і сільськогосподарського виробництва України в цілому. За винятком незначної кількості підприємств, загальна матеріально-технічна база сільськогосподарського виробництва вітчизняних підприємств знаходиться в жалюгідному стані. За експертними оцінками, щорічно втрачається до 10...15% загального врожаю олійних культур через використання фізично й морально застарілої техніки.

Щорічні обсяги загальних інвестицій в галузь сільського господарства залишаються мізерними. У 2007 році внутрішні капіталовкладення в галузь склали 9,3 млрд. грн., що є лише 5% від загального обсягу. Частка іноземних інвестицій в сільське господарство є ще меншою. Станом на кінець 2012 року в сільське господарство України було залучено 557,1 млн. дол.

РОЗДІЛ 1

США – 1,9% від загального обсягу прямих іноземних інвестицій в економіку України. За таких умов не дивно, що галузь, яка на початку поточного століття виробляла понад 16% валового внутрішнього продукту України, 7 років по тому виробила лише 7,6% ВВП.

Значно зменшилось внесення органічних і мінеральних добрив (рис. 1.6), а сояшник потребує трикратного їх внесення і, в першу чергу, внесення гною. Дані з рисунка 1.6 видно, що ми вносимо у 5 разів менше мінеральних добрив. Гній під оранку практично не вноситься.

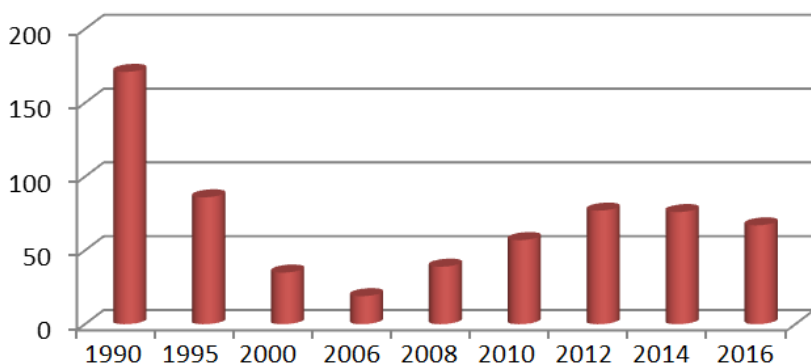


Рис. 1.6. Динаміка внесення мінеральних добрив на 1 га посівної площі під сільськогосподарські культури в Україні, кг

Велике значення для урожайності сільськогосподарських культур мають сівозміни. При загальній площі орних земель 1 500 000 га у Вінницькій області, в 2014 році кукурудза займала 260 000 га, сояшник – 150 000 га, ріпак – 100 000 га. А це складає близько 500 000 га. Тому над сівозмінами треба працювати.

Вкрай складним залишається також питання потенційних людських ресурсів, які мають бути задіяними в сільськогосподарському виробництві й проживають переважно в сіль-

ській місцевості. Не зважаючи на це, починаючи з 2012 року, спостерігається тенденція нарощування виробництва таких культур як ріпак і соя, що стимулюється головним чином значним попитом на вказані культури як біосировину для виробництва біодизелю з боку світового ринку. Як наслідок, спостерігається зменшення питомої ваги соняшнику в структурі олійних культур у 2013 році до 77%, у 2014 році – до 70%, а в 2016 році – до 62%.

У 2016 році 26% врожаю олійних культур експортувалося насінням, 20% складав фонд споживання, а решта 54% – перероблено олійно-жировою промисловістю України, виробничі потужності якої становлять понад 7,5 млн. тонн.

1.2 Олійні культури України

В Україні з олійних культур вирощують соняшник, ріпак, сою, гірчицю, льон-кудряш, рицину, арахіс, рижій та інші культури. Але основними олійними культурами, які суттєво впливають на рентабельність аграрного сектору, подальший розвиток біоенергетики та експортну потужність країни все ж є соняшник, ріпак та соя.

1.2.1 Соняшник

Соняшник – основна олійна культура в нашій країні. Він займає близько 62% площі всіх олійних культур, із нього виробляють понад 85 % олії.

З таблиці 1.13 видно, що площі посіву соняшнику в регіонах дуже різняться. Найбільш потужно висівають соняшник в Запорізькій, Дніпропетровській та Донецькій областях. Найменшими є площі соняшнику в західних областях. Це пов'язано з кліматичними умовами (табл. 1.14).

РОЗДІЛ 1

Таблиця 1.13

Площа соняшнику в областях України

| Рейтинг за площею | Область | Роки | | | | | Середнє за 2012-2016 |
|-------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------------|
| | | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | |
| | Україна | 3911,7 | 3411,4 | 4277,9 | 4193,0 | 4525,6 | 4063,9 |
| 1 | Запорізька | 579,7 | 536,1 | 594,4 | 555,9 | 571,2 | 567,5 |
| 2 | Дніпропетровська | 504,4 | 478,8 | 540,7 | 541,4 | 559,4 | 524,9 |
| 3 | Харківська | 269,9 | 276,1 | 326,6 | 344,1 | 434,6 | 330,3 |
| 4 | Донецька | 376,4 | 397,4 | 443,1 | 434,9 | 429,3 | 416,2 |
| 5 | Кіровоградська | 349,7 | 296,4 | 409,0 | 408,5 | 417,4 | 376,2 |
| 6 | Миколаївська | 392,9 | 274,7 | 420,2 | 401,1 | 396,6 | 377,1 |
| 7 | Луганська | 287,4 | 286,6 | 333,5 | 351,4 | 362,7 | 324,3 |
| 8 | Херсонська | 351,8 | 259,9 | 327,3 | 290,5 | 294,1 | 304,7 |
| 9 | Полтавська | 185,6 | 169,8 | 212,1 | 217,1 | 236,7 | 204,3 |
| 10 | Одеська | 292,0 | 168,3 | 232,6 | 220,6 | 227,4 | 228,2 |
| 11 | Вінницька | 74,4 | 70,6 | 118,7 | 106,9 | 163,3 | 106,8 |
| 12 | Черкаська | 107,7 | 88,5 | 123,1 | 134,5 | 145,2 | 119,8 |
| 13 | Сумська | 33,1 | 32,5 | 63,1 | 60,4 | 85,2 | 54,9 |
| 14 | Київська | 33,5 | 26,9 | 44,6 | 44,6 | 66,2 | 43,2 |
| 15 | Чернігівська | 11,8 | 8,4 | 21,4 | 24,0 | 39,0 | 20,9 |
| 16 | Хмельницька | 5,1 | 5,1 | 14,1 | 15,2 | 27,6 | 13,4 |
| 17 | АР Крим | 37,9 | 24,5 | 31,6 | 21,2 | 26,4 | 28,3 |
| 18 | Житомирська | 3,6 | 2,0 | 5,0 | 6,6 | 17,5 | 6,9 |
| 19 | Тернопільська | 4,4 | 1,9 | 6,9 | 5,2 | 10,8 | 5,8 |
| 20 | Чернівецька | 7,2 | 4,2 | 5,6 | 4,5 | 6,1 | 5,5 |
| 21 | Івано-Франківська | 0,2 | 0,3 | 0,7 | 1,2 | 3,6 | 1,2 |
| 22 | Рівненська | 0,3 | 0,3 | 1,5 | 1,1 | 2,7 | 1,2 |
| 23 | Закарпатська | 2,0 | 1,9 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 1,8 |
| 24 | Волинська | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,3 |
| 25 | Львівська | 0,6 | 0 | 0,1 | 0 | 0,1 | 0,2 |

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

Таблиця 1.14

**Дія кліматичних умов на середню урожайність
соняшнику, т/га**

| Рейтинг за урожайністю | Область | Роки | | | | | Середнє за 2012-2016 |
|------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|
| | | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | |
| | Україна | 1,36 | 1,22 | 1,52 | 1,52 | 1,50 | 1,42 |
| 1 | Полтавська | 1,57 | 2,04 | 2,16 | 2,23 | 1,97 | 1,99 |
| 2 | Черкаська | 1,58 | 1,71 | 1,93 | 2,28 | 2,08 | 1,92 |
| 3 | Київська | 1,39 | 1,50 | 1,81 | 2,09 | 1,83 | 1,72 |
| 4 | Вінницька | 1,52 | 1,41 | 1,83 | 2,09 | 1,68 | 1,71 |
| 5 | Харківська | 1,40 | 1,77 | 1,79 | 1,80 | 1,62 | 1,68 |
| 6 | Кіровоградська | 1,45 | 1,34 | 1,55 | 1,76 | 1,71 | 1,56 |
| 7 | Сумська | 1,03 | 1,68 | 1,77 | 1,61 | 1,51 | 1,52 |
| 8 | Чернігівська | 1,14 | 1,50 | 1,72 | 1,58 | 1,57 | 1,50 |
| 9 | Дніпропетровська | 1,51 | 1,29 | 1,57 | 1,53 | 1,53 | 1,49 |
| 10 | Рівненська | 2,07 | 0,84 | 1,80 | 1,55 | 1,13 | 1,48 |
| 11 | Донецька | 1,47 | 1,24 | 1,69 | 1,56 | 1,30 | 1,45 |
| 12 | Тернопільська | 1,00 | 1,55 | 1,56 | 1,87 | 1,23 | 1,44 |
| 13 | Житомирська | 0,78 | 1,52 | 1,33 | 1,58 | 1,54 | 1,35 |
| 14 | Івано-Франківська | 0,97 | 1,17 | 1,40 | 1,74 | 1,39 | 1,33 |
| 15 | Хмельницька | 0,84 | 1,23 | 1,43 | 1,59 | 1,53 | 1,32 |
| 16 | Чернігівська | 1,00 | 1,26 | 1,56 | 1,47 | 1,31 | 1,32 |
| 17 | Запорізька | 1,38 | 0,96 | 1,39 | 1,38 | 1,33 | 1,29 |
| 18 | Луганська | 1,31 | 1,40 | 1,48 | 1,19 | 1,05 | 1,27 |
| 19 | Миколаївська | 1,27 | 0,95 | 1,23 | 1,38 | 1,48 | 1,26 |
| 20 | Волинська | 1,00 | 2,37 | 0,83 | 0,92 | 1,04 | 1,23 |
| 21 | Закарпатська | 1,21 | 1,27 | 1,21 | 1,24 | 1,11 | 1,21 |
| 22 | Одеська | 1,26 | 0,67 | 1,35 | 1,05 | 1,44 | 1,15 |
| 23 | Львівська | 1,41 | - | 0,34 | 1,05 | 1,68 | 1,12 |
| 24 | АР Крим | 0,97 | 0,68 | 0,91 | 0,86 | 1,37 | 0,96 |
| 25 | Херсонська | 1,00 | 0,56 | 1,11 | 0,82 | 1,23 | 0,94 |

РОЗДІЛ 1

Однак не тільки кліматичні умови впливають на урожайність соняшнику. Важливу роль відіграє і рівень використання сучасних технологій, добрив, якості насіння, культури збирання врожаю та інше. Потрібно відзначити, що високі показники урожайності соняшнику мають Полтавська, Черкаська, Київська та Вінницька області. Майже у два рази нижчою є урожайність в Херсонській, АР Крим, Львівській та Одеській областях.

Соняшникову олію широко використовують у харчовій промисловості. З неї виготовляють маргарин, використовують у натуральному вигляді, при виготовленні консервів, хлібних і кондитерських виробів, фарб, мила тощо. Макуха містить до 37% білка, більш як 20% безазотистих екстрактивних речовин, 6,5% жиру і багато інших речовин. Вона є висококалорійним концентрованим кормом для тварин.

Соняшник – це однорічна рослина родини складноцвітих, 2-4 м заввишки. Має добре розвинений стрижневий корінь, що проникає в ґрунт на глибину до 3 м і більше. Листки серцеподібні й великі, вкриті жорсткими волосками. Суцвіття – кошик діаметром від 15 до 40 см і більше. Соняшник є типовою перехреснозапильною рослиною. Плід – сім'янка різної форми і величини. Соняшник – світлолюбна культура і не переносить затінення і загущення посівів. До родючості ґрунту вимогливий. Кращими ґрунтами для соняшника є чорноземи, каштанові та сірі лісові ґрунти. Непридатні для нього бідні дерново-підзолисті, заболочені та кислі ґрунти.

Соняшник – холодо- і посухостійка рослина. У вологому ґрунті насіння може проростати при температурі +4-6 °С. Соняшник потребує багато води, його коренева система глибоко проникає в ґрунт, забезпечуючи рослину вологою. Саме тому він переносить посуху краще за інші польові культури. Сходи соняшника з'являються на 7-8-й день після сівби. Тривалість вегетаційного періоду за сприятливих умов становить 100-150 днів.

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

Найбільше поживних речовин потрібно йому у фазі повного цвітіння. За цей період він використовує близько 2/3 води і 50 % поживних речовин, які загалом засвоює за вегетацію. Соняшник є цінним медоносом. Як високостеблову рослину в степових районах його використовують на кулісних парах для снігозатримання. Зелена маса соняшника іде на корм худобі у свіжому або засилосованому вигляді. Попіл зі стебел містить близько 35 % оксиду калію, тому він є цінним добривом.

Соняшник поділяють на три основні типи: лузальний, межеумок та олійний. На Україні висівають здебільшого сорти соняшника олійного. Це високоврожайна культура, при належній агротехніці можна вирощувати в середньому до 20 ц/га насіння.

З районованих сортів олійного соняшника найбільш поширені ВНМК 883 поліпшений, ВНИИМК 6540 поліпшений, Армавірський 3497 поліпшений, Одеський 122, Почин, Донський 60, Восход та ін.

Кращими попередниками соняшника є озима пшениця, горох, ячмінь, овес, яра пшениця. Не слід висівати соняшник у повторних посівах, оскільки він уражується в таких посівах вовчком, борошнистою рососою, склеротинією, іржею та пошкоджується шкідниками. Система обробітку ґрунту під соняшник нічим не відрізняється від обробітку під інші ранні культури. Глибока оранка зябу до 28-30 см з наступним боронуванням значно підвищують врожайність соняшника та зменшують ураженість вовчком. Навесні при першій можливості закривають вологу, а потім проводять 1-2 передпосівні культивациї на глибину 6-8 см з одночасним боронуванням, а в посушливі роки – і з коткуванням.

Система удобрення соняшника передбачає внесення основного добрива під зяблеву оранку, навесні – під культивування або в рядки, а також підживлення. Як основне добриво восени вносять гній (15-20 т/га), разом з фосфорно-калійними добривами – 2-3 ц/га суперфосфату і 1-1,5 ц/га калійної солі

або хлористого калію. Підживлюють соняшник у фазі 2-3 листочки мінеральним добривом з розрахунку 15-20 кг/га. Загортають його на глибину 8-10 см на відстані 12-15 см від рядка. Дуже ефективне підживлення посівів азотними добривами. Для цього використовують також місцеві добрива: попіл, гноївку та ін.

Висівають соняшник, коли ґрунт на глибині 8-10 см прогріється до 6-8°C. Сіють у стислі строки – протягом 3-4 днів, пунктирним способом з шириною міжрядь 70 см. Норма висіву насіння становить 9-12 кг/га з загортанням в ґрунт на 6-8, а за посушливої погоди - 8-10 см.

Догляд за посівами починається з післяпосівного коткування з боронуванням легкими боронами. До появи сходів посіви боронують середніми боронами. Часто практикують післясходове боронування посівів. Наступний догляд за посівами полягає в обробітку міжрядь і підживленні. Міжряддя розпушують 2-3 рази на глибину 10-12 см. В разі недостатньої кількості опадів глибину наступних розпушувань зменшують до 7-8 см. Для боротьби з пустозерністю слід проводити додаткове запилення за допомогою бджіл або штучне. Для збирання врожаю використовують зернові комбайни, обладнані пристроями ПСП-1,5 або 34-103А. Ці пристрої зрізують кошики з нагнутих рослин і подрібнюють стебла та розкидають їх по полю.

Збирання врожаю розпочинають, коли 60-65 % кошиків побуріє. Запізнення із збиранням на 5-6 днів призводить до значних втрат насіння. Вимолочене насіння просушують на токах і очищують. Зберігають його за вологості до 7-8 %. Вологе насіння швидко гіркне і втрачає схожість.

1.2.2 Скорочення втрат насіння соняшнику в процесі збирання

Основними причинами втрат вже вирощеного врожаю є порушення строків і технології збирання, недосконалість технічних засобів та невідповідність їх до збиральних робіт.

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

Строки збирання. На 10-15-й день після наливання насіння соняшнику його вологість знижується і через 4-6 днів становить 12-14 %. Надалі спостерігається інтенсивна втрата вологи до 8 %, після чого вологовіддача уповільнюється. Із зменшенням вологи біологічної маси рослин зменшується зв'язок насіння з кошиками, тобто чим довгими є строки збирання, тим більшими є втрати насіння від самообсипання та самообмолоту. Особливо великими вони бувають у вітряну та дощову погоду.

Відзначимо, що у рослин, оброблених десикантом, у перші дні після обробки зв'язок насіння з кошиками вищий, ніж у необроблених. Однак надалі, коли вологість насіння становить 6-7 %, зв'язок зменшується, а втрати від самообмолоту зростають. Тому обробляти десикантами всю площу посіву не доцільно.

Із зменшенням вологи у насінні збільшуються його втрати не тільки на корені, а й за збиральними агрегатами. Під час збирання перестояного соняшнику вони різко зростають. Якщо при вологості насіння 12 % втрати не перевищують 2,5 %, то вже при 6 % вони збільшуються вдвічі. Для півдня оптимальним строком початку збирання є фаза, коли вологість насіння становить 14-15 %, а для районів з менш сприятливими умовами – 15-18 %.

Тривалість збирання визначається двома факторами - біологічним і господарським. Під час визначення тривалості збиральних робіт слід виходити з вартості втрат насіння на одиницю площі та мінімальної суми приведених витрат. З продовженням строків збирання збитки від втрат підвищуються, а скорочення їх передбачає концентрацію великої кількості техніки та значні поточні витрати на 1 га.

Строки збирання та потребу в технічних засобах можна скоротити, якщо у господарствах висівати два-три різні за строками досягання сорти (гібриди) соняшнику та правильно застосовувати такий важливий агротехнічний засіб, як десикація посівів. Важливою умовою збирання соняшнику без кі-

РОЗДІЛ 1

лькісних втрат та механічних пошкоджень насіння є правильне комплектування агрегатів та ретельна підготовка техніки до збирання. Основна частка втрат врожаю припадає на втрати за комбайном. Загальна величина втрат за збиральним агрегатом (вільного насіння, насіння у зрізаних та незрізаних кошиках, у полові та від недомолоту) для гібридів не повинна перевищувати 2 %, а для менш технологічних сортів – 3 %, пошкодженого насіння – відповідно 1,5 та 2,5%, у тому числі повністю обрушеного повинно бути лише 0,5 %, а чистота вороху – 95 %.

Темпи та якість збиральних робіт значною мірою залежать від підготовки полів до збирання. За два-три дні до початку збирання поле необхідно обкосити на ширину подвійного проходу комбайна та розбити на загінки, площа яких повинна дорівнювати 1-2-денній роботі одного агрегату або ланки. Ширину їх встановлюють з урахуванням врожайності та довжини гону.

Під час розбивки поля на загінки у місцях заповнення бункера комбайна насінням прокошуються поперечні транспортно-розвантажувальні магістралі, ширина яких повинна дорівнювати подвійному проходу агрегату. Якщо для боротьби з бур'янами проводилось підгортання, то зворотні смуги обов'язково обробляють важкою дисковою бороною у два сліди. Для збирання врожаю на всіх ділянках в оптимальні строки та зниження ураження кошиків гнилями доцільно на частині площ провести десикацію посівів.

З метою скорочення втрат насіння соняшнику при транспортуванні необхідно перед початком збирання підсипати ями, вибоїни, вирівняти профіль внутрішньогосподарських доріг і крутих поворотів тощо.

Для повнішого використання вантажопідйомності транспортних засобів їх борти нарощують так, щоб об'єм кузова був кратним об'єму бункерів комбайнів. Крім нарощування бортів, широко застосовують ущільнення кузовів автомобілів, тракторних причепів для усунення втрат насіння крізь щілини.

До бортів дерев'яного кузова прибивають планки товщиною 8-10 мм або смуги тонколистової сталі та прогумованої тканини, брезенту шириною 20-40 мм залежно від ширини щілини. Стики суміжних бортів та зазори між ними ущільнюють за допомогою тригранних дерев'яних брусків або грубої прогумованої тканини шириною 200 мм. Для запобігання втратам крізь щілини між бортом та днищем кузова до нижньої частини борту прикріплюють смугу прогумованої тканини так, щоб вона лягала на днище кузова. В цьому випадку під час навантаження насіння тканина щільно прилягає до днища.

При перевезенні насіння соняшнику необхідно застосувати намети, автозавіси. Це дозволить запобігти видуванню насіння з кузова зустрічним струменем повітря під час руху. Доцільно використовувати швидко-знімні намети. Для цього на автозавісу кріплять кілька поперечних планок або металевих прутків, які дорівнюють ширині кузова. Один край кріплять до переднього борту кузова, автозавісу розмотують на всю довжину кузова та за допомогою гачків фіксують на задньому борту. Для усунення поперечного зміщення на бокових бортах встановлюють фіксатори.

1.2.3 Післязбиральна обробка та зберігання насіння соняшника

Насіння соняшнику, яке доставляють від комбайнів на тік, практично ніколи не відповідає за вологістю та засміченістю базовим показникам. У зв'язку з цим воно має високу біологічну активність та схильне до швидкого псування.

Післязбиральна обробка насіння – важливий етап у системі заходів із збереження якості зібраного врожаю. Вона включає очищення насіння від органічних та механічних домішок.

Перший етап доведення насіння до відповідних кондицій – очищення. Його проводять для виділення з вороху господарсько-цінної частини врожаю насіння, звільнення від смітєвих (рештки стебел, листя, частки кошиків, порожнє насін-

РОЗДІЛ 1

ня, насіння інших рослин) та олійних домішок (обрушені і биті сім'янки). Наявність домішок у воросі підвищує вологість, що може призвести до погіршення поживних якостей насіння.

Залежно від цільового призначення врожаю ворох насіння піддають первинному (промислова сировина) або вторинному (насінний матеріал) очищенню. Для очищення (обробки) вороху використовують зерноочисні агрегати ЗАВ-20, ЗАВ-25, ЗАВ-40, а також ворохо-очисники ОВП-20А.

Перед обробкою вороху соняшнику всі агрегати слід очистити від зернових та сміттєвих домішок. Перевіряють технічний стан агрегатів, виконують технічне обслуговування, а якщо необхідно – ремонт. Підбирають та встановлюють решета залежно від складу вихідного матеріалу. Під час обробки промислової сировини встановлюють решета, форма та розміри отворів яких забезпечили б відокремлення насіння від великих та малих домішок.

Характерною особливістю соняшнику є висока наявність жиру, який погано зв'язує вологу, що призводить до нерівномірного розподілу її у насінні. Інтенсивність же біохімічних процесів, зокрема дихання, які підвищують або зменшують втрати під час зберігання, залежать не стільки від загальної вологи, скільки від вологи гідрофільної частини насіння. При загальній невеликій волозі концентрація її у гідрофільній частині (вуглеці та білку) дуже висока. Крім того, вологість вуглеців та білків підвищується із збільшенням кількості жиру в насінні. Для зменшення втрат соняшнику під час зберігання насіння необхідно доводити до більш сухого стану, ніж передбачено базисними кондиціями. В системі заходів щодо забезпечення збереження олійної сировини однією з основних технологічних операцій є первинна його обробка (сушіння). Організація та проведення цього процесу залежить від багатьох факторів, у тому числі від вихідної вологості та кислотності насіння, вимог наступних технологічних операцій, засобів сушіння та обладнання. Між режимами сушіння та кількі-

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

сними і якісними змінами олії існує пряма залежність. З підвищенням нагрівання насіння соняшнику ефективність його переробки знижується.

Для того, щоб насіння тривалий час зберігалось, його необхідно просушити до вологості 6-7 %, що дасть змогу не доводити гідрофільну масу до критичної межі – 14-14,5 %. Насіння вологістю від 16% до вологості 12% слід сушити протягом однієї доби, а вологістю більше 16% – до двох діб. Зберігати насіння з вологістю 10-12 % можна 8-9 діб. Пошкодження сім'янок соняшнику робочими органами сушильного обладнання не повинне перевищувати 1 %. Температура при нагріванні сім'янок під час сушіння в рухомому шарі не повинна перевищувати 50- 60°C, на барабанних та 55 – 65°C на пневмобарабанних сушарках – 55-65 °C, а при сушінні в нерухомому шарі – 45-55 °C.

Для сушіння насінневого матеріалу застосовують те саме сушильне обладнання, що й для промислової сировини.

Насінневий матеріал слід просушити до вологості 6-7%. Зниження вологи під час сушіння в рухомому шарі становить 3-4%, а у нерухомому – 0,6-1 % у годину за один пропуск. Сушити насінний матеріал в агрегатах типу АВМ не можна, тому що насіння нагрівається нерівномірно і знижується його схожість.

Для сушіння насіння соняшнику використовують шахтні сушарки СЗШ-8, СЗШ-16, СЗШ-16Р, які входять до зерноочисних комплексів КЗС-10, КСЗ-20Ш, КЗС-25Ш, КЗС-40Ш, барабанні СЗСБ-8, пневмобарабанні АВМ-0,65, СВ-1,5.

Шахтні сушарки забезпечують м'який режим сушіння як промислової сировини, так і насінневого матеріалу. Технологічні лінії комплексів КЗС дають змогу організувати безперервність, поточність технологічного процесу обробки вологого насіння. Барабанні та пневмобарабанні сушарки використовують в основному для сушіння промислової сировини. Барабанні можна використовувати і для сушіння насінного матеріалу.

РОЗДІЛ 1

Устаткування періодичної дії (бункери активного вентилявання, наземні пристрої) застосовують для охолодження, тимчасового зберігання і сушіння промислової сировини та насінневого матеріалу. Бункери активного вентилявання ефективні також у технологічних комплексах шахтних сушарок для охолодження та відлежування насіння.

Технологічна схема сушіння насіння зерноочисним комплексом КЗС-25Ш. Сушильні відділення завантажують з бункерів тимчасового зберігання у відділення попереднього очищення СП-50 після очищення насіння на машині попереднього очищення МПО-50. Після сушіння насіння надходить до бункера резерву та сухого зерна, а з нього – на остаточне очищення ЗВС-20А.

Насіння соняшнику, доведене до стійкого стану (вологість нижче 7 % та засміченість до 1 %), може зберігатися без значних втрат досить тривалий період.

Особам, які відповідають за зберігання, слід пам'ятати, що критична вологість повинна бути тим нижча, ніж вища олійність насіння. Процес самозігрівання через специфіку цієї культури може відбуватися особливо активно. Тому при зберіганні насіння необхідно постійно контролювати температуру, вологість, запах, ураженість сім'янок.

Зайве тепловиділення та самозігрівання насіння загрожує втратою вологості, призводить до потемніння ядра, підвищує кислотність, сприяє появі затхлого та гіркого смаку внаслідок розпаду органічних речовин. Самозігрівання насіння соняшнику значно зменшує вміст олії та масу насінин, погіршує товарний вигляд.

Підвищення кислотного та зменшення йодного чисел призводить до погіршення якості олії. Для зниження температури у партіях насіння, де почався процес зігрівання, необхідно застосувати активну обробку його атмосферним повітрям, пропускаючи насіння крізь зерноочисні машини, транспортери, використовуючи стаціонарні і пересувні устаткування.

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

Для сухого та середньої сухості насіння (7-8% вологості), призначеного на продовольчі цілі, обмежень по висоті насипу в сховищах немає, тоді як для насіннєвого матеріалу висота не повинна перевищувати 2 м у холодну пору року та 1,5 м – у теплу.

Насіння еліти та супереліти зберігається тільки у мішках висотою штабеля 6-8 рядків залежно від пори року. Для запобігання змішування в сховищах засіки з насінним матеріалом різних сортів та гібридів розташовувати поряд не рекомендується. Висота насипу насіння повинна бути на 15 см нижче краю засіку.

Розсипання насіння олійних культур в сховищах недопустимі. Великі втрати під час зберігання насіння можуть виникати через пошкодження їх шкідниками та ураження хворобами. Тому транспортні засоби необхідно дезінфікувати. Найдоцільнішою є аерозольна обробка насіння та сховищ. Слід постійно вести боротьбу з гризунами.

Виконання всього комплексу заходів щодо скорочення втрат насіння соняшнику дасть змогу збільшити обсяги виробництва та реалізації його у державні ресурси.

1.2.4 Ріпак

Ріпак – однорічна олійна рослина родини хрестоцвітих. Існують дві форми: ріпак ярий (кольза) і ріпак озимий, який має основне значення. Насіння ріпаку містить 35-50 % олії, яку використовують у виробництві біодизелю, лакофарбовій, миловарній, харчовій (маргариновій) та інших галузях промисловості. Макуху після пропарювання згодують худобі. Ріпак озимий вирощують також на зелений корм. Посіви ріпаку в Україні в XX столітті значно зменшилися (1940 – 91200 га, 1966 – 5700 га), однак у XXI столітті знову зросли.

Про ріпак було відомо ще за чотири тисячоліття до нашої ери. Ряд дослідників вважають його батьківщиною Європу, зокрема її північно-західні прибережні райони (приморські землі Швеції, Нідерландів і Великобританії), інші – Середзем-

РОЗДІЛ 1

номор'я. На користь останнього говорить той факт, що культура ріпаку походить з найвіддаленіших часів і була якнайбільше поширена в Азії, точніше – в Індії, куди вона, швидше за все, проникла з Середземномор'я.

До середини XIX ст. ріпак разом з іншими олійними хрестоцвітними (суріпицею і гірчицею) був в Європі досить поширеною культурою. Площа його посівів в одній тільки Німеччині сягала у той час 300 тис. га. Таке порівняно широке розповсюдження до цього часу культури ріпаку пояснюється використанням його олії для технічних потреб у зв'язку із загальним промисловим розвитком попиту на технічні оливи. Молода нафтова промисловість тоді ще не була в змозі задовольняти цей попит, і ріпак, що опинився в європейських агрокліматичних умовах однією з найпродуктивніших олійних рослин, широко культивувався.

Проте поява на міжнародних ринках великої кількості дешевих нафтопродуктів, у тому числі мінеральних олив для змащування і освітлення, викликала різке падіння обсягів вирощування ріпаку, особливо в Європі, де з 1909–1917 рр. площі під ріпаком скоротилися з 178 до 92 тис. га. В Азії посіви ріпаку продовжували триматися на більш-менш стабільному рівні, з року в рік займаючи (в основному в Індії, на яку доводилося 3/4 всієї світової площі ріпаку) від 2,5 до 3 млн. га. Вдосконалення методів очищення олії стало поштовхом до інтенсивного використання її як харчового продукту, особливо в Першу світову війну, коли виникла потреба в харчових оліях і жирах у Центральній Європі.

З Німеччини ріпак потрапив до Західної України, де на даний час посідає досить стійке становище. Значно раніше, очевидно, ще на початку XIX ст., і не з Середньої Європи, а з районів Середземномор'я культура ріпаку з'явилася на півдні України під назвою «ріпове сім'я».

Наприкінці XIX ст. разом з пом'якшенням хлібної кризи і підвищенням попиту світового ринку на зерно з боку Російської імперії, в основному на пшеницю, посіви ріпаку почали

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

скорочуватися. Разом з тим ріпак ще деякий час (аж до революції) утримувався в Україні, займаючи досить значні площі (порядку 30-40 тис. га) і залишаючись основною олійною культурою, оскільки соняшник займав тоді в Україні всього близько 10 тис. га.

До початку 50-х років виробництво ріпаку в СРСР було майже повністю згорнуто. Основна причина – інтенсивний розвиток виробництва соняшника, з яким ріпак не міг конкурувати економічно. Свою роль зіграла також відсутність продуктивних сортів і ефективних засобів захисту рослини від шкідників.

Завдяки можливості ефективного використання ріпаку для виготовлення біопалива на початку ХХІ ст. в Україні ця культура почала завойовувати все нові і нові площі. Зокрема, навіть німецькі виробники біопалива мали намір орендувати вже з 2008 року сільськогосподарських угідь в Україні площею у 50 тис. га, щоб забезпечити себе сировиною на тривалий час.

В 30-ті роки ріпак отримав відносно широке поширення у Великобританії, США і Новій Зеландії; дещо пізніше у Китаї. Макуха використовувалася на корм худобі. В Америці і Новій Зеландії ріпак застосовувався як зелений корм і сировина для приготування силосу.

Відведення під ріпак рекордної кількості площ і винятково високі урожаї (окрім Індії і Австралії) дозволили довести світове виробництво насіння ріпаку і канולי в 1999 р. до 42,5 млн. т. Особливо зросли збори ріпаку в Китаї, Індії, Канаді і країнах ЄС (Франції, Великобританії і Данії) завдяки політиці, спрямованій на підвищення самозабезпеченості регіону шротами та оліями і скорочення традиційного імпорту шроту американської сої. Проте вже з середини 80-х років, у зв'язку з перевиробництвом рослинних олій, в Євросоюзі проводяться заходи з обмеження зборів ріпаку.

Основні регіони світу з виробництва насіння ріпаку: Азія – 46,8 %, Європа – 30,3%, Північна Америка – 19,2 %.

РОЗДІЛ 1

Сьогодні ріпак як олійна культура особливо широко використовується в тих природних зонах, де більшість олійних культур не завжди і не скрізь надійно дозріває. Залежно від конкретних природних умов окремих країн і регіонів вирощують ярий (однорічний) або озимий (дворічний) ріпак. Останній дуже вимогливий до клімату, морозостійкість його невелика; ще більшу небезпеку, ніж люті морози, для нього представляють засуха або надлишок тепла в зимові місяці. Ярий ріпак (кольза – французька назва) менш вимогливий до кліматичних умов, але порівняно з озимим, менш урожайний і поступається йому в олійності.

У Канаді, наприклад, умови для озимого ріпаку несприятливі. Тому тут більшого поширення набув ярий ріпак, тоді як в європейських країнах із сприятливим кліматом (Німеччина, Польща, Франція, Великобританія та ін.) обробляють в основному озимий ріпак, врожайність якого в тих умовах вища, ніж у ярого майже удвічі. В Швеції приділяють однакову увагу обом формам ріпаку.

В континентальному кліматі Східної Європи обробіток озимого ріпаку є ризикованою справою. В більшості регіонів Росії, Білорусі, України та інших країн СНД слід вирощувати ярий ріпак, це підтверджують результати дослідів, проведених в Білорусі.

Головні експортери ріпаку у світі – Європа, Канада і Австралія; імпортери – Китай, Мексика, Японія, Бангладеш, Пакистан і низка інших країн.

Поліпшення якості ріпакової олії викликало у всьому світі різке збільшення попиту на неї. Обсяги виробництва ріпакової олії були вищими за обсяги виробництва соняшникової вже в 1985 р. і за 30 років збільшилися більш ніж у 8 разів, досягнувши в 1999 р. 127 млн. т. Ріпакова олія за обсягами виробництва стала третьою в світі після пальмової і соєвої.

Прикладом збільшеного попиту на ріпакову олію стало збільшення її експорту із США і Канади з початку 80-х років

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

більш ніж в 13 разів (з 3,7 до 49,2 тис. т). В світовій торгівлі ріпакова олія, включаючи гірчичну, за обсягом імпорту і експорту посідає четверте місце після пальмової, соєвої і соняшникової.

Нині в багатьох країнах ріпак обробляється, перш за все, як олійна культура. Канолова олія широко споживається в їжу у багатьох країнах світу: для смаження, салатів, виготовлення маргарину тощо. За смаковими якостями вона прирівнюється до маслинової, користується попитом і вважається однією із кращих рослинних олій. В США канолова олія з 1985 р. має офіційний статус безпечної для споживання людиною. Останнім часом поширеним стало використання ріпакової олії як сировини для виробництва біодизелю.

В насінні ріпаку міститься 35-50 % жиру, 19-31 % добре збалансованого за амінокислотним складом білка, 5-7 % клітковини. З насіння ріпаку добувають цінну олію, яку використовують у текстильній, поліграфічній, лакофарбовій, харчовій та інших галузях промисловості. Макуху з ріпаку згодують тваринам. У районах, де вирощують ріпак, доцільно займатися бджільництвом, оскільки він є добрим медоносом. Коренева система в ріпаку стрижнева, проникає в ґрунт на глибину до 3м. Стебло 100-200 см заввишки, округле, вкрите сизим нальотом, розгалужене. Листки теж сизі, неопушені, великі. Листки двох форм: нижні – з черешками, верхні – сидячі.

Квітки у ріпаку жовті, великі, зібрані в гронаподібні суцвіття. Плід – стручок з носиком 6-12 см завдовжки. Насіння дрібне, кулясте, темно-коричневого кольору.

Озимий ріпак – вологолюбна рослина. Ріпак вибагливий до родючості ґрунту. Кращими ґрунтами є чорноземи, темносірі та сірі опідзолені. Ріпак перехреснозапилена рослина. Велике значення для його запилення мають комахи, особливо бджоли.

Урожайність ріпаку, як і соняшнику, в регіонах і в розрізі окремих регіонів дуже відрізняються. Це вказує на те, що у вирощуванні ріпаку в Україні є великі резерви.

РОЗДІЛ 1

Сіють озимий ріпак у такі строки, щоб рослини добре укорінилися і мали розвинену розетку листків. На Україні його сіють у другій декаді серпня широкорядним способом з шириною міжрядь 45 см, на гектар висівають 8-10 кг насіння. На легких ґрунтах насіння загортають на глибину 3-4 см, на ущільнених і заливчастих - 2-3 см. Для кращого снігозатримання в міжряддя ріпаку підсівають насіння білої гірчиці (1-1,5 кг/га). Восени на посівах проводять міжрядний обробіток, а при останньому розпушенні міжрядь рослини підгортають, що захищає їх від вимерзання і вимокання.

Ріпак збирають роздільним способом, рідше прямим комбайнуванням. Обмолочене насіння підсушують до 7-8% вологості. Ріпак досягає нерівномірно, незрілі стручки розтріскуються, що призводить до значних втрат насіння (табл. 1.16).

Таблиця 1.16

Втрати насіння від розтріскування стручків ріпаку

| Урожайність насіння, ц/га | Зниження врожайності (ц/га) залежно від відсотка розтріскуваних стручків | | |
|---------------------------|--|-----|-----|
| | 5% | 10% | 15% |
| 20 | 1 | 2 | 3 |
| 30 | 1,5 | 3 | 4,5 |
| 40 | 2 | 4 | 6 |

Для зменшення втрат насіння під час збирання посіви обприскують регулятором росту рослин Nu-Film 96EC (д. р. di-1-P-mentenu). Цей препарат створює міцну, еластичну водостійку плівку, яка склеює стручки і запобігає розтріскуванню. Плівка обмежує надходження води до стручків, одночасно вода легко втрачається назовні. Плівка настільки еластична, що легко розтягується в міру збільшення маси насінин в стручку. Рослини після внесення препарату не засихають, продовжують вегетувати та нагромаджувати пластичні речовини в процесі фотосинтезу. Це важливо, адже стручки ріпаку формують понад 80% врожаю. В останні дні достигання приріст

ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

урожаю є найвищим. Тобто цей препарат не діє як десикант. Стручки рівномірно досягають і підсихають. Вносять Nu-Film 96ЕС приблизно за три тижні до збирання з нормою 0,7 л/га.

Ріпак збирається як роздільним способом, так і прямим комбайнуванням. Рослини скошують у валки, коли нижні листки опадають, 50% стручків набувають лимонно-жовтого кольору, насіння світло-вишневе, вологість 25-35%. Косять жатками ЖВП-6; ЖВП-4,9; ЖВН-6; ЖБА-3,5; ЖРБ-4,2 зі швидкістю 4-6 км/год. Зріз високий 20-25 см, щоб не відрізалась нижні стручки. Косити і обмолочувати бажано вранці і ввечері. Швидкість мотивиля дорівнює швидкості жатки.

Через 3-6 днів після скошування, коли вологість насіння знижується до 10-12%, валки обмолочують комбайнами Джон Дір, Клаас, Кейс, Массей Фергюсон, Лан, Славутич, СК-5 "Нива" з пристосуванням ПКК-5. Використовують підбирачі ППТ-3. Для зменшення втрат насіння обмолот доцільно проводити вранці, увечері та вночі. Роздільне збирання рекомендується проводити на площах, що забур'янені ромашкою, підмаренником чіпким, або з нерівномірним досяганням рослин ріпаку. За рівномірного досягання та на чистих посівах проводять лише пряме комбайнування.

Прямим комбайнуванням ріпак збирають за настання технологічної стиглості (вологість 10-15%), але до початку розтріскування стручків. Насіння темно-коричневе чи чорне, тверде. При дотику до рослин насіння має «шелестіти» в стручках. Оптимальна вологість 12%. Збирання за вологості нижче 10% не рекомендується через великі втрати. За вологості більше 14% сильно зростають затрати на сушіння.

Значно запобігає втратам насіння обладнання комбайна пасивним дільником або бічним ножом та видовження підлоги жатки, встановлення подовженого ріжучого апарату (так званий "ріпаковий стіл"). Тільки за допомогою ріпакового столу насіння, що вилітає з стручків уже під час зрізування стебел, попадає в жатку, а не на землю. На відміну від зернових куль-

РОЗДІЛ 1

тур, ріпак добре обмолочується і вночі, що дає можливість цілодобового використання техніки.

Для прискорення і одночасного дозрівання проводять десикацію за 7-10 днів до збирання реглоном (2-3 л/га). За 12-14 днів до збирання врожаю використовують десикант баста (1,5 л/га). На запирієних площах доцільно використати за 2 тижні до збирання гербіцид раундап (3 л/га), домінатор (3л/га), гліфоган (3л/га). Вони знищують бур'яни і підсушують рослини. Десикація зменшує втрати насіння при збиранні і економить витрати енергії на досушування насіння.

Для тривалого зберігання вологість насіння необхідно довести до 6-8%. Насіння при надходженні на тік негайно очищують і сушать. За підвищеної вологості за 1-2 дні воно біліє, пліснявіє і втрачає схожість, а також технологічні якості. Тривалість зберігання ріпаку наведена в таблиці 1.17.

Таблиця 1.17

**Максимальні терміни зберігання ріпаку (в тижнях)
залежно від температури зберігання та вологості насіння
(за А.Шіхерт)**

| Температура зберігання, °С | Вологість очищеного насіння, % | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 17 |
| 25 | 16 | 9 | 5 | 2,5 | 1 | - |
| 20 | 32 | 19 | 10 | 5 | 2 | 0,5 |
| 15 | 65 | 40 | 20 | 10 | 4 | 1 |
| 10 | 160 | 90 | 50 | 21 | 8,5 | 2 |
| 5 | 400 | 200 | 120 | 50 | 17 | 5 |

1.2.5 Соя

Цінність сої в тому, що в її насінні міститься 33-52 % білка і 17-25 % олії. З сої добувають смачну продовольчу олію, виготовляють маргарин, соєвий сир, молоко, муку, консерви та ін. Олію використовують у лакофарбовій промисловості,

при виготовленні мила і гліцерину. Соя має високі кормові якості. Макуха є цінним концентрованим кормом. Відомо більше 40 видів сої.

На Україні вирощують такі високоурожайні сорти: Херсонську 908, Букурію, Іскру, Білосніжку, Кіровоградську та ін. Кращими попередниками для сої є просапні культури або озима пшениця.

Сою сіють пізно, коли ґрунт прогріється на глибину 10 см до 10 °С. В Україні сою сіють широкорядним способом з шириною міжрядь 45 см, а при нестачі вологи – 60 см. Норма висіву 40-65 кг/га, глибина сівби 5-8 см. За період вегетації міжряддя 2-3 рази розпушують. Збирають сою роздільним способом і прямим комбайнуванням.

1.2.6 Льон-кудряш (льон олійний)

З насіння льону-кудряшу добувають високоякісну олію для лакофарбової промисловості, рідше використовують як продукт харчування. Макуха високопоживна, її добре поїдають тварини.

Льон-кудряш належить до родини льонових. Коренева система в нього розвинена слабо. Сама рослина низькоросла – до 50 см заввишки, стебло при основі дуже розгалужене і має 15-20 плодів-коробочок. Вміст олії 45-48 %.

Льон-кудряш – світлолюбна рослина. Насіння проростає при 3- 4 °С. Сходи легко витримують приморозки більш як - 4°С. У сівозмінах льон олійний розміщують після озимої пшениці, картоплі, зернобобових і баштанних культур. ґрунт обробляють, як і під ранні ярі культури. Добрива вносять під зяблеву оранку і в рядки при сівбі.

Сіють льон олійний одночасно з ранніми ярими культурами звичайним рядковим або вузькорядним способом з нормою висіву 50-80 кг/га. Якщо поле забур'янене, то застосовують широкорядну сівбу з шириною міжрядь 45 см.

Глибина загортання насіння 3-6 см. На посівах знищують ґрунтову кірку, шкідників і бур'яни. На насіння льон зби-

рають у фазі повної стиглості. Якщо ж льон вирощують на насіння і волокно, то його збирають льонотеребилками і льонокмбайнами у фазі жовтої стиглості.

1.2.7 Гірчиця

З насіння гірчиці добувають продовольчу олію. У сарептській гірчиці накопичується до 47 % олії, а в білій 30-40%. Олію використовують також у текстильній промисловості. Макуха має шкідливі глюкозиди, тому на корм її не використовують. Гірчицю інколи висівають на зелене добриво.

На Україні під гірчицею зайняті невеликі площі, тут в основному культивують сарептську гірчицю. Середня врожайність білої та сарептської гірчиці становить 12-15 ц/га. Гірчиця – однорічна трав'яна рослина, має добре розвинену кореневу систему, стебло 25-80 см заввишки. У білої гірчиці стебла, листки і плоди дуже опушені. Листки перисторозсічені, суцвіття – китиця, плід – стручок, насіння кулясте.

Сарептська гірчиця більш вибаглива до ґрунтів, ніж біла, проте вона більш посухо- і жаростійка. Насіння її проростає при температурі 2-3°C, може витримувати заморозки до мінус 5 °С.

Гірчиця біла – холодостійка і вологолюбна рослина, насіння її проростає при 1-2 °С тепла.

Сіють гірчицю після озимини або просапних культур. Ґрунт обробляють так, як і під ярі зернові культури. Під зяблеву оранку вносять мінеральні добрива: N і P₂O₅ - 20- 30 кг/га, K₂O -60-90 кг/га.

Гірчицю сіють рано навесні суцільним посівом з нормою висіву 10-12 кг/га сарептської гірчиці і 15-16 кг/га білої. Глибина висіву – 2-4 см. Якщо поле забур'янене, то висівають широкорядно з міжряддям 45 см. У період вегетації на посівах гірчиці знищують ґрунтову кірку, бур'яни і шкідників. Збирають сарептську гірчицю роздільним способом у фазі воскової стиглості насіння. Біла гірчиця менш осипається, тому її збирають у фазі повної стиглості прямим комбайнуванням.

1.2.8 Рицина

З насіння рицини добувають дуже цінну олію для технічних потреб, її широко використовують також і в медицині.

Рицина – давня культура. Походить вона з Африки. Поширена в Індії, Китаї, Греції. Посівна площа її в Україні становить більш як 10 тис. га.

Урожайність насіння рицини при належній агротехніці може досягати 5ц/га і більше. Рицина належить до родини молочайних. Це рослини з високим стеблом, мають добре розвинену кореневу систему. У багаторічної рицини стебло досягає 10 м заввишки і живе до 10 років. Листки великі, черешкові, пальчасто-роздільні, квітки роздільностатеві, зібрані у великі грона. Чоловічі квітки розташовані в нижній частині суцвіття, жіночі - у верхній. Плоди крупні, тригнізді коробочки. Насіння крупне з блискучою оболонкою. Маса 1000 насінин – від 80 до 1000 г. В насінні може міститися до 59 % олії.

Насіння проростає при температурі 10-12 °С. Рослини не витримують приморозків. Краще росте на чорноземних ґрунтах, високі врожаї вирощують при зрошуванні. Найбільш поширені на Україні такі сорти: Кубанська 15, Донська та Червона.

Вирощують рицину в просапному клині після озимої пшениці, зернобобових, кукурудзи. Система осіннього і весняного обробітку ґрунту аналогічна обробітку під соняшник. Під рицину вносять органічні добрива (15-20 т/га гною) і мінеральні – з розрахунку 45 кг/га азоту і 60 кг/га фосфору.

Сіють рицину тоді, коли ґрунт прогріється до 10-12 °С. Спосіб сівби квадратно-гніздовий - 70X70 см з висіванням у кожне гніздо по 3-4 насінини, що становить 15-25 кг/га. Глибина загортання насіння 7-10 см. За період вегетації посіви боронують і не менш як 2-3 рази обробляють міжряддя.

Збирають рицину в 2-3 строки у міру досягання грон. У зібраних гронах при висиханні частина коробочок розтріскується і насіння висипається (відбувається самообмолот), а не-

розкриті коробочки домолочують комбайнами. Насіння зберігають при 10 %-й вологості.

1.2.9 Арахіс (земляний горіх)

Арахіс – високоолійна культура. У його насінні міститься 45-60 % олії, 25- 37 % білка. З олії арахісу виготовляють маргарин, консерви, кондитерські вироби. Поживність вегетативної маси арахісу дорівнює поживності маси конюшини.

Арахіс однорічна бобова рослина. Стебло трав'янисте, розгалужене, 30-50 см заввишки, з парноперистими листками. Квітки двох типів: надземні – перехреснозапильні, підземні – самозапильні. Плід – біб з сітчастою оболонкою. Плоди формуються в ґрунті.

Арахіс – теплолюбна рослина, насіння його проростає при температурі 13-15 °С, під час заморозків гине. Арахіс добре розвивається на супіщаних чорноземах і суглинистих ґрунтах. На Україні поширені такі сорти: Степняк і Краснодарський 1708.

Арахіс – культура просапного клину. Розміщують його після озимої пшениці, баштанних культур, кукурудзи, ячменю. Під арахіс проводять глибоку зяблеву оранку на глибину 25-30 см. Навесні ґрунт обробляють, як і під пізні ярі зернові чи зернобобові культури.

Під зяблеву оранку доцільно вносити азотні й фосфорні добрива (45кг/га N і 120 кг/га P₂O₅). Вносять добрива також при підживленні. Сіють арахіс тоді, коли ґрунт на глибині 10 см прогрівається до 14-15°С. Після сівби поле боронують, а при появі сходів розпочинають міжрядний обробіток. Внаслідок підгортання арахісу створюються кращі умови для формування плодів, особливо для надземних зав'язей. Підгортати арахіс найкраще через 20-25 днів після початку цвітіння. Арахіс дає високі врожаї на зрошуваних землях. Збирають арахіс у суху погоду спеціальними арахісозбиральними машинами, які підорюють кущі. Підбирають рослини вручну, складаючи

їх у копилі для підсушування. Боби від стебел відокремлюють машинами АМ-4. Зберігають боби при 8-10% вологості.

1.2.10 Рижій

З насіння рижію добувають олію, яку використовують для виготовлення фарб, лаків, оліфи. Для харчування рижієва олія великого значення не має. На території України рижій вирощують у Лісостепу і на Поліссі. Урожайність його невисока – 7-10 ц/га. Рижій має невисоке стебло – до 80 см заввишки, вкрите ланцетними листками, квітки дрібні, самозапильні, блідо-рожевого кольору. Суцвіття – китиця, плід – стручков. Насіння дрібне, жовтого або коричневого кольору, містить 30-45% олії. Коренева система стрижнева, проникає в ґрунт на глибину 40-60 см. Рижій – холодостійка, з коротким вегетаційним періодом (80-100 днів) культура. Насіння проростає при 1°C тепла. До ґрунтів невибагливий. Кращими попередниками для рижію є просапні та озимі зернові культури. Підготовка ґрунту для посіву рижію подібна до обробітку під інші ранні ярі культури.

Після збирання врожаю необхідно забезпечити якнайбільш якісне та довготривале збереження зернової продукції, для чого зерно зазвичай висушують. Аналіз сучасного стану розвитку технологій сушіння зерна та їх технічної реалізації представлено в розділі 2.

РОЗДІЛ 1

Література до розділу 1

1. Загальна гігієна з основами екології. Підручник. – К., 2003.
2. *Злобін Ю.А.* Основи екології / Ю.А. Злобін. – К.: Лібра, 1998 с. – 249.
3. *Корсак К.В.* Основи екології / К.В. Корсак, О.В. Плахотнік. – К.: МАУП, 2000. – 238 с.
4. *Бриндзя З.Ф.* Система технологій в рослинництві. Навчальний посібник / З.Ф. Бриндзя, І.О. Джула. – Тернопіль: Консультаційний центр. – 2000, 188 с.
5. *Сафаров А.Ф.* Влаготепловая обработка масличных культур: дис. доктора техн. наук. Ташкент. 1991. – 288 с.
6. *Кияк С.Г.* Рослинництво/ С.Г. Кияк. – К.: Вища школа, 1982.
7. *Бугай С.М.* Рослинництво/ С.М. Бугай. – К.: Вища школа, 1987.
8. *Польський Б.М.* Основи сільського господарства. Практикум / Б.М.Польський, М.І.Стеблянко, Р.Д. Чмир, В.С. Яворський. – К.: Вища школа.
9. Довідник агронома / Упоряд. В.А. Кононюк., та ін.; за ред. Л.Л. Зіневича. – К.: Урожай, 1985.
10. *Рубін С.С.* Землеробство/ С.С. Рубін. – К.: - Вища школа, 1980.
11. Статистична інформація [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Державного комітету статистики України – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІКИ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА

2.1 Сушіння як спосіб консервування зерна

Сушіння зерна як технологічний прийом відоме давно як спосіб запобігання псуванню зерна, яке не знаходило тимчасового збуту, і його необхідно було привести до стійкого стану для довгострокового зберігання [4, 10, 17]. Збільшення виробництва зерна господарствами України нерозривно пов'язане з необхідністю постійного удосконалення технології проведення базових операцій післязбиравальної обробки зерна і, насамперед, сушіння, оскільки саме ця кінцева операція визначає якість збереження зібраного врожаю.

Свіжозібране зерно (зерновий ворох з-під комбайнів) являє собою колоїдні капілярно-пористі тіла, які складаються із сухої речовини, води і повітря. В зерні, як і в будь-якому живому організмі, протікають різноманітні життєві процеси, в тому числі і дихання.

Важливими факторами, що визначають інтенсивність біологічних і біохімічних процесів у зерні, є його температура і вологість. При підвищених вологості і температурі процес дихання підсилюється, і в результаті, підвищується інтенсивність виділення теплоти і втрати маси [6, 23]. «Джерела» самозігрівання, що при цьому виникають, сприяють розмноженню мікроорганізмів, шкідливих комах, знижують продовольчу якість зерна і спричиняють псування насіння. Але вже при вологості зерна 14% та нижче зернини знаходяться в стані анабіозу, тобто їх життєдіяльність і дихання стають мінімальними. Таким чином основним призначенням сушіння є видалення надлишкової вологи із зерна для підвищення його стійкості при подальшому зберіганні.

Основними вимогами до процесу сушіння є збереження і підвищення технологічної якості зерна. При сушінні мають

повністю зберігатись і, по можливості, покращуватись у відповідності до його призначення властивості зерна: колір, форма, зовнішній вигляд, життєздатність, кормова і продовольча якість.

При зниженні вологості зерна створюються несприятливі умови для розвитку та існування шкідників. Високі температури, що застосовують при відповідній експозиції нагрівання, служать дієвим заходом для знищення шкідників. У порівнянні з іншими способами знезараження зерна (хімічний, механічний тощо) тепловий спосіб має значні переваги.

Таким чином сушіння, яке дозволяє щорічно зберігати та переробити сотні тисяч тонн зібраного врожаю зерна, покращувати його якість, має велике народно-господарське значення. Це визначає мету і завдання подальшого вдосконалення технології і технічних засобів сушіння зерна.

2.2 Теоретичні основи сушіння

Насіння олійних культур також належать до колоїдних капілярно-пористих матеріалів. Вони можуть поглинати або віддавати в атмосферу вологу, яка пов'язана всередині насіння різними формами енергії. Відповідно до класифікації Ребіндера, у таких тілах зустрічаються наступні форми енергії зв'язку вологи:

- **хімічна** – характер зв'язку кристалічний або хімічний. Ця волога зв'язується з великим виділенням теплоти і в чітко стехіометричному співвідношенні та утримується найбільш міцно. Цей зв'язок може бути зруйнованим або шляхом хімічного впливу, або нагріванням до високих температур, наприклад, прожарюванням. При сушінні ця волога не видаляється.

- **фізико-хімічна** – ця форма зв'язку припускає наявність адсорбційно-зв'язаної, осмотично поглинутої та структурної вологи і міститься в різних, не однозначно визначених співвідношеннях:

а) **адсорбційна форма** зв'язку вологи – найбільш міцна в цій групі, що сорбується знову з виділенням теплоти. Найбільша кількість теплоти виділяється при утворення першого мономолекулярного шару води, який знаходиться під величезним тиском, обумовленим молекулярним силовим полем. Мономолекулярний шар утримується найбільш міцно, при сушінні не видаляється;

б) **осмотична форма** передбачає менш міцніший зв'язок. Поглинання цієї вологи відбувається без виділення теплоти. До цього типу вологи відносять і внутрішньоклітинну вологу, поглинається насінням в процесі росту при формуванні гелю;

в) **структурна форма** – це волога набухання. Кількість осмотично поглинутої та структурної вологи в багато разів перевищує вміст адсорбційно-пов'язаної вологи.

- **механічна** – включає капілярну форму енергії зв'язку і змочування:

а) **капілярна** – це волога, що поглинута макро- і мікрокапілярами. Капілярний зв'язок обумовлений капілярним тиском і поверхневим натягом;

б) **змочування**, що утримується дією поверхневих сил. Ця форма зв'язку найменш міцна.

Характер видалення вологи перебуває в безпосередній залежності від форм енергії та її зв'язку з матеріалом, наприклад, для видалення адсорбційно-пов'язаної вологи необхідно перетворити її на пару, адже волога макрокапілярів в основному переміщається капілярами у вигляді рідини, а волога набухання – шляхом дифузії крізь стінки клітин.

Особливості протікання процесу сушіння, характер десорбції вологи описується **кривими сушіння** (рис. 2.1), які показують залежність відносної вологості насіння W , тобто вологості, вираженої у відсотках відносно сухої маси, від часу сушіння τ . На кривих сушіння можна побачити яскраво виражені три періоди:

РОЗДІЛ 2

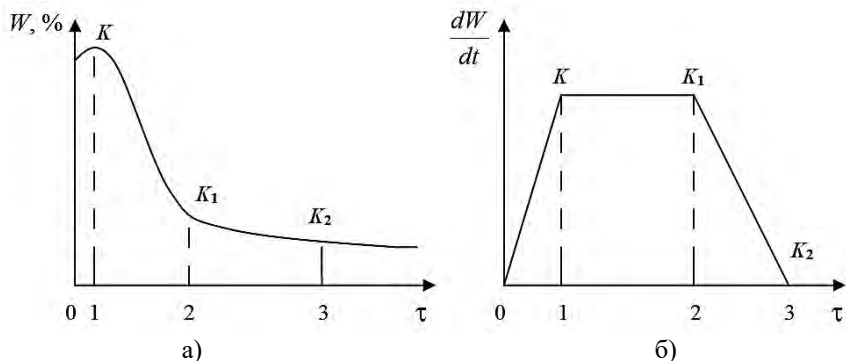


Рис. 2.1. Крива сушіння (а) і швидкості сушіння (б) колоїдного капілярно-пористого тіла

0 – 1: період прогріву матеріалу до температури випаровування вологи в даних умовах або температури мокрого термометра (вологість плавно і несуттєво змінюється, поки матеріал не прогрівся);

1 – 2: ділянка постійної швидкості випаровування. Тут не відбувається подальшого розігріву насінневої маси, а вся теплота витрачається на випаровування вологи. Точка K_1 відповідає кінцю прямолінійної ділянки і значенню критичної вологості матеріалу;

2 – 3: період зниження швидкості сушіння.

Після точки K_2 крива виходить на пряму горизонтальну лінію, яка характеризує рівномірну вологість матеріалу. Швидкість сушіння матеріалу дорівнює нулю, процес завершується [14, 15].

Насіннева маса має високу теплову інерцію, тобто повільно нагрівається і повільно віддає теплоту. Тому при сушінні насіннева маса ніколи не досягає температури сушильного агента. Проте, за температурою насіння при сушінні необхідно стежити. Для різних культур ця температура різна, але, орієнтовно, для насіння в середньому вона не повинна бути більшою за 70°C .

2.3 Основні способи та технологічні режими сушіння

Сучасна технологія зерносушіння базується, в основному, на **методі теплового сушіння**, коли волога із зерна видаляється на його поверхню, а з поверхні випаровується в навколишнє середовище. Тобто в основі способу лежить принцип використання теплоти для переведення води з рідкого стану в газоподібний, що пов'язано із значними затратами теплоти.

Аналіз різних способів теплового сушіння зерна подано в узагальнюючих роботах багатьох авторів: А.С. Гінзбурга [15, 18], В.І.Жидко [24-26], С.Д. Птіцина [39], М.І. Маліна [32], В.І. Атаназевича [8], А.Е. Баума [10], Г.М. Станкевича [42], Бурдо О.Г. [14], Ю.О. Чурсинова [44] та інших.

За основу класифікації методів сушіння зазвичай беруть способи передачі теплоти матеріалу, що висушується. Основні способи сушіння:

1. **теплове сушіння**, поділене за способом передачі теплоти на:

а) **конвективний** – здійснюється конвекцією від нагрітого сушильного агента. Спосіб найбільш старий, простий, але не найефективніший. Тепловий потік і потік вологи, що випаровується, не збігаються, вони зустрічні, тому випаровування вологи гальмується (рис. 2.2, а).

б) **кондуктивний** – здійснюється за рахунок теплопередачі від нагрітої поверхні до насінневої маси. Для цього зазвичай використовується нагрітий транспортер. Тепловий потік і потік вологи збігаються за напрямком, тому ефективність видалення вологи вища (рис. 2.2, б).

в) **терморадіаційний** – здійснюється під дією ІЧ-випромінювання, яке виробляється генераторами ІЧ-променів. В якості генератора ІЧ-променів використовують спеціальні лампи, а також нагріті до певної температури металеві або керамічні поверхні.

РОЗДІЛ 2

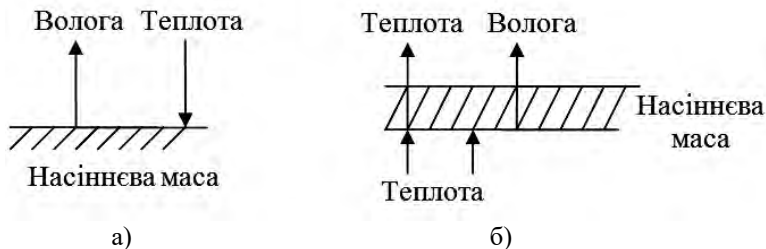


Рис. 2.2. Схема потоків при конвективному (а) і кондуктивному (б) сушінні

Насіння, що поглинають ІЧ-промені, нагріваються зсередини і висихають. При використанні даного способу відбувається розігрів кожної насінини, теплообмін не відіграє суттєвої ролі, і єдиним обмежуючим фактором є прозорість шару насіння для ІЧ-променів, тобто вони повинні проходити крізь увесь шар, тому його товщина не повинна перевищувати 15 мм. Напрямок теплового і парового потоків збігаються. Лампові радіаційні сушарки відрізняються малою теплоінертністю, прості й порівняно безпечні в експлуатації. Метод достатньо ефективний, але мало поширений, тому що такі сушарки мають низький ККД і велику витрату електроенергії.

г) сушіння *струмами високої частоти*. Високочастотними електричними генераторами створюється електричне поле, в яке поміщається насіннева маса. За рахунок вихрових потоків насіння приводяться в високочастотні коливання, і нагрівання відбувається частково за рахунок тертя і частково за рахунок вихрових струмів у самому насінні. Частина електричної енергії перетворюється в теплову. Спосіб належить до ефективних, оскільки при такому способі сушіння матеріал нагрівається дуже швидко, температурний градієнт має той же напрям, що і градієнт вологості, тобто від центру до периферії насіння, що сприяє переміщенню вологи із внутрішніх шарів матеріалу до поверхні. Але спосіб дуже енергоємний - витрата електроенергії в два з гаком рази більше, ніж при конвективному сушінні.

2. **Контактне (сорбційне) сушіння.** Сутність його полягає в передачі вологи від висушеної насінневої маси до сорбенту, тобто до якоїсь речовини з високою гігроскопічністю (наприклад, сілікагель). Можна також змішати сиру насінневу масу з висушеним насінням, при цьому вологість вирівнюється.

3. **Вакуумне сушіння.** Переваги його полягають в тому, що при штучному зменшенні тиску повітря над насінням волога з них випаровується при більш низьких температурах, що дозволить зберегти якість насіння. Такий спосіб сушіння підвищує інтенсивність процесу при більш низькій температурі нагрівання насіння. Підігрів насіння відбувається від нагрітої поверхні, тобто кондуктивним методом. Насіння переміщуються нагрітим транспортером в камері, де вакуум-насосом створюється розрідження. Чим вища різниця температур між поверхнею, що гріє і насінням, а також глибше вакуум, тим ефективніше сушіння.

Позитивною рисою способу є наступні ознаки: процес відбувається при більш низькій температурі, сушіння більш рівномірне, витрата повітря менша, ніж при звичайному тиску. Негативними сторонами способу є: підвищена витрата електроенергії, висока вартість, необхідність герметичності установки.

4. **Сушіння в киплячому шарі.** Процес сушіння інтенсифікується за рахунок зміни структури шару – переходу від щільного до розпушеного, що значно збільшує активну поверхню. Проводиться в ротаційній установці: шар насіння висотою 450 мм, температура сушильного агента 180...200°C. Швидкість і кількість сушильного агента повинні забезпечувати утримання в повітрі насіння. Залежно від вихідної вологості насіння нагріваються до температури 75...98 ° C. Недоліком способу є дуже швидке нагрівання насіння до високої температури, в результаті чого можливе, незважаючи на невелику тривалість процесу, погіршення якості насіння і олії. У

РОЗДІЛ 2

зв'язку з цим доцільно застосувати осцилюючий режим, тобто чергування періодів нагрівання й охолодження насіння.

5. Комбінований спосіб – це поєднання кількох способів, здебільшого поєднують вакуумне сушіння з конвективним, терморадіаційне з конвективним.

6. Механічний метод видалення вологи застосовується при наявності надлишку кількості поверхневої вологи, яку можна видалити центрифугуванням, віджиманням тощо.

Найбільш поширеним з усіх розглянутих методів є конвективний метод. В якості сушильного агента використовується повітря, що нагрівають в калориферах електрикою, паром; застосовується також суміш повітря з теплими газами.

За способом подачі насіння на стадію сушіння розрізняють такі способи сушіння:

- у щільному нерухомому шарі;
- у щільному рухомому шарі;
- у частково підвішеному стані;
- у псевдозрідженому (киплячому) шарі.

Вибір технології і режиму сушіння зерна залежить від його початкової вологості і кінцевого призначення продукту: продовольче або фуражне зерно, насіння.

Вологість зерна визначає стійкість його якісних показників при тепловому впливі нагріванні. Так, за даними академіка В.П. Горячкіна, сухе насіннєве зерно вологістю близько 3% можна без шкоди для схожості нагрівати до температури 110...120°C протягом 20 хвилин, а в той же час сирі та вологі зерна значно втрачають схожість уже при нагріванні до 60...65°C. Виходячи з практично отриманих даних, він рекомендував для сушіння продовольчого зерна застосовувати температуру агента сушіння 60...65°C, а насіннєвого 40...45°C [10].

Подальший розвиток технологій і технічних засобів сушіння зерна дав можливість застосовувати більші значення температури сушильного агента і збільшувати температуру нагріву насіння до 40°C, а продовольчого зерна до 50...55°C.

Ступінь чутливості зерна з-під комбайну значно залежить від його вологості і експозиції нагрівання, тобто часу дії високої температури.

Застосування високих температур на початку процесу сушіння вологого зерна призводить до швидкого зневоднення його поверхні, що робить оболонки менш проникними для вологи (явище теплового «закалу» зерна) і може призвести до розтріскування. В цих умовах у поверхневому шарі утворюється водяна пара, вихід якої ускладнюється. Спостерігається гідроліз крохмалю і погіршення якості зерна [23, 25].

Для усунення цих негативних явищ застосовують ступінчасті режими нагрівання або **ступінчастий спосіб сушіння**. Суть його полягає у тому, що перший етап проводять при низькій температурі і великій швидкості сушильного агента, а при зменшенні вологості зерна температура агента сушіння підвищується [2, 24, 25].

Визначенням межі застосування підвищених значень температури нагріву в зерні і відповідних режимів сушіння в лабораторних і виробничих умовах займались С.Д. Птіцин, М.Г. Голік, В.С. Уколов, В.І. Атаназевич, М. Хатчинсон та інші. В результаті було встановлено, що чим нижча вологість зерна, тим вищою може бути температура його нагріву і протягом більшого часу впливу без погіршення якості зерна.

Величина крайової температури нагріву зерна визначається емпіричними формулами [39]:

– М. Хатчинсона

$$\theta_{кр} = 122,0 - 5,41 \lg \tau - 44 \lg W ; \quad (2.1)$$

– С.Д. Птіцина

$$\theta_{кр} = \frac{2350}{0,37(100 - W) + W} + 20 - 10 \lg \tau, \quad (2.2)$$

де W – середня вологість зерна;

τ – час знаходження зерна у нагрітому стані.

РОЗДІЛ 2

Основними параметрами режиму сушіння є температура і швидкість сушильного агенту, температура (крайова) нагріву зерна у сушильній камері, товщина шару зерна в напрямку руху сушильного агенту і експозиція процесу нагрівання (і охолодження) зерна.

Існуючі (рекомендовані) режими сушіння досить повно висвітлені та проаналізовані в літературі [8, 14, 10, 24, 28, 38]. Режими сушіння зерна і насіння різних культур в установках різного типу регламентовані «Інструкцією по сушінню...» [28] залежно від призначення зерна, його властивостей для різних груп вологості.

Для шахтних зерносушарок передбачені одноступінчасті і диференційовані режими сушіння зерна пшениці, за умови яких температура сушильного агенту призначається від 90 до 160°C (залежно від вологості, а при диференційованих режимах – залежно від клітковини) яка ступінчасто збільшується від напрямку руху зерна в шахті. Як показано В.І. Алєйніковим [2, 3], внаслідок прийнятої висхідної зміни температури сушильного агенту зерно повільно нагрівається в шахті, і його температура досягає крайового значення тільки в кінці сушильної зони. Висхідні та диференційні режими обґрунтовувались рядом дослідників (А.П. Гержой, М.А. Скороваров, Н.І. Соседов) необхідністю поступового нагріву зерна для виключення «закалу» зерна. М.Н. Любарським та П.Н. Платоновим рекомендовані режими, що базуються на залежності біологічних змін при нагріванні зерна, від вологості і часу термічного впливу. В запропонованих режимах [24] передбачалось підвищення нагріву зерна у процесі зниження його вологості у відповідності межі «умовно-безпечних» температур. Так, в режимі після досягнення зерном температури 50°C подальше поетапне підвищення його температури до 70°C дозволяє збільшити вологовіддачу зерна на 55...79% [25]. Потрібно зауважити, що з термодинамічної точки зору підвищення початкової температури завжди доцільно, оскільки при цьому збільшується термічний ККД сушарки [21, 30].

Для підвищення економічності і продуктивності шахтних сушарок П.М. Платоновим і В.І. Жидко розроблені низхідні прогресивні режими, за умов яких зерно нагрівається до 35...40°C в кінці 0,25 висоти сушильної зони шахти. В цю зону прогріву подається сушильний агент з температурою 170...190°C. Авторами встановлено, що після швидкого нагрівання зерна зміна його температури у відповідності до крайової температури досягається при зниженні теплового потоку, що для низхідних режимів здійснюється за рахунок зменшення температури сушіння за ходом процесу до 120°C. «Закал» зерна при цьому не відбувається. Але підвищення температури зерна при зменшенні його вологості сильно ускладнюється недосконалістю конструкції шахт зерносушарок.

Зменшення кількості підведеної теплоти до зерна в напрямку його руху можна досягти також шляхом зміни швидкості сушильного агенту і товщини шару зерна за висотою шахти. Низхідний розподіл теплоти дозволяє скоротити експозицію нагрівання зерна і більш повно відповідає потребі у теплоті для видалення вологи у зв'язку із зменшенням інтенсивності сушіння за висотою шахти.

М.П. Платоновим та В.І. Атаназевичем [9] для шахтних зерносушарок розроблено імпульсний спосіб сушіння, який базується на чергуванні нагріву і охолодження (відлежування) зерна. Це дало змогу підвищити температуру сушильного агенту до 150...210°C. Імпульсний спосіб значно інтенсифікує сушіння і підвищує термічний ККД зерносушарки.

При введенні методу визначення критерію якості сушіння зерна (як насінневого так і продовольчого) за схожістю для запобігання втратам якості зерна почалось впровадження «знижених» і пом'якшених режимів сушіння. Це призвело до зниження продуктивності зерносушарок на 20% [3] і збільшення питомих витрат енергії.

З наведеного вище огляду можна зробити висновок, що основними технологічними заходами підвищення ефективності сушіння зерна є збільшення температури сушильного

РОЗДІЛ 2

агенту та часу перебування зерна в шахті. Останнє негативно впливає на продуктивність. При цьому зерно нагрівається до крайової температури тільки після проходження більшої частини сушильної зони шахти.

В.І. Алейніковим [2], а потім В. Резчиковим [40] і іншими авторами [18, 20] на основі експериментальних даних про суттєвий вплив температури матеріалу на інтенсивність його сушіння визначено, що радикальним заходом для подальшої інтенсифікації сушильного процесу в шахтних сушарках є попереднє нагрівання, а технічною реалізацією такого прийому може бути розробка таких режимів, коли температура зерна набуває максимального значення з максимальною швидкістю і зберігає її до кінця процесу зневоднення.

У дослідженнях В.І. Попова, А.С. Гінзбурга, В.П. Дубровіна [17, 22] отримана суттєва ступенева залежність коефіцієнта дифузії вологи в зерні від температури нагріву:

$$a_m = a_{m0} \left(\frac{T}{293} \right)^n, \quad (2.3)$$

де T – температура зерна;

a_{m0} – коефіцієнт дифузії без нагріву;

$n = 8 \dots 18$ (залежно від вологості).

В.Д. Резчиковим [41] показано, що попереднє нагрівання зерна в «швидкому» режимі дозволяє зменшити питомі витрати енергії на сушіння майже у 2 рази; при цьому витрати теплоти на попереднє нагрівання збільшуються на 60%. При підвищенні температури нагріву до 120°C економія енергії складає 20%.

В роботах А.С. Гінзбурга [15, 18] доведено, що прогресивним напрямком в розвитку зерносушіння на найближчу перспективу слід вважати перехід від традиційних шахтних зерносушарок до високопродуктивних агрегатів з інтенсивним нагрівом вологого (сирого) зерна з наступним сушінням в ізотермічному режимі із частковою рециркуляцією зерна. Рециркуляція таких режимів дозволить підвищити продуктивність

на 25...30%, зменшити витрати пального на 10% та електроенергії на 10...15%.

У роботах В.І. Аниськіна [5, 7] показано, що за будь-яких способів конвективного сушіння відлежування зерна є одним із прогресивних методів енергозбереження при сушінні зерна; причому вплив відлежування на зменшення теплоенергетичних затрат тим вище, чим нижче вологовіддавальна здатність зерна.

Різні варіанти процесу сушіння зерна при ступінчастих, «прогресивних» та швидкісних режимах знайшли конструктивне оформлення, яке пов'язане з реконструкцією і модернізацією шахтних зерносушарок.

2.4 Зміна фізіолого-біохімічних властивостей насіння та якості олії при сушінні

Теплове сушіння викликає певні зміни фізіолого-біохімічних властивостей насіння і якості олії, що міститься в ньому. Впливу теплоти і вологи піддається найбільш термолабільна частина насіння – білки. За фізико-хімічною структурою – це гідрофільні колоїди, і в них, насамперед, починається денатурація. Зовні вона виражається у втраті розчинності в деяких розчинниках.

Зміна розчинності є наслідком зміни структури білків. При денатурації в результаті розгортання поліпептидного ланцюга оголюються гідрофобні вуглеводневі радикали амінокислотних залишків, які до цього знаходились всередині глобули під поверхнею з гідрофільних груп. У розгорнутих поліпептидних ланцюгів з'являється можливість асоціюватися в полімерні системи, внаслідок чого розчинність білків втрачається. Швидкість і ступінь денатурації зростає із збільшенням вологості і температури. Нижня температурна межа початку денатурації 47...51°C при вологості 15 ... 20%.

Крім денатурації білків спостерігається також руйнування ферментів: знижується активність ліпази і ліпоксигенази.

РОЗДІЛ 2

Причому до температури 50...67 °С активність ліпази значно підвищується, а вище зазначеної температури настає інактивація ферментної системи [8].

Досить глибоко проходять і біохімічні процеси: окислення, гідроліз, які каталізуються ферментами. Про глибину цих процесів судять по величині кислотного числа. Наприклад, для насіння соняшника кислотне число в залежності від температури нагріву змінюється, проходячи три періоди, як це продемонстровано на рис. 2.3.

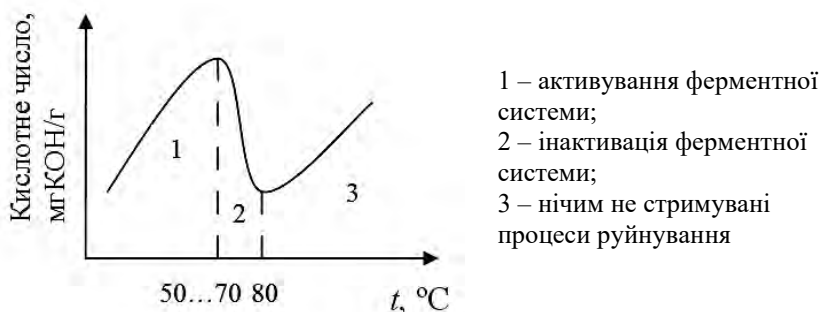


Рис. 2.3. Зміна кислотного числа в насінні соняшника при нагріванні

У першому періоді активується ферментна система, результатом чого є утворення вільних жирних кислот.

Зниження кислотного числа на другій ділянці обумовлено зв'язуванням вільних жирних кислот в білково-ліпідні комплекси.

При температурі понад 80 °С (3-я ділянка) починається термічний розпад гліцеридів з утворенням низькомолекулярних кислот, посилюються окислювальні процеси. Одночасно спостерігається різке збільшення перекисного числа, змінюється кольоровість олії, знижується йодне число.

Окислювальні процеси обумовлені наявністю в гліцеридах ненасичених жирних кислот, які під дією ліпоксидази, що каталізує окислення ненасичених жирних кислот, окислюються з утворенням перекисів за місцем подвійних зв'язків.

Окислювання олій сповільнюється при наявності в них природних антиоксидантів – фосфоліпідів і токоферолів. Вони містяться у всьому насінні. Зі зростанням температури розчинність фосфоліпідів в оліях зростає, вони переміщуються в масляну частину і гальмують окислення.

При тепловому сушінні створюються сприятливі умови для взаємодії реакційноздатних речовин і утворення нових сполук. Наприклад, амінокислоти вступають у взаємодію з цукрами з утворенням меланоїдів. Ці речовини несуть відповідальність за зміну кольору, смаку, аромату насіння та олії. Подібні сполуки (при температурі понад 80 °С) утворюються і після реакції з фосфоліпідами (меланофосфоліпіди). Вони також надають темний колір насінню та олії [23].

Зі збільшенням температури прогріву насіння в масляній частині розчиняються деякі речовини неліпідного характеру. В результаті вихід сирого жиру зростає, але поживна цінність олії знижується. Під впливом високих температур можливе також руйнування вітамінів, що знаходяться в зародку та в інших частинах насіння.

При прогріванні в насінні може збільшитися вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ). Деякі з них є канцерогенами, наприклад, 3,4-бензапірен. Вони можуть потрапляти до насінневої маси із зовнішнього середовища (атмосфери, ґрунту), синтезуватися самою рослиною або з'єднуватися з сушильним агентом у разі неповного згорання палива [7, 10].

2.5 Технологія і технічне устаткування сушіння

Найбільш поширеним методом зниження вологості насіння перед зберіганням є теплова сушка, при якій насіння нагрівається сушильним агентом і волога, що випаровується з насіння при цьому видаляється. Загальна схема теплового сушіння насіння наведена на рис. 2.4.

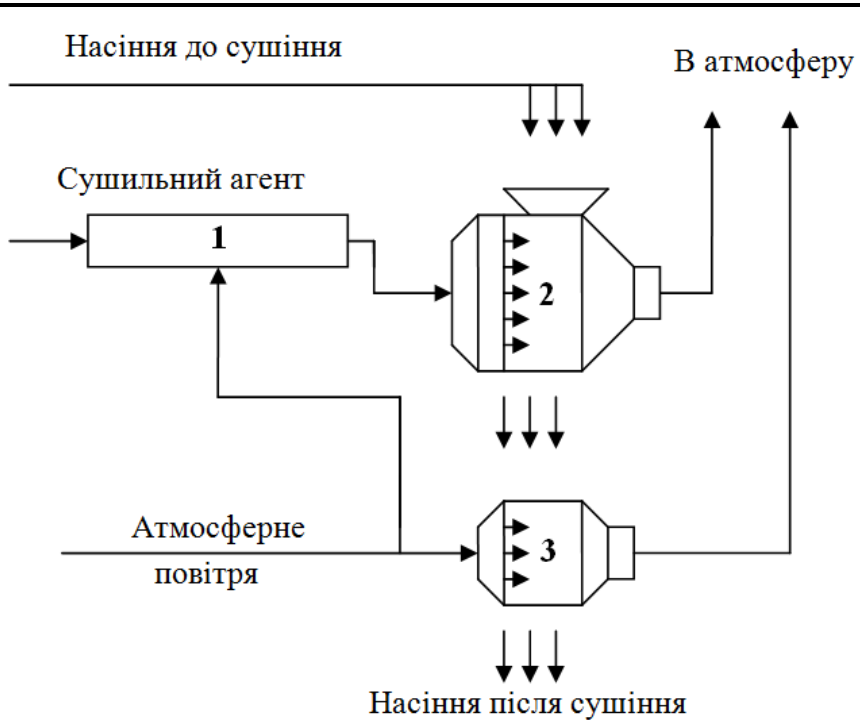


Рис. 2.4. Схема теплового сушіння насіння: 1 – топця; 2 – сушильна камера; 3 – охолоджувальна камера

Процес сушіння здійснюється в два етапи. На першому в зоні сушіння або сушильній камері 2 насіння нагрівається сумішшю повітря і димових газів, одержаних у спеціальній топці 1. Частина води, що міститься в насінні до сушки, при цьому випаровується, а висушене насіння охолоджується в зоні охолодження охолоджувальною камерою 3 шляхом продування атмосферним повітрям.

При двоступеневому сушінні зона сушіння розділена на дві частини: спочатку насіння сушиться при невисоких температурах, а потім досушується при підвищених температурах. Охолодження насіння (після другого ступеня) також проводиться атмосферним повітрям.

Процес сушіння повинен забезпечити необхідне зниження вологості насіння, збереження їх якості та олії в них.

У промисловості для сушіння олійного насіння широко застосовують сушарки шахтного типу, барабанні, з киплячим шаром.

Шахтні сушарки. Схема роботи сушарки шахтного типу зображена на рис. 2.5.

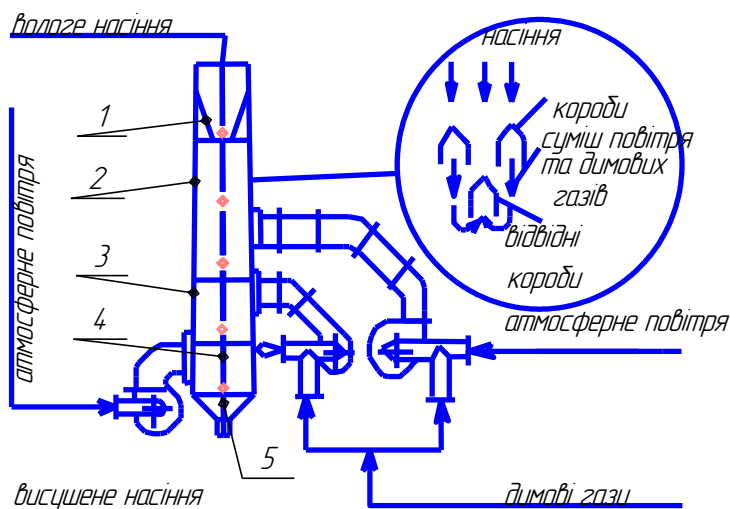


Рис. 2.5. Шахтна сушарка

Насіння з бункера 1 проходить через сушильну шахту 2 де розміщені коробки, що підводять і виводять із шахти газоповітряну суміш. Насіння під дією своєї маси опускається між коробами, нагрівається сумішшю повітря і димових газів. При цьому волога з насіння випаровується, а висушене насіння охолоджується в охолоджувальній камері 4, де через насінну масу подають холодне атмосферне повітря. Висушене насіння надходить в приймальний бункер 5. Сушіння може проводитися за одно- та двоступеневим режимом. На першому ступені у верхній частині 2 насіння сушать при низьких тем-

РОЗДІЛ 2

пературах димовими газами, змішаними з атмосферним повітрям.

На другому ступені здійснюють остаточне досушування, яке відбувається в нижній частині 3 димовими газами при підвищених температурах, що економічно більш вигідно.

Режим сушіння: товщина шару 250 мм, температура сушильного агента 180 ° С, тривалість сушіння 40 ... 60 хв., температура прогріву насіння 65 ... 70 ° С.

Недоліки сушарки: нерівномірний прогрів насінневої маси, поганий повітрообмін, дуже швидко зволожується сушильний агент, найнижче вологознімання, найтриваліший час сушіння. Насіння доводиться або пропускати через шахту кілька разів, або нарощувати висоту шахти, або збільшувати кількість секцій.

Основні марки сушарок шахтного типу: STELA Laxhuber GMBH, 2xA1-ДСП-50, А1-ДСП-50, А1-ДСП-50Е, А1-ДСП-25, ЖСП – 50.

Барабанні сушарки (рис. 2.6).

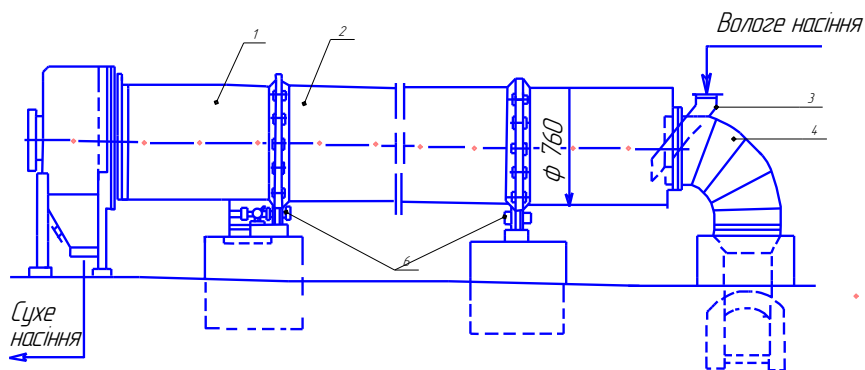


Рис. 2.6. Барабанна сушарка

Основним робочим органом барабанної сушарки є циліндр 1 зовнішнім діаметром 1760 мм і довжиною 9000 мм, який називають барабаном. Він укріплений на двох роликових

бандажах 2. До передньої частини барабана за допомогою спеціального ущільнення приєднаний патрубок 4 для підведення сушильного агента, що надходить з топки 5. Протилежний кінець барабана шляхом ущільнення вводиться в вивідну камеру, з'єднану з вентилятором, з пиловідведенням відпрацьованого сушильного агента.

Всередині барабана є підйомно-змішуючі пристрої, що складаються з куточків, рівномірно приварених по внутрішньому колу барабана і до куточків зігнутих планок, які називаються лопатками. На початку барабана на ділянці довжиною 1000 мм є двозахідний шнек для рівномірної подачі насіння до першої підйомної системи, який одночасно запобігає потраплянню насіння в газохід.

Сире насіння надходить всередину барабана по лотку 3 в місці введення в сушарку сушильного агента і перемішується всередині барабана в тому ж напрямку, що і газоповітряна суміш (використовується принцип прямотоку).

Певний шар насіння всередині барабана підтримується за допомогою підпiрного кільця, що приварене на вихідному торці барабана. Усередині насіння, що потрапляє на лопатки підйомно-перемішуючих приладів, при обертанні барабана піднімається на деяку висоту, потім зсипається вниз і при цьому інтенсивно продувається і переміщується потоком сушильного агента.

Режим сушіння: температура сушильного агента 200...350°C, температура прогріву насіння 60 ... 65°C, товщина шару до 100 мм, час сушіння 15 ... 20 хв.

Барабанні сушарки порівняно прості за конструкцією, нескладні в експлуатації, мають невелику висоту, невисоку вартість. Однак вони мають і суттєві недоліки: мале використання обсягу барабана, велику площину, яку вона займає, підвищена витрата електроенергії, низьке знімання вологи: за один прохід знімається 3...5 % вологи (в основному видаляється волога поверхнева з лущиння), нерівномірність сушіння насіння [38].

РОЗДІЛ 2

Таким чином, розглянуті барабанні і шахтні сушарки не забезпечують високого знімання вологи за один прохід насіння через сушарку. Для інтенсифікації процесу сушіння та підвищення знімання вологи в останні роки знайшли застосування диференційовані режими сушіння і сушіння з рециркуляцією насіння.

Застосування знижених температур сушильного агента на першому ступені і підвищених на другому (але сушильного агента в меншій кількості), називають **диференційованим режимом сушіння**. З цією метою проводять реконструкцію існуючих сушарок.

Сушарка пневмогазова. Принцип дії такого типу сушарок заснований на попередньому нагріванні і частковому підсушуванні насіння в підвішеному стані в сушильній трубі під час переміщення їх сушильним агентом. Суспензія сушильного агента з насінням надходить в двокамерний вологотеплообмінник, в якому перегородка гасить швидкість сушильного агента. Більш важке недосушене насіння осідає в шахті першої камери, легше сухе – в шахті другої камери, де воно охолоджується. Відпрацьований сушильний агент подається на очищення в циклон. Недосушене насіння норією подається в сушильну трубу вище точки подачі сушильного агента. Режим сушіння: температура сушильного агента 250...300°C, швидкість сушильного агента 25...30 м/с, температура прогріву насіння 55...60°C, вологознімання 10 ... 12 %.

Процесорні сушарки призначені для сушіння великих об'ємів зернобобових та олійних культур і рису, а також ідеально підходять для сушіння насінневого матеріалу.

На рис. 2.7 представлено зовнішній вигляд і схему процесорної зерносушарки компанії GSI Intertional (США), що займається розробкою сучасних технологій та виробництвом обладнання для зернових систем. Ці сушарки обладнані спеціальними дозаторами з регульованою швидкістю, що забезпечують рівномірне вивантаження, що, в свою чергу, сприяє рівномірному нагріванню зерна.

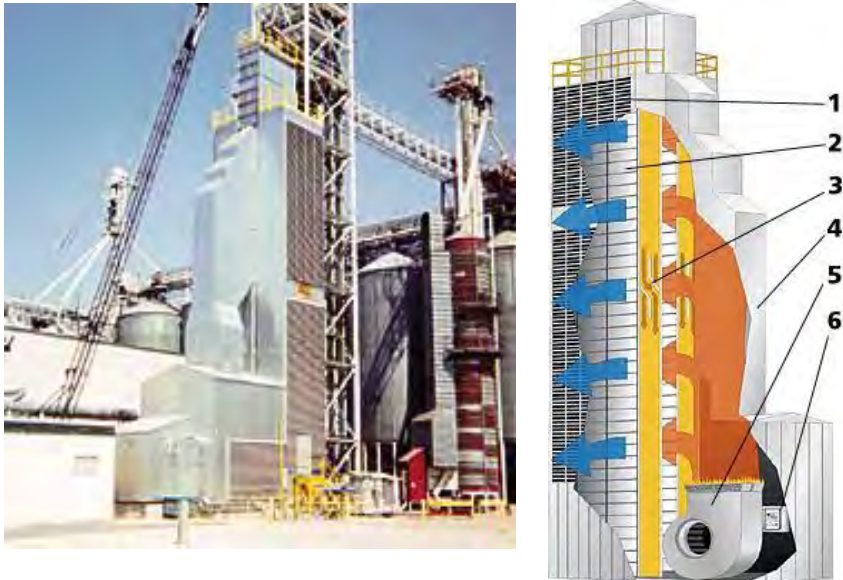


Рис. 2.7. Процесорні зерносушарки компанії GSI Intertional:

1. Оцинковані решітки для виходу повітря, що виключають вплив вітру на колони і сприяють рівномірній сушці;
2. Спеціальний фільтр, який забезпечує оптимальний приплив повітря;
3. Колони шириною 37,95 см зі змішувачами зерна для рівномірного і якісного сушіння;
4. Надміцна модульна конструкція з оцинкованої сталі;
5. Надійні відцентрові вентилятори малої шумності з подвійним входом;
6. Електронна панель управління з рідкокристалічним дисплеєм на допомогу оператору.

Електронна система рециркуляції дозволяє максимально економити паливо за рахунок використання теплого повітря з секції охолодження. Система управління з рідкокристалічним екраном, проводить самодіагностику роботи обладнання і виводить оператору повідомлення на дисплей. Панель управління може бути встановлена на корпусі або на відстані.

РОЗДІЛ 2

Модульні сушарки компанії GSI International (США) (рис. 2.8) розроблені спеціально для сушіння зернових (кукурудза, пшениця), зернобобових (соя), і олійних (соняшник, ріпак) культур. Ідеально підходять для дрібних (від 1 тис. г) і середніх (до 10-15 тис. г) господарств. Мають продуктивність від 3 тонн за годину (одномодульні модель серії 112) до 70 тонн на годину (3-х модульна модель серії 3626).



Рис. 2.8. Модульна сушарка компанії GSI International (США):

Зернові колони 1 забезпечують максимальну місткість, а також рівномірну і ефективну сушку зерна. Регульовані засувки 14 допомагають відслідковувати потік зерна і усувати його застій в колонах, а також дозволяють проводити очищення колони вручну. Низькопрофільний бункер 2 вологого зерна забезпечує розміщення в обмежених по висоті умовах. Люки 12 доступу в колони при необхідності забезпечують швидке і легке розвантаження, а також доступ до дозатора. Вздовж усіх зернових колон проходить розподільний шнек 3, ремінний привід 8 якого за пристроєм натягу. Крізь перфоровану кришку 6 можна побачити шнековий привідний шків, що дозволяє проводити контроль за роботою сушарки. Перфорований бун-

кер 4 вологого зерна, що використовується в процесі попереднього нагрівання, дозволяє спостерігати за рівнем зерна. Освітлювальна лампа 5 працює як індикатор роботи зерносушіння. Повітря подається низькошвидкісним вентилятором 22, встановленим в оцинкованому корпусі 10, до камери підігріву 7. Розвантаження забезпечується посиленням шнеком 16 з скребками. Дозатор 17 забезпечує акуратне розвантаження при низькій потужності. Люки доступу 13 та 15 призначені для очистки розвантажувального шнеку.

Роботу модульної сушарки забезпечує запатентована система управління і стеження 18, автоматичний вимикач 19 для безпечної і економічної роботи. Датчик тиску 21 відстежує тиск повітря всередині сушарки. Можлива опція «сторож», коли вся інформація про роботу сушарки передається на домашній персональний комп'ютер. Модульна сушарка змонтована на оцинкованих опорах 11 та оснащена сходами 9 для зручного обслуговування. Всі пофарбовані частини 20 сушарки мають спеціальне додаткове покриття, що забезпечує довготривалий термін роботи [35].

Модульна сушарка СЗМ-540 вітчизняного виробництва призначена для сушіння продовольчого і фуражного зерна, а також насіння зернових, зернобобових, круп'яних культур і соняшнику. Використовується у складі зерноочисних сушильних комплексів, насіннеочисних ліній та елеваторів. Основними частинами сушарки є сушильна камера, завантажувальний та розвантажувальний пристрої, комплект блочних газових пальників з вентиляторами, органи керування і регулювання.



Рис. 2.9 Модульна сушарка СЗМ-540

РОЗДІЛ 2

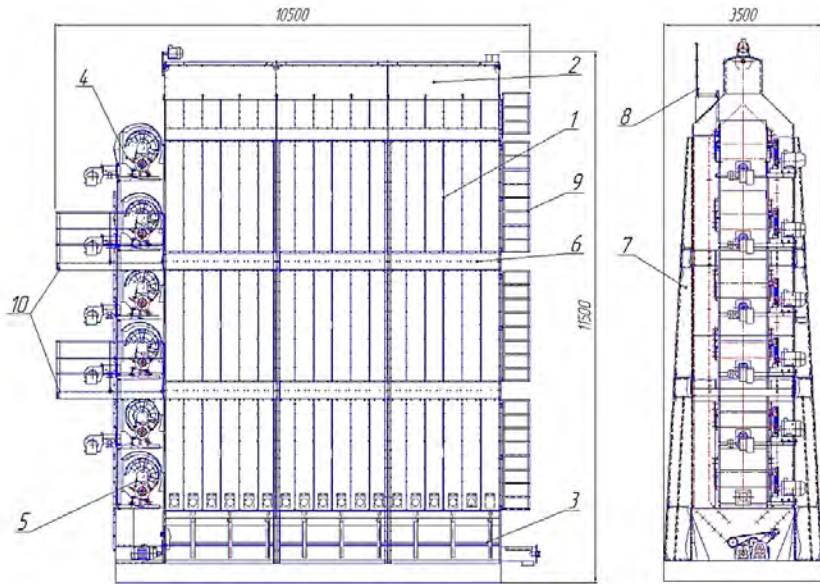


Рис. 2.10. Сушильна камера сушарки СЗМ-540:

1 – сушильні колонки, 2 – завантажувальний пристрій, 3 – розвантажувальний пристрій, 4 – теплогенератор з вентилятором, 5 – вентилятор охолодження, 6 – інвертори, 7 – опорні колони, 8, 10 – майданчики обслуговування, 9 – драбина

Сушильна камера (рис. 2.10) складається з двох сушильних колонок 1 які за висотою розділені на три секції. Між секціями встановлено інвертори 6. Простір між колонками розділений на шість камер: п'ять верхніх – сушильні, нижня – охолоджувальна. Внутрішні і зовнішні стінки колонок виконані з перфорованого листа. Завантажувальний пристрій 2 складається з бункера, розсікача і вирівнювального шнека. Привод шнека здійснюється від електродвигуна потужністю 3,0 кВт. Для підтримування заданого рівня зерна в бункері встановлені датчики верхнього і нижнього рівня. Розвантажувальний пристрій 3 складається з корпусу, живильників і розвантажувального шнека. Регулювання продуктивності розвантажувального пристрою здійснюється зміною

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕХНІКИ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА

частоти обертання шнеків живильників за допомогою частотного перетворювача. Потужність електродвигуна привода шнека 4,8 кВт, електродвигуна привода живильників – 1,5 кВт. Газові пальники ГГБ-100 потужністю 1,15 МВт (5 комплектів) використовуються як джерела теплоти. Електронні блоки керування забезпечують роботу пальників незалежно від зміни тиску газу в системі. Спарені відцентрові вентилятори 4, 5 забезпечують подачу теплоносія до сушильних камер і атмосферного повітря до охолоджувальної камери. Автоматична система керування забезпечує контроль вологості зерна, контроль температури теплоносія і нагріву зерна, сигналізацію про несправність. Установлена система блокувань забезпечує роботу обладнання сушарки в передбаченій технологічною схемою послідовності. Для обслуговування завантажувального пристрою, паливної апаратури і вентиляторів зерносушарку обладнано спеціальними майданчиками 8, 10.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики сушарки СЗМ-540

| Показники призначення | Значення |
|---|-------------|
| 1 | 2 |
| Тип машини | стаціонарна |
| Продуктивність, т/год.: | |
| – при зниженні вологості зерна кукурудзи на 5,4...6,7 % | 44,14 |
| – при зниженні вологості зерна кукурудзи на 10,8...11,6 % | 29,38 |
| – при зниженні вологості зерна кукурудзи на 15,0...16,8 % | 21,10 |
| Продуктивність, пл. т/год. | 68,3...70,7 |
| Ємкість сушарки, м ³ | 48 |
| Габаритні розміри, мм: | |
| – довжина | 10500 |
| – ширина | 3500 |
| – висота | 11300 |
| Маса, кг | 15000 |
| Показники якості роботи | |
| Вологість зерна після сушіння, % | 13,8...14,4 |
| Різниця між температурою зерна на виході із сушарки і температурою атмосферного повітря, °С | 6...9 |

РОЗДІЛ 2

Продовження табл. 2.1

| 1 | 2 |
|--|-------------|
| Температура нагріву зерна, °С | |
| – 1 зона | + 32...+ 36 |
| – 2 зона | + 41...+ 44 |
| – 3 зона | + 45...+ 48 |
| – 4 зона | + 47...+ 49 |
| – 5 зона | + 49...+ 50 |
| Показники надійності | |
| Щозмінний оперативний час технічного обслуговування, год | 0,5 |
| Коефіцієнт технічного використання | 0,94 |
| Коефіцієнт готовності | 0,97 |
| Енергетичні показники | |
| Витрата газу, м ³ /год | 332...423 |
| Витрата умовного палива, м ³ /год | 395...500 |
| Питомі витрати умовного палива, м ³ /(пл.т/год) | 5,6...7,2 |
| Витрата палива на зниженні вологості 1т зерна на 1%, м ³ /т | 1,19...1,31 |
| Споживана потужність, кВт | 95,6 |
| Питомі витрати електроенергії, кВт·год/пл. т | 1,35...1,40 |
| Економічні показники | |
| Кількість обслуговуючого персоналу, осіб | 1 |
| Ергономічні показники | |
| Рівень шуму, дБА | 72 |
| Логарифмічні рівні віброшвидкості, дБ | 76 |
| Запиленість повітря, мг/м ³ | 2,0 |

Сушарка зернова шахтна модульна СЗШМ-30 стаціонарна відкритого типу застосовується для сушіння зернових, олійних, колосових, зернобобових, кукурудзи та круп'яних культур в сільському господарстві. Загальний вигляд сушарки СЗШМ-30 показано на рис. 2.11, принципова конструктивно-технологічна схема – на рис. 2.12.

Сушарка СЗШМ-30 використовується в складі зерноочисно-сушильної лінії, додатково містить механізми прийому, транспортування та очищення зерна. Залежно від виду споживаного палива, сушарки виготовляються з топковим блоками, що працюють на газовому або рідкому паливі.

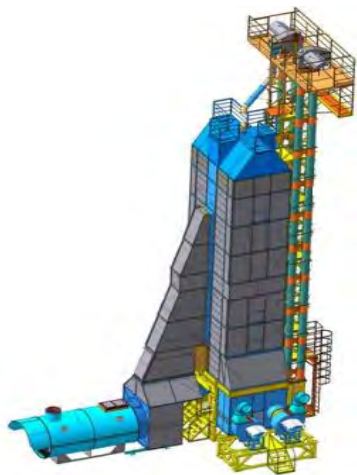


Рис. 2.11. Загальний вигляд сушарки СЗШМ-30

Паливо для сушарки СЗШМ-30Г – природний газ (ГОСТ 5542), а для сушарки СЗШМ-30Ж – пічне побутове (ТУ 3800150-81) або дизельне (СТБ 1658).

Вологість зерна, що надходить на сушіння, не повинна перевищувати 30%, чистота – не нижче 95%. Електрична енергія – змінний струм 220/380 В ± 10% з частотою 50 Гц. Зерносушарка повинна бути працездатною при температурі повітря від мінус 10°C до плюс 40°C і вологості – до 95%.

Сушарка (рис. 2.12) містить:

- бункер надсушильний 1 з розподільником зерна по шахтах, датчики заповнення та зернозлив;
- дві шахти, з'єднані в колону і зібрані з сушильних модулів 3 з поділом їх на секції нагріву, сушки, проміжні та секції охолодження зерна (2 шт.). Підвідні та відвідні короби модулів чергуються в одному горизонтальному ряду;
- опорну секцію з витяжними вентиляторами 13, сполученими з повітроводами секції сушіння (4 шт.) і витяжними вентиляторами 2 секції охолодження, підсушільний бункер 4, два роторні випускні пристрої 5 і вивантажувальний шнек 6 з перемикачем потоків зерна 7; норію завантажувальну 8 і розвантажувальну 9 з зернопроводів;
- топковий блок АТ-2,5.00.00.000-03 або АТ-2,5.00.00.000-02 (10);
- систему подачі і розподілу сушильного агенту 11, повітроводи 12;
- електропривід, в тому числі привід випускних пристроїв з регулюванням продуктивності сушарки;

РОЗДІЛ 2

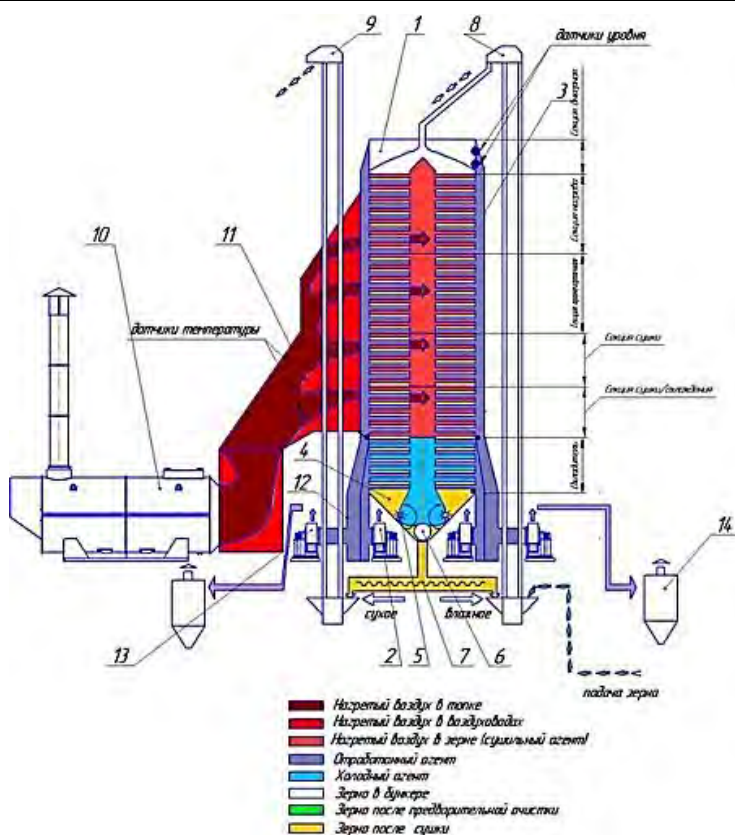


Рис. 2.12. Принципова конструктивно-технологічна схема сушарки СЗШМ-30

- систему контролю, управління і сигналізації з елементами автоматизації: контролю і управління температурою агента сушіння й нагрівання зерна, підтримки заданого рівня заповнення надсушильного бункера, пуску і управління топковим блоком, світлову і звукову сигналізацію.

Зерносушарка СЗШМ-30Г оснащена топковим блоком АТ-2,5.00.00.000-03, що працює на природному газі, сушарка СЗШМ-30Ж – топковим блоком АТ-2,5.00.00.000-02, що працює на рідкому паливі. Конструкція інших вузлів однакова.

Зерносушарка працює наступним чином. Із завальних ям сире зерно надходить у машину попереднього очищення, а потім в шахти і надсушильний бункер 1. В кінці заповнення звучить дзвінок і загоряється зелена лампочка.

Сушильний агент (нагріте повітря) підводиться від топкового блоку через систему 11 у простір між шахтами, а з нього – у підвідні коробки модулів 3. Повітря пронизує шар зерна між сусідніми коробами, збагачується вологою і через відвідні коробки виводиться в атмосферу. Агент сушіння розділяється на потоки, що направляються в секції нагріву, проміжну і сушки. На повітроводах витяжних вентиляторів наявні заслінки, за допомогою яких здійснюється регулювання потоку повітря для різних культур. Величина відкриття заслінок визначається дослідним шляхом.

Регулювання подачі теплоти виконується роботою топкового агрегату. Після камери сушіння нагріте зерно охолоджується у послідовно з'єднаних охолоджувачах.

Сухе зерно виводиться із сушарки роторними випускними пристроями 5 кожної з шахт, вивантажувальним шнеком 6 і далі норією 9 на склад.

Сушарка забезпечує сушіння зерна безперервно і порціями. При безперервній роботі заданий рівень заповнення зерном підтримується автоматично. На безперервну роботу зерносушарку переводять після висушування пускової порції, при цьому одночасно завантажують сире зерно і вивантажують висушене. Температурні режими задають і підтримують згідно з вимогами технологічних регламентів сушіння в шахтних зерносушарках. Якість сушіння забезпечують контролем вологості зерна, підбором температури для сушки зерна і продуктивності сушарки. Підбирається це все дослідним шляхом. Температура агента сушіння залежить від виставленої температури сушіння зерна, але при цьому вона не повинна перевищувати $130^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$. При перевищенні цієї температури пальник в топковому агрегаті відключається і спрацьовує аварійний дзвінок.

РОЗДІЛ 2

При виникненні аварійних ситуацій роботу припиняють натисканням кнопки «Стоп». Новий пуск топкового агрегату можливий лише після продувки робочих порожнин зерносушарки холодним повітрям, що передбачено системою блокування [34].

Таблиця 2.2

Технічні характеристики сушарки СЗШМ-30

| Показник | Сушарка | |
|---|--|---|
| | СЗШМ-30Г (з топочним блоком на природному газі) | СЗШМ-30Ж (з топочним блоком на рідкому паливі) |
| 1 | 2 | 3 |
| Продуктивність за годину основного часу на сушінні зерна пшениці (продовольчий режим) при зніманні вологи з 20% до 14%, пл.т / год, не менше | 30 | |
| Зернова місткість, м ³ , не менше | 72 | |
| Теплова потужність, кВт | 2500 | |
| Вид палива | Природний газ ГОСТ 5542 | Пічне побутове ТУ 38.101.656 або дизельне СТБ 1658 |
| Витрата палива номінальна: - природний газ (QHP=8500 ккал/ч), м ³ /год - пічне побутове (QHP=9800 ккал/ч), кг/год Питома витрата палива, м3/пл.т (кг/пл.т), не більше | 230 - 7,6 | - 212 7,1 |
| Встановлена сумарна електрична потужність електродвигунів, кВт, не більше | 130 | |
| Напруга електричної мережі, фазна/лінійна, В | 220/380 | |
| Питома витрата електроенергії, кВт ч/пл.т, не більше | 4,4 | |
| Кількість витяжних вентиляторів, шт. | 4 | |

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕХНІКИ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА

Продовження табл. 2.2

| 1 | 2 | 3 |
|--|---------------|------|
| Продуктивність витяжних вентиляторів (кожного), м ³ / год | 31000 ÷ 35000 | |
| Кількість вентиляторів секції охолодження, шт | 2 | |
| Продуктивність вентиляторів секції охолодження (кожного), м ³ / год | 8800 ÷ 11500 | |
| Нерівномірність сушіння, % | ± 1,0 | |
| Нерівномірність нагріву зерна, °С | ± 5,0 | |
| Дроблення зерна, %, не більше: | | |
| харчового | 3,0 | |
| сім'яного | 0,25 | |
| Витрата теплоти на 1 кг випаруваної вологи, кДж/кг, не більше | 4350 | |
| Габаритні розміри, м: | | |
| - довжина | 14,2 | |
| - ширина | 11,44 | |
| - висота | 22,5 | |
| Маса, т, не більше | 33,3 | 33,1 |
| Питома матеріалоємність, кг.ч/пл.т, не більше | 1110 | 1105 |
| Наробіток на відмову II групи складності, год, не менше | 600 | |
| Срок служби до списання, років | 10 | |
| Коефіцієнт готовності по операційному часу, не менше | 0,99 | |
| Коефіцієнт надійності технологічного процесу, не менше | 0,98 | |
| Питома сумарна трудоемкість технічних обслуговувань, чол/год., не більше | 0,02 | |
| Ресурс до списання, год. | 8000 | |
| Щомісячний оперативний час ТО, год., не більше | 0,15 | |
| Коефіцієнт використання експлуатаційного часу, не менше | 0,95 | |
| Обслуговуючий персонал, чол. | 1 | |

Серед альтернативних нетрадиційних методів зерносушіння можна виділити застосування нагрітих адсорбентів [27]. У Канаді з успіхом пройшли випробування адсорбційного методу сушіння зерна із застосуванням в якості теплоносія нагрітого піску, солі та бентоніту (вид глини для відбілювання). Оптимальний вміст суміші: 1 т піску або солі на 3 т зерна, або 1 т бентоніту на 1т зерна. Продуктивність обладнання для сушіння становить 5 т/год., але розробляються і більш потужні. В порівнянні з тепловим сушінням нагрітим повітрям в адсорбційній сушарці зерно висушується в 5-10 разів швидше, а енерговитрати при цьому на 20% нижчі.

В Індії для зниження вологості рису-сирцю запропоновано сушіння зерна (вологістю до 21%) в суміші з гарячим піском при температурі 95...155°C протягом 15 хвилин, з наступним витримуванням 1,5-2 год. у металевому контейнері без охолодження.

В Росії [11, 27] пройшли випробування адсорбційного способу сушіння зерна, де адсорбентом виступав алюмінієсілікагель.

2.6 Апаратура і допоміжне сушильне устаткування

У нашій країні і за кордоном для конвективного сушіння зерна широкого застосування набули як низькотемпературне сушіння [6, 19], в тому числі і активне вентилявання [6], так і високотемпературне сушіння [4] нагрітим повітрям або сумішшю продуктів згоряння і повітря [39].

При високотемпературному сушінні якість зерна, що обробляється сушильним агентом, залежить від його температури, питомих витрат, експозиції теплового впливу, швидкості руху відносно зернин та інших факторів, які називають режимами сушіння.

При конвективному підведенні теплоти сушіння зерна проводять у нерухомому шарі (камерні зерносушарки, бункерна установка, напольні, конвейерні), малорухомому шарі

(шахтні зерносушарки, колонкові), падаючому шарі (рециркуляційні зерносушарки), у зрідженому шарі (сушарки «киплячого» і «віброкиплячого» шару) і у режимі пневмотранспорту (труби-сушарки). Знаходить застосування і перспективний комбінований спосіб сушіння [24], який поєднує конвективний і контактний способи підведення енергії: обробка зерна агентом сушки у щільному рухомому і падаючому шарах. Цей спосіб застосовують в зерносушарках «Цілинна» і РД-2х25-70.

Сушіння у щільному нерухомому шарі набуло широкого розповсюдження при використанні бункерів активного вентилявання для сушіння зерна і насіння атмосферним або нагрітим на 5...10°C повітрям [4, 6] (рис. 2.13).

Головним недоліком сушіння зерна в бункерах активного вентилявання або бункерних установках з пласким днищем атмосферним або нагрітим в електрокалорифері повітрі (на 5...10°C) є значна експозиція сушіння (час доведення вологості зерна до кондиційного значення 15%). Так, наприклад, [19, 33] при вологості зерна 22% і відносній вологості повітря 55-65% на сушіння в бункері К-878 (Німеччина) витрачається близько 100 годин.

У зв'язку з цим заслуговує на увагу вентилявання зерна повітрям, нагрітим до 35...40°C (в тепловентиляційних агрегатах). У бункерах прискороного сушіння вологість зерна знижується від 20 до 14% за 23...25 годин, тобто в 7 разів швидше за звичайних умов [6].

Але основним недоліком сушіння в нерухомому шарі є нерівномірність нагрівання, що призводить до перевитрат енергії. Сушіння зерна в малорухомому гравітаційному щільному шарі отримало найбільше розповсюдження в шахтних зерносушарках з коробами для підведення та відведення повітря, встановленими у шаховому порядку або рядами (рис.2.14).

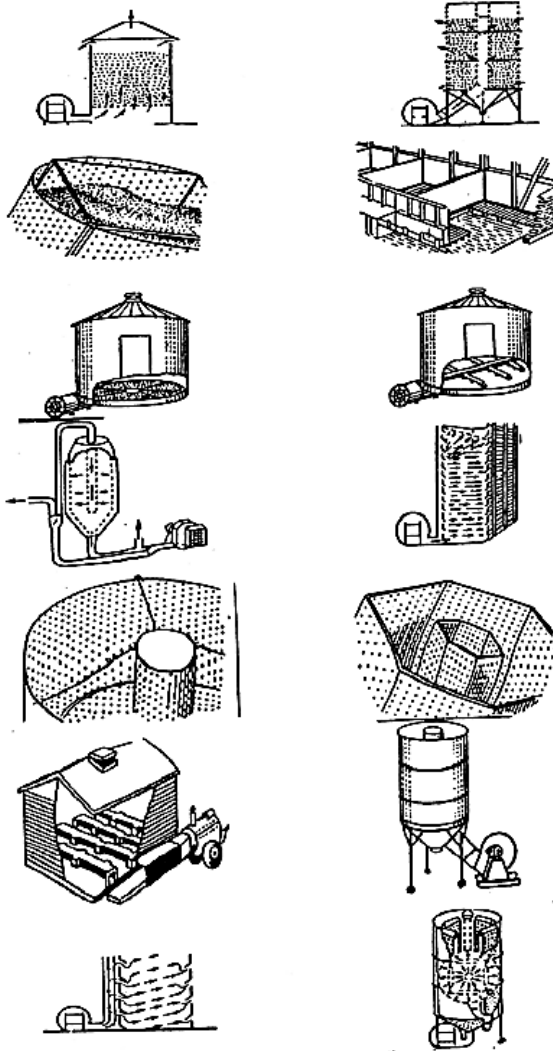


Рис. 2.13. Схеми бункерів активного вентилявання, що використовуються для сушіння зерна

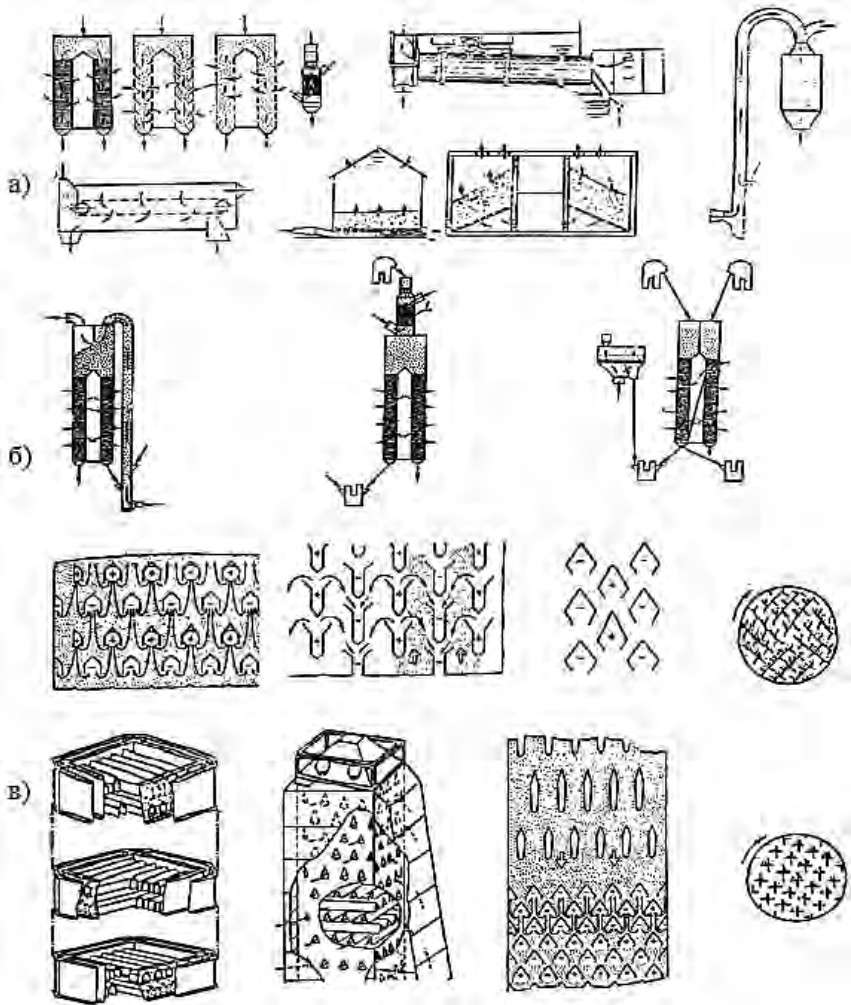


Рис.2.14. Типи сушильних камер та повітророзподільні пристрої:
 а) прості сушильні камери; б) комбіновані сушильні камери;
 в) повітророзподільні пристрої

РОЗДІЛ 2

При продуванні сушильним агентом зерна в шарі (200...250 мм) утворюються зони активного вентилявання зерна (ці зони розміщені біля коробів, що підводять сушильний агент, який діє на них з максимальною температурою). У зоні затухаючого впливу [4, 14], що розміщена біля коробів, які відводять сушильний агент, температура є мінімальною. Негативний вплив цих зон згладжується завдяки розташуванню коробів у шаховому порядку. Після сушіння в сушильній шахті зерно охолоджується в охолоджувальній шахті або у виносному апараті [1, 8].

Основним недоліком такого способу сушіння є обмеження витрат сушильного агента, що обумовлено його швидкістю у коробах, що відводять. Перевищення швидкості сушильного агента над швидкістю витання в цій зоні призводить до виносу зерна [34, 36] з шахти.

Комбінований спосіб сушіння складається з двох операцій: конвективне підведення теплоти в малорухомому щільному шарі і падаючому шарі та контактне при забезпеченні рециркуляції між вологим холодним зерном і нагрітим сухим. У падаючому шарі реалізується режим протитечійного сушіння при температурі 200...350°C. Але незначне видалення вологи при сушінні в падаючому шарі не дозволяє використовувати цей спосіб як самостійний при створенні сушильних агрегатів [16].

Для забезпечення більшого вологонапруження процесу сушіння застосовують комбінований спосіб сушіння, конвективно-сорбційний [11] з використанням в якості сорбента сухого зерна, що циркулює разом із сирим зерном в сушарці за замкненим циклом (контуром). Теплота при цьому підводиться до зерна конвективним шляхом, але у подальшому відбувається її перерозподіл контактним способом при взаємодії нагрітого рециркуляційного і холодного зерна.

Процес сушіння зерна в рециркуляційних зерносушарках складається з циклів, в яких застосовують такі операції: короточасне нагрівання з частковим поверхневим підсушуван-

ням, контактний тепло-і вологообмін між сухим і рециркулюючим зерном і часткове охолодження зерна [32]. Усі цикли повторюються багаторазово в залежності від початкової і кінцевої вологості зерна. Чергування циклів нагрівання, відлежування, охолодження запобігає перегріванню і погіршенню якості зерна. Але багаторазове охолодження зерна призводить до зниження швидкості сушіння і збільшення витрат енергії.

Найбільш ефективний варіант проведення рециркуляційного сушіння передбачає нагрівання вологого зерна контактним способом до крайової температури, тепловологообмін регулюється частковим охолодженням зерна, додаткове нагрівання здійснюється при температурі (140...200°C). Ізотермічний режим сушіння, що реалізується при цьому варіанті, забезпечує максимальну продуктивність при високих економічних показниках.

При ізотермічному режимі проводять нагрівання зерна до крайової температури вже на першій стадії сушіння, а на наступних стадіях підтримують температуру зерна на постійному рівні, що забезпечує максимальну швидкість видалення вологи [24, 25]. Такий спосіб отримав назву рециркуляційно-ізотермічного.

2.7 Використання інфрачервоного випромінювання для сушіння олійних культур

Метод інфрачервоного (далі – ІЧ) опромінювання є одним із перспективних фізичних методів обробки харчових продуктів. За умови застосування ІЧ-випромінювання значно скорочується тривалість термічної обробки, що обумовлено відсутністю термічного опору пограничного шару продукту променистому потоку, енергія якого безпосередньо поглинається поверхнею частинок сировини. При цьому ІЧ-випромінювання активно поглинається водою, яка міститься у продукті, але не поглинається тканиною продукту, котрий висушується або термооброблюється. Тому видалення вологи

РОЗДІЛ 2

можливе за невисоких температур (40...60°C), що дає можливість максимально зберегти вітаміни, біологічно активні речовини (БАР), природний (натуральний) колір, смак і аромат продуктів, які підлягають сушінню або термічній обробці. Слід також мати на увазі, що радіаційне сушіння має найменші питомі енерговитрати [13].

Хоча вивченню і застосуванню ІЧ-випромінювання в різних областях техніки приділяється значна увага, впровадження цього прогресивного методу у практику харчових виробництв проводиться повільно. Проектування технологічного обладнання за умови ІЧ-енергопідводу – досить складний та трудомісткий процес, який неможливий без розвинутої методологічної основи. Розроблені методики розрахунку окремих видів ІЧ-установок не можуть адекватно описати широкий спектр ІЧ-обладнання та розв'язати багато видів задач, що виникають в харчових теплотехнологіях.

Для установки з ІЧ опромінюванням олійного матеріалу апаратурно-конструктивні особливості на рівнях функціонально-конструктивних елементів і функціонально-конструктивних вузлів визначені наступними умовами: по-перше, вони повинні забезпечити (з урахуванням початкових технологічних чинників об'єкту переробки) необхідний рівень активності антиживильних речовин і вологості; по-друге, конструктивними рішеннями з організації ІЧ опромінювання, що забезпечують необхідну енергетичну і технологічну ефективність процесу.

У процесі обробки продукт розташовується на металевій решітці, під якою знаходяться генератори ІЧ опромінювання. Сутність процесу обробки харчової сировини в полі ІЧ опромінювання за умов відкритого робочого простору полягає в тому, що електромагнітні хвилі від джерела випромінювання проникають у продукт на глибину до 2 мм і частково або повністю поглинаються в ньому. При цьому електромагнітна енергія перетворюється в теплову, що викликає нагрівання продукту. Окрім цього, нагрівання продукту відбувається конвек-

тивно, тобто гарячим повітрям робочого простору (175...350°C), і кондуктивно – поверхнею решітки апарата.

Як правило, процес обробки в ІЧ обладнанні складається з двох етапів: перший етап – обробка продукту при максимальній температурі джерела ІЧ опромінювання до утворення на поверхні виробу скоринки підсмажування; другий етап – доведення продукту до повної готовності при зменшеній постійній температурі генераторів. Зменшення температури на другому етапі здійснюється за допомогою зменшення електричної потужності або збільшенням відстані продукту до джерела ІЧ опромінювання. Конструктивні рішення з компоновки блоку ІЧ-ламп і самих генераторів забезпечують досягнення рівномірного опромінювання згідно вимог переробки відповідного олієвмісного матеріалу [13, 14, 15, 37], у тому числі і за вмістом антиживильних речовин.

Далі у монографії (у розділах 4, 5) приведено результати аналітичних та експериментальних досліджень, що підтвердили ефективність використання інфрачервоного випромінювання для сушіння зерна олійних культур.

2.8 Аналіз способів, технологічних заходів і технічних рішень підвищення енергетичної економічності зерносушарок

У світовій практиці зерносушіння використовують різні способи утилізації відпрацьованого сушильного агенту. Найбільш поширеним методом зниження енергоємності зерносушарок є часткова рециркуляція теплоносія за рахунок його повторного використання. Ефект економії теплоти за узагальненими даними [27] становить до 300 кКал/кг. На принципі рециркуляції працюють зерносушарки американських фірм «Берико», «Кемпбелл», «Блант», «Блейн», французьких «Лав», «Комінор». Це багатоступінчасті (багатоповерхові) сушарки, що працюють за «збільшувальними» температурними режимами: холодне повітря, яке надходить до сушарки,

РОЗДІЛ 2

нагрівається у першій зоні, потім подається до спеціального теплогенератора для підвищення його температури до 70...90°C, після чого сушильний агент надходить до третьої зони, а потім знову до теплогенератора, з якого – до першої зони. Це дає змогу повернути до циклу 30...40% повітря, що дає економію теплоти 10%.

Існує декілька варіантів використання відпрацьованого сушильного агенту:

- використання як теплоносія для нагрівання свіжого повітря в різних типах утилізаційних установок;
- рециркуляція частини відпрацьованого повітря (змішування із свіжим повітрям або з продуктами згоряння і повітрям).

Другий спосіб значно простіший і більш економічний, але призводить до збільшення часу сушіння та зменшення продуктивності сушарки.

За кордоном (Франція, США, Польща) існує велике різноманіття технічних рішень цієї проблеми [8, 36]: за допомогою рециркуляції теплоти та повторного використання відпрацьованого у нижній частині сушарки повітря, що подається до верхньої частини шахти, або у топку.

Залежно від способу використання вторинної теплоти і конструкції сушарки можна зменшити витрати енергії від 1419 до 1257 кКал на кг випарюваної вологи. Так, економію енергії в 419 кДж/кг вологи дає метод подвійного проходження сушильного агенту крізь шар зерна. До нижньої зони подають свіжий теплоносій з температурою 120°C, а відпрацьований у нижній зоні слабко насичений з температурою 60...65°C подають до верхньої зони для підсушування зерна.

Більш економічним є спосіб сушіння зерна у двох зонах з двома топками. Топка верхньої зони додатково нагріває відпрацьоване повітря у нижній зоні повітря (до 50°C), а після проходження шару вологого зерна повітря насичується, його температура знижується до 45...50°C. Такий спосіб дозволяє зменшити витрати палива на 25% і довести витрати енергії до

3352...3562 кДж/кг вологи. Аналогічного ефекту можна досягти шляхом повторного використання нагрітого слабонасиченого повітря у нижній частині сушарки, яке з температурою 60...70°C направляють до топки, або змішують його з нагрітим повітрям, що виходить з топки нагрітим до 110°C. Економія палива в цьому випадку складає 20%.

Широко практикують послідовне з'єднання сушарок з майже повним поверненням нагрітого повітря і класичних сушарок. За даними фірми «Сесіль» (Франція) включення двоповерхових сушарок додаткових «вузлів економії», які можуть повністю повернути тепле повітря, дозволить довести витрати палива до 2807...2891 кДж/кг вологи для кукурудзи при зниженні вологості від 35 до 15%, а при зниженні вологості зерна пшениці з 20 до 14% процес сушіння потребує 4034 кДж/кг вологи. Так, послідовне поєднання сушарки з майже повним поверненням повітря та класичної сушарки при використанні «вузла економії» дозволить досягти мінімальних питомих витрат енергії.

У США останнім часом поширення набуває застосування шахтних сушарок з рециркуляцією відпрацьованого сушильного агенту і охолоджуючого повітря. За даними фірм, у таких сушарках економія палива складає 50%. Знаходять застосування і сушарки з паралельними потоками сушильного агенту, який рухається зверху вниз у прямотоці із зерном, та охолоджуючого повітря, яке рухається у протитоці із зерном.

На рисунку 2.15 представлені схеми рециркуляційних зерносушарок відомих світових виробників.

Сушарки фірми SO.CO (Франція) (рис.2.15, а) відносять до енергозберігаючого обладнання. Сушарки обладнані системою рециркуляції і регенерації теплоносіїв і повітря. Крім того, вони здійснюють проміжне нагрівання теплоносія, відпрацьованого у нижній зоні.

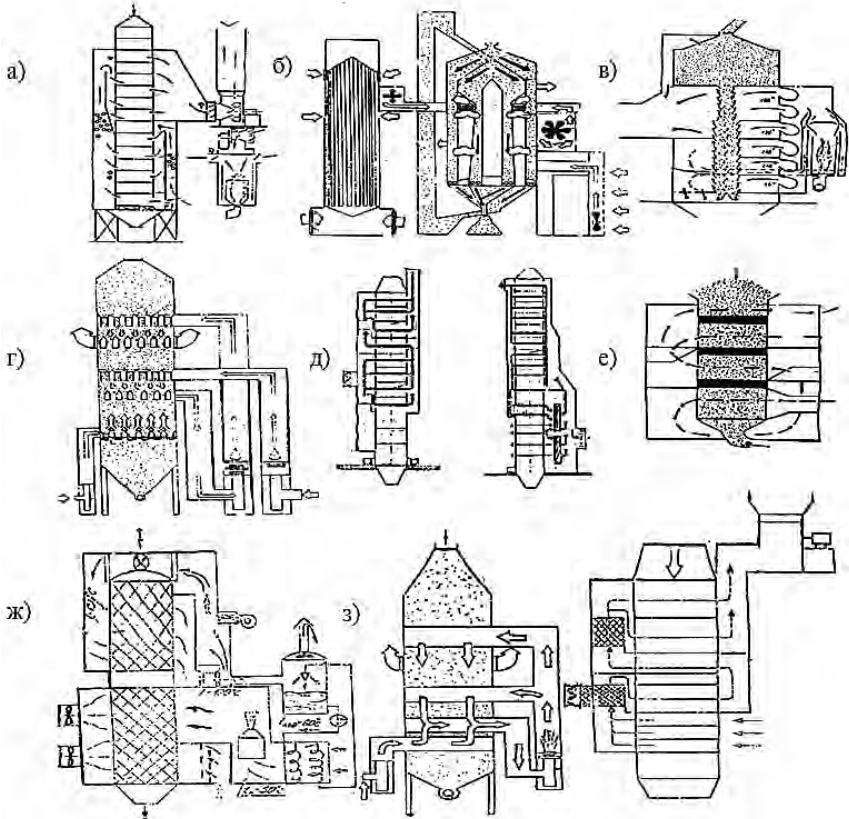


Рис. 2.15. Зерносушарки з використанням відпрацьованого сушильного агенту: а) «SO.CO» (Франція); б) «Blant» (США); в) «Omnium» (Франція); г) «ССР» (США); д) «Flükt» (ТВК, Фінляндія); е) «Behlen» (США); ж) «Сесіль» (Франція); з) «Law» (Франція)

Сушарки фірми «Blant» оснащені системою часткової рециркуляції відпрацьованого теплоносія і всього відпрацьованого в охолоджувачі зерна атмосферного повітря. У сушарці CFR 10-60A (рис. 2.15.б), крім часткової рециркуляції теплоносія і повітря, здійснюється, ще і часткова рециркуляція і попереднє нагрівання зерна.

Для зниження витрат палива фірма «Omnium» (Франція) (рис. 2.15,в) удосконалила сушарки наступним чином. У першій сушильній зоні зменшена товщина шару зерна, який обробляється свіжим теплоносієм з максимальною температурою 160°C, температура теплоносія знижується за ходом руху зерна до 110°C. В нижній зоні сушіння передбачено повернення відпрацьованого теплоносія на рециркуляцію. Повторно використовується також повітря з охолоджувача.

Для сушіння рису в зерносушарці ССР (рис. 2.15,г) виробництва США, використовується попереднє нагрівання зерна кондуктивно за рахунок контактного теплообміну відпрацьованим у нижній зоні сушильним агентом з його проміжним нагрівом. Після нагрівання зерно подається на відлежування, а потім – у другу зону сушіння, де обробляється свіжим сушильним агентом. Після зони охолодження зерно знову піддається відлежуванню.

Фірма «Flükt» (Фінляндія) (рис. 2.15, д) виготовляє сушарки для зерна, які містять зони сушіння, відлежування і охолодження з багаторазовим використанням теплоносіїв, завдяки чому досягається витрата теплоти 1200...1850 кКал на кг вологи.

В сушарках «Behlen» , США (рис. 2.15, е) відпрацьований теплоносій використовують для попереднього нагрівання зерна; в цьому випадку можна утилізувати до 10% усієї теплоти, що витрачається [5, 36], але при цьому не виключається можливість конденсації вологи в зерні, яку у подальшому необхідно знову випаровувати. Конденсації можна запобігти при застосуванні попереднього нагрівання зерна. Таким чином, застосовуючи принцип багаторазового використання теплоти, сушарка стає менш ефективною і більш складною у реалізації, оскільки потребує додаткових підігрівачів для реалізації нагрівання їх по ходу руху.

Фірма «Сесіль» запропонувала сушарку з «вузлом економії», що являє собою сушарку з майже 80% поверненням

РОЗДІЛ 2

сушильного агенту, та утилізатором класичної сушарки (рис.2.15, ж).

Фірма «Law» (Франція) [36] (рис.2.15, з) пропонує сушарки з рециркуляцією теплоносія та охолодженням повітря.

У зерносушарці фірми «Бентали» (Англія) атмосферне повітря після охолодження зерна подається до камери змішування топки, де змішується із продуктами згорання і далі подається до сушильної зони.

У зерносушарці фірми «Свенска Флактфабрикен» (Швеція) атмосферне повітря з камери охолодження зерна подається до парового калорифера другої зони сушіння. На виході з другої зони відпрацьоване повітря знову підігрівається і направляється до першої зони сушарки.

У шахтній прямоточній сушарці «Mand W 450p» процес сушіння проводять у три стадії. На першій стадії частина сушильного агенту використовується для попереднього нагрівання зерна. На наступній – зерно рухається вниз у прямотоці із сушильним агентом. На третій стадії охолоджене повітря проходить крізь сухе нагріте зерно, забираючи в нього частину теплоти. Все охолоджуюче повітря та близько 60% відпрацьованого сушильного агенту циркулює між вентилятором та камерою згорання [6, 27]. За даними фірм-виробників, економія витрат палива досягає 35%.

Застосування теплових насосів для підігрівання сушильного агенту замість традиційних установок [42] (топок для спалювання рідкого та газового палива) дозволяє значно підвищити якість продукту, виключити забруднення атмосфери та утилізувати низькопотенційну енергію теплових викидів сушарок. Крім того, теплові насоси дають можливість здійснювати в одній установці нагрівання та охолодження різних технологічних потоків. Нагрівання повітря в конденсаторі теплового насоса досягає температури 61...67°C, що дозволяє отримати температуру зерна до 43°C.

Досліди, проведені у Швейцарії при сушінні зерна установкою з тепловим насосом при зниженні вологості зерна ку-

курудзи з 20 до 15%, виявили велику енергетичну ефективність: енергетичні витрати знижені у 4 рази в порівнянні з роботою сушарки на рідкому паливі. При сушінні зерна (до 14%) кукурудзи з вологістю 33,5% сушаркою з тепловим насосом енергоємність знижено на 40% (при температурі нагрітого повітря 44°C). При роботі сушарки з повністю замкненим циклом, коли нагрівання сушильного агенту здійснюють за рахунок теплоти відпрацьованого теплоносія, енерговитрати на сушіння знижуються до 71%.

Використання теплових насосів в комбінації з сонячними колекторами дає змогу підвищити ефективність сушіння.

Зниження витрат палива термодинамічними методами можливе здебільшого за рахунок зменшення теплових викидів зерносушарки (її зерносушильної частини) [13, 14].

2.9 Тенденції розвитку вібраційного транспортно-технологічного обладнання у тепломасообмінних процесах

Виконання всього виробничого процесу машинами безперервної дії являє собою лише необхідну передумову для здійснення автоматизації роботи технологічного обладнання. При створенні ефективних автоматичних ліній важливо встановити умов, що визначають економічну достатність або доцільність для переходу до більш високого рівня безперервності. Забезпечення достатньо високої економічної продуктивності визначаються не особливостями технологічних процесів, а способом їх виконання, що обумовлюється властивостями технологічних машин.

2.8.1 Ознаки ефективності технологічного обладнання

Сукупність цільових дій робочих машин, що входять до автоматичних систем та забезпечують вищу форму безперервності, в загальному випадку містять:

РОЗДІЛ 2

- установку та регулювання положення предмета обробки;
- переміщення продукції в робочу зону, можливо із орієнтацією потоку;
- основна технологія обробки продукції або робочий рух;
- видалення предметів обробки із робочої зони та переміщення їх для подальшого технологічного впливу або в тару для готових виробів.

Сукупність наведених вище технологічних рухів та пропорційність між ними визначають спосіб виконання виробничого процесу. При цьому кожному способу виконання технологічного процесу притаманні дві якісно різні за своїм призначенням функції:

- переміщення предмета обробки, тобто транспортна функція;
- технологічного впливу на предмет обробки, тобто технологічна функція, що містить установку регулювання положення, захват, зняття предмета обробки та власне робочий вплив на нього.

Протилежність технологічних та транспортних дій виявляється не тільки в їх різному функціональному призначенні, але і в різних вимогах, що до них висуваються. Основною вимогою для транспортної дії є забезпечення мінімального часу проходження предмета обробки через робочу зону, тобто досягнення максимальної швидкості потоку виробів. Іншими словами, оптимальним для транспортування завжди буде таке положення предметів обробки, яке при заданій швидкості забезпечує максимальну пропускну здатність потоку, що відповідає максимальній продуктивності обладнання. Кошкін Л.Н. та пізніше Серга Г.В. [43, 44] як основний критерій класифікації робочих машин прийняли саме відношення найбільш загальних та суперечних сторін будь-якого виробничого процесу, тобто відношення транспортування та технологічної обробки.

Найбільш оптимальне співвідношення між транспортуванням та обробкою має місце у випадку, коли обробка здійснюється в процесі безперервного масового транспортування продукції в довільному положенні. Прикладами подібного процесу можуть бути обробка в хімічних або термічних агрегатах, у вібраційних машинах безперервної дії.

Досконалість машин, що використовуються при реалізації способів виконання технологічних процесів від першого до четвертого типів, зростає. Це свідчить про те, що співвідношення між складовими виробничого процесу можуть служити якісною мірою оцінки ефективності технологічного обладнання (рис. 2.16).

2.8.2 Дія вібрації на технологічні системи

В основі реалізації вібраційної технологічної дії лежить дія «вібраційного поля», тобто заданого амплітудно-частотного режиму коливань на деталі, що обробляються. Ця дія відбувається або за рахунок безпосереднього впливу вібрації на вироби для формування необхідних їх властивостей, або для забезпечення необхідного переміщення деталей, що реалізується в машинах із жорстко приєднувальними віброзбуджувачами (машини для формування, ущільнення, стабілізації, руйнування та інші).

У вібраційному полі зчеплення між частинами робочого середовища послаблюється, сипуче тіло отримує рухомість або псевдотекучість та настає стан псевдозрідження. При досягненні прискорень порядку величини прискорення вільного падіння (g) гранули робочого тіла найближче підходять одне до одного, спостерігається найбільш щільне їх укладання. Подібне явище використовується у вібраційних машинах для ущільнення та формування певної суміші. При подальшому збільшенні інтенсивності коливань частинки наповнювача починають втрачати контакт із віброуючим робочим органом, зменшуються і періодично порушуються зв'язки між гранулами та досягається стан віброкипіння.

РОЗДІЛ 2

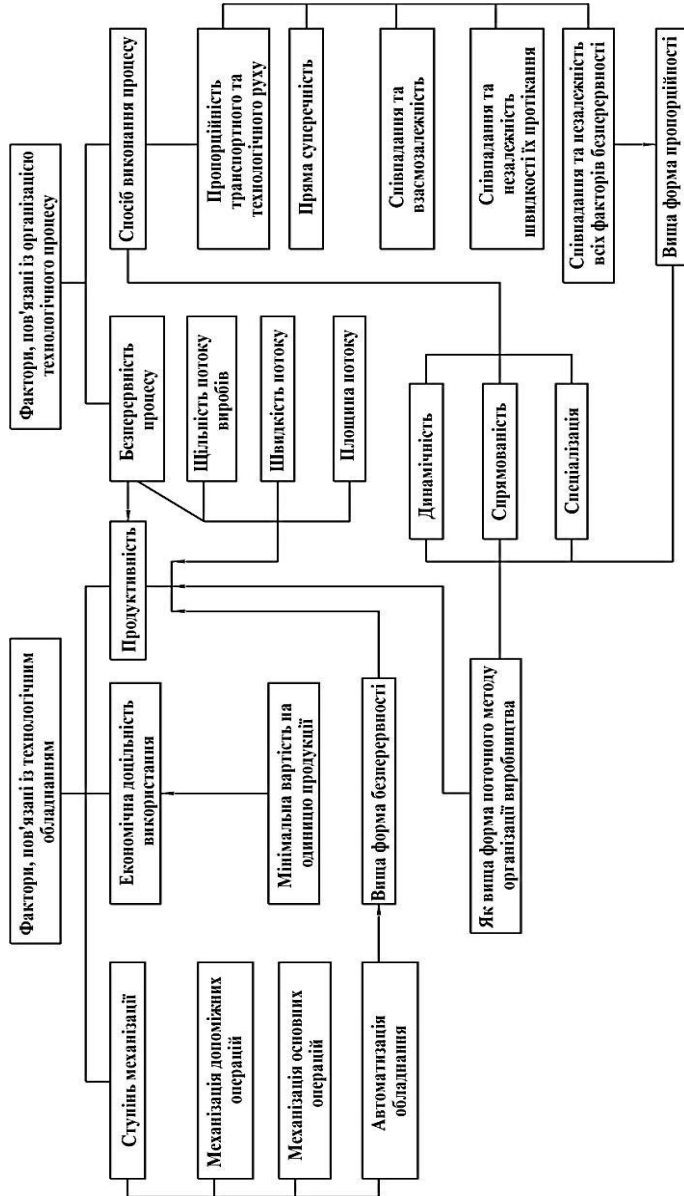


Рис. 2.16. Фактори, що обумовлюють ефективність використання технологічного обладнання

При цьому відбувається розпушення сипучого тіла та посилення циркуляції частинок, що його складають. Такий стан сприятливий для реалізації транспортних операцій.

Перехід від псевдозрідження до псевдо кипіння спостерігається при наданні гранульованому тілу певних прискорень коливань тобто при досягненні робочим тілом певного енергетичного рівня (для грубо дисперсних систем – це надання прискорень коливань, як правило, більших g).

Критичні прискорення та енерговитрати залежать від властивостей сипучого середовища, товщини шару наповнювача, сил зчеплення між частинами та інших факторів. Такий стан значно поліпшує умови перемішування та, як наслідок, підвищує поверхню тепло масообміну; зменшує сили внутрішнього тертя та відповідно енерговитрати на реалізацію технологічного руху.

Отже, вібраційна обробка в умовах сипкого середовища характеризується динамічною дією робочих органів; акустичною дією ударних хвиль. Також, як один з технологічних або транспортних рухів використовується вібраційне переміщення. Таке переміщення зводиться або до руху з постійною швидкістю чи із швидкістю, що повільно змінюється; або до т.з. відведення – зміщення положень рівноваги та до появи одного чи декількох дискретних положень квазірівноваги; або із уявним перетворенням сухого тертя у в'язке як результат зниження ефективного коефіцієнта тертя при вібрації. Це обумовлює підвищення рівномірності обробки при зменшенні часу технологічної дії, що опосередковано призводить до зменшення енерговитрат.

Подібні фізико-механічні процеси, обґрунтовують вібраційну обробку як один із найефективніших типів механічної дії, що набуває все більшого розвитку в різноманітних галузях харчових та переробних виробництв (рис. 2.17) [16, 45 – 47].

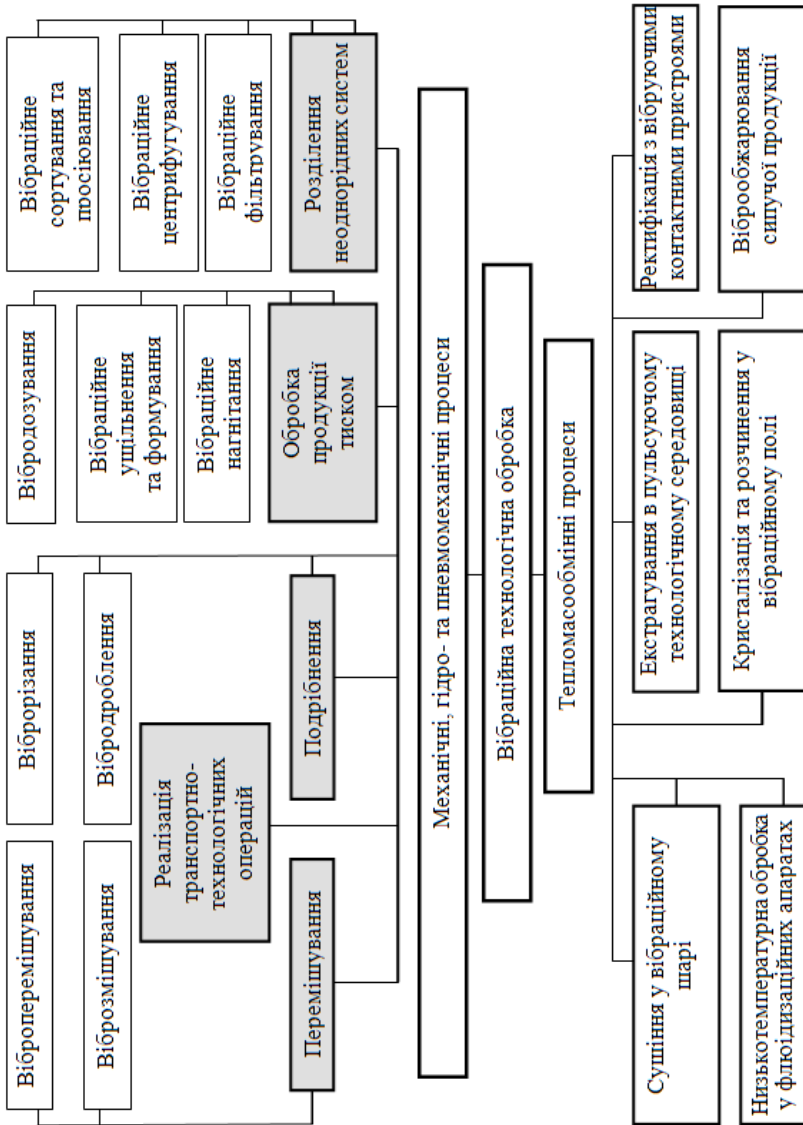


Рис. 2.17. Галузі застосування вібраційної технологічної дії в харчових та переробних виробництвах.

2.8.3 Тенденції розвитку конвеєрних вібраційних машин

В якості об'єкта дослідження маємо конвеєрні вібраційні технологічні машини, які обумовлюють тенденцію поєднання двох перспективних напрямів вдосконалення технологічного обладнання – розвиток конвеєрних та вібраційних технологічних машин. Розвиток даного напрямку обґрунтовується необхідністю створення технологічних автоматизованих ліній з комплексною вібраційною обробкою продукції для досягнення вищих форм безперервності та пропорційності. Така тенденція відповідає росту технологічного прогресу в аспекті вдосконалення технологічного обладнання.

Перший ступені досконалості відповідають комбіновані вібраційні машини, в яких вібрація застосовується як засіб, що знижує сили внутрішнього тертя в сипучому середовищі, поліпшує умови його транспортування та зменшує кут самопливного руху. При цьому переміщення вантажу може відбуватися або за допомогою тягових органів (вібраційно-тягові машини), або під дією аеродинамічного чи гідродинамічного напору (вібропневматичні чи віброгідролінічні машини), або під дією електромагнітного поля (вібромагнітні машини) [26].

У вібраційних транспортно-технологічних машинах другого типу вібрація не тільки знижує сили внутрішнього тертя при транспортуванні, але й забезпечує примусове вібропереміщення матеріалу по робочому органі. Серед машин даного типу можна виділити бункерні живильники, вібраційні лотки-транспортери та підйомники.

Серед технологічного обладнання конвеєрного типу, що виконує транспортну функцію, найбільшою ефективністю відрізняються вібраційні та хвильові конвеєри. Наступна ступінь досконалості вібраційного конвеєрного обладнання вимагає виконання також деяких технологічних функцій. Подібна схема процесу реалізована у вібраційних транспортно-технологічних машинах.

Суттєвою ознакою конвеєрної вібраційної технологічної машини, що визначає можливість існування її як такої, є наявність вібраційної технологічної дії при поточному способі організації роботи машини. Основні істотні та суттєві властивості конвеєрних вібраційних машин наведені на рис. 2.18, де наочно ілюстрована динаміка зміни даних властивостей по мірі технологічного вдосконалення машин від транспортуючих до транспортно-технологічних та технологічних [16, 37, 47].

Так переміщення виступає відповідно як єдиний, основний і далі як допоміжний технологічний рух. Вібраційна дія являє собою основний динамічний фактор роботи машини і спрямована на здійснення суто транспортного руху у вібраційних доставочних конвеєрах, технологічного руху або поєднання обох останніх операцій – у вібраційних технологічних машинах.

Спосіб реалізації транспортного та технологічного рухів, тобто основних складових виробничого процесу, здебільшого, визначає різноманітність конструктивного виконання конвеєрних технологічних машин.

Для машин даного типу транспортний рух може здійснюватись за допомогою гравітаційних сил або під впливом додаткового вібраційного поля, або за рахунок спеціальної форми робочої камери, або за допомогою допоміжних вібраційних транспортерів чи конвеєрних ліній. Найпростішим конструктивним рішенням гравітаційного переміщення продукції або технологічного завантаження є похиле розташування робочого контейнера. Вібраційне транспортування здійснюється за допомогою віброзбуджувача, що створює основний технологічний рух чи під дією спеціальних додаткових вібраторів, які встановлюються на коливальній трасі. Яскравим прикладом машин, в яких одночасно відбувається транспортний та технологічний рух за рахунок спеціальної форми робочої камери, є гвинтові ротори [44].

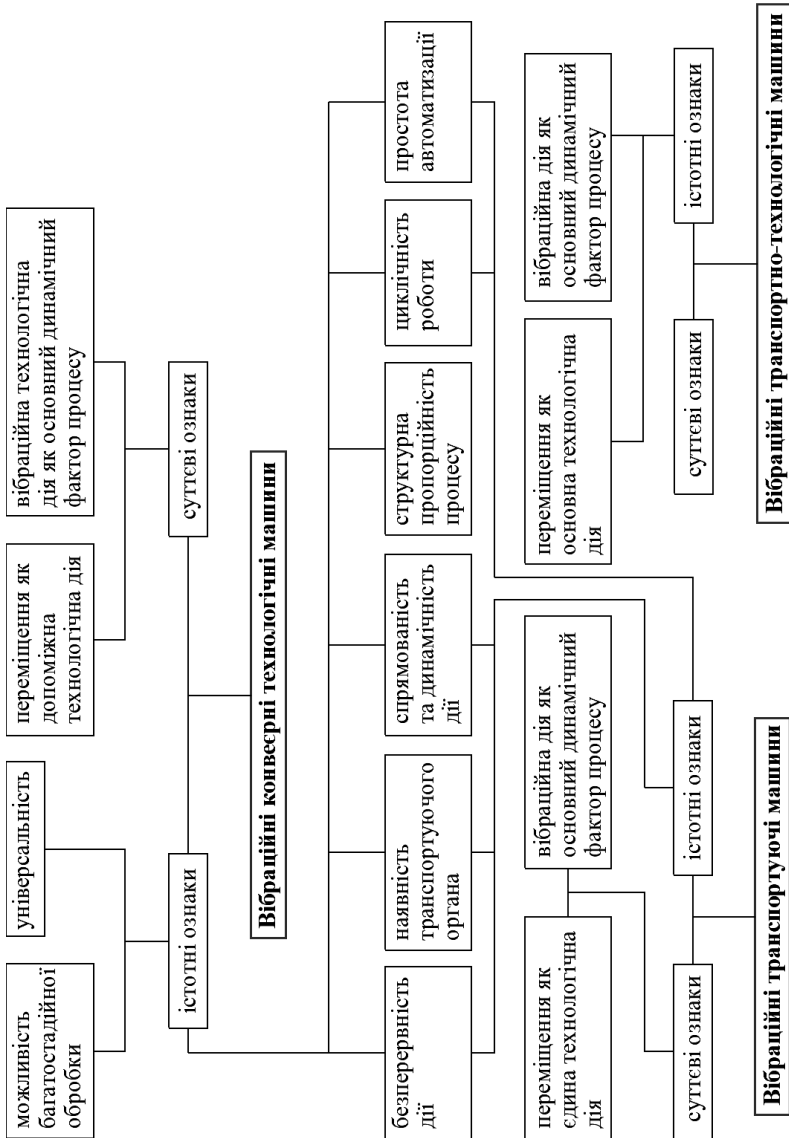


Рис. 2.18. Основні ознаки конвеєрних вібраційних машин

РОЗДІЛ 2

Однак, найбільше розповсюдження знайшли вібраційні конвеєрні технологічні машини, що мають спеціальні механізми для реалізації транспортної операції у вигляді відомих механічних транспортерів, серед яких перевагу надають стрічковим конвеєрам.

Технологічний рух створюється віброзбуджувачами різного типу, особливості та конструкція яких значно впливає на виконання вібраційних машин. Серед віброзбуджувачів найбільше поширення набули механічні, здебільшого, дебалансного типу (рис. 2.19, 2.20).

На підприємствах харчових, фармацевтичних та інших переробних виробництв, де має місце переміщення пороховидних, гарячих, кородуючих та інших агресивних матеріалів, доцільними виявляються вібраційні та хвильові конвеєри. Подібні машини відрізняються простотою конструктивного виконання, легкістю обслуговування та експлуатації, високою довговічністю та надійністю в самих складних умовах експлуатації, ремонтопридатністю та взаємозамінністю вузлів, можливістю суміщення транспортних операцій з одночасним здійсненням деяких технологічних процесів. Математичне моделювання даних процесів, теоретичні та експериментальні дослідження закономірностей їх реалізації, розробка конструктивних схем хвильових та вібраційних транспортуючих машин наведені у фундаментальних працях А.О. Співаковського, І.Ф. Гончаревича, К.Ф. Фролова [48 – 51].

Одномасна вібраційна транспортуюча машина включає вантажонесучий орган 1 (рис. 2.19), що встановлюється на фундамент через пружний зв'язок 3. Коливання вантажонесучому органу передаються механічним приводом 2 з пружним шатуном. Установки даного типу відрізняються конструктивною простотою, але внаслідок неврівноваженості сил інерції коливаючих мас привід підлягає дії великих динамічних навантажень. Другим недоліком цих машин є підвищені витрати енергії на здолаття шкідливих опорів, що діють в системі.

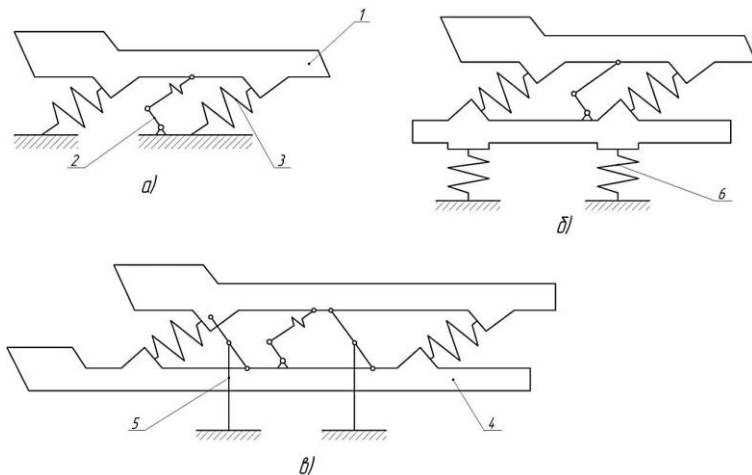


Рис. 2.19. Схема вібраційних транспортуючих машин з механічним приводом: а) одномасна схема; б) двомасна схема; в) двомасна схема з ізолюваною реактивною масою.

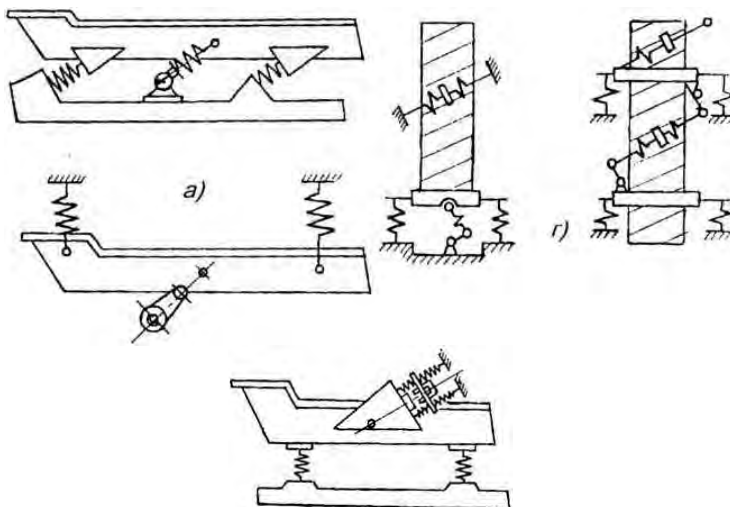


Рис. 2.20. Схеми вібраційних конверсів із механічним та електромагнітним приводом а) з кінематичним приводом; б) з інерційним приводом; в) з електромагнітним приводом; г) вібраційні підйомники з гвинтовим вантажонесучим органом та кінематичним приводом

РОЗДІЛ 2

Тому в двомасній системі передбачена наявність реактивної маси 4, яка може бути також ізольованою від опорних конструкцій через додаткові пружні елементи 6. Вібраційні конвеєрні машини різняться також типом приводу, що ілюстровано на рис. 2.20.

Вібраційне переміщення з успіхом застосовується при транспортуванні як в горизонтальній, так і у вертикальній площині, при переміщенні як сипучих, пороховидних, так і рідких, липких та пластичних мас (рис. 2.21). Вібраційне транспортування може здійснюватися або при асиметрії сил інерції, або при асиметрії сил тертя, або при асиметрії як сил інерції, так і сил тертя, що діють на вантаж в процесі зворотньо-поступального руху вантажонесучого органа.

Найбільш близьким по сутності здійснення до вібраційного конвеєра є хвильовий конвеєр. Основним елементом цього типу машин є деформувальний вантажонесучий орган, в якому тим або іншим способом створюються хвильові рухи [48, 49].

Картина руху створюється в результаті коливань точок поверхні робочих органів відносно певного центру у повздовжньому та поперечному напрямках. При цьому кожна точка переміщується відносно сусідньої з деяким зсувом по фазі. При відсутності цього зсуву мав би місце вібраційний рух, що характерний для жорстких робочих органів, що не деформуються. В загальному випадку процес транспортування вантажу формується як поперечними, так і повздовжніми хвилями на транспортувальній поверхні. Поперечні хвилі керують взаємодією транспортувальної поверхні з вантажем за рахунок періодичної зміни тиску вантажа на опорну поверхню. Повздовжні хвилі формують швидкість переміщення. Конфігурація хвилі, її транспортні можливості визначаються параметрами повздовжніх та поперечних хвиль при їх взаємодії. Як привід для хвильових конвеєрів використовуються різні типи віброзбудувачів, що можуть бути вмонтовані безпосередньо в стрічку. При цьому враховують, що частоти коливань пруж-

ної системи, яка утворюється під дією рівномірно рухомого гармонічного джерела, зміщені по відношенню до частоти джерела (ефект Доплера).

Хвильове переміщення є більш загальним випадком транспортування ніж вібраційне. Так, вібраційне переміщення являє собою приватний випадок хвильового транспортування, коли довжина вантажонесучого органа незначна по відношенню до довжини хвилі. Таким чином, можливості хвильових установок по різноманітності режимів транспортування набагато перевищують вібраційні транспортуючі машини. Хвильове переміщення досягається за рахунок поперечних і повздовжніх стоячих та біжучих хвиль на транспортувальній поверхні (рис. 2.21). При цьому мають вагу конфігурація хвилі та співвідношення швидкості транспортування та швидкості розповсюдження біжучих хвиль.

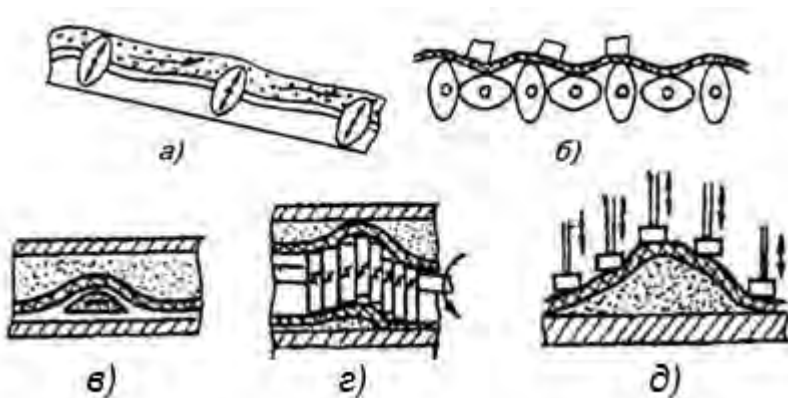


Рис. 2.21. Схеми реалізації хвильового переміщення:

- а) – схема процесу; б) – вантажонесучий орган хвильового конвеєру з обертальними кулачковими валами; в) – з шаблоном, що поступально рухається; г) – обертальним шаблоном; д) – з локальною деформацією

Серед особливостей хвильових конвеєрів можна виділити: наявність повздовжніх деформацій вантажу; повна врівноваженість приводного механізму, так як для них, на відміну

РОЗДІЛ 2

від вібраційних, характерна відсутність періодичного переміщення зосереджених мас за рахунок того, що при роботі хвильових конвеєрів відбувається лише періодична зміна форми деформувального робочого органу.

Поряд із хвильовим транспортером, в основу дії якого покладений ефект тиску хвиль, представляє інтерес хвильовий рушій, що переміщується за рахунок спрямованого випромінювання хвиль. Для реалізації цього руху по одномірній пружній напрямній необхідно, щоб рушій поєднував в собі одночасно два типи когерентних джерела коливань, один із яких збуджує хвилі в напрямній синфазно в обидві сторони, а другий – протифазно. В результаті інтерференції сумарне випромінювання спрямоване в одну сторону та під дією сил віддачі (реакції випромінювання) відбувається рух.

Надалі розглянемо методику отримання основних тепломасообмінних та механічних характеристик процесу інфрачервоного зневоложення.

Література до розділу 2

1. *Авдеев А.В.* Механико–технические основы расчёта и проектирования сельскохозяйственных зерносушильных машин. Автореферат диссертации на соискание доктора технических наук. – М.: – 1992.– 39с.

2. *Алейников В.И.* Исследование процесса и разработка режимов сушки зерна пшеницы с предварительным подогревом. Автореф. дисс. кандидата технических наук. – Одесса. – 1969. – 24с.

3. *Алейников В.И.* Пути снижения удельных затрат топлива и электроэнергии при сушке зерна // Обзорная информация. Серия «Элеваторная промышленность» / В.И. Алейников. – М.:ЦНИИТЭЖ Минзага СССР. – 1979. – 70 с.

4. *Анискин В.И.* Консервация влажного зерна / В.И. Анискин. – М.: Колос.–1968.–286с.

5. *Анискин В.И.* Технологические основы сокращения топливно–энергетических ресурсов, используемых для сохранения влажного зерна в сельском хозяйстве / В.И. Анискин. – Тр. Вып. – 1987. – Вып. 115. – С. 3–17.

6. *Анискин В.И.* Теория и технология сушки и временной консервации зерна активным вентилированием / В.И. Анискин, В.А. Рыбарук. – М. ВИМ. – 1972. – 20°С.

7. *Анискин В.И.* Технологические и технические решения проблемы сохранности зерна в сельском хозяйстве. Автореферат диссертации доктора технических наук. – М.: ВИМ.– 1985– 43с.

8. *Атаназевич В.И.* Сушка зерна / В.И.Атаназевич. – М.:Агропромиздат.–1989 – 244с.

9. *Атаназевич В.И.* Исследование импульсного режима сушки пшеницы в шахтных зерносушилках. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Одесса. – 1963 – 2°С.

10. *Баум А.Е.* Сушка зерна / А.Е. Баум, В.А. Резчиков. – М.– Колос. – 1983–223с.

11. *Боноев П.А.* Обоснование поточной технологии адсорбционно–контактной сушки зерна. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Новосиб.: –1990.–17с.

12. *Бадай В.Т.* Научное обоснование и синтез оптимальных режимов и технологических схем зерносушилок. Автореферат диссертации кандидата технических наук. – Одесса. – 1990. – 16с.

13. *Безбах И.В.* Исследование процесса сушки плодов и ягод во взвешенном слое /И.В. Безбах, Н.В. Бахмутян // Наукові праці ОНАХТ, Одеса. – 2006. – Вип. 28, т. 2. – С. 112–116.

14. *Бурдо О.Г.* Эволюция сушильных установок / О.Г. Бурдо. – Одесса: «Полиграф», 2010. – 368с.

15. *Гинзбург А.С.* Основы теории и техники сушки пищевых продуктов / А.С. Гинзбург. – М.: Пищевая промышленность. – 1973 – 527с.

16. *Гинзбург А.С.* Сушка пищевых продуктов в кипящем слое / А.С.Гинзбург, В.А. Резчиков. – М.: Пищевая промыш-

ленность. – 1966. – 106с.

17. *Гинзбург А.С.* Влага в зерне / А.С. Гинзбург, В.П. Дубровский, Е.Д.Казаков и др. – М.: Колос, 1969. – 23°С.

18. *Гинзбург А.С.* Расчёт и проектирование сушильных установок пищевой промышленности / А.С. Гинзбург. – М.:Агропромиздат. – 1985. – 336с.

19. *Гірник М.Л.* Механізація і автоматизація післязбирання обробки зерна / М.Л. Гірник. – К. Урожай. – 1970. – 19°С.

20. *Гришин М.А.* Интенсификация процесса сушки пищевых растительных материалов. Автореферат диссертации доктора технических наук. Одесса. – 1974. – 54с.

21. *Данилов О.А.* Экономия энергии при тепловой сушке / О.А. Данилов, Б.И. Леончик. – М.:Энергоатомиздат. – 1986. – 134с.

22. *Дидух В.Ф.* Сушка семян сахарной свеклы в плотном слое. // Механизация и электрофикация сельского хозяйства / В.Ф. Дидух. – 1989. – №9. – С.23–25.

23. *Егоров Г.А.* Влияние тепла и влаги на процессы переработки и хранения влажного зерна / Г.А. Егоров. – М.: – Колос. – 1973. – 216с.

24. *Жидко В.И.* Зерносушение и зерносушилки / В.И. Жидко, В.А.Резчиков, В.С. Уколов. – М.: Колос, 1982. – 239с.

25. *Жидко В.И.* Исследование «прогрессивных» режимов сушки продовольственной пшеницы. Диссертация кандидата технических наук. Одесса. – 1953. – 178с.

26. *Жидко В.И.* Исследование процесса сушки зерна в связи с его автоматизацией. Автореферат диссертации доктора технических наук. Одесса. – 1970. – 58с.

27. *Ильин Л.И.* Повышение эффективности зерносушилок / Л.И. Ильин. –Хлебопродукты. – 1989. – №12. – С.24–28.

28. Инструкция по сушке продовольственного, кормового зерна, маслосемян и эксплуатация зерносушилок №9–3–82. – М.:ЦНИИТЭИ Минзага СССР. – 1982. – 6°С.

29. *Котов Б.І.* Аналіз тенденцій підвищення паливно–енергетичної ефективності зерносушарок / Б.І. Котов. – Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – 2001. – Вип. 10. – С. 227–232.

30. *Левин Д.М.* Термодинамическая теория и расчет сушильных установок / Д.М. Левин. – М.: Пищепромиздат. – 1958. – 167 с.

31. *Малин Н.И.* Снижение затрат на сушку зерна / Н.И. Малин. – М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов. – 1991. – 45 с.

32. *Мальтри А.* Сушильные установки сельскохозяйственного назначения / А.Мальтри, Э.Петке, Б.Шнайдер. – М.: Машиностроение.– 1979.– 524 с.

33. *Наймушилин М.И.* Пути снижения энергозатрат и повышения производительности сушильных установок с плотным слоем/ М.И.Наймушилин. – Тр. ЛСХИ.– 1981. – С. 65–69.

34. *Окунь Г.С.* Тенденции развития технологии и технических средств сушки зерна//Обзорная информация / Г.С. Окунь, А.Г. Чижиков. – М.: ВНИИТЭИ Агропром. – 1987. – 52 с.

35. *Окунь Г.С.* Установка для сушки зерна за рубежом / Г.С. Окунь, С.Д. Птицын, А.Г. Чижиков. – М.: Сельхозиздат. – 1963. – 114 с.

36. Основи сільського господарства. Практикум / Під редакцією Польського Б.Н. – К.: Вища школа, 1983.

37. *Остапчук Н.В.* Повышение Эффективности сушки зерна / Н.В. Остапчук, А.Б. Шашкин, В.Д. Каминский. – К.: Урожай, 1988. – 132 с.

38. *Птицын С.Д.* Зерносушилки / С.Д.Птицын. – М.: Машиностроение, 1966. – 184 с.

39. *Резчиков В.А.* математическое моделирование процесса сушки предварительно нагретого зерна / В.А.Резчиков, Р.П.Дубиничева. – Тр. ВНИИЗ.– М.: –1985.– Вып. 108. – С. 1–15.

РОЗДІЛ 2

40. *Резчиков В.А.* Теория и практика энергосбережения при сушке зерна// Обзорная информация / В.А. Резчиков. – М.: ВНПО зернопродукт. – 1991. – 5°С.

41. *Станкевич Г.М.* Сушка зерна / Г.М.Станкевич, Т.В.Страхова, В.И.Атаназевич. – К.: Либідь. – 1997. – 351 с.

42. *Чурсинов Ю.А.* Анализ технологических решений и оборудования по сушке зерновых продуктов// Хранение и переработка зерна / Ю.А. Чурсинов. – 2000. – № 11. – С.27–30.

43. *Кошкин, Л.Н.* Роторные и роторно-конвейерные линии / Л.Н. Кошкин.- М.: Машиностроение, 1986. – 319 с.

44. *Серга, Г.В.* Отделочно-зачистная обработка деталей в винтовых роторах / Г.В. Серга, А.Н. Куцериб // Механизация и автоматизация производства.–1990.–№5. – С. 10-13.

45. *Членов, В. А.* Виброкипящий слой / В. А. Членов, Н. В. Михайлов. – М. : Наука, 1972. – 344 с.

46. *Членов, В. А.* Сушка сыпучих материалов в виброкипящем слое / В. А. Членов, Н. В. Михайлов. – М. : Стройиздат, 1967. – 224 с.

47. *Членов, В. А.* Тепло- и массообмен при сушке сыпучих материалов кондуктивным методом в виброкипящем слое / В. А. Членов, Н. В. Михайлов. – Тепло- и массоперенос. – Киев, 1968. – Т. 6, ч. 2. – С. 150–160.

48. *Гончаревич, И.Ф.* Вибрационная техника в пищевой промышленности / И.Ф.Гончаревич, Н.Б.Урьев, М. А.Галейсник. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 278 с.

49. *Спиваковский, А.О.* Вибрационные машины / А.О. Спиваковский, И.Ф. Гончаревич. – М.: Наука, 1983.– 288 с.

50. *Гончаревич И.Ф.* Теория вибрационной техники и технологи / И.Ф. Гончаревич, К.В. Фролов. –М.: Наука, 1981 . – 320 с.

51. *Мухленова, И.П.* Расчеты аппаратов кипящего слоя: справочник / под ред. И. П. Мухленова, Б. С. Сажина, В. Ф. Фролова. – Л. : Химия, 1986. – 352 с.

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮ- ВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні дослідження проведено на базі трьох науково-дослідних лабораторій Вінницького національного аграрного університету та Одеської національної академії харчових технологій. В першій лабораторії проводились дослідження тепломасообмінних характеристик інфрачервоного сушіння з нерухомим шаром сировини; в другій – характеристики даного процесу з рухомим шаром продукції; в третій – оцінка тепломасообмінних та механічних характеристик досліджуваного процесу в умовах віброзваженого шару продукції. В якості об'єкта обробки використано зерно ріпаку та сої.

3.1 План проведення експериментальних досліджень

На експериментальній базі визначено основні параметри тепломасообміну для процесів інфрачервоного сушіння у нерухомому, рухомому та віброзваженому шарі продукції. Отримані результати дозволяють оцінити більш ефективний спосіб обробки за швидкістю сушіння та продуктивністю процесу. Факторний простір досліджуваного процесу та отримані характеристики дають можливість визначити необхідні для аналізу критерії подібності масообміну. Це дозволяє скласти кінетичне рівняння процесу та отримати рекомендовані режими його реалізації.

Аналіз віброхвильової коливальної системи проведено за кінематичними, силовими та енергетичними критеріями оцінки. В якості кінематичних характеристик досліджено амплітуду коливань, кутову швидкість обертання приводних валів віброзбуджувачів, віброшвидкість та віброприскорення.

Силовий аналіз проведено, досліджуючи параметри вібрації для альтернативних способів незрівноваженості коливальної системи при варіюванні інерційних зусиль, що виникають в опорних котках стрічки.

РОЗДІЛ 3



Рис. 3.1. План проведення експериментальних досліджень

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Серед енергетичних характеристик досліджено витрати потужності на привод, а також питомі витрати потужності на одиницю коливальної маси системи.

Синхронізацію роботи віброзбуджувачів в опорних котках машини проведено з метою отримання таких параметрів хвилі на робочій частині стрічки, щоб забезпечити як стійку подачу продукції, так і максимальну продуктивність машини. При цьому необхідно задовольнити умови досягнення потрібного вилучення вологи за один прохід продукції на хвильовому конвеєрі.

Отримані експериментальні дані згідно з планом досліджень, представленим на рисунку 3.1, дозволяють обґрунтувати режимні параметри розробленої віброхвильової інфрачервоної сушарки, провести її техніко-економічний та функціонально-вартісний аналіз, а також перевірити адекватність математичного моделювання досліджуваного процесу.

3.2 Методика оцінки тепломасообмінних параметрів досліджуваного процесу інфрачервоного сушіння

Для установки з інфрачервоним опромінюванням олійного матеріалу апаратурно-конструктивні особливості на рівнях функціонально-конструктивних елементів і вузлів визначені наступними умовами: по-перше, вони повинні забезпечити, з урахуванням початкових технологічних чинників об'єкту переробки, необхідний рівень активності речовин і вологості; по-друге, конструктивними рішеннями з організації інфрачервоного опромінювання, що забезпечують необхідну енергетичну і технологічну ефективність процесу; по-третє, способом механічної дії, що забезпечує транспортування і перемішування матеріалу [1 – 5].

Як правило, процес обробки в інфрачервоному обладнанні складається з двох етапів: перший етап – обробка продукту при максимальній температурі джерела інфрачервоного опромінювання до утворення на поверхні виробу скоринки

підсмажування; другий етап – доведення продукту до повної готовності при зменшеній постійній температурі генераторів. Зменшення температури на другому етапі здійснюється за допомогою зменшення електричної потужності або збільшенням відстані продукту до джерела інфрачервоного опромінювання. Конструктивні рішення з компоновки блоку інфрачервоних ламп і самих генераторів забезпечують досягнення рівномірного опромінювання згідно вимог переробки відповідного олієвмісного матеріалу [6 – 8], у тому числі і за вмістом антиживильних речовин [9].

3.2.1 Обробка у нерухомому шарі сировини

Для вивчення впливу технологічних, енергетичних і конструктивних параметрів при інфрачервоному опромінюванні на ефективність видалення вологи з продукту була створена експериментальна установка, зображення якої представлено на рисунках 3.2 та 3.3. Вона працює наступним чином. В середині сушильної камери 3 розташовується корзинка 1 з наважкою досліджуваного продукту, яка за допомогою мідного дроту сполучена з електронними вагами 4. Далі установка запускається за допомогою вмикача 7; після цього використовуючи регулятор потужності інфрачервоного опромінювача виставляють на необхідну потужність, визначаючи її добутком сили струму на напругу. Наступним кроком є ввімкнення вентилятора 5 та інфрачервоного опромінювача 2 за допомогою відповідних вмикачів 8 та 9. В подальшому щохвилини знімають показники маси та температур повітря і продукту. Для вимірювання температур повітря і продукту використовують термопару хромель-алюмель, сполучену з потенціометром, який за допомогою перемикача 10 відображає температурні дані на показчику 14.

Наважку певної маси 100; 200; 300; 400 г цілого зерна ріпаку та сої засипають у корзинку площею 0,04 м², таким чином отримують значення питомого завантаження рівними відповідно 2,5; 5; 7,5; 10 кг/м³.

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

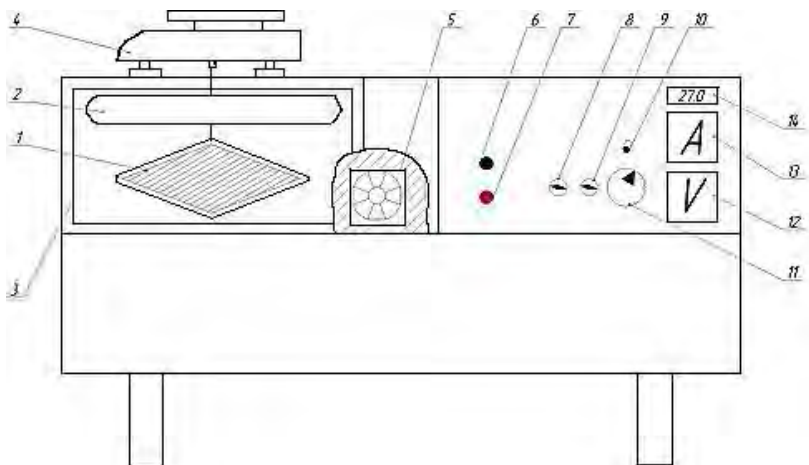


Рис. 3.3. Схема експериментальної установки для сушіння з використанням інфрачервоного опромінювача:

- 1 – корзинка; 2 – інфрачервоний опромінювач; 3 – сушильна камера;
4 – електронні ваги; 5 – вентилятор для витягування повітря з камери;
6 – вмикач установки; 7 – вимикач установки; 8 – вмикач вентилятора;
9 – вмикач інфрачервоного опромінювача; 10 – перемикач показника температури продукту та повітря в камері; 11 – регулятор потужності інфрачервоного опромінювача; 12 – вольтметр; 13 – амперметр;
14 – показник температури продукту та повітря в камері.



Рис. 3.3. Експериментальна установка для сушіння з використанням інфрачервоного опромінювача.

Масу вимірюють за допомогою електронних ваг (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Електронні лабораторні технічні ваги VTA-60:

- 1 – звішувальне деко;
- 2 – панель калібрування;
- 3 – індикаторний дисплей.

Після цього корзинку поміщають в установку з інфрачервоним опромінювачем. Далі здійснюють обробку продукції інфрачервоним опроміненням потужністю 100, 200, 300, 400, 500 Вт до того часу, коли температура продукту почне дорівнювати чи перевищувати 70 °С або до тих пір, коли від початку експерименту пройде 50 хв., щохвилини знімаючи показники маси, температури продукту та повітря, отриму-

ючи дані для дослідження кінетики процесу.

У процесі обробки продукт розташовується на металевій решітці, під якою знаходяться генератори інфрачервоного опромінювання. Обробка харчової сировини в полі інфрачервоного опромінювання за умов відкритого робочого простору полягає в тому, що електромагнітні хвилі від джерела випромінювання проникають у продукт на глибину до 2 мм і частково або повністю поглинаються в ньому. При цьому електромагнітна енергія перетворюється в теплову, що викликає нагрівання продукту. Окрім цього, нагрівання продукту відбувається конвективно, тобто гарячим повітрям робочого простору (175...350 °С), і кондуктивно – поверхнею решітки апарата.

3.2.2 Обробка у рухомому шарі сировини

Для вивчення впливу технологічних, енергетичних і конструктивних параметрів при інфрачервоному опромінюванні на ефективність видалення вологи з продукту було створено експериментальну установку, схема якої представлена на рисунку 3.5. Вона працює наступним чином.

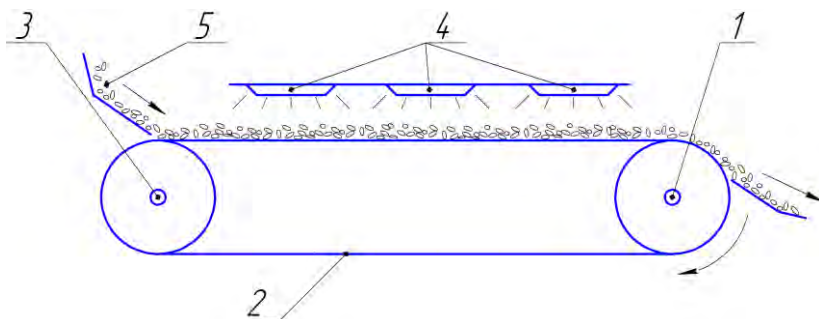


Рис. 3.5. Схема експериментальної конвеєрної установки для ГЧ сушіння:

1 – приводний каток; 2 – стрічка; 3 – натяжний каток; 4 – інфрачервоні опромінювачі; 5 – продукція



Рис. 3.6. Експериментальна конвеєрна установка для ГЧ-сушіння зерна

РОЗДІЛ 3

На стрічку подається певна кількість цілого зерна ріпаку або сої, отримуючи значення питомого завантаження рівними відповідно 2,5; 3,5; 5 кг/м³. Після цього стрічку приводять до руху зі швидкістю 0,13; 0,33 або 0,54 см/с. Під час руху стрічки під інфрачервоними випромінювачами продукція сприймає вплив опромінення потужністю 100, 200, 300 Вт.

При цьому по ходу стрічки вмикають один, два або три випромінювачі, потужність яких регулюється за допомогою зміни сили струму, виміряної за допомогою струмових кліщів (рис. 3.7): встановлюють поворотний перемикач в положення A□, натискають кнопку ZERO для переходу в нульовий режим, розкривають трансформаторні кліщі і захоплюють тільки один провідник, що прямує до інфрачервоного випромінювача.



Рис. 3.7. Струмові кліщі

Температуру шару продукції визначають за допомогою пірометра (рис. 3.8) крізь віконця в кожусі установки, які розташовані після кожного із випромінювачів по ходу руху стрічки.



Рис. 3.8. Пірометр

Вологість зерна визначають із різниці маси проби продукції і маси цієї самої проби після її висушування в електричній сушильній шафі. Для цього спочатку беруть пробу зерна перед сушінням, зважують на електронних вагах і закривають в бюкси. По ходу проведення експерименту відбирають проби крізь віконця в кожусі після проходження продукції під випромінювачами. Проби одразу зважують і закривають в бюкси. Після проведення одного експерименту всі бюкси поміщають в сушильну шафу для повного їх висушування. Че-

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

рез декілька годин бюкси знову виймають і зважують, записують зміну маси і знову поміщають в сушильну шафу. Повторюють дані маніпуляції кожні дві години, доки маса бюксів не перестане змінюватись. За різницею початкових і кінцевих даних визначають масу вологи в кожній із проб.

3.2.3 Обробка у віброзваженому шарі сировини

Визначення основних параметрів віброзваженого шару проводять із застосуванням дослідної установки рис. 3.5,3.6.

Для визначення амплітудно-частотних характеристик машини необхідно виконати такі операції:

- підготовка приладу та досліджувальної машини до вимірювань, що містить під'єднання основного вимірюючого обладнання до приводу машини;

- установка вібродатчиків на поверхню платформи (поверхню на якій кріпляться опорні вузли привідного валу віброзбудувача) та до поверхні валу робочого контейнеру;

- вибір необхідного кроку вимірювань із зазначенням частоти обертання привідного валу, яка регулюється зміною напруги на вторинній обмотці лабораторного трансформатора;

- підключення досліджувальної машини та приладів до мережі;

- зняття через величину кроку вимірювання величини амплітуди коливань, віброшвидкості та віброприскорення відносно всіх осей координат. При цьому відповідно змінюємо місце розташування вібродатчика відносно осей координат.

Проводимо означений цикл вимірювань п'ять разів та знаходимо середні величини виміряних значень.

Для визначення енергетичних характеристик досліджувальної машини необхідно виконати такі операції:

- підготовка приладу та досліджувальної машини до вимірювань;

РОЗДІЛ 3

- вибір необхідного кроку вимірювань із зазначенням частоти обертання привідного валу;
- підключення досліджувальної машини і обладнання до мережі;
- зняття через величину кроку вимірювання величини витрат енергії на привід.

Зважаючи на високу плинність маси продукції в умовах віброзваженого стану, основні параметри тепломасообміну визначають більш інтенсивними методами. Для визначення вологості продукції використовують вологомір для зерна AQUA-15 (рис. 3.9). Перед початком роботи з даною технікою на дисплеї вибирають потрібний вид сільськогосподарської культури (табл. 3.1). Далі вимірюють електроємність порожньої камери, доки на екрані не з'явиться напис «Засипати пробу», засипають відібрану пробу ріпаку і вмикають визначення вологості. Через деякий час на екрані з'являються показники вологості і температури продукції.



Рис. 3.9. Вологомір для зерна AQUA-15

Таблиця 3.1

Межі допустимої абсолютної похибки в інтервалах діапазону вимірів

| Найменування культури | Межі допустимої абсолютної похибки | |
|--|------------------------------------|---------------------------|
| | AQUA-15 STANDART | AQUA-15 ETALON |
| М'яка пшениця, ячмінь, овес, кукурудза, соя | від 10% до 17%, ±0,8% | від 4% до 18%, ±0,5% |
| Соняшник | від 6% до 12%, ±0,8% | від 5% до 14%, ±0,5% |
| Жито | від 10% до 17%, ±0,8% | від 5,4% до 18%, ±0,5% |
| Ріпак, просо, тверда пшениця, рис білий, горох | від 7% до 17%, ±0,8% | від 4,4% до 18%, ±0,5% |

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.3 Методика визначення основних параметрів коливальної системи

Вібраційну машину як технологічну систему можна визначити сукупністю її структурних складових та взаємозв'язків між ними, що упорядковані з метою виконання певної виробничої функції в умовах коливального робочого режиму. В загальному можна відзначити три основних структурних складових вібраційної технологічної машини: рушійний, передавальний та виконавчий механізми.

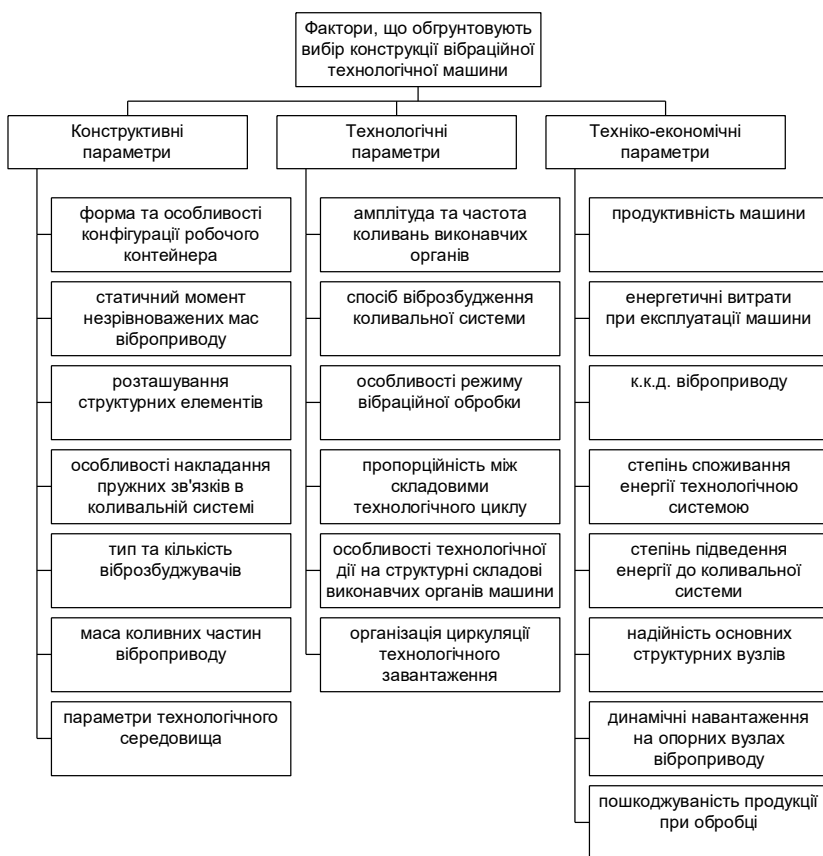


Рис. 3.10. Основні фактори, що визначають вибір та обґрунтування конструкції вібраційної технологічної машини

3.3.1 Вибір критеріїв оцінки вібраційної машини як структурованої технологічної системи

Як було зазначено вище, об'єктом обробки у вібраційній машині є технологічне завантаження, яке може складати ріпак або соя. При експлуатації машини між технологічним середовищем та її виконавчими органами встановлюється прямий і зворотний зв'язок. Так вібруючий робочий інструмент передає коливання оброблюваному середовищі; а інерційні, пружні та дисипативні властивості технологічного завантаження виявляють вплив на рух робочого органа і опосередковано – на елементи віброприводу, зокрема, на обертання приводного вала віброзбуджувача. При цьому вібраційна дія від незрівноваженого елемента (дебалансу) трансформується у хвилю недеформованого транспортуючого органу (стрічки), яка здійснює стосовно продукції як транспортний рух, так і технологічний при перемішуванні шарів сировини.

Приводний двигун не тільки споживає електричну енергію, але і виявляє вплив на джерело енергії, формуючи в залежності від завантаження величину коефіцієнта потужності - $\cos\phi$. Також потужність приводного двигуна визначається умовами пуску, що відповідно вимагає перевитрат енергії на здолання пускового моменту. Так як дані енерговитрати є значно більшими за потужність в установленому режимі, то двигун працює з великим недовантаженням, що може відповідати $\cos\phi = 0,2 \div 0,3$, майже як і на холостому ході.

Що стосується пружної системи вібромашини, то її елементи здійснюють як відновлюючі та демпфіруючі функції, так і істотно можуть впливати на пускові властивості приводного двигуна, на амплітудно-частотні, силові та енергетичні характеристики технологічної машини. Монтування віброзбуджувачів з опорними котками та зв'язок останніх з рамою сушарки через достатньо жорсткі пружні елементи ефективно нівелюють паразитні коливання та здійснюють віброзахист рамної конструкції.

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Досконалість виконання структурних елементів технологічної машини та зв'язків між ними визначає її конструктивні, технологічні та техніко-економічні параметри, отримання оптимальних значень яких і становить основну задачу при проектуванні досліджуваної вібраційної сушарки. Багатофакторіальність даної задачі визначає інтегральну особливість вібраційних машин та зумовлює значні труднощі при дослідженні їх динаміки [10, 11].

3.3.2 Кінематичні та силові параметри вібрації

Для практичної реалізації потрібного віброхвильового руху необхідно проаналізувати особливості різного типу коливальних систем з метою вибору ефективного способу віброзбудження.

Автоколивання виникають у випадках, коли витрати енергії коливальної системи внаслідок дисипації компенсуються автоматично постачанням енергії від неколивального джерела за рахунок руху самої системи. В автоколивальних системах із м'яким самозбудженням стан рівноваги нестійкий і порушується самочинно, без допомоги зовнішніх факторів. Для подібних систем із жорстким самозбудженням запуск із стану рівноваги здійснюється тільки за допомогою зовнішнього джерела, коли система переводиться до області нестійких рухів. При цьому спеціальний пристрій забезпечує після відключення джерела енергії зупинку системи в положенні, що знаходиться всередині області нестійкості. Це призводить до спонтанного здійснення коливального процесу при наступному ввімкненні.

Автоколивальні системи доцільні у разі досить малого розсіювання енергії, так як при цьому порівняно просто здійснювати автоколивання близькими по частоті і формі до одної із власних частот та форм вібрації. Коли система не є коливальною, то вказана можливість відсутня, але поширюється змога керування параметрами вібрації. Автоколивання відрізняються від вільних коливань тим, що вони не затухають, а

РОЗДІЛ 3

від вимушених та параметричних, характер дії яких в обидвох випадках заданий, тим, що вони є самозбуджувальними, в яких процес коливань керується самими коливаннями. Прикладом автоколивань може служити вібрація частин літальних апаратів у разі, коли джерелом додаткової енергії, що підтримує коливання системи, є енергія повітряного потоку.

Вимушені коливання відбуваються при дії на систему на протязі всього вібраційного процесу заданих зовнішніх змушуючих сил, параметри яких періодично змінюються. Дані коливання здійснюються з частотою змушуючої сили та підтримуються за рахунок безперервного надходження енергії ззовні. Більшість сучасних вібраційних технологічних машин працює в режимах вимушених коливань, що відкриває широкі можливості варіювання амплітудним та фазовим спектром вібрації. Так, можлива робота вібраційного обладнання навколо звичайного резонансу, коли частота самої коливальної системи дорівнює частоті вимушуючої дії; у режимі супергармонічного резонансу, коли проявляється чітко визначена супергармоніка, частота якої кратна частоті вимушених коливань; у субгармонічному режимі, коли частота вільних коливань в ціле число раз менше за частоту змушуючої дії; у режимі комбінаційного резонансу, коли має місце раціональне співвідношення частоти власних коливань системи до частоти вимушених коливань. При цьому змушуюча дія віброзбудувача призводить до створення невірноваженості коливальної системи. Статична невірноваженість виникає навколо осі, що паралельна або співпадає з однією із головних центральних осей інерції коливальної системи. Моментна невірноваженість створюється навколо осі, що не паралельна та не співпадає ні з однією із головних осей інерції коливальної системи. Відповідно віброзбудувач може створювати дві різних змушуючих дії: силу P та момент M . При цьому змушуюча дія містить переважно нормальну складову інерційної сили. У перехідних режимах, а для деяких конструктивних схем вібраторів і у сталих режимах, істотне значення

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

набуває тангенційна складова. Також відомі схеми, в яких розвивається коріолісова складова сили інерції.

В залежності від вимог технологічного процесу змушуюча дія на загальний виконувальний орган вібраційної машини може бути в залежності від площини дії одномірною, дво-мірною, тримірною; в залежності від характеру та спрямованості дії – коловою, еліптичною, спрямованою, що обумовлюють різновиди силових параметрів вібрації.

У випадку спрямованої вібрації вектор силового параметра має незмінний напрямок та коливальний модуль. У разі колової вібрації вектор силового параметра рівномірно обертається, але має, водночас, незмінний модуль. При цьому спрямований або коловий силовий параметр не обов'язково викликають відповідно спрямовану або колову вібрацію точок виконувального органа технологічної машини.

Еліптичну змушуючу дію можна отримати сумуванням дії спрямованих та колових силових параметрів вібрації. Колова змушуюча сила може бути створена в результаті сумісної дії двох спрямованих синхронних компланарних сил однакового модуля, які синусоїдально коливаються. При цьому різниця фаз даних сил дорівнює величині кута між напрямками їх дії. У випадках, коли модулі не рівні або різниця фаз не дорівнює куту між напрямками сил, результатом складання буде еліптична сила або, у частковому випадку синфазності даних сил - спрямована сила, що синфазна своїм складовим. Підбираючи спрямовані синфазні та синусоїдально коливальні сили, що сумісно діють на виконувальні органи вібраційних машин, можна отримати будь-які плоскі та просторові силові параметри вібрації: сили, моменти або сполучення сил та моментів. Це дозволяє майже необмежено варіювати траєкторію руху виконувальних органів та значно розширити спектр технологічного використання вібраційних машин.

Силове збудження коливань обумовлюється дією на систему силових параметрів вібрації, які не залежать від координат стану коливальної системи та їх похідних. Кінематичне

збудження коливань здійснюється за рахунок надання деяким точкам чи тілам системи певних переміщень тобто при зміні певних кінематичних параметрів вібрації коливальної системи, які не залежать від координат стану та їх похідних. Параметричні коливання виникають при зміні іззовні експлуатаційних параметрів коливальної системи: маси та моменту інерції, її складових, жорсткості пружних елементів, коефіцієнту дисипації та інших, які не залежать від координат стану системи та їх складових. Самозбудження коливань відбувається в певних нелінійних автономних динамічних системах при постачанні енергії від неколивального джерела. Комбіноване віброзбудження створюється при певному поєднанні розглянутих вище способів збудження коливань, що мають місце, наприклад, для різних режимів роботи вібраційної машини чи обумовлюється особливостями конструктивних схем реалізації вібрації.

В досліджуваній сушарці для забезпечення простоти регулювання параметрів вібрації при створенні необхідної незрівноваженості коливальної системи використовують дебалансний механізм віброприводу.

3.3.3 Енергетичні параметри вібрації

В загальному випадку до основних енергетичних параметрів вібрації можна віднести роботу змушуючих сил або моментів та внутрішніх сил опору коливальної системи Робота зовнішніх сил створюється віброзбуджувачем та витрачається на здолаття сил опору системи та забезпечення коливального руху виконувальних органів вібраційної технологічної машини із заданими параметрами. Внутрішні сили опору коливальної системи становлять сили реактивного та дисипативного опору.

Робота сил реактивного опору являє собою роботу сил інерції рухомої маси та сил деформації пружних елементів коливальної системи. Іншими словами, енергія реактивного опору системи складається з кінетичної енергії рухомої маси

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

та потенціальної енергії деформації пружних елементів. В алгебраїчному виразі кожна з розглянутих складових має різні знаки, які постійно змінюються відповідно до коливального руху елементів вібраційної системи. Тоді у випадку, коли розрахунок ведеться для цілого числа повних коливань, обидві роботи виключаються із загального балансу енергії системи. Маса робочого органу машини, що сприймає коливальний рух та її пружні зв'язки, визначають здатність системи накопичувати енергію, яка переходить, в подальшому, із однієї форми в іншу. Рівень накопичення енергії та співвідношення між кінетичною та потенціальною енергією реактивних елементів визначаються вертикальною складовою змушуючої сили. Приток енергії із зовнішнього джерела для здолання реактивних опорів не потрібний при рівності амплітудних значень кінетичної та потенціальної енергій відповідно рухомої маси та пружних елементів.

Робота сил дисипативного опору являє собою роботу сил тертя, що приводить до розсіювання енергії та переходу її в теплоту. Енергія дисипації коливальної системи містить гістерезисні витрати енергії при деформації пружин; енергію, що розсіюється в демпферах робочих органів та опорних вузлах вібромашини; енергію, що витрачається у робочому середовищі вібраційної технологічної машини за рахунок сухого та в'язкого тертя; витрати енергії на тертя в стиках різних з'єднань, на здолання опору повітря та інші.

Крім того, частина енергії, що постачається від зовнішнього джерела, витрачається, як правило, в різних проміжних передачах, приєднувальних муфтах, в самому електродвигуні та в інших пристроях вібраційної машини. Витрати енергії в механічних передачах залежать від конструктивної схеми вібраційної машини та визначаються в результаті спеціальних кінематичних розрахунків.

Витрати енергії в електродвигуні складаються із витрату статорі і роторі електромашини. Енергія у статорі витрачається на перемагнічування, на вихровий струм у магнітопроводі

РОЗДІЛ 3

статора, на нагрівання струмом обмотки статора. В роторі енергія витрачається при нагріванні обмотки та в магнітопроводі. Останні практично дорівнюють нулю внаслідок малого значення частоти потоків в електричному ланцюзі ротора. Витрати енергії на перемагнічування, вихрові потоки в магнітопроводі постійні для даного типу електродвигуна і не залежать від навантаження на валу двигуна. Витрати енергії на нагрівання обмоток статора і ротора залежать від величини струму, яка визначається корисною потужністю, що необхідна для приводу вібраційної машини. Корисна потужність може бути знайдена із енергетичного балансу коливальної системи (рис. 3.11).

При цьому рівняння балансу потужності представляється у вигляді:

$$N_k = N_0 - [N_{ec} + N_{ep} + N_{mex} + N_{ood}], \quad (3.1)$$

де N_k – корисна потужність на привод;

N_0 – потужність енергії, що постачається із електромережі;

N_{ec} та N_{ep} – витрати потужності в статорі та роторі;

$N_{ood} = 0,005N_0$ – додаткові витрати потужності;

N_{mex} – механічні витрати потужності.

Потужність, що постачається з електромережі до електродвигуна

$$N_0 = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos\psi, \quad (3.2)$$

де U – величина напруги;

I – сила струму;

$\cos\psi$ – коефіцієнт потужності.

Коефіцієнт потужності залежить від коефіцієнту завантаження β двигуна. Так для асинхронних електродвигунів можна прийняти на холостому ходу $\cos\psi_x = 0,1.. 0,25$; при номінальному завантаженні $\cos\psi_H = 0,75..0,93$.

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

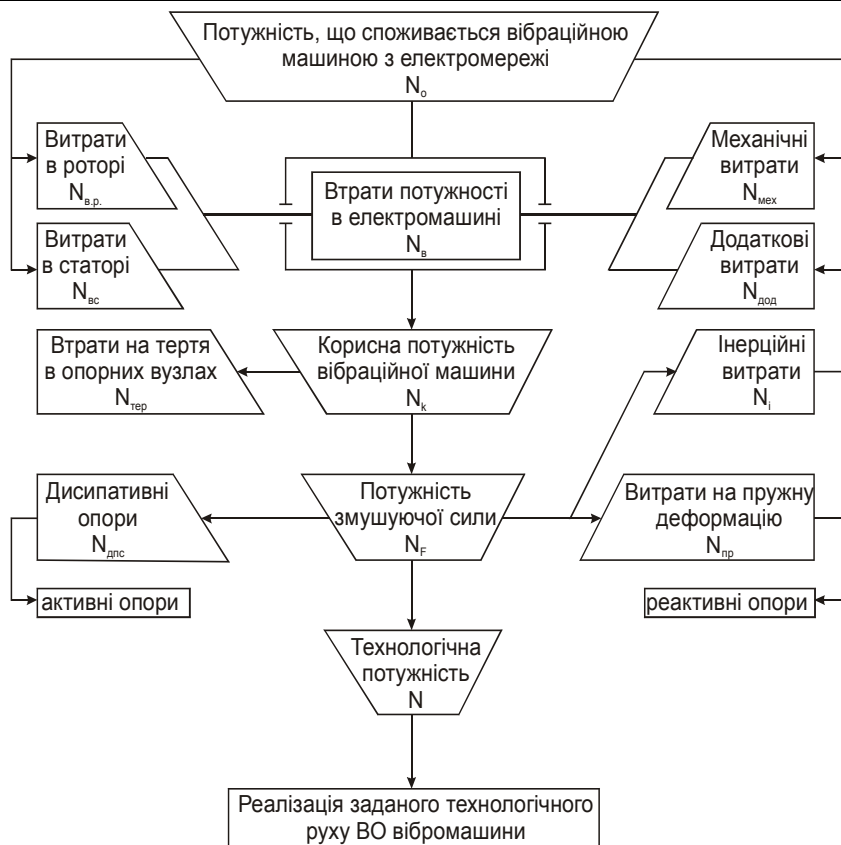


Рис. 3.11. Енергетичний баланс коливальної системи

Коефіцієнт завантаження дорівнює:

$$\beta = \frac{M_{on}}{M_{кр}}, \quad (3.3)$$

де M_{on} – момент опору системи;

$M_{кр}$ – крутний момент на валу електродвигуна.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) віброприводу також залежить від коефіцієнту завантаження β та дорівнює:

$$\eta = \frac{N_k}{N}. \quad (3.4)$$

РОЗДІЛ 3

Номінальне значення ККД η відповідає коефіцієнту завантаження $\beta = 1$. Отже при розрахунку потрібної потужності двигуна необхідно прагнути до того, щоб забезпечити у сталому режимі роботи вібраційної машини коефіцієнт завантаження β близьким до одиниці.

Таким чином, серед основних енергетичних параметрів вібрації можна виділити складові енергетичного балансу, роботу внутрішніх та зовнішніх сил коливальної системи, питоми енергетичні характеристики, що віднесені до одиниці коливної маси віброприводу та до одиниці маси продукції.

При експлуатації віброустановки в опорних вузлах приводного валу і бічних дисків вібратора виникають сили тертя, які, незважаючи на малі коефіцієнти тертя кочення, призводять до значних втрат енергії внаслідок великих тисків на підшипники сили, що обурює і великої частоти обертання приводного валу.

Сила тертя визначається по залежності: $F_{TP} = f \cdot F$
де $f = 0,005 \dots 0,008$ – коефіцієнт тертя в підшипниках [12,13]

При цьому потужність сил тертя можна представити як:

$$N_{TP} = M_{TP} \cdot \omega_1 = 0,5F \cdot f \cdot d_y \cdot \omega_1 \quad (3.5)$$

де d_y – діаметр цапфи, на якій посаджений підшипник;

$M_{TP} = 0,5F_{TP} \cdot d_y$ – момент сил тертя.

Тоді потрібну потужність двигуна можна визначити за формулою [14]:

$$N_{np} = \frac{1}{\eta} [N_{Fmax} + N_{TP}] \quad (3.6)$$

де N_{Fmax} – максимальна потужність, що розвивається змушуючою силою: $N_{Fmax} = m_o \cdot A \cdot \omega^2$; η – к. к. д. передачі.

Використовуючи формули (3.5) та (3.6) отримують:

$$N_{np} = \frac{1}{\eta} m_o \cdot A \cdot \omega^2 \cdot (1 + 0,5 \cdot d_y \cdot \omega f) \quad (3.7)$$

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.4 Методика визначення силових та енергетичних характеристик транспортерної стрічки при обробці продукції в рухомому шарі

Розрахунок [14] проведено згідно з розрахунковою схемою, що представлена на рис. 3.13.

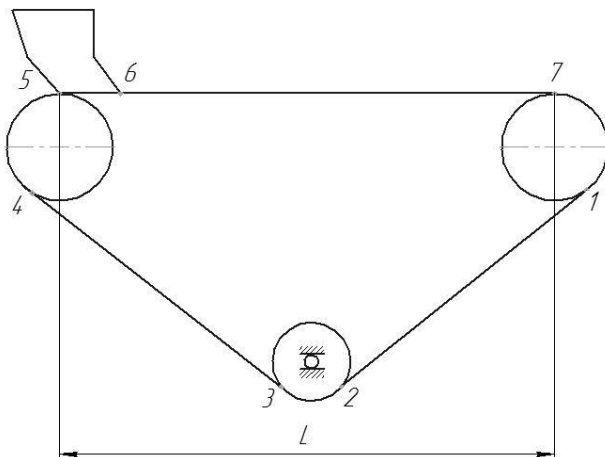


Рис. 3.13. Розрахункова схема стрічкового конвеєра

Вихідні величини:

Продуктивність $\Pi = 0,024$ т/год.

Швидкість транспортування $v = 0,015$ м/с.

Вид ролюкоопори – плоска.

Вантаж – ріпак ($\gamma = 0,64$ т/м³).

1. Визначають ширину стрічки.

$$K_{\beta} = 1; K_n = 240;$$

$$B_{cm} = 1,1 \left(\sqrt{\frac{\Pi_g}{K_n \cdot v \cdot \gamma_g \cdot K_{\beta}}} + 0,05 \right) = 1,1 \left(\sqrt{\frac{0,024}{240 \cdot 0,015 \cdot 0,64 \cdot 1}} + 0,05 \right) = 0,165 \text{ м}.$$

2. Визначають сили тяжіння вантажу.

$$g_g = \frac{\Pi}{3,6 \cdot v} = 0,44 \text{ Н/м}.$$

РОЗДІЛ 3

3. Погонне навантаження від стрічки.

$$g_{cm} = (100 \dots 120) \cdot B_{cm} = 19,8 \text{ Н/м}$$

4. Сила тяжіння обертаючих частин.

$$G_{pp} = 59 \text{ Н}; G_{px} = 36 \text{ Н.}$$

5. Погонне навантаження обертових частин:

- для завантаженої ділянки, $l_p = 1,8 \text{ м}$;

$$g_{pp} = G_{pp} / l_p = 32,8 \text{ Н/м}$$

- для холостої ділянки, $l_x = 2,2 \text{ м}$;

$$g_{px} = G_{px} / l_x = 16,36 \text{ Н/м}$$

6. Коefіцієнт опору стрічки: $W_{\sigma} = 0,8$; $L = 4 \text{ м}$.

7. Визначають натяг в характерних точках.

$$F_1 = F_{зб};$$

$$F_2 = F_1 + W_{1-2} = F_1 + ((g_{cm} + g_{px}) \cdot L \cdot W_x - (g_{cm} \cdot H)) = F_1 + 19,32;$$

$$F_3 = F_2 \cdot W_{\sigma} = F_2 \cdot 1,02 = 1,02 \cdot F_1 + 19,7;$$

$$F_4 = F_3 + W_{3-4} = F_3 + ((g_{cm} + g_{px}) \cdot L \cdot W_x + (g_{cm} \cdot H)) = 1,04 \cdot F_1 + 68,7;$$

$$F_5 = F_4 \cdot W_{\sigma} = F_4 \cdot 1,02 = 1,02 \cdot (1,04 \cdot F_1 + 68,7) = 1,06 \cdot F_1 + 70;$$

$$F_6 = F_5 + W_{заз} = F_5 + \left(\frac{\phi \cdot \Pi \cdot v}{3,6 \cdot g} \right) = 1,06 \cdot F_1 + 70 + \left(\frac{35 \cdot 0,24 \cdot 0,015}{3,6 \cdot 9,81} \right) =$$

$$= 1,06 \cdot F_1 + 70;$$

$$F_7 = F_6 + W_{6-7} = F_6 + (g_{\sigma} + g_{cm} + g_{pp}) \cdot L \cdot W_p + (g_{\sigma} + g_{cm}) \cdot L \cdot f =$$

$$= 1,06 \cdot F_1 + 86,5;$$

$$F_7 = F_{нб};$$

$$e^{f\alpha} = 3,51; e^{f\alpha} \geq \frac{F_{нб}}{F_{зб}} = \frac{F_7}{F_1} \Rightarrow e^{f\alpha} \cdot F_1 = F_7; e^{f\alpha} = \frac{F_7}{F_1} \Rightarrow 3,51 = \frac{F_7}{F_1};$$

$$3,51 \cdot F_1 = 1,06 \cdot F_1 + 86,5;$$

Чисельні значення:

$$F_1 = \frac{86,5}{(3,51 - 1,06)} = 35,3 \text{ Н, тоді:}$$

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

$$F_2 = 54,6 \text{ Н};$$

$$F_3 = 55,7 \text{ Н};$$

$$F_4 = 105,4 \text{ Н};$$

$$F_5 = 107,5 \text{ Н};$$

$$F_6 = 107,5 \text{ Н};$$

$$F_7 = 124 \text{ Н}.$$

8. Визначають окружну силу.

$$F_t = F_{нб} - F_{зб} = F_7 - F_1 = 88,7 \text{ Н}.$$

9. Визначають потужність.

$$N_0 = F_t \cdot v = 130 \text{ Вт};$$

$$N_{np} = \frac{K \cdot N_0}{\eta} = 188 \text{ Вт}.$$

3.5 Методика опрацювання експериментальних даних

Серед основних параметрів досліджуваних вібротриболомашин, що використовуються при оптимізації режимів обробки, можна виділити амплітудно-частотні (табл. 3.2), силові та енергетичні характеристики (рис. 3.11, 3.13).

Амплітудно-частотні характеристики дозволяють виявити ділянки резонансних піків та усталеного режиму роботи виконавчих органів машин. Силові та енергетичні характеристики дають можливість оцінити витрати енергії на привід та побудувати баланс потужності вібророзбудувачів. Комплексний аналіз означених параметрів дозволяє знайти режими, що відповідають максимальній динамічності системи за мінімальних енерговитрат на привід.

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

РОЗДІЛ 3

Таблиця 3.2

Кінематичні параметри вібрації

| № п/п | Параметри вібрації | Умовне позначення | Співвідношення між параметрами |
|-------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| 1 | Період коливань | T | |
| 2 | Квазіперіод коливань | τ | |
| 3 | Частота коливань | f | $f = 1/T$ |
| 4 | Кутова частота | ω | $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi / T$ |
| 5 | Початкова фаза коливань | φ_0 | |
| 6 | Фаза коливань | φ | $\varphi = \omega t + \varphi_0$ |
| 7 | Амплітуда коливань | A | |
| 8 | Пікові значення амплітуди | A_{\min} A_{\max} | |
| 9 | Розмах коливань | $A_{\min} + A_{\max}$ | |
| 10 | Напіврозмах коливань | $0,5(A_{\min} + A_{\max})$ | |
| 11 | Декремент коливань | α | $\alpha = \frac{A_{i-1}}{A_i}$ |
| 12 | Логарифмічний декремент | δ | $\delta = \ln \alpha$ |
| 13 | Вібропереміщення | $S(t)$ | |
| 14 | Віброшвидкість | $v(t)$ | $v(t) = \frac{dS}{dt}$ |
| 15 | Віброприскорення | $a(t)$ | $a(t) = \frac{d^2S}{dt^2}$ |

Основу теорії випадкових похибок складають твердження про те, що при великій кількості вимірювань випадкові похибки однакової величини, але різного виду, зустрічаються однаково часто; більші похибки зустрічаються рідше, ніж малі; ймовірність появи похибки зменшується з ростом її

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

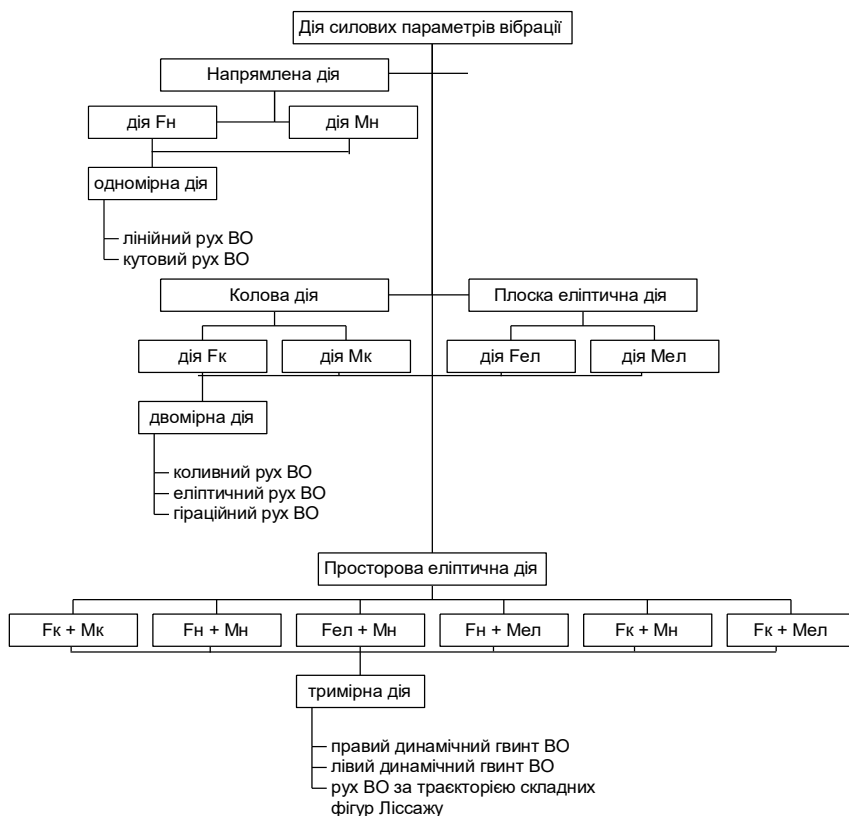


Рис. 3.13. Різновиди дії силових параметрів вібрації на виконавчі органи (ВО) вібраційних технологічних машин:

P_s, M_s - відповідно спрямована сила та момент,

P_k, M_k - відповідно колова сила та момент

величини; при нескінченно великій кількості вимірів істинне значення вимірюваної величини рівне середньоарифметичному значенню всіх результатів вимірювання, а поява того чи іншого результату вимірювання як випадкової події описується нормальним законом розподілу.

Теорія випадкових похибок дозволяє оцінити точність і надійність вимірів при даній кількості вимірювань або визна-

РОЗДІЛ 3

чити мінімальну кількість замірів, яка гарантує необхідну точність і надійність вимірювань.

Загальними оціночними характеристиками вимірювань є:

- дисперсія, яка обумовлює однорідність вимірів:

$$D = \sigma_0^2 = \frac{(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}, \quad (3.8)$$

де x_i і \bar{x} – відповідно поточне і середнє значення вимірюваного параметра;

- коефіцієнт варіації для оцінки змінності вимірів:

$$K_\epsilon = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (3.9)$$

• довірна ймовірність P_D , величина якої приймається рівною 0,9

- мінімальна кількість дослідів:

$$n_{\min} = \frac{\sigma^2 t^2}{\sigma_0^2}, \quad (3.10)$$

де $\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ – середньоарифметичне значення середньоквад-

ратичного відхилення або середня похибка дослідів;

n – кількість вимірів;

σ – середньоквадратичне відхилення.

Для статистичного опрацювання вимірювань використовують метод, запропонований англійським математиком В.С. Госсетом (Стьюдентом). Цей метод, оснований на тому, що при кількості вимірювань, що наближається до нескінченності, криві розподілу Стьюдента переходять в криві нормального розподілу, що дозволяє використовувати для оцінки малу виборку. При цьому довірчий інтервал складе:

$$\mu_{st} = \sigma_0 \alpha_{st}, \quad (3.11)$$

де α_{st} – коефіцієнт Стьюдента.

Тоді дійсне значення вимірюваної величини для малої виборки:

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

$$x_{\delta} = \bar{x} \pm \mu_{st}, \quad (3.12)$$

Також при опрацюванні результатів вимірювань використовують графічні методи, які дають наочне уявлення про результати дослідів, дозволяють краще зрозуміти фізичну суть досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності випадкових величин, що вивчаються, встановити наявність екстремумів функції. Отримані точки на графіку з'єднуються кривою, яка проходить якнайближче до експериментальних точок, враховуючи, що звичайно функції мають повільний характер.

Наявність різких відхилень в багатьох випадках пояснюється погрішністю вимірювань, хоча іноді вони виникають внаслідок особливостей фізико-хімічних процесів. Для виключення грубих похибок ряду використовується «правило трьох сигм»: відхилення випадкових величин від середнього значення не повинні перевищувати величини 3σ :

$$x_{\min, \max} = \bar{x} \pm 3\sigma, \quad (3.13)$$

де $x_{\min, \max}$ – найменше і найбільше значення вимірюваного параметра.

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

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

$$m = \pm t_{\beta} \sigma_m \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}, \quad (3.14)$$

де t_{β} – гарантійний коефіцієнт Ст'юдента для довірчої вірогідності (ГОСТ 8.207-76);

РОЗДІЛ 3

σ_m – середньоквадратичне відхилення (дисперсія) вимірів:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}, \quad (3.15)$$

де N – кількість вимірів;

x_i – значення вимірюваної величини;

\bar{x} – середньоарифметичне значення вимірюваної величини:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (3.16)$$

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

$$N \geq \frac{1 + P_n + 2n_{cm}}{1 - P_n}, \quad (3.17)$$

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

Вірогідна ймовірність вибрана в інтервалі $(0,8...0,9)$, тоді при $n_{cm} = 0$ мають:

$$N \geq \frac{1 + (0,8...0,9)}{1 - (0,8...0,9)}. \quad (3.18)$$

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

$$\sigma_o = \frac{\sigma_m}{N}, \quad (3.19)$$

Потім визначають коефіцієнт Ст'юдента:

$$\alpha_{cm} = \frac{\mu}{\sigma_o}. \quad (3.20)$$

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Після чого, за відомими α_{cm} та N визначають розрахункову вірогідну ймовірність P_{n1} . Якщо P_{n1} виявляється нижчою за необхідну, то визначають мінімальну кількість вимірів:

$$N_{\min} = \frac{k_B^2 t_\beta^2}{\Delta^2}, \quad (3.21)$$

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

$$k_B = \frac{\sigma_m}{\bar{x}}. \quad (3.22)$$

Перевірка адекватності теоретичних залежностей проведено 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 проведено із використанням теорії Фішера, для чого розраховують екстремальне значення критерію Фішера f_e і порівнюють 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 визначають за залежністю:

$$f_e = \frac{S_a}{S_b}, \quad (3.23)$$

де S_a – дисперсія адекватності

$$S_a = \frac{m}{n-1} \sum_{i=1}^N (\bar{y} - \hat{y})^2, \quad (3.24)$$

де S_b – дисперсія відтворюваності

$$S_b = \frac{l}{N(m-l)} \sum_{i=1}^N \sum_{u=1}^m (y_{iu} - \hat{y}), \quad (3.25)$$

де m – кількість паралельних дослідів;

РОЗДІЛ 3

l – кількість значущих коефіцієнтів теоретичної залежності.

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

$$f_1 = N - 1, \quad (3.26)$$

$$f_2 = N(m - 1). \quad (3.27)$$

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

Розрахунок довірчого інтервалу коефіцієнтів регресії здійснювався за формулами:

$$S(b) = T_i \bar{s}_y(\bar{y}), \quad (3.28)$$

$$\Delta b_{кр} = t \cdot S(b), \quad (3.29)$$

де $S(b)$ – помилка у визначенні відповідного коефіцієнта;

T_i – розрахункові коефіцієнти для планів Бокса – Бенкіна.

Перевірка моделей на адекватність здійснювалась за критерієм Фішера:

$$F = \frac{s_{на}^2}{s_y^2}, \quad (3.30)$$

де $s_{на}^2$ – дисперсія неадекватності:

$$s_{на}^2 = \frac{1}{f_{на}} \left[\sum_1^{13} y_i^2 - \sum \left(b \cdot \sum y_s x_i x_j \right) \right]. \quad (3.31)$$

Перевірка однорідності дисперсій за допомогою критерію Кохрена G :

$$G = \frac{(s_i^2)_i}{\sum_{i=1}^N s_i^2} \quad (3.32)$$

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Якщо $G < G_{табл}$ по заданій величині помилки і числу ступенів свободи $f_1 = n-1$ і $f_2 = N$, гіпотеза про однорідність ряду дисперсій може бути прийнята. При однорідності дисперсій розраховується оцінка усередненої дисперсії відтворюваності:

$$s_y^2 = \frac{1}{N(n-1)} \sum_{i=1}^N \bar{s}_i^2 \quad (3.33)$$

Для отриманих в результаті експерименту поверхонь відгуку з метою отримання комплексних показників якості паштету був використаний статистичний метод аналізу головних компонент. Складають серію лінійних комбінацій всіх відгуків, які називаються головними компонентами. При цьому кожна лінійна комбінація містить як можна більшу частину дисперсії або варіації всіх відгуків і в той же час вона лінійно незалежна від усіх інших головних компонент. Головна компонента U_j представляє собою лінійну комбінацію 5 змінних:

$$\bar{Y}_j = \beta_1 Y_{1,j} + \beta_2 Y_{2,j} + \dots + \beta_p Y_{p,j}, \quad j=1, 2, \dots, 13 \quad (3.34)$$

де $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_5$ – коефіцієнти лінійної комбінації. Рівняння (3.34) виразимо у матричній формі. Позначимо:

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix} \quad \bar{Y} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_1 \\ \bar{Y}_2 \\ \bar{Y}_3 \\ \bar{Y}_4 \\ \bar{Y}_5 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} Y_{1,1} & Y_{1,2} & Y_{1,3} & Y_{1,4} & Y_{1,5} \\ Y_{2,1} & Y_{2,2} & Y_{2,3} & Y_{2,4} & Y_{2,5} \\ Y_{3,1} & Y_{3,2} & Y_{3,3} & Y_{3,4} & Y_{3,5} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{13,1} & Y_{13,2} & Y_{13,3} & Y_{13,4} & Y_{13,5} \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

Тоді головну компоненту можна записати в матричному вигляді:

$$\bar{Y} = U \hat{\beta} \quad (3.36)$$

при заданому векторі значень $\hat{\beta}$ вибіркова дисперсія \bar{Y} як:

$$\sigma^2 = \hat{\beta}^T S \hat{\beta} \quad (3.37)$$

РОЗДІЛ 3

де $\hat{\beta}^T$ – транспонована матриця;

S – коваріаційна матриця для Y .

Основне завдання аналізу головних компонент полягає в тому, щоб знайти головну компоненту з найбільшою дисперсією. Це завдання має рішення при наступному обмеженні вектора $\hat{\beta}$:

$$\hat{\beta}^T \hat{\beta} = \hat{\beta}_1^2 + \hat{\beta}_2^2 + \dots + \hat{\beta}_p^2 = 1. \quad (3.38)$$

Тоді припустимо:

$$\phi = \hat{\beta}^T S \hat{\beta} - \lambda (\hat{\beta}^T \hat{\beta} - 1), \quad (3.39)$$

де λ – множник Лагранжа. Вектор приватних похідних

$$\frac{\partial \phi}{\partial \hat{\beta}} = 2S\hat{\beta} - 2\lambda\hat{\beta} \quad (3.40)$$

після прирівнювання його нулю зводиться до рівняння

$$(S - \lambda I)\hat{\beta} = 0. \quad (3.41)$$

Воно має відмінне від нуля рішення тільки в тому випадку, коли визначник матриці дорівнює 0. У цьому випадку визначником матриці є алгебраїчне рівняння щодо λ . Тому потрібно знайти 5 характеристичних коренів коваріаційної матриці S . Множачи ліворуч на $\hat{\beta}^T$ і враховуючи, що, $\hat{\beta}^T \hat{\beta} = 1$ будемо мати:

$$\hat{\beta}^T (S - \lambda I)\hat{\beta} = \hat{\beta}^T S \hat{\beta} - \lambda = 0 \text{ або } \hat{\beta}^T S \hat{\beta} = \lambda. \quad (3.35)$$

Таким чином, щоб максимізувати дисперсію, вибирається найбільший характеристичний корінь коваріаційної матриці S . Тоді перша головна компонента задається рівнянням (3.29). Друга головна компонента задається другим за величиною характеристичним коренем і т. д.

Оскільки аналіз головних компонент заснований на коваріаційній матриці S , то значення набувають її наступні властивості:

1. Всі характеристичні корені позитивні.
2. Сума всіх характеристичних коренів дорівнює сумі

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

елементів на головній діагоналі матриці S , тобто дорівнює сліду матриці:

$$\text{tr}S = \sum_{i=1}^5 \lambda_i. \quad (3.42)$$

3. Добуток характеристичних коренів дорівнює визначнику матриці S .

4. Відношення найбільшого характеристичного кореня до сліду матриці S визначає частку дисперсії, що припадає на першу головну компоненту.

5. Зазвичай характеристичні корені не рівні між собою.

Так як відгуки експерименту матриці S не інваріантні щодо зміни масштабу, то зміна одиниці виміру приводить до зміни розсіювання багатовимірної вибірки (її форми та положення центру).

Перехід до стандартизованих змінних вирішує проблему інтерпретації головної компоненти, так як вони висловлюються в безрозмірних числах.

$$y_{i,j} = \frac{Y_{i,j} - \bar{Y}_i}{s_i}, \quad (3.43)$$

де \bar{Y}_i, s_i – відповідно середня і середнє квадратичне відхилення i -того відгуку.

Матриця S переходить в кореляційну матрицю. При цьому сума характеристичних коренів стає рівною кількості відгуків, так як в кореляційній матриці на головній діагоналі стоять одиниці.

За наявності головного (найбільшого) характеристичного кореня його можна визначити наступним чином.

Будь-яку квадратичну матрицю можна представити у вигляді:

$$A = UDU^{-1}, \quad (3.44)$$

де U та U^{-1} деяка матриця і зворотна їй матриця.

D –діагональна матриця, що зветься канонічної формою матриці A .

РОЗДІЛ 3

Прийнявши як D – діагональну матрицю, складену з характеристичних коренів матриці A , в такому випадку $A^k = UD^kU^{-1}$. Припускаючи, що λ_1 – головний корінь, причому λ_1^k настільки більше будь-якого зі значень, що їх можна прийняти рівними нулю. Тоді шукане співвідношення набуде вигляду:

$$A^k = \begin{bmatrix} u_{1,1} \\ u_{2,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ u_{5,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{1,1} & \cdot & \cdot & \cdot & v_{1,5} \end{bmatrix}. \quad (3.45)$$

Помноживши зліва на ненульовий вектор отримають вираз:

$$w_k = A^k = \mu \lambda_1^k \begin{bmatrix} u_{1,1} \\ u_{2,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ u_{5,1} \end{bmatrix}, \quad (3.46)$$

де $\mu = \sum_{j=1}^5 v_{1,j} x_j$ скалярна величина.

Аналогічно знаходиться $w_{k-1} = A^{k-1}$. З визначення w_k випливає, що відношення i -го елемента вектора w_k до i -го елемента w_{k-1} дорівнює головному характеристичному кореню.

Першу головну компоненту визначають з рішення системи рівнянь визначника матриці (3.34), підставляючи туди значення знайденого характеристичного кореня.

Головна компонента являє собою деяку лінійну комбінацію п'яти змінних:

$$V_j = \sum_{j=1}^5 \quad (3.47)$$

Для розрахунку коефіцієнтів рівняння використовують головний характеристичний корінь кореляційної матриці. Це найбільший з усіх коренів. Він визначається з наступного співвідношення для кореляційної матриці: всі характеристичні корені матриці позитивні; сума елементів головної діагоналі дорівнює сумі характеристичних коренів; якщо послідовно помножити матриці A , A^2 , A^3 , і т.д. на довільний вектор, то співвідношення між відповідними компонентами векторів наближається до значення головного характеристичного кореня. Далі знайдено добуток довільного вектора C на матрицю A в ступені i .

3.6 Оцінка параметрів незрівноваженості коливальної системи

Серед основних параметрів, які характеризують незрівноваженість коливальної системи можна відзначити рівноважну незрівноважених сил інерції $F_{н.зр.}$ та рівноважний момент даних сил $M_{н.зр.}$. Варіювання даних параметрів за величиною та напрямом дозволяє відзначити такі основні фактори незрівноваженості:

- напрямлені сила F_n та момент M_n , які можуть змінюватись за величиною, але не за напрямом;
- колові сила F_k та момент M_k , які можуть змінюватись лише за напрямом;
- еліптичні сила $F_{ел}$ та момент $M_{ел}$, які можуть змінюватись і за величиною, і за напрямом при постійній величині.

Дія в коливальній системі тільки силових факторів із розглянутих вище зумовлює силову незрівноваженість (рис.3.12), тільки моментів – моментну незрівноваженість (рис.3.13), а одночасна дія незрівноважених моментів та сил інерції – комбіновану незрівноваженість (рис.3.14).

РОЗДІЛ 3

Варіювання представлених вище факторів дозволяє надати виконавчим органам вібраційної машини траєкторій будь-якої складності.

Для досліджуваної коливальної системи така оцінка є необхідною в контексті забезпечення заданої траєкторії руху продукції на хвильовому конвеєрі, що отримує рушійні імпульси від двох віброзбуджувачів, що зосереджені в опорних котках стрічки. Окрім того, наявність двох приводних валів віброзбуджувачів дозволяє максимально спростити методику моделювання силової, моментної та комбінованої незрівноваженості на досліджуваній конвеєрній сушарці. При цьому здійснюють послідовну зміну положень дебалансів один відносно одного, симетрично або асиметрично по відношенню до вертикальної осі опорного котка, а також виконання представлених дій стосовно вертикальної осі вібромашини.

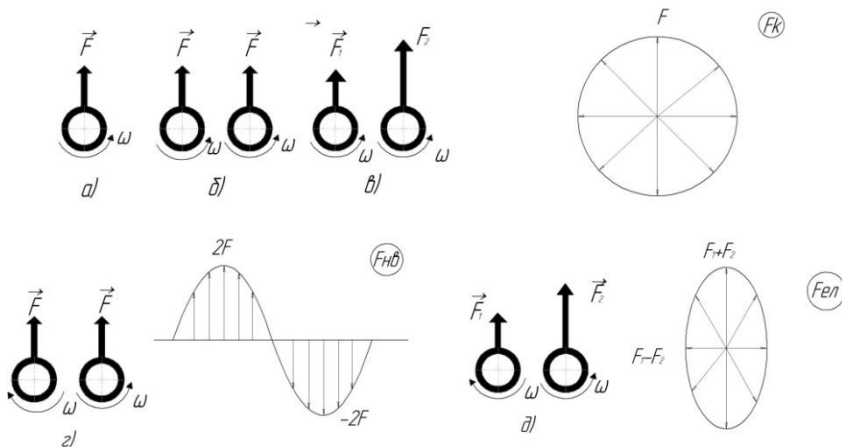


Рис. 3.12. Способи створення силової незрівноваженості:

- а – від кругової змушуючої сили F_k для одновальної системи;
- б – від кругової змушуючої сили F_k для двовальної системи із симетричною дією;
- в – від кругової змушуючої сили F_k для двовальної системи із асиметричною дією;
- г – під дією вертикальної напрямленої змушуючої сили $F_{не}$;
- д – під дією еліптичної змушуючої сили $F_{ел}$.

МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

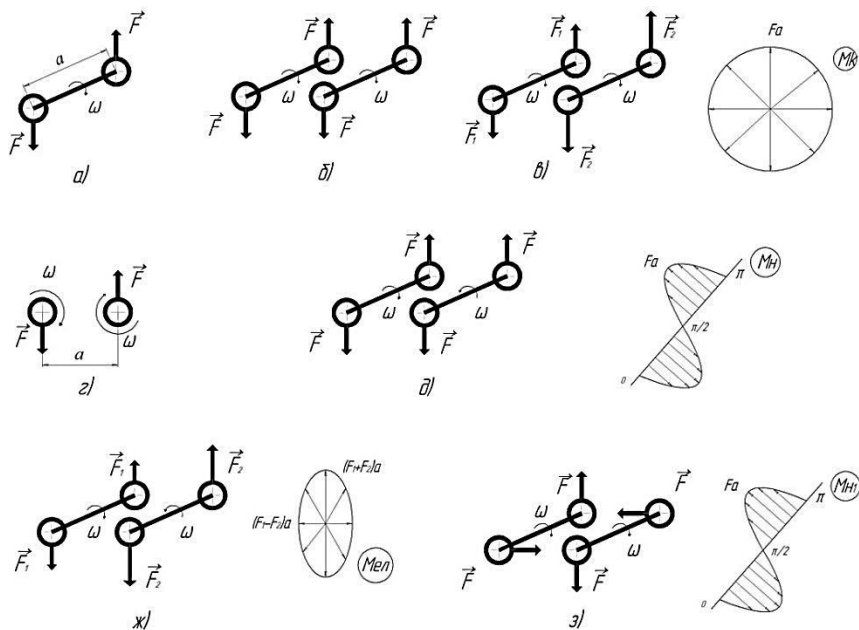


Рис. 3.13. Способи створення моментної незрівноваженості:
a – під дією кругового змушуючого моменту M_k для одновальної системи;
б – під дією кругового змушуючого моменту M_k для двовальної системи із симетричним навантаженням;
в – під дією кругового змушуючого моменту M_k для двовальної системи із асиметричним навантаженням;
г – під дією напрямленого змушуючого моменту M_n для однонаправлених валів із опозитним навантаженням;
д – під дією напрямленого змушуючого моменту M_n для однонаправлених валів із симетричним навантаженням;
жс – під дією еліптичного змушуючого моменту M_{el} ;
з – під дією напрямленого моменту M_n та кругового моменту M_k

Отже, визначено основні кінематичні, силові та енергетичні критерії оцінювання інфрачервоного зневоложення, сформовано дослідну вимірювальну базу та розроблено експериментально-промислові моделі інфрачервоних установок, зокрема віброхвильової інфрачервоної сушарки. Експериментальне визначення параметрів тепломасообміну при інфрачервоному сушінні в умовах нерухомого, рухомого та віброзвженого шару продукції виконано в розділі 4.

РОЗДІЛ 3

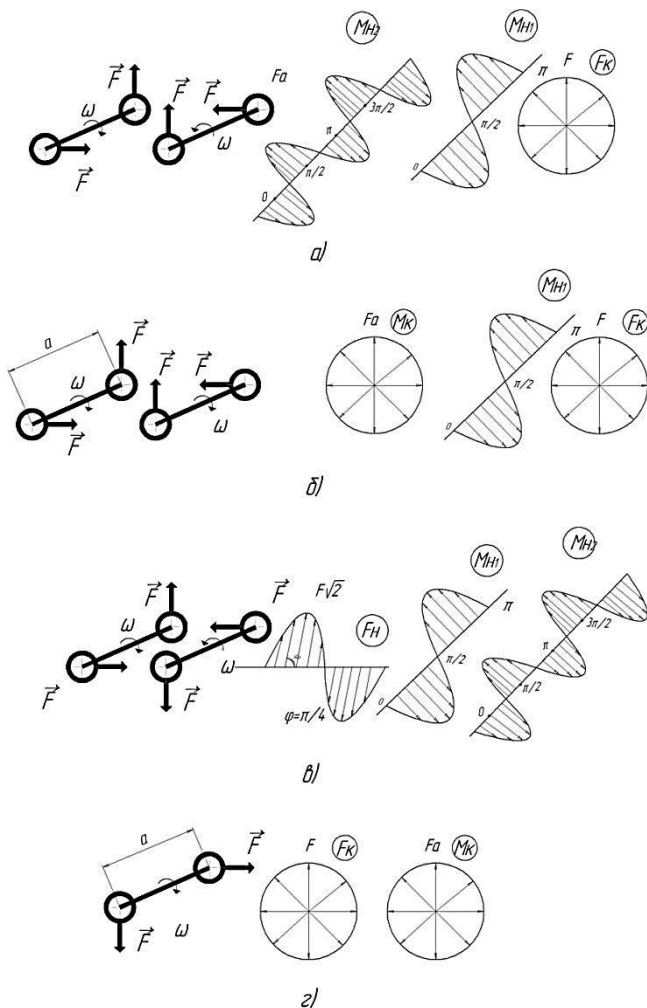


Рис. 3.14. Способи створення комбінованої незрівноваженості:
 а – типу правого динамічного гвинта комбінованою дією змушуючих факторів напрямлених моментів M_{n2} та M_{n1} , а також кругової сили F_k ;
 б – комбінованою дією кругової сили F_k , напрямленого моменту M_{n1} та кругового моменту M_k ; в – типу лівого динамічного гвинта комбінованою дією змушуючих факторів сили F_n та моментів M_{n2} і M_{n1} ;
 г – комбінованою дією кругової сили F_k та напрямленого моменту M_k

Література до розділу 3

1. *Терзиев, С.Г.* Исследование процесса сушки кофейного шлама под действием инфракрасного излучения / С.Г. Терзиев, Н.В. Ружицкая, В.И. Саламаха, С.А. Малашевич // Наукові праці ОНАХТ, - Одеса. – 2011. – Вип. 39, Т.3. – С. 167 – 170.

2. *Малашевич, С.А.* Дослідження процесу сушіння шламу кави під дією інфрачервоного випромінювання / С.А. Малашевич, Н.В. Ружицька, В.І. Саламаха, С.Г.Терзиев // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, – Мелітополь, 2011. – Вип. 11, Т.6 – С. 153 – 158.

3. *Борщ, А.А.* Кінетика ІЧ-сушіння шламу кави / А.А. Борщ, О.Г. Бурдо, Н.В. Ружицька, С.Г. Терзиев // Харчова наука і технологія, 2011. - №4. – С. 96 – 99.

4. *Ружицька, Н.В.* Дослідження процесу сушіння шламу кави під дією інфрачервоного випромінювання / Ружицька Н.В., Терзиев С.Г. // Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини: Всеукр. науково-практ. конф., 3-4 листопада 2011 р. ; Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. – Х. : ХДУХТ, 2011. – С. 92 – 93.

5. *Борщ, А.А.* Кинетика тепло- и массообменных процессов в технологи пищевых концентратов / А.А. Борщ, Н.В. Ружицкая, С.Г. Терзиев // XIV Минский международный форум по тепло- и массообмену: Тезисы докладов. – Минск, 2013. – Т.3. – Ч.1. – С. 162 – 165.

6. *Зверев, С.В.* Оптимизация параметров блока излучателей при инфракрасном нагреве сои / С.В.Зверев, Е.П.Тюрев, Сю Чжи Цзюнь // Международная научно-техническая конференция «Прогрессивные технологии и оборудование для пищевой промышленности». Тезисы докладов. – Воронеж: 1997. – С. 180-181.

7. *Сафаров, А.Ф.* Влаготепловая обработка масличных культур / Дис. доктора техн. наук. Ташкент. 1991. –288 с.

РОЗДІЛ 3

8. *Беляев, М.И.* Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов : монография / М. Беляев, П. Пахомов. – Х.: ХИОП, 1991. – 160 с.

9. *Деревенко, В.В.* Основные технологические закономерности термopодготовки масличного материала к извлечению масла / В.В. Деревенко // XXIV Российская школа по проблемам науки и технологий, посвященная 80-летию со дня рождения академика В.П. Макеева: сб. тр. – Миасс. – 2004. – С. 144-146.

10. *Снежкин, Ю.Ф.* Интенсификации процесса сушки семенного зерна рапса в теплонасосной сушильной установке / Ю.Ф. Снежкин, В.М. Пазюк // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 7. – С. 94.

11. *Безбах, И.В.* Исследование процесса сушки плодов и ягод во взвешенном слое /И.В. Безбах, Н.В. Бахмутян // Наукові праці ОНАХТ, Одеса. – 2006. – Вип. 28, т. 3. – С. 112-116.

12. *Орлов, П.И.* Основы конструирования / П.И. Орлов // Справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Изд. 2-е, кн. 1. –М.: Машиностроение, 1977. – 623 с.

13. *Анурьев, В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя / В.И.Анурьев – М. : Машиностроение, 1980. – 728 с.

14. *Любін, М.В.* Механізація транспортних робіт. Частина I. Транспортуючі машини з тяговим органом: Навчальний посібник / М.В. Любін. – Вінниця: ВДАУ 2004. – 212 с.

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРА- ЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ ТА СОЇ

Використовуючи методику експериментального дослідження тепломасообмінних характеристик, що представлена у розділі 3, проведено дослідні експерименти при варіюванні таких характеристик як: маса навіски продукції (m_n), потужність випромінювача (N_B), час оброблення продукції (t_p), температура в зоні обробки (T), вологість продукції (W), швидкість видалення вологи dW/dt , масова продуктивність сушарки за видаленою вологою. В якості оброблюваної продукції використано цілі зерна ріпаку та сої.

4.1 Визначення параметрів тепломасообміну за нерухомого шару продукції

При оцінюванні параметрів тепломасообміну для зерна ріпаку в нерухомому шарі були враховані такі параметри як потужність випромінювача, маса завантаженої продукції, температура продукції. Результати графічно представлені на рис. 4.1 – 4.4.

Аналізуючи одержані дані можна зробити висновки, що:

1. масова продуктивність процесу або швидкість інфрачервоного сушіння практично не залежить від маси навіски за зміни останньої від 100 до 400 г (рис. 4.1, 4.2);
2. при зменшенні завантаження робочої зони з 400 до 100 г швидкість вологовидалення збільшується в 2...3 рази;
3. період постійної швидкості сушіння для різномасних навісок ріпаку спостерігається від 10 до 30 с обробки, більш високі значення швидкості сушіння мають місце для менших мас продукції;
4. максимальна температура в зоні обробки варіюється в межах 52...72°C (рис. 4.3, 4.4).

РОЗДІЛ 4

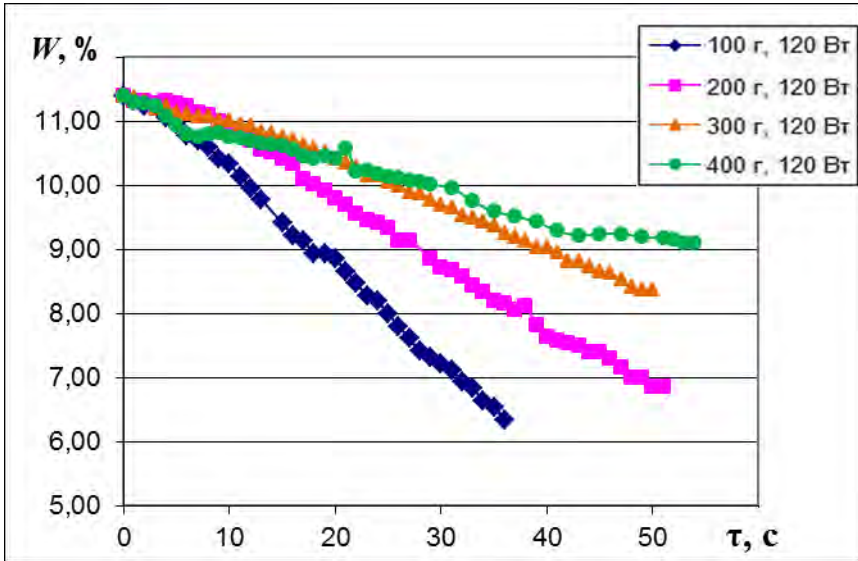


Рис. 4.1. Зміна вологості ріпаку при інфрачервоному сушінні різномасних навісок при $N_B=120$ Вт

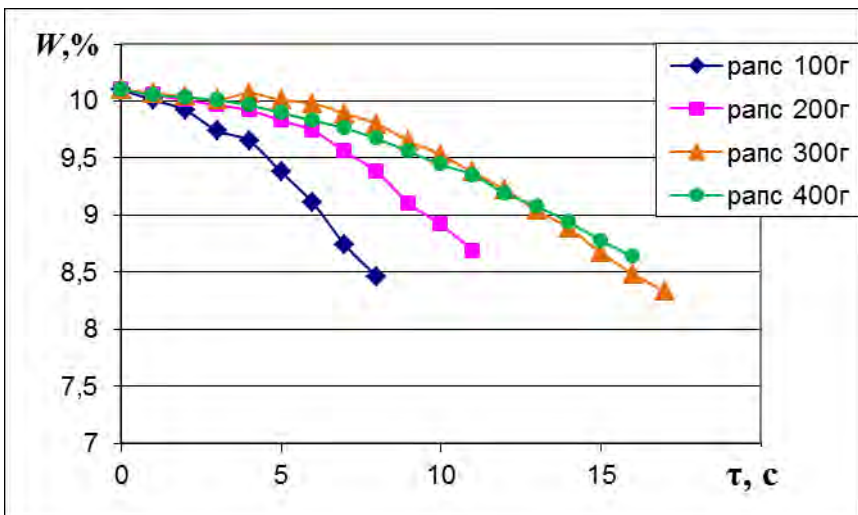


Рис. 4.2. Зміна вологості ріпаку при інфрачервоному сушінні різномасних навісок та $N_B=320$ Вт

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ ТА СОЇ

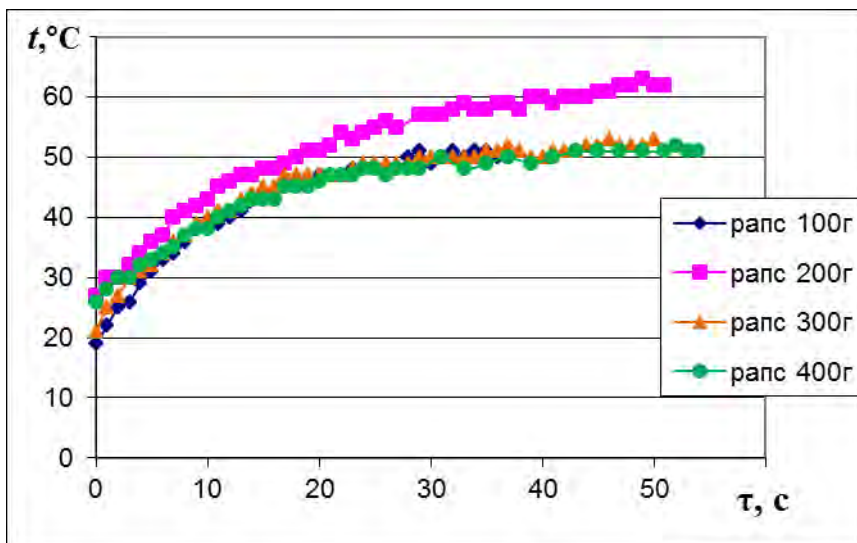


Рис. 4.3. Термограми інфрачервоного сушіння різномасних навісок ріпаку при $N_{\text{в}}=320$ Вт

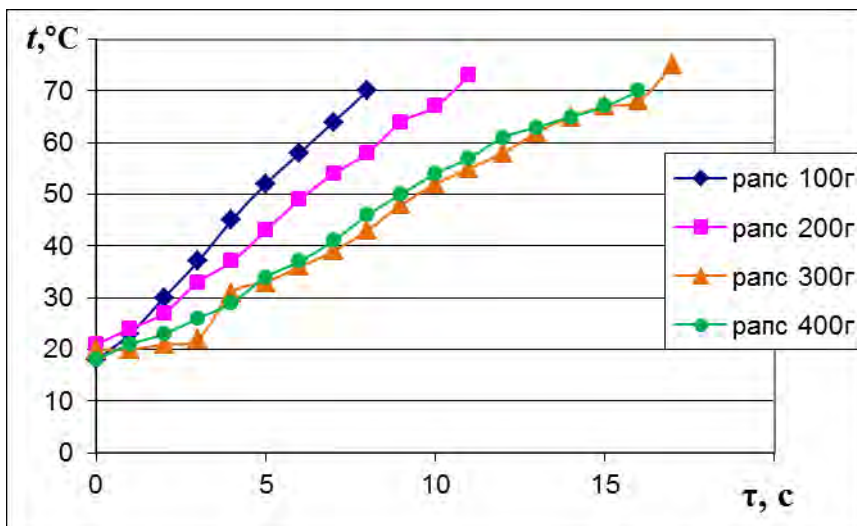


Рис. 4.4. Термограми інфрачервоного сушіння різномасних навісок ріпаку при $N_{\text{в}}=320$ Вт

Результати експериментальних досліджень свідчать, що зменшення вологості продукту від залучення інфрачервоного опромінювача є дієвим, до того ж встановлено, що збільшення питомого завантаження обох культур до $7,5 \text{ кг/м}^2$ призводить до збільшення виходу вологи, а наступне збільшення питомого завантаження є недоцільним, тому що вилучення вологи не підвищується (при сушінні ріпаку), або ж, взагалі, знижується (при сушінні сої), що можливо пояснити недостатньою проникністю інфрачервоних променів всередину всього завантаженого продукту [1].

Також, за результатами досліджень встановлено, що сушіння з використанням інфрачервоного опромінювача за потужності до 300 Вт призводить до поступового та найповнішого випаровування вологи, але при цьому витрачається більше часу. На противагу цьому збільшення потужності до 400...500 Вт призводить до пришвидшення вилучення вологи, але при цьому продукт швидше підігрівається до критичної межі, що може значно погіршити його властивості.

Ще одним важливим результатом, що отриманий при проведенні експерименту, є значно більше вилучення вологи (на 30...40%) з насіння ріпаку в порівнянні з насінням сої. Це пояснюється меншими розмірами кожної насінини ріпаку, а також збільшеною поглинаючою випромінювання здатністю ріпаку через його темний колір у порівнянні з насінням сої.

4.2 Визначення основних тепломасообмінних параметрів інфрачервоного сушіння для рухомого шару продукції

Чисельні дані тепломасообмінних характеристик інфрачервоного сушіння ріпаку та сої у рухомому шарі продукції, отримані з використанням методики проведення експериментів (розділ 3), зведено у таблицях 4.1 – 4.3.

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ ТА СОЇ

Таблиця 4.1

Вихідні експериментальні дані при дослідженні основних тепломасообмінних характеристик інфрачервоного сушіння сої у рухомому шарі продукції

| Кількість впряміновачів | P_s , кВт/м ² | v , см/с | $N_{оп}$, Вт | $\eta_{п}$, % | $\eta_{к}$, % | ΔW , % | N_5 , Вт | τ , с | dW/dt , %/хв | m , кг | E_b , Дж | E_m , МДж/кг | m_b , г | m_p , г | m_k , г |
|----------------------------|-------------------------------|---------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|-------------|---------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 3,5 | 0,54 | 200 | 19,6 | 19,5 | 0,1 | 200 | 44 | 0,16 | 0,001156 | 52910,05 | 45,8 | 22,531 | 27,535 | 26,56 |
| 2 | 3,5 | 0,54 | 200 | 19,6 | 18,3 | 1,3 | 400 | 89 | 0,88 | 0,013037 | 105820,1 | 8,1 | 31,41 | 36,411 | 35,496 |
| 3 | 3,5 | 0,54 | 200 | 19,6 | 17,4 | 2,2 | 600 | 133 | 0,98 | 0,021879 | 158730,2 | 7,3 | 22,306 | 27,314 | 26,442 |
| 1 | 3,5 | 0,33 | 100 | 17,4 | 17,4 | 0,0 | 100 | 73 | 0,04 | 0,000439 | 43290,04 | 98,7 | 27,0212 | 32,0638 | 31,1886 |
| 2 | 3,5 | 0,33 | 100 | 17,4 | 16,7 | 0,7 | 200 | 145 | 0,30 | 0,007333 | 86580,09 | 11,8 | 23,526 | 28,5294 | 27,6955 |
| 3 | 3,5 | 0,33 | 100 | 17,4 | 16,4 | 1,0 | 300 | 218 | 0,27 | 0,0098 | 129870,1 | 13,3 | 28,2833 | 33,2833 | 32,4623 |
| 1 | 3,5 | 0,33 | 300 | 17,5 | 17,3 | 0,2 | 300 | 73 | 0,19 | 0,004702 | 259740,3 | 55,2 | 20,6998 | 25,6949 | 24,8325 |
| 2 | 3,5 | 0,33 | 300 | 17,5 | 16,0 | 1,5 | 600 | 145 | 0,61 | 0,044348 | 779220,8 | 17,6 | 26,8493 | 31,855 | 31,053 |
| 3 | 3,5 | 0,33 | 300 | 17,5 | 14,8 | 2,7 | 900 | 218 | 0,75 | 0,108417 | 1558442 | 14,4 | 22,6763 | 27,6805 | 26,9404 |
| 1 | 3,5 | 0,13 | 200 | 18,6 | 16,2 | 2,4 | 200 | 185 | 0,80 | 0,12247 | 1098901 | 9,0 | 22,5083 | 27,5174 | 26,7084 |
| 2 | 3,5 | 0,13 | 200 | 18,6 | 14,3 | 4,3 | 400 | 369 | 0,69 | 0,255722 | 2637363 | 10,3 | 21,7964 | 26,7999 | 26,0825 |
| 3 | 3,5 | 0,13 | 200 | 18,6 | 12,6 | 6,0 | 600 | 554 | 0,65 | 0,420333 | 4615385 | 11,0 | 12,7811 | 17,7949 | 17,1634 |
| 1 | 3,5 | 0,33 | 200 | 10,5 | 10 | 0,5 | 200 | 73 | 0,41 | 0,04 | 692640,7 | 17,3 | | | |
| 2 | 3,5 | 0,33 | 200 | 10,5 | 9,7 | 0,8 | 400 | 145 | 0,33 | 0,072 | 1558442 | 21,6 | | | |
| 3 | 3,5 | 0,33 | 200 | 10,5 | 8,8 | 1,7 | 600 | 218 | 0,47 | 0,17 | 2597403 | 15,3 | | | |

РОЗДІЛ 4

Таблиця 4.2

Вихідні експериментальні дані при дослідженні основних тепломасообмінних характеристик інфрачервоного сушіння ріпаку у рухомому шарі продукції з використанням трьох інфрачервоних випромінювачів

| Кількість випромінювачів | P_{Σ} , кВт/м ² | v , см/с | $L_{оп}$, Вт | $W_{п}$, % | $W_{к}$, % | ΔW , % | N_{Σ} , Вт | τ , с | dW/dt , %/хв | m , кг | $E_{в}$, Дж | $E_{м}$, МДж/кг | $m_{в}$, г | $m_{г}$, г | $m_{г}$, г |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------|------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------------|---------------|-------------------|-------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 3,5 | 0,54 | 200 | 13,9 | 13,8 | 0,1 | 200 | 44 | 0,11 | 0,000793 | 52910,053 | 66,7 | 21,71 | 26,717 | 26,025 |
| 2 | 3,5 | 0,54 | 200 | 13,9 | 12,4 | 1,5 | 400 | 89 | 1,03 | 0,015299 | 105820,11 | 6,9 | 21,776 | 26,78 | 26,161 |
| 3 | 3,5 | 0,54 | 200 | 13,9 | 10,3 | 3,6 | 600 | 133 | 1,62 | 0,036103 | 158730,16 | 4,4 | 22,776 | 27,781 | 27,266 |
| 1 | 3,5 | 0,33 | 300 | 13 | 11,3 | 1,7 | 300 | 73 | 1,37 | 0,016645 | 129870,13 | 7,8 | 22,3062 | 27,3073 | 26,7404 |
| 2 | 3,5 | 0,33 | 300 | 13 | 9,3 | 3,7 | 600 | 145 | 1,54 | 0,037278 | 259740,26 | 7,0 | 22,7613 | 27,7569 | 27,2937 |
| 3 | 3,5 | 0,33 | 300 | 13 | 7,2 | 5,8 | 900 | 218 | 1,60 | 0,058332 | 389610,39 | 6,7 | 27,1135 | 32,1157 | 31,7572 |
| 1 | 2,5 | 0,33 | 200 | 13,5 | 10,8 | 2,7 | 200 | 73 | 2,25 | 0,054601 | 404040,4 | 7,4 | 26,9906 | 32,0064 | 31,4662 |
| 2 | 2,5 | 0,33 | 200 | 13,5 | 10,1 | 3,4 | 400 | 145 | 1,40 | 0,101498 | 1212121,2 | 11,9 | 22,3988 | 27,3925 | 26,8873 |
| 3 | 2,5 | 0,33 | 200 | 13,5 | 8,4 | 5,1 | 600 | 218 | 1,39 | 0,202015 | 2424242,4 | 12,0 | 22,1785 | 27,1799 | 26,7573 |
| 1 | 5 | 0,33 | 200 | 17,1 | 16,6 | 0,5 | 200 | 73 | 0,38 | 0,023328 | 303030,3 | 13,0 | 24,0456 | 29,1125 | 28,2697 |
| 2 | 5 | 0,33 | 200 | 17,1 | 15,1 | 2,0 | 400 | 145 | 0,83 | 0,121311 | 727272,73 | 6,0 | 24,6738 | 29,6963 | 28,939 |
| 3 | 5 | 0,33 | 200 | 17,1 | 13,9 | 3,2 | 600 | 218 | 0,88 | 0,225267 | 1272727,3 | 5,6 | 25,8275 | 30,9111 | 30,2054 |
| 1 | 3,5 | 0,13 | 200 | 14,3 | 9,2 | 5,1 | 200 | 185 | 1,65 | 0,407306 | 1758241,8 | 4,3 | 26,8492 | 31,8206 | 31,3628 |
| 2 | 3,5 | 0,13 | 200 | 14,3 | 5,1 | 9,2 | 400 | 369 | 1,50 | 0,831969 | 3956044 | 4,8 | 28,0723 | 33,1258 | 32,703 |
| 3 | 3,5 | 0,13 | 200 | 14,3 | 3,4 | 10,9 | 600 | 554 | 1,19 | 1,09449 | 6593406,6 | 6,0 | 22,6769 | 27,6991 | 27,5306 |
| 1 | 3,5 | 0,33 | 200 | 5,5 | 5,0 | 0,5 | 200 | 73 | 0,41 | 0,045 | 779220,78 | 17,3 | 28,0723 | 33,1258 | 32,8703 |
| 2 | 3,5 | 0,33 | 200 | 5,5 | 4,1 | 1,4 | 400 | 145 | 0,58 | 0,14 | 1731601,7 | 12,4 | 28,0723 | 33,1258 | 32,8703 |
| 3 | 3,5 | 0,33 | 200 | 5,5 | 3,7 | 1,8 | 600 | 218 | 0,50 | 0,198 | 2857142,9 | 14,4 | 28,0723 | 33,1258 | 32,8703 |
| 1 | 3,5 | 0,33 | 100 | 5,5 | 5,2 | 0,3 | 100 | 73 | 0,25 | 0,036 | 519480,52 | 14,4 | 28,0723 | 33,1258 | 32,8703 |
| 2 | 3,5 | 0,33 | 100 | 5,5 | 4,9 | 0,6 | 200 | 145 | 0,25 | 0,078 | 1125541,1 | 14,4 | 28,0723 | 33,1258 | 32,8703 |
| 3 | 3,5 | 0,33 | 100 | 5,5 | 4,3 | 1,2 | 300 | 218 | 0,33 | 0,168 | 1818181,8 | 10,8 | 28,0723 | 33,1258 | 32,8703 |

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ ТА СОЇ

Таблиця 4.3

Вихідні експериментальні дані при дослідженні основних теплообмінних характеристик
інфрачервоного сушіння ріпаку у рухомому шарі продукції з використанням
одного інфрачервоного випромінювача

| Кількість випромі- нювачів | P_{S_3} кВт/м ² | v , см/с | $N_{обш}$ Вт | m_b , г | $m_{дл}$, г | $m_{ж}$, г | τ , с | $W_{П}$, % | $W_{ж}$, % | ΔW , % | t_s , °C | dW/dt , %/хв |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------|-----------------|--------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|-------------------|---------------|-------------------|
| 0 | | | | 22,769 | 5,05 | 27,016 | | 15,90 | | | 10,8 | |
| 1 | 2,5 | 0,15 | 300 | 22,308 | 5,071 | 26,616 | 166,7 | | 15,05 | 0,85 | 39 | 0,31 |
| 0 | | | | 14,392 | 5,362 | 18,889 | | 16,13 | | | 11,7 | |
| 1 | 2,5 | 0,3 | 300 | 12,152 | 5,915 | 17,136 | 83,3 | | 15,74 | 0,39 | 26,4 | 0,28 |
| 0 | | | | 14,393 | 5,893 | 19,767 | | 8,81 | | | 11,8 | |
| 1 | 2,5 | 0,59 | 300 | 12,152 | 5,877 | 17,522 | 42,4 | | 8,63 | 0,18 | 24 | 0,26 |
| 0 | | | | 22,783 | 5,699 | 27,734 | | 13,13 | | | 13,9 | |
| 1 | 2,5 | 1,05 | 300 | 21,815 | 5,49 | 26,589 | 23,8 | | 13,04 | 0,08 | 19,5 | 0,21 |
| 0 | | | | 23,385 | 5,829 | 28,445 | | 13,19 | | | 14,2 | |
| 1 | 2,5 | 2,85 | 300 | 22,525 | 5,487 | 27,289 | 8,8 | | 13,18 | 0,02 | 17 | 0,11 |
| 0 | | | | 22,767 | 5,466 | 27,347 | | 16,21 | | | 11,1 | |
| 1 | 2,5 | 0,3 | 100 | 22,309 | 5,702 | 27,091 | 83,3 | | 16,13 | 0,07 | 13,1 | 0,05 |
| 0 | | | | 21,813 | 5,326 | 26,29 | | 15,94 | | | 10,4 | |
| 1 | 2,5 | 0,3 | 200 | 22,779 | 5,635 | 27,521 | 83,3 | | 15,85 | 0,09 | 15,2 | 0,07 |
| 0 | | | | 14,392 | 5,362 | 18,889 | | 16,13 | | | 11,7 | |
| 1 | 2,5 | 0,3 | 300 | 12,152 | 5,915 | 17,136 | 83,3 | | 15,74 | 0,39 | 26,4 | 0,28 |
| 0 | | | | 22,522 | 5,866 | 27,456 | | 15,89 | | | 10 | |
| 1 | 2,5 | 0,3 | 400 | 22,307 | 5,598 | 27,045 | 83,3 | | 15,36 | 0,53 | 33,3 | 0,38 |
| 0 | | | | 21,748 | 5,922 | 26,715 | | 16,13 | | | 12,8 | |
| 1 | 2,5 | 0,3 | 500 | 22,866 | 5,683 | 27,677 | 83,3 | | 15,34 | 0,78 | 38,4 | 0,56 |
| 0 | | | | 22,78 | 5,983 | 27,348 | | 23,65 | | | 14,1 | |
| 1 | 2,5 | 0,3 | 300 | 21,817 | 5,348 | 25,903 | 83,3 | | 23,60 | 0,05 | 35,2 | 0,04 |
| 0 | | | | 23,385 | 5,881 | 27,908 | | 23,09 | | | 13,4 | |
| 1 | 3,5 | 0,3 | 300 | 22,522 | 5,279 | 26,589 | 83,3 | | 22,96 | 0,13 | 36,2 | 0,10 |
| 0 | | | | 23,385 | 5,881 | 27,908 | | 23,09 | | | 13,4 | |
| 1 | 5 | 0,3 | 300 | 22,257 | 5,734 | 26,678 | 83,3 | | 22,90 | 0,19 | 32,3 | 0,14 |

РОЗДІЛ 4

У таблицях 4.1 – 4.3 використані наступні позначення фізичних величин: P_S – завантаження робочої зони, $\text{кг}/\text{м}^2$; v – швидкість транспортерної стрічки, $\text{см}/\text{с}$; $N_{\text{оп}}$ – потужність інфрачервоного випромінювання, Вт ; $W_{\text{п}}$ – початкова вологість продукту, %; $W_{\text{к}}$ – кінцева вологість продукту, %; N_{Σ} – сумарна потужність випромінювачів, Вт ; τ – час обробки, с ; dW/dt – швидкість видалення вологи, $\%/x_{\text{в}}$; $m_{\text{в}}$ – маса видаленої вологи, кг ; $E_{\text{в}}$ – потік енергії на одиницю маси вологи, Дж ; $E_{\text{м}}$ – питомий потік енергії на одиницю маси продукції, $\text{МДж}/\text{кг}$; $m_{\text{б}}$ – маса бюкса, г ; $m_{\text{п}}$ – початкова маса проби продукції (в бюксі), г ; $m_{\text{к}}$ – кінцева маса проби продукції (в бюксі), г .

Для рухомого шару сировини варіювались такі параметри як потужність випромінювачів N , швидкість руху транспортерної стрічки v_c та питоме завантаження робочої зони P_S . Результати експериментальних досліджень наступні:

- при збільшенні швидкості транспортерної стрічки з 0,0015 до 0,0285 $\text{м}/\text{с}$ інтенсивність зміни вологості за фіксований термін обробки зменшується у 3 рази (рис. 4.5);

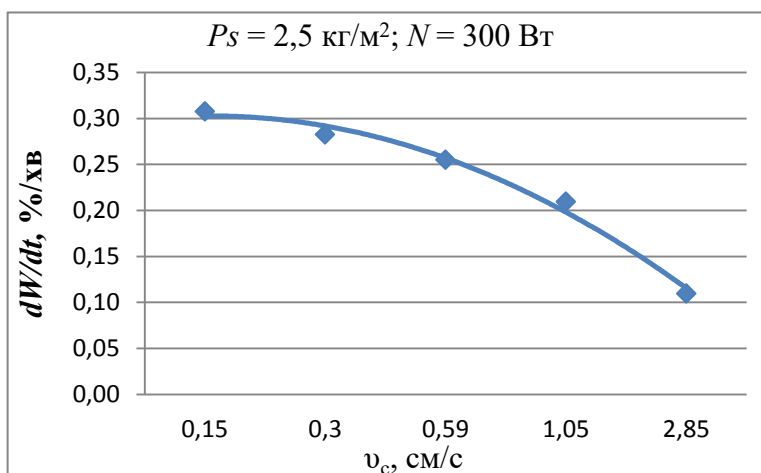


Рис. 4.5. Залежності зниження вологості для зерна ріпаку при зміні швидкості руху стрічки

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ ТА СОЇ

- при збільшенні у 5 разів потужності опромінення інтенсивність зміни вологості збільшується у 8 разів (рис. 4.6);

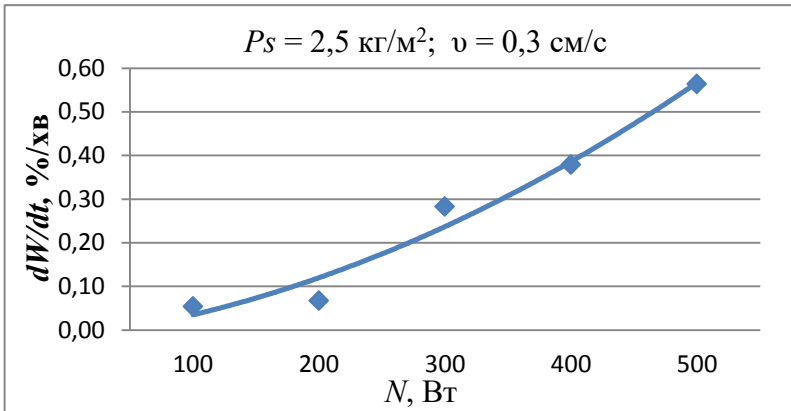


Рис. 4.6. Залежності зниження вологості для зерна ріпаку при зміні потужності

- при зміні завантаження продукції у робочій зоні з 0,2 до 0,5 кг/м^2 інтенсивність зміни вологості збільшується у 3,5 рази (рис. 4.7).

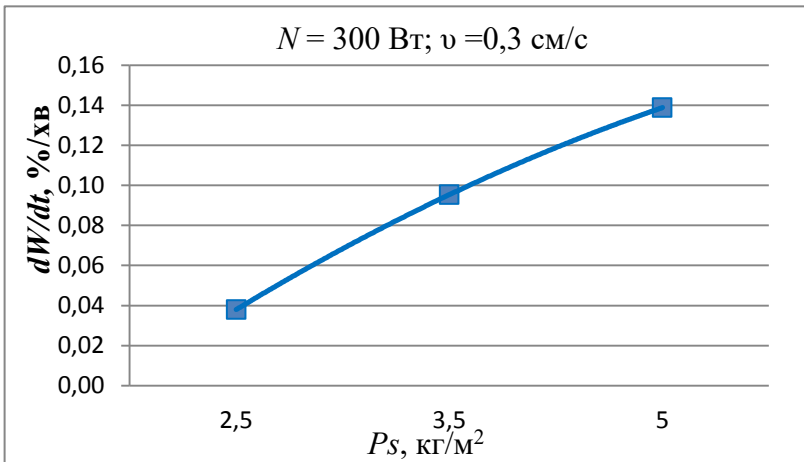


Рис. 4.7. Залежності зниження вологості для зерна ріпаку при зміні питомого завантаження

РОЗДІЛ 4

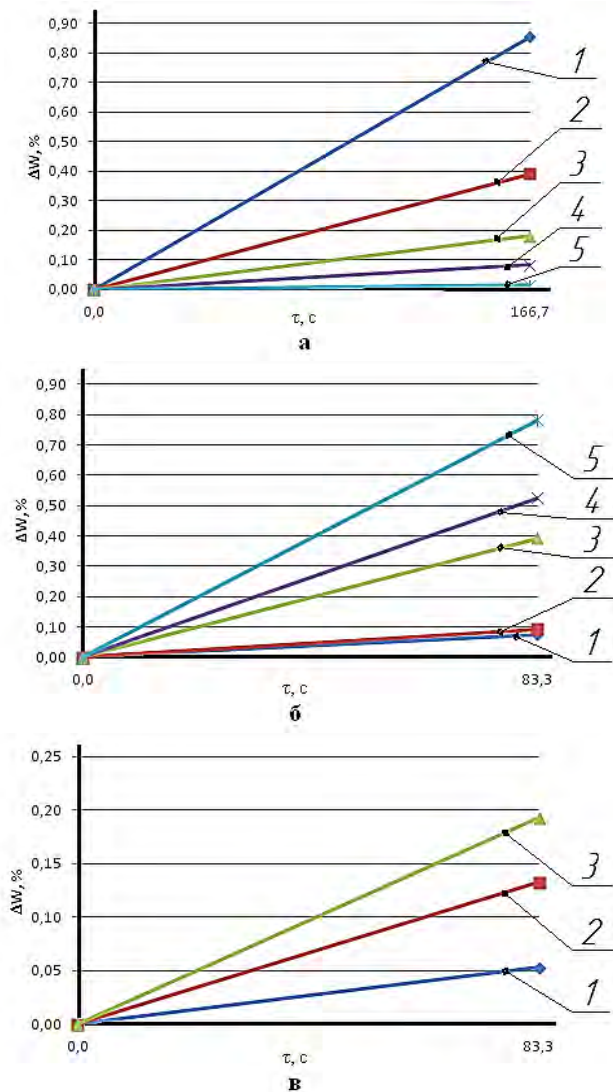


Рис. 4.8. Зміна вологості при інфрачервоному сушінні у рухомому шарі продукції при варіюванні:
 а – швидкості транспортерної стрічки 1 – 0,0015 м/с; 2 – 0,003 м/с; 3 – 0,0059 м/с; 4 – 0,0105 м/с; 5 – 0,0285 м/с; б – потужності випромінювання 1 – 100 Вт; 2 – 200 Вт; 3 – 300 Вт; 4 – 400 Вт; 5 – 500 Вт;
 в – завантаження робочої зони 1 – 2,5 кг/м²; 2 – 3,5 кг/м²; 3 – 5 кг/м²

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ ТА СОЇ

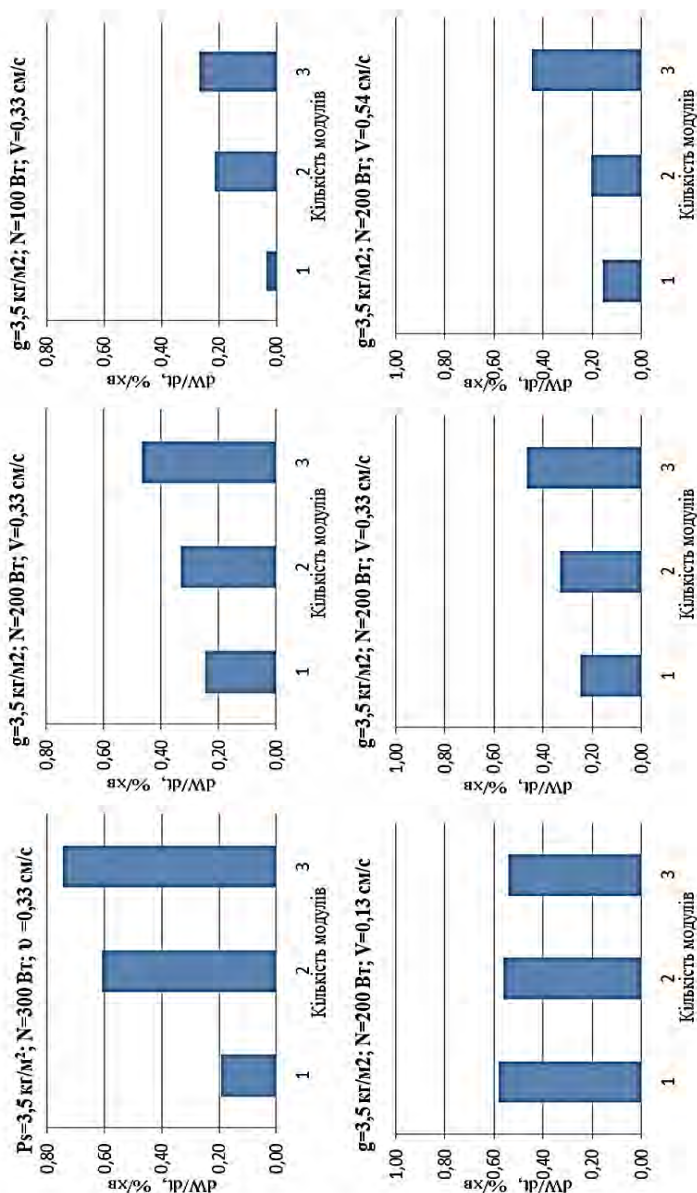


Рис. 4.9. Зміна швидкості інфрачервоного сушіння сої у рухомому шарі продукції при варіюванні умов технологічної обробки

РОЗДІЛ 4

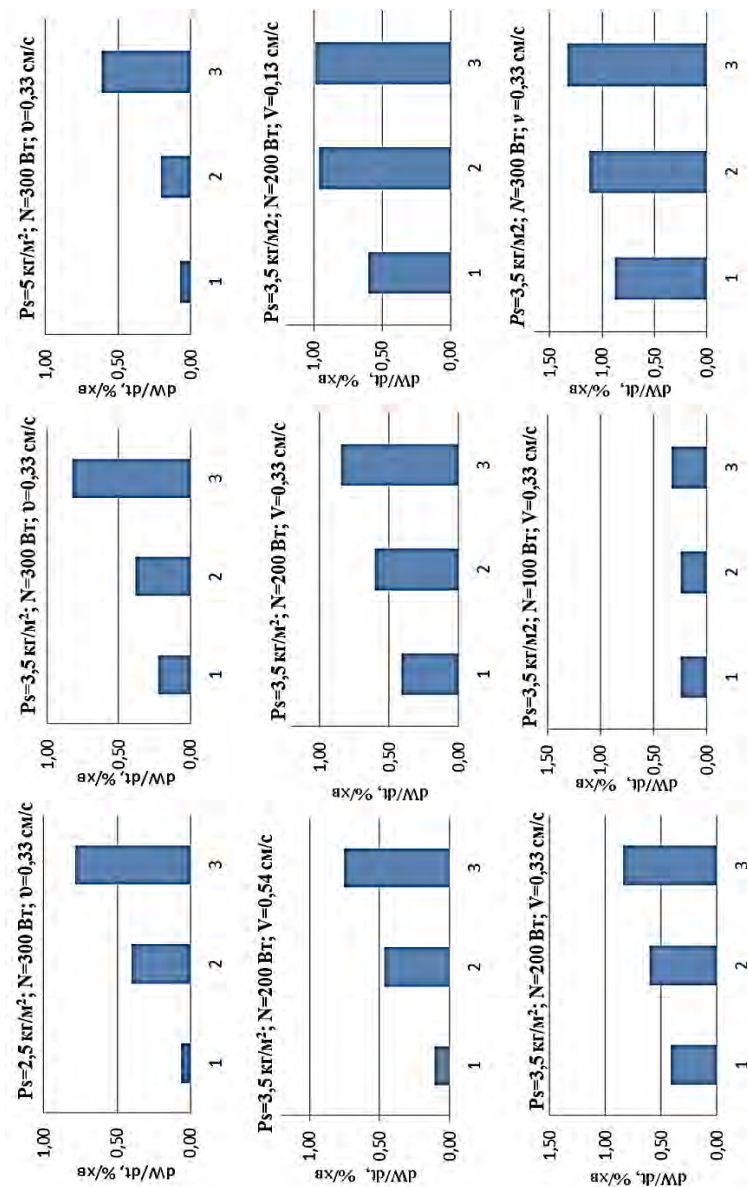


Рис. 4.10. Зміна швидкості інфрачервоного сушіння ріпаку у рухомому шарі продукції при варіюванні умов технологічної обробки

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ ТА СОЇ

Динаміка зміни швидкості інфрачервоного сушіння ріпаку та сої в залежності від кількості випромінюючих модулів, при зміні потужності опромінення $N_{оп}$, завантаження у робочій зоні Ps , швидкості транспортерної стрічки $v_{ст}$ представлено відповідно на рисунках 4.9, 4.10.

За результатами експериментів було визначено, що найбільш оптимальні значення швидкості транспортування продукції знаходяться в межах від 0,15 до 0,3 см/с та потужності ІЧ випромінювачів – в діапазоні 400...500 Вт.

Питоме завантаження робочої зони більше 3,5 кг/м² використовувати недоцільно через те, що великий шар продукції не дає змоги інфрачервоним променям обробляти всі зерна, особливо при досить великих швидкостях руху стрічки.

При використанні схеми з трьома послідовно розташованими над транспортерною стрічкою ІЧ випромінювачами було доведено більш доцільне використання такого методу обробки для збільшення видалення вологи та зменшення оптимальної потужності випромінювачів з 500 до 300 Вт.

4.3 Оцінка основних параметрів коливальної системи при зміні її факторів незрівноваженості

Використовуючи методику, описану в підрозділі 3.5, проведено аналіз основних кінематичних та енергетичних характеристик коливальної системи. Оцінку даних параметрів проведено за різних кутів розташування дебалансів один відносно одного. Очевидно, що змінюючи даний кут від 0 до π , сила інерції незрівноважених елементів зменшується від максимального значення до нуля. Варіювання таких положень дебалансів дозволило отримати графічні залежності параметрів вібрації на рис. 4.11 – 4.14. Зміна положень незрівноважених елементів відносно вертикальної осі машини дало можливість отримати варіанти силової, моментної та комбінованої незрівноваженості досліджуваної коливальної системи.

Амплітудно-частотні характеристики приводу досліджуваної машини (рис. 4.11) показує дорезонансний, резона-

РОЗДІЛ 4

нський та зарезонансний режими експлуатації машини для різних положень дебалансів, тобто за різної інерційної сили на опорні вузли. З даного графіка можна визначити, що ефективний робочий режим вібробуджувача лежить в межах 90 – 120 рад/с кутової швидкості приводного вала. Даний режим є зарезонансним, який разом із стабілізацією амплітуди в межах 2,5...4 мм для різних режимів силової дії дозволяє забезпечити умови віброзахисту машини [2].

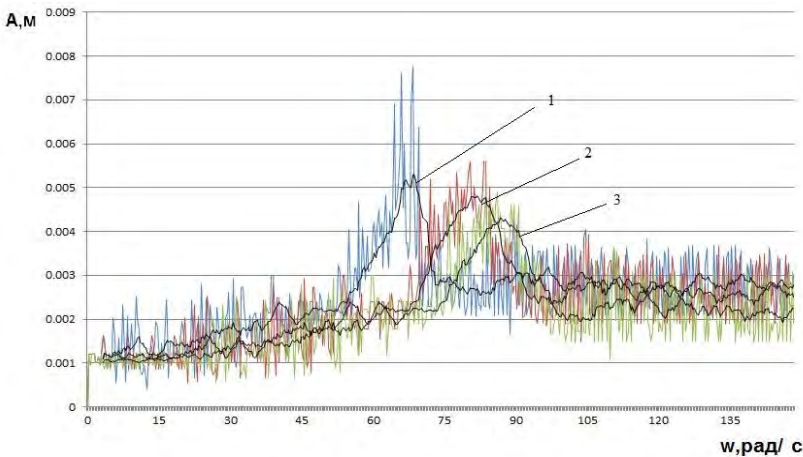


Рис. 4.11. Амплітудно-частотна характеристика досліджуваної машини в залежності від кутової швидкості обертання приводного валу та кута розведення дебалансів: 1 – при 0 град.; 2 – при 45 град.; 3 – при 90 град.

Графічні залежності віброшвидкості та віброприскорення (рис. 4.12, 4.13) показують різке збільшення динамічних навантажень в машині починаючи із 110 рад/с кутової швидкості приводного вала. Більш стрімке зростання силових та енергетичних характеристик вібромашини спостерігається при зведених дебалансах, тобто при максимальних інерційних зусиллях.

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ ТА СОЇ

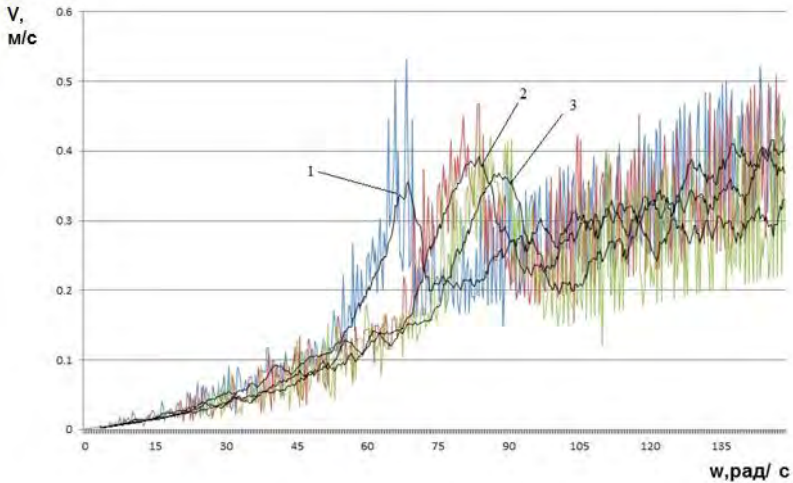


Рис. 4.12. Віброшвидкість досліджуваної машини в залежності від кутової швидкості обертання приводного валу та кута розведення дебалансів: 1 – при 0 град.; 2 – при 45 град.; 3 – при 90 град.

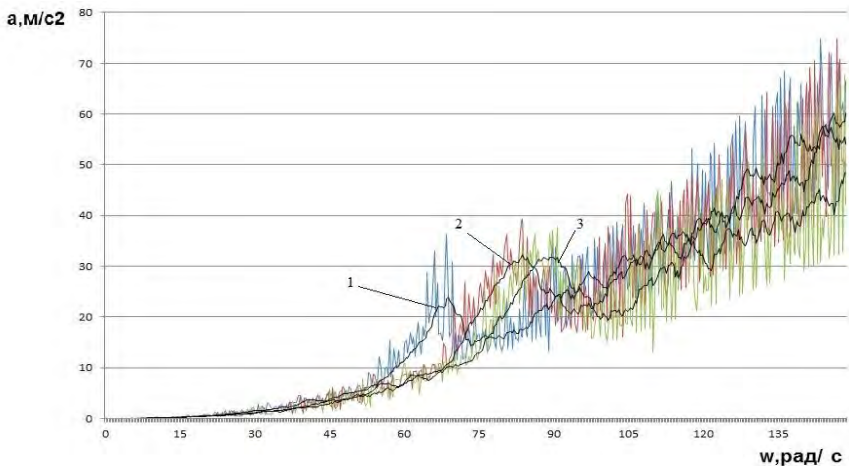


Рис. 4.13. Віброприскорення досліджуваної машини в залежності від кутової швидкості обертання приводного валу та кута розведення дебалансів: 1 – при 0 град.; 2 – при 45 град.; 3 – при 90 град.

РОЗДІЛ 4

Аналізуючи графічні залежності кінематичних та енергетичних характеристик досліджуваної конвеєрної машини можна відзначити, що діапазон робочих режимів за установленної амплітуди коливань та помірних енерговитрат відповідає кутовій швидкості приводного вала $\omega = 100$ рад/с та амплітуді $A = 3$ мм.

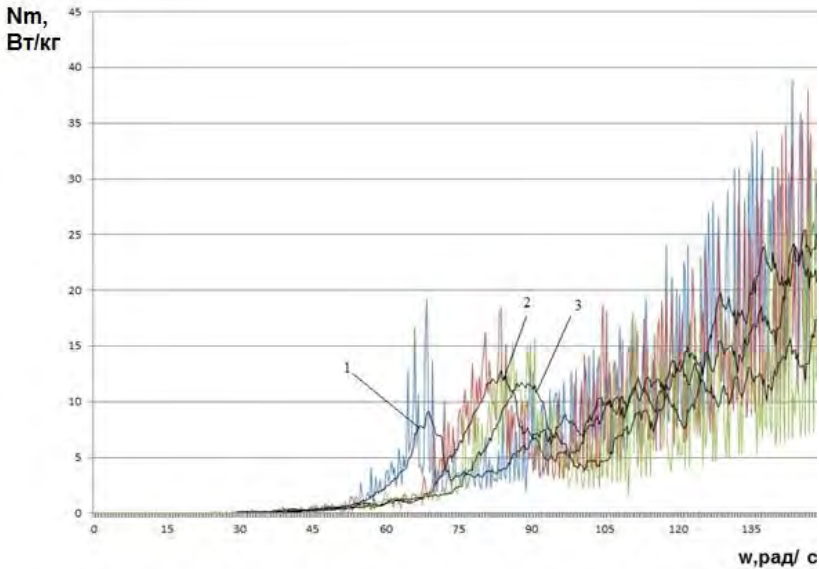


Рис. 4.14. Інтенсивність коливань досліджуваної машини в залежності від кутової швидкості обертання приводного вала та кута розведення дебалансів: 1 - при 0 град.; 2 - при 45 град.; 3 - при 90 град.

На рис. 4.15 представлена швидкість транспортування оброблюваної продукції залежно від кутової швидкості приводного вала та способу незрівноваженості коливальної системи. Збільшення даної характеристики спостерігається для комбінованої незрівноваженості коливальної системи. Різниця між режимом комбінованої та відповідно моментної та силової незрівноваженості коливальної системи зростає на 50% починаючи із 95 рад/с кутової швидкості приводного вала.

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ ТА СОЇ

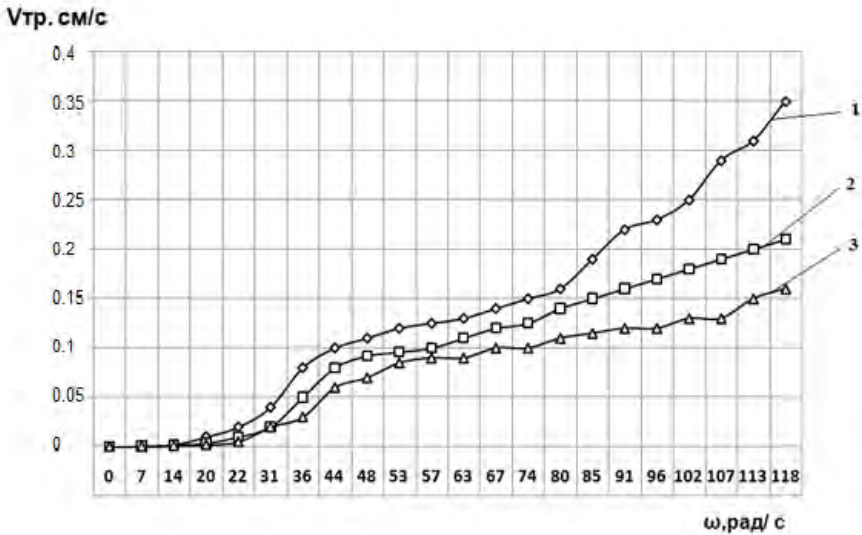


Рис. 4.15. Швидкість транспортування обробленої продукції в залежності від кутової швидкості обертання приводного валу, кута розведення дебалансів та взаєморозміщення дебалансів на віброприводних роликах: 1 – при комбінованій незрівноваженості; 2 – при моментній незрівноваженості; 3 – при силовій незрівноваженості

Дослідження впливу параметрів вібрації за різного типу незрівноваженості коливальної системи виявили подібність динаміки зміни швидкості, починаючи з $\omega = 0 \dots 85$ рад/с (рис. 4.15). В подальшому спостерігається більш стрімке підвищення швидкості просування продуктового потоку для умов комбінованої незрівноваженості системи.

На рис. 4.16 представлені енергетичні витрати при експлуатації машини на різних частотах коливань приводного вала. Різке зростання енерговитрат спостерігається починаючи із кутової швидкості 100 рад/с. Дані залежності для комбінованої незрівноваженості коливальної системи протікають більш динамічно.

РОЗДІЛ 4

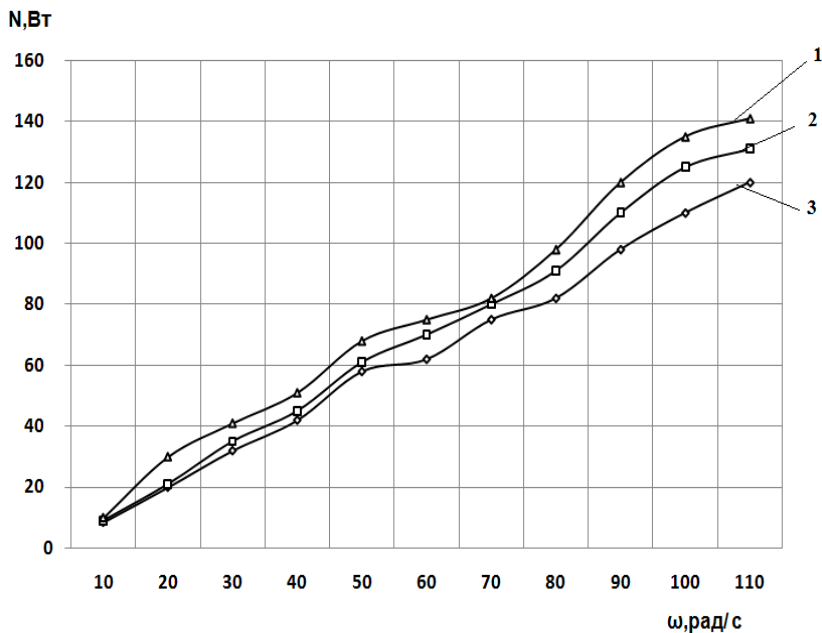


Рис. 4.16. Енергетична характеристика досліджуваної машини в залежності від кутової швидкості обертання приводного вала, кута розведення дебалансів та взаєморозміщення дебалансів на віброприводних роликах: 1 – при комбінованій незрівноваженості; 2 – при моментній незрівноваженості; 3 – при силевій незрівноваженості

Питомі енергетичні витрати віднесені на одиницю коливної маси приводу зростають на 35 – 40% при збільшенні силового навантаження на опорні вузли вдвічі (рис. 4.14). Реалізація комбінованої незрівноваженості коливальної системи дозволяє збільшити швидкість транспортування продукції на поверхні хвильового конвеєра, починаючи з 90 рад/с кутової швидкості приводного вала, але й призводить до підвищення енерговитрат на привод починаючи з 70 рад/с (рис.4.16) [3, 4].

4.4 Перевірка адекватності математичного моделювання

При перевірці відхилення між теоретичними та експериментальними дослідженнями в якості критеріїв оцінки відзначаємо енергетичні та кінематичні характеристики досліджуваних процесів. Серед кінематичних характеристик пропонуємо швидкість переміщення оброблюваної продукції, що є прямо пропорційна масовій продуктивності сушарки. В якості енергетичного параметра оцінки використовуємо витрати потужності при реалізації інфрачервоного сушіння у рухомому шарі сировини. Представлені критерії оцінки безпосередньо визначають техніко-економічну ефективність досліджуваних процесів та обладнання.

Зазначені характеристики визначають для двох способів інфрачервоного сушіння у рухомому шарі продукції:

- при переміщенні маси оброблюваної сировини рухом транспортерної стрічки (рис. 4.17, *a*);
- при транспортуванні продукції хвильовим рухом стрічки, що досягається при вібраційному коловому русі опорних котків стрічки (рис. 4.17, *б*).

Для першого режиму обробки (рис. 4.39, *a*) швидкість оброблюваної продукції або швидкість її транспортування v_{np} можна взяти з інтервалу 10...50 см/с як для стрічкового транспортеру при переміщенні сипких мас [5]. Враховуючи те, що продукція повинна бути оброблена до заданої вологості за один прохід робочої зони, та використовуючи відповідні експериментальні дані, приймаємо:

$$v_{np} = v_{mp} = v_c = 13 \text{ см/с} \quad (4.1)$$

При перемішуванні продукції в умовах псевдозрідженого шару внаслідок коливань опорних котків стрічки та створення на останній біжучої або стоячої хвилі (рис. 4.17, *б*) швидкість оброблюваної продукції можна ототожнити зі складовою віброшвидкості v_x , що визначається наступним чином:

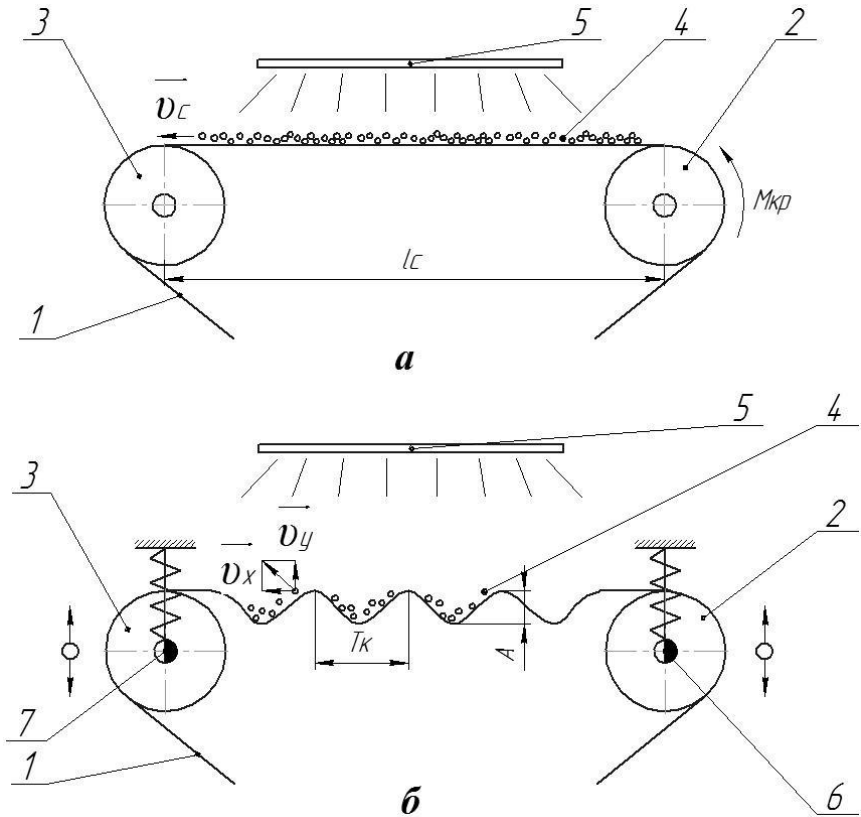


Рис. 4.17. Схеми реалізації інфрачервоного сушіння у рухомому шарі продукції:

- a* – при перемішуванні сировини рухом транспортерної стрічки;
- б* – при транспортуванні сировини хвильовим рухом стрічки;
- 1 – транспортерна стрічка; 2, 3 – опорні котки; 4 – продукція, що обробляється; 5 – випромінювач; 6, 7 – дебалансні вібробуджувачі;
- A – амплітуда коливань; T_k – період коливань; l_c – довжина стрічки;
- v_x, v_y – складові віброшвидкості

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ ТА СОЇ

$$v_{np} = v_x = A_x \omega_k \quad (4.2)$$

$$A_x = A_{x1} + A_{x2}$$

$$\omega_k = \frac{2\pi}{T_k}$$

де A_{x1} , A_{x2} – складові амплітуди коливань від віброзбуджувачів приводу;

ω_k – частота коливань хвильового конвеєра.

Витрати потужності при реалізації інфрачервоного сушіння у рухомому шарі продукції складають

$$N_0 = N_{on} + N_{np}.$$

Потужність на привод $N_{прс}$ для першого з досліджуваних способів обробки складає потужність на переміщення транспортерної стрічки з вантажем на прямолінійній ділянці, що розраховуємо в розділі 3.4.

$$N_{прс} = N_0 = 188 \text{ Вт.} \quad (4.3)$$

При здійсненні переміщення продукції хвильовим конвеєром потужність на привод можна визначити, використавши методику, яка наведена у розділі 3.3.

$$N_{прх} = \frac{2k_3 N_k}{\eta_{np}} \quad (4.4)$$

де N_k – технологічна потужність для створення коливального руху опорного котка;

η_{np} – ККД приводного механізму.

$$N_k = N_{мер} + N_F = 41,1 \text{ Вт}; \quad N_{прх} = \frac{2 \cdot 1,25 \cdot 41,1}{0,9} = 114,2 \text{ Вт}$$

Враховуючи, що для надання робочого руху хвильовому конвеєру використовуються два симетрично розташованих відносно центра сушарки віброзбуджувачі дебалансного типу, швидкість транспортування продукції залежить від віброшвидкостей, які надаються елементами віброприводу машини.

$$v_{mp.x} = v_{x1} + v_{x2} = A_{x1} \omega_1 + A_{x2} \omega_2 \quad (4.5)$$

РОЗДІЛ 4

За результатами експериментальних досліджень для отримання стійкого переміщення сировини хвильовим конвеєром при забезпеченні потрібної якості обробки необхідні наступні співвідношення між амплітудно-частотними параметрами віброзбуджувачів:

$$\begin{aligned} A_{x2} &= 1,68A_{x1} \\ \omega_2 &= 1,22\omega_1 \end{aligned} \quad (4.6)$$

Таким чином, шукана величина швидкості хвильового конвеєра або швидкості транспортування складає

$$v_{mp.x} = 3,05A_{x1}\omega_1 \quad (4.7)$$

На основі отриманої формули 4.7 та отриманих раніше амплітудно-частотних характеристик (рис. 4.11) будуємо результати порівняльного аналізу за кінематичними характеристиками на рисунку 4.18.

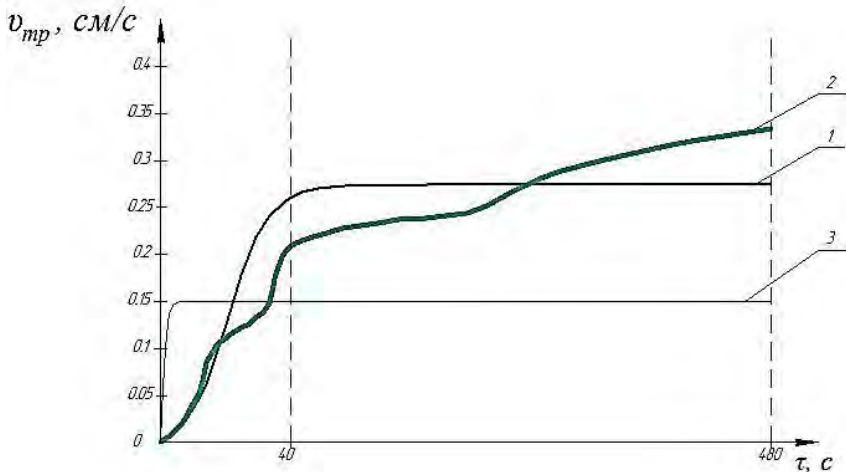


Рис. 4.18. Порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних досліджень за кінематичними характеристиками оцінки:

1 – результати теоретичних досліджень; 2 – результати експериментальних досліджень; 3 – швидкість транспортування продукції рухом стрічкового конвеєра

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ ТА СОЇ

При визначенні енергетичних характеристик досліджуваних схем реалізації інфрачервоного сушіння на конвеєрних машинах враховуємо, що величина потужності змушуючої сили N_F при використанні наведених вище експериментальних рекомендацій складає:

$$\begin{aligned} N_F &= m_\theta \cdot a_x \cdot v_{mp.x} = m_\theta \cdot (a_{x1} + a_{x2}) \cdot v_{mp.x} = \\ &= m_\theta \cdot (A_{x1} \cdot \omega_1^2 + A_{x2} \cdot \omega_2^2) \cdot 3,05 \cdot A_{x1} \cdot \omega_1 = \\ &= 10,68 \cdot m_\theta \cdot A_{x1}^2 \cdot \omega_1^3 \end{aligned} \quad (4.8)$$

де m_θ – маса дебалансу.

Використовуючи отриману формулу (4.8), вище наведену методику визначення енерговитрат на привод будуюмо результати порівняльного аналізу на рисунку 4.19.

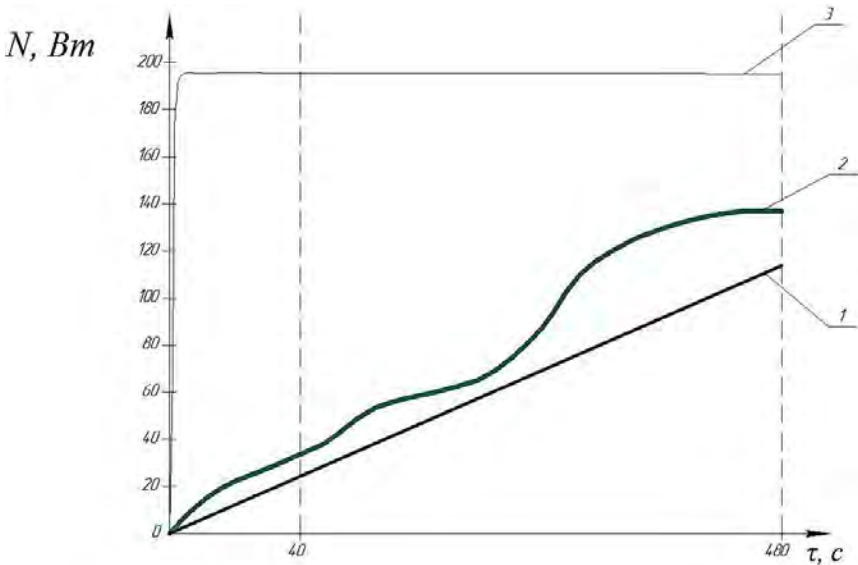


Рис. 4.19. Порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних досліджень за енергетичними характеристиками процесу:
1 – результати теоретичних досліджень; 2 – результати експериментальних досліджень; 3 – теоретично отримана величина потужності приводу стрічкового конвеєра.

Література до розділу 4

1. Бандура, В.М. Експериментальні дослідження кінетики сушіння ріпаку та сої в нерухомому шарі в інфрачервоному полі / В.М. Бандура, В.І. Паламарчук // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: 2012 Вип.41, том 2. – С. 110-113.

2. Сердюк, Л.И. Методика расчета вибрационных станков / Л.И.Сердюк. – Полтава: ПСХИ, 1994. – 34с.

3. Паламарчук, І.П. Анализ динамики виброконвейерной технологической системы с кинематическим комбинированным вибровозбуждением / І.П. Паламарчук, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2013. Vol. 15. No.4. 314-323.

4. Паламарчук, І.П. Обґрунтування параметрів пружної системи віброконвеєрної машини з кінематичним комбінованим вібробудженням / І.П. Паламарчук, В.І. Паламарчук, В.І. Драчишин // Східно-Європейський журнал передових технологій, № 6/7(66), 2013. – С. 25 – 30.

5. Любін, М.В. Механізація транспортних робіт. Частина І. Транспортуючі машини з тяговим органом : Навчальний посібник / М.В. Любін. – Вінниця: ВДАУ 2004. – 212с.

**РОЗДІЛ 5 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ
В УМОВАХ РУХОМОГО ТА ВІБРО-
ЗВАЖЕНОГО ШАРУ СИРОВИНИ**

Вибір оптимальних режимів обробки для розроблених вібраційних машин в даній науковій роботі ґрунтується на комплексному аналізі результатів теоретичного та експериментального дослідження основних параметрів кожної з установок.

5.1 Математичне моделювання процесу в рухомому шарі продукції

Для створення математичної моделі процесу ми аналізуємо основні фактори, що впливають на процес, їх експериментальні значення та залежності їх зміни. На основі отриманих даних та підбору безрозмірних комплексів, характерних для досліджуваного процесу, будуюмо критеріальне рівняння.

5.1.1 Аналіз основних характеристик процесу

Використовуючи чисельні значення тепломасообмінних параметрів, що були отримані в ході експериментальних досліджень інфрачервоного сушіння у рухомому шарі ріпаку та сої (див. табл. 5.1 – 5.3), розраховано основні питомі показники досліджуваного процесу.

Питомий потік променистої енергії на одиницю площі опромінення S_{on} визначено як

$$N_s = \frac{N_B}{S}, \text{ Вт/м}^2. \quad (5.1)$$

Питомий потік променистої енергії на одиницю маси оброблюваної продукції розраховано за формулою:

$$N_m = \frac{N_{on}}{m_n}, \text{ Вт/кг}. \quad (5.2)$$

РОЗДІЛ 5

Питомий потік променистої енергії на одиницю маси видаленої вологи визначено як

$$N_B = \frac{N_{on}}{m_B}, \text{ Вт/кг.} \quad (5.3)$$

Масу видаленої вологи визначено як

$$m_B = m_o + m_n - m_k, \text{ кг,} \quad (5.4)$$

де m_o – маса бюкса;

m_n – маса наважки або продукції, що висушується;

m_k – маса продукції в бюксі після сушіння.

Продуктивність за обробленою продукцією P_m та за видаленою вологою P_v визначено за формулами:

$$P_m = \frac{m_{np}}{\tau} = \frac{m_n}{\tau}, \text{ кг/ГОД;} \quad (5.5)$$

$$P_v = \frac{m_B}{\tau}, \text{ кг/ГОД,} \quad (5.6)$$

де τ – час обробки продукції.

Об'ємна продуктивність P_V складає

$$P_V = V_m \cdot P_B, \text{ м}^3/\text{с,} \quad (5.7)$$

де $V_m = 1/\rho_B = 0,849 \text{ м}^3/\text{кг}$; $\rho_B = 1,178 \text{ кг/м}^3$ для вологи.

Відповідно питомі потоки енергії на одиницю маси вологи E_B та продукції E_m визначено за формулами:

$$E_B = \frac{E_{on}}{m_B}; \quad E_m = \frac{E_{on}}{m_n}, \text{ Дж/кг.} \quad (5.8)$$

За формулами 5.1 – 5.8 розраховано основні тепломасообмінні характеристики досліджуваних процесів, отримані дані зведено у таблиці 5.1, 5.2. Використовуючи представлені цифрові значення, розраховано основні масообмінні параметри досліджуваного процесу.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

Таблиця 5.1
Шитомі техніко-економічні показники інфрачервоного сушіння ріпаку за рухомого шару продукції

| кількість модулів | P_s , кг/м ² | площа опромінення $S_{оп}$, м ² | питомий потік ІЧ енергії N_s , Вт/м ² | продуктивність (прод.) Pi_m , кг/год | продуктивність (вол.) Pi_b , кг/с | питомий потік ІЧ енергії N_m , кВт/кг прод. | питомий потік ІЧ енергії N_b , кВт/кг вол. |
|-------------------|---------------------------|---|--|--|-------------------------------------|---|--|
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,2 | 0,045 | 6666,67 | 0,110 | 0,0165 | 59,16 | 393,18 |
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,2 | 0,045 | 6666,67 | 0,256 | 0,0402 | 50,72 | 322,23 |
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,2 | 0,045 | 6666,67 | 0,499 | 0,0431 | 51,05 | 591,72 |
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,2 | 0,045 | 6666,67 | 0,830 | 0,1083 | 54,64 | 418,99 |
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,2 | 0,045 | 6666,67 | 2,252 | 0,2967 | 54,67 | 414,94 |
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,2 | 0,045 | 2222,22 | 0,246 | 0,0397 | 17,54 | 108,70 |
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,2 | 0,045 | 4444,44 | 0,243 | 0,0386 | 35,49 | 223,96 |
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,2 | 0,045 | 6666,67 | 0,256 | 0,0402 | 50,72 | 322,23 |
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,2 | 0,045 | 8888,89 | 0,242 | 0,0372 | 71,45 | 465,12 |
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,2 | 0,045 | 11111,11 | 0,246 | 0,0377 | 87,98 | 573,39 |
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,2 | 0,045 | 6666,67 | 0,231 | 0,0545 | 56,10 | 237,72 |
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,3 | 0,045 | 6666,67 | 0,228 | 0,0524 | 56,83 | 247,52 |
| 0 | | 0,045 | 0,00 | | | | |
| 1 | 0,5 | 0,045 | 6666,67 | 0,248 | 0,0567 | 52,32 | 228,48 |

РОЗДІЛ 5

Таблиця 5.2

Питомі енергетичні та технологічні показники інфрачервоного сушіння ріпаку у рухомому шарі продукції

| Витрати енергії на обробку продукту E_m , МДж/кг | Витрати енергії на відведену вологу E_v , МДж/кг | Швидкість видалення вологи dW/dt , %/хв | $E_{оп}$, Дж |
|---|---|--|------------------|
| | | | 0 |
| 9,86 | 65,53 | 0,31 | 50000 |
| | | | 0 |
| 4,23 | 26,85 | 0,28 | 25000 |
| | | | 0 |
| 2,16 | 25,07 | 0,26 | 12711,86 |
| | | | 0 |
| 1,30 | 9,98 | 0,21 | 7142,857 |
| | | | 0 |
| 0,48 | 3,64 | 0,11 | 2631,579 |
| | | | 0 |
| 1,46 | 9,06 | 0,05 | 8333,333 |
| | | | 0 |
| 2,96 | 18,66 | 0,07 | 16666,67 |
| | | | 0 |
| 4,23 | 26,85 | 0,28 | 25000 |
| | | | 0 |
| 5,95 | 38,76 | 0,38 | 33333,33 |
| | | | 0 |
| 7,33 | 47,78 | 0,56 | 41666,67 |
| | | | 0 |
| 4,67 | 19,81 | 0,04 | 25000 |
| | | | 0 |
| 4,74 | 20,63 | 0,10 | 25000 |
| | | | 0 |
| 4,36 | 19,04 | 0,14 | 25000 |

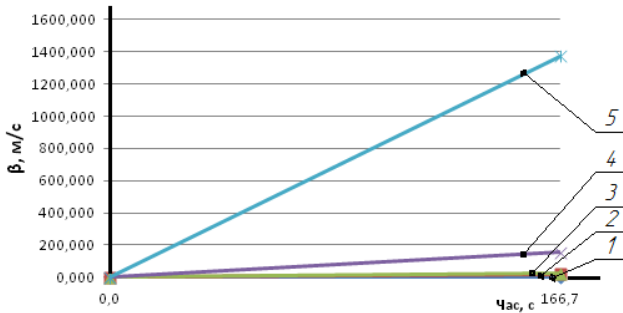
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

Таблиця 5.3

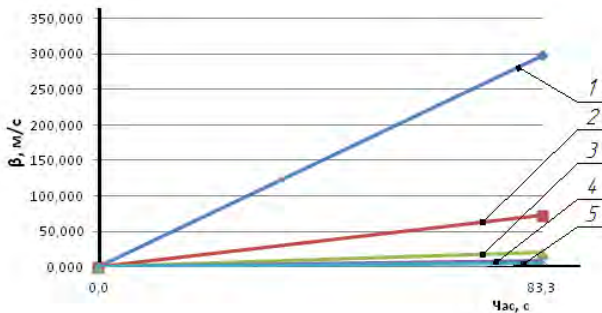
Вихідні дані для розрахунку параметрів масообміну процесу інфрачервоного сушіння ріпаку
у рухомому шарі продукції

| $W_{\text{нов}} \%$ | $W_{\text{віт}} \%$ | $dW/dt, \%/хв$ | $\text{Час}, с$ | $П_{1/2}, \text{м}^3/с$ | $t, \text{°C}$ | $X_0, \text{кг/кг}$ | X_p | $\Delta X, \text{кг/кг}$ | $S_p, \text{м}^2$ | $\beta, \text{м/с}$ |
|---------------------|---------------------|----------------|-----------------|-------------------------|----------------|---------------------|--------|--------------------------|-------------------|---------------------|
| 15,90 | | | | | 10,8 | 0,008 | | | 0,1413 | |
| | 15,05 | 0,31 | 166,7 | 0,013990 | 39 | | 0,049 | 0,041 | 0,1413 | 2,415 |
| 16,13 | | | | | 11,7 | 0,0085 | | 0 | 0,1413 | |
| | 15,74 | 0,28 | 83,3 | 0,034142 | 26,4 | | 0,0217 | 0,0132 | 0,1413 | 18,305 |
| 8,81 | | | | | 11,8 | 0,0086 | | 0 | 0,1413 | |
| | 8,63 | 0,26 | 42,4 | 0,036566 | 24 | | 0,0196 | 0,011 | 0,1413 | 23,526 |
| 13,13 | | | | | 13,9 | 0,0093 | | 0 | 0,1413 | |
| | 13,04 | 0,21 | 23,8 | 0,091901 | 19,5 | | 0,0135 | 0,0042 | 0,1413 | 154,856 |
| 13,19 | | | | | 14,2 | 0,0099 | | 0 | 0,1413 | |
| | 13,18 | 0,11 | 8,8 | 0,251884 | 17 | | 0,0112 | 0,0013 | 0,1413 | 1371,244 |
| 16,21 | | | | | 11,1 | 0,0083 | | 0 | 0,1413 | |
| | 16,13 | 0,05 | 83,3 | 0,033739 | 13,1 | | 0,0091 | 0,0008 | 0,1413 | 298,465 |
| 15,94 | | | | | 10,4 | 0,0078 | | 0 | 0,1413 | |
| | 15,85 | 0,07 | 83,3 | 0,032748 | 15,2 | | 0,011 | 0,0032 | 0,1413 | 72,427 |
| 16,13 | | | | | 11,7 | 0,0086 | | 0 | 0,1413 | |
| | 15,74 | 0,28 | 83,3 | 0,034142 | 26,4 | | 0,0205 | 0,0119 | 0,1413 | 20,305 |
| 15,89 | | | | | 10 | 0,0075 | | 0 | 0,1413 | |
| | 15,36 | 0,38 | 83,3 | 0,031538 | 33,3 | | 0,0313 | 0,0238 | 0,1413 | 9,378 |
| 16,13 | | | | | 12,8 | 0,0089 | | 0 | 0,1413 | |
| | 15,34 | 0,56 | 83,3 | 0,031978 | 38,4 | | 0,0464 | 0,0375 | 0,1413 | 6,035 |
| 23,65 | | | | | 14,1 | 0,0101 | | 0 | 0,1413 | |
| | 23,60 | 0,04 | 83,3 | 0,046280 | 35,2 | | 0,0373 | 0,0272 | 0,1413 | 12,042 |
| 23,09 | | | | | 13,4 | 0,009 | | 0 | 0,1413 | |
| | 22,96 | 0,10 | 83,3 | 0,044447 | 36,2 | | 0,0383 | 0,0293 | 0,1413 | 10,736 |
| 23,09 | | | | | 13,4 | 0,009 | | 0 | 0,1413 | |
| | 22,90 | 0,14 | 83,3 | 0,048151 | 32,3 | | 0,0288 | 0,0198 | 0,1413 | 17,211 |

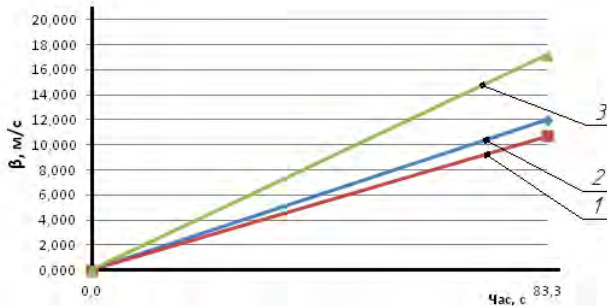
РОЗДІЛ 5



а



б



в

Рис. 5.1. Залежності коефіцієнта швидкості масообміну від часу інфрачервоного сушіння ріпаку у рухомому шарі продукції:
 а – при зміні швидкості руху транспортерної стрічки: 1 – 0,0015 м/с; 2 – 0,003 м/с; 3 – 0,0059 м/с; 4 – 0,0105 м/с; 5 – 0,0285 м/с; б – при зміні потужності ІЧ випромінювачів: 1 – 100 Вт; 2 – 200 Вт; 3 – 300 Вт; 4 – 400 Вт; 5 – 500 Вт; в – при зміні завантаження робочої зони: 1 – 2,5 кг/м²; 2 – 3,5 кг/м²; 3 – 5 кг/м²

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

Серед необхідних розрахункових даних відзначено наступні:

$$\Delta X = \frac{m_B}{m_{II}} = X_p - X_i, \text{ кг/кг}; \quad (5.9)$$

$$\beta = \frac{\Pi_V}{\Delta X \cdot S_3}, \text{ м/с}, \quad (5.10)$$

де S_3 – поверхня зернини, що опромінюється: $S_3 = 0,1413 \text{ м}^2$;
 m_{II} – маса повітряного теплоносія.

Отримані дані зведено у таблицю 5.3, на їх основі побудовано графічні залежності $\beta = f(\tau)$ при варіюванні таких параметрів як швидкість транспортерної стрічки (рис. 5.1, а), потужність опромінення (рис. 5.1, б) та завантаження у робочій зоні (рис. 5.1, в).

Далі проведено розрахунок необхідних для подальшого математичного аналізу критеріїв масообміну для досліджуваного процесу. Критерій Пекле визначено як

$$Pe = \frac{v_c \cdot d}{a}, \quad (5.11)$$

де $a = 12,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ – коефіцієнт температуропровідності зернини;

d – характерний діаметр зернини.

Критерій Стентона розраховано з формули:

$$St = \frac{\beta}{v_c}. \quad (5.12)$$

При визначенні критерію Бурдо використано залежність

$$Bu = \frac{E_o}{Q_B}, \quad (5.13)$$

де $E_o = N_o \cdot \tau$; $N_o = N_{on} + N_{np}$; $N_{np} = 300 \text{ Вт}$ – потужність при водного механізму;

$Q_B = m_B \cdot r$ – кількість теплоти, що необхідна для випаровування маси вологи m_B ;

$r = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг (м}^2/\text{с}^2)$ – питома теплота пароутворення.

РОЗДІЛ 5

Таким чином, $Bu = \frac{N_o \tau}{m_B r}$.

Враховуючи, що

$$\Pi_V = \frac{m_B}{\rho_B \tau} \cdot \frac{N_o r}{N_o r} = \frac{N_o}{\rho_B r} \cdot \frac{1}{Bu} \quad (5.14)$$

Тоді

$$Bu = \frac{N_o}{\Pi_V \rho_B r} \quad (5.15)$$

Дані, розраховані з використанням формул (5.11), (5.12), (5.15) занесені до таблиці 5.5.

Таблиця 5.4

Основні параметри масообміну інфрачервоного сушіння ріпаку у рухомому шарі продукції

| $N_{on}, \text{Вт}$ | $N_s, \text{Вт/м}^2$ | $\beta, \text{м/с}$ | $v_c, \text{м/с}$ | St | Pe | Bu |
|---------------------|----------------------|---------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| 300 | 6666,67 | 2,415 | 0,0015 | 1609,96 | 23,80952 | 0,015829 |
| 300 | 6666,67 | 18,305 | 0,003 | 6101,70 | 47,61905 | 0,006486 |
| 300 | 6666,67 | 23,526 | 0,0059 | 3987,40 | 93,65079 | 0,006056 |
| 300 | 6666,67 | 154,856 | 0,0105 | 14748,19 | 166,6667 | 0,00241 |
| 300 | 6666,67 | 1371,244 | 0,0285 | 48113,84 | 452,381 | 0,000879 |
| 100 | 2222,22 | 298,465 | 0,003 | 99488,50 | 47,61905 | 0,004376 |
| 200 | 4444,44 | 72,427 | 0,003 | 24142,18 | 47,61905 | 0,005635 |
| 300 | 6666,67 | 20,305 | 0,003 | 6768,27 | 47,61905 | 0,006486 |
| 400 | 8888,89 | 9,378 | 0,003 | 3126,05 | 47,61905 | 0,008192 |
| 500 | 11111,11 | 6,035 | 0,003 | 2011,69 | 47,61905 | 0,009233 |
| 300 | 6666,67 | 12,042 | 0,003 | 4013,89 | 47,61905 | 0,004785 |
| 300 | 6666,67 | 10,736 | 0,003 | 3578,57 | 47,61905 | 0,004982 |
| 300 | 6666,67 | 17,211 | 0,003 | 5736,86 | 47,61905 | 0,004599 |

5.1.2 Складання критеріального рівняння інфрачервоного сушіння для рухомого та віброзв'язаного шару сировини

В основі даного методу лежить друга теорема подібності Федермана-Бекінгема, що дає можливість обробки експериментальних даних у формі загального критеріального рівняння [1 – 3].

Інтенсивність досліджуваного процесу сушіння визначають коефіцієнтом масовіддачі β , на величину якого істотно впливають такі параметри як питома маса продукції P_S , швидкість транспортерної стрічки v_c , розміри часток сировини d_3 , густина вологи ρ_B , коефіцієнт температуропровідності a , об'ємна продуктивність процесу за вологою P_V , питома температура пароутворення r . Окрім того, перебіг досліджуваного процесу під дією мікрохвильового опромінення визначається потужністю опромінення $N_{оп}$ у співвідношенні до енергії Q_B для пароутворення та відповідно величиною r .

Таким чином, шукану функціональну залежність можна представити у вигляді

$$\beta = f(P_V, N_{оп}, P_S, v_c, a, \rho_B, r, d_3) \quad (5.16)$$

Основні складові формули (5.16) занесено до таблиці 5.5.

Очевидно, що для даного факторного простору число змінних 9 за кількості розмірностей 5. Тому за π -теореомою кількості безрозмірних комплексів $9 - 5 = 4$.

Згідно з принципом аналізу розмірностей залежність (5.16) представляється у вигляді степеневого ряду.

$$\beta = P_V^k N_{оп}^l P_S^m v_c^n a^\delta \rho_B^p r^\epsilon d_3^n \quad (5.17)$$

Для здійснення математичного аналізу рівняння (5.17) складаємо матрицю в таблиці 5.6.

РОЗДІЛ 5

Таблиця 5.5

Основні параметри досліджуваного процесу

| № | Найменування параметра | Символ | Розмірність |
|----|--|-----------------|--|
| 1 | Середній коефіцієнт масо-віддачі | β | $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ |
| 2 | Об'ємна продуктивність за вологою | P_V | $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ |
| 3 | Питома вага продукції | P_S | $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$ |
| 4 | Швидкість транспортерної стрічки | v_c | $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ |
| 5 | Коефіцієнт температуропровідності | a | $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ |
| 6 | Густина вологи | ρ_B | $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ |
| 7 | Питома теплота пароутворення | r | $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$ |
| 8 | Діаметр зернини продукції | d_z | м |
| 9 | Потужність інфрачервоного випромінювання | $N_{\text{оп}}$ | $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}$ |
| 10 | Амплітуда коливань | A | м |
| 11 | Кутова швидкість обертання приводного вала | ω | с^{-1} |

Таблиця 5.6

Матриця розмірностей досліджуваного степеневого ряду

| | k | l | m | n | σ | p | ε | η | β |
|--------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|---------------|--------|---------|
| M | | 1 | 1 | | | 1 | | | 0 |
| L | 3 | 2 | -2 | 1 | 2 | -3 | 2 | 1 | 1 |
| τ | -1 | -3 | | -1 | -1 | | -2 | | -1 |

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ
ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ**

На основі даної матриці складено наступну систему алгебраїчних рівнянь.

$$\begin{cases} l + m + p = 0 & (5.18) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3k + 2l - 2m + n + 2\delta - 3p + 2\varepsilon + \eta = 1 & (5.19) \end{cases}$$

$$\begin{cases} -k - 3l - n - \delta - 2\varepsilon = -1 & (5.20) \end{cases}$$

$$(4.18) \Rightarrow l = -m - p \quad (5.21)$$

$$(4.19) + (4.20) \Rightarrow 2k - l - 2m + \delta - 3p + \eta = 0 \quad (5.22)$$

$$(4.20) \Rightarrow \delta = 1 - k - 3l - n - 2\varepsilon$$

$$(4.21), (4.22) \Rightarrow m = 2k - 2p + \delta + \eta$$

$$\eta = m - 2k + 2p - \delta \quad (5.23)$$

Враховуючи (5.21) ÷ (5.23) залежність (5.17) може бути представлена як

$$\beta = \Pi_V^k N_{on}^l P_S^m v_c^n a^{(1-k-3l-n-2\varepsilon)} \rho_B^{(-l-m)} r^\varepsilon d_3^{(m-2k+2p-\delta)}$$

або

$$\beta = \left(\frac{\Pi_V}{a d_3^2} \right)^k \cdot \left(\frac{N_{on}}{a^3 \rho} \right)^l \cdot \left(\frac{P_S \cdot d_3}{\rho} \right)^m \cdot \left(\frac{v_c}{a} \right)^n \cdot \left(\frac{r}{a^2} \right)^\varepsilon \cdot a \cdot d_3^{(2p-\delta)} \quad (5.24)$$

Залежність (5.24) перераховуємо у вигляді:

$$\frac{\beta}{v_c} = \frac{a}{v_c} \left(\frac{v_c d_3}{a} \right)^n \cdot \left(\frac{N_{on}}{\Pi_V \rho r} \right)^l \cdot \left(\frac{\Pi_V \cdot r}{a^3} \right)^l \cdot \left(\frac{P_S \cdot d_3}{\rho} \right)^m \cdot \left(\frac{r}{a^2} \right)^\varepsilon \cdot d_3^{(2p-\delta-n)} \quad (5.25)$$

Враховуючи представлені вище залежності для критеріїв подібності (5.11), (5.12), (5.15) перетворюємо (5.25) у вигляді

$$St = A \cdot Pe^n \cdot Bu^l \cdot k,$$

де $k = \frac{1}{v_c} \left(\frac{\Pi_V r}{a^3} \right)^l \cdot \left(\frac{P_S d_3}{\rho_B} \right)^m$ – функція, що визначається техно-

логічними параметрами, які зумовлюють продуктивність досліджуваного процесу;

A – постійна величина, що визначається параметрами об'єкта обробки:

$$A = a \left(\frac{r}{a^2} \right)^\varepsilon \cdot d_3^{(2p-\delta-n)}$$

Враховуючи, що $\left(\frac{P_S \cdot d_3}{\rho} \right)^m = \left(\frac{P_S}{\rho \cdot d_3} \right)^m \cdot d_3^{2m}$;

$$\left(\frac{\Pi_V \cdot r}{a^3} \right)^l = \left(\frac{\Pi_V \cdot r \cdot d_3}{a^3} \right)^l \cdot d_3^{-l}; \quad \frac{a}{\nu_c} = \left(\frac{a}{\nu_c d_3} \right) \cdot d_3;$$

$$\left(\frac{r}{a^2} \right)^\varepsilon = \left(\frac{r \cdot d^2}{a^2} \right)^\varepsilon \cdot d_3^{-2\varepsilon}, \text{ перетворюємо комплекси } A \text{ і } k \text{ до}$$

вигляду:

$$k = \left(\frac{a}{\nu_c d_3} \right) \cdot \left(\frac{\Pi_V \cdot r \cdot d_3}{a^3} \right)^l \cdot \left(\frac{P_S}{\rho \cdot d_3} \right)^m \quad (5.26)$$

$$A = \left(\frac{r \cdot d_3^2}{a^2} \right)^\varepsilon \cdot d_3^{2p-\delta-n+2m-l+1-2\varepsilon}$$

Враховуючи рівняння (5.18) ÷ (5.21), спростуємо вираз

$$A = \left(\frac{r \cdot d_3^2}{a^2} \right)^\varepsilon \cdot d_3^0 \Rightarrow A = \left(\frac{r \cdot d_3^2}{a^2} \right)^\varepsilon \quad (5.27)$$

В результаті значення критерію Стентона можна розрахувати із залежності:

$$St = \left(\frac{r \cdot d_3^2}{a^2} \right)^\varepsilon \cdot Pe^n \cdot Bu^l \cdot \left(\frac{a}{\nu_c d_3} \right) \cdot \left(\frac{\Pi_V \cdot r \cdot d_3}{a^3} \right)^l \cdot \left(\frac{P_S}{\rho \cdot d_3} \right)^m \quad (5.28)$$

Показники n , l , A знаходимо за результатами графоаналітичного аналізу згідно з наступною методикою [1].

1. За даними табл. 5.4 будуємо графік функції $St = f(Pe)$, як показано на рисунку 5.2, та знаходимо показник степені $n = tg \alpha$ (рис. 5.2).

2. Будуємо графік функції $St/Pe^n = f(Bu)$, як показано на рисунку 5.3, та знаходимо другий показник степені $l = tg \gamma$.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

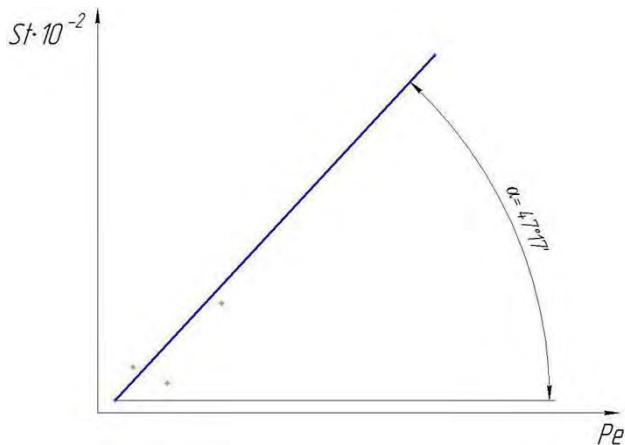


Рис. 5.2. Графік залежності числа Стентона від числа Пекле

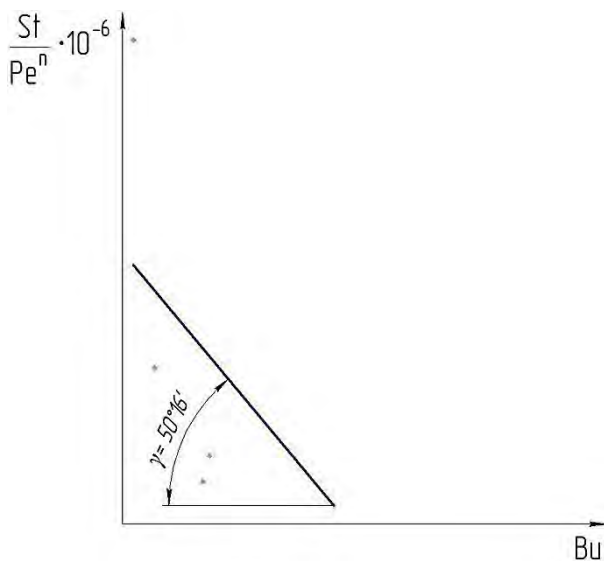


Рис. 5.3. Графік залежності St/Pe^n від числа Бурдо

3. Розраховуємо параметри критеріїв подібності досліджуваного процесу та зводимо дані у таблицю 5.7.

РОЗДІЛ 5

Таблиця 5.7

Параметри критеріїв подібності досліджуваного процесу

| № | Pe | Pe^n | Bu | Bu^l | $Pe^n Bu^l$ |
|---|----------|--------|--------|--------|-------------|
| 1 | 23,80952 | 1,158 | 0,0158 | 1,551 | 1,795 |
| 2 | 47,61905 | 1,195 | 0,0065 | 1,705 | 2,037 |
| 3 | 93,65079 | 1,233 | 0,0061 | 1,717 | 2,117 |
| 4 | 166,6667 | 1,266 | 0,0024 | 1,893 | 2,397 |
| 5 | 452,381 | 1,326 | 0,0009 | 2,106 | 2,793 |

| № | $\frac{1}{\upsilon}$ | $\left(\frac{\Pi_V r}{a^3}\right)^l$ | $\left(\frac{P_S d}{\rho}\right)^m$ | k |
|---|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------|
| 1 | 666,667 | 0,0021 | 0,004 | 0,0061 |
| 2 | 333,333 | 0,0020 | 0,004 | 0,0028 |
| 3 | 169,492 | 0,0019 | 0,004 | 0,0014 |
| 4 | 95,238 | 0,0018 | 0,004 | 0,0007 |
| 5 | 35,088 | 0,0016 | 0,004 | 0,0002 |

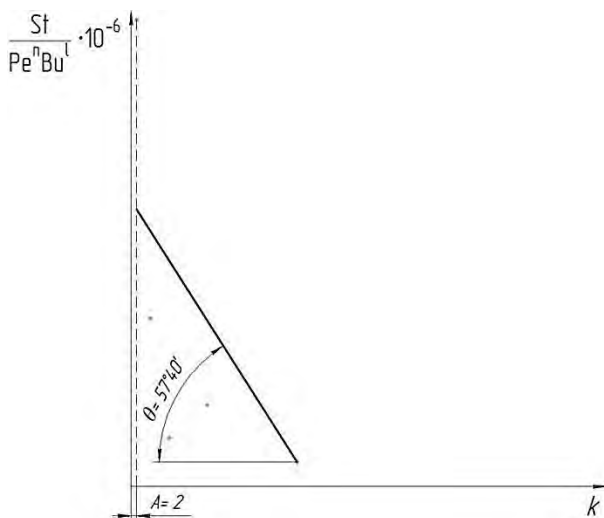


Рис. 5.5. Графік залежності $St/Pe^n Bu^l$ від числа k

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ

4. Будуємо графік функції $\frac{St}{Pe^n Bu^l} = f(k)$ (рис. 5.4), за яким та даними табл. 5.7 знаходимо величину параметра A .

5. Використовуючи отриману базу даних знаходимо рівняння досліджуваного процесу масообміну у критеріальному вигляді.

$$St = A \cdot Pe^n \cdot Bu^l \cdot \frac{1}{v} \cdot \left(\frac{\Pi_v r}{a^3} \right)^l \cdot \left(\frac{P_S d}{\rho} \right)^m \quad (5.29)$$

6. Використовуючи складене рівняння 5.29, знаходимо рекомендований ряд параметрів робочого режиму для інфрачервоного сушіння ріпаку в рухомому шарі продукції.

5.1.3 Структура розрахунку кінетики масоперенесення

Метою розрахунку є отримання ефективного коефіцієнту масовіддачі β_{ef} при екстрагуванні олії зі шламу кави для спирту (полярний розчинник) та гексану (неполярний).

У розрахунках β_{ef} враховуються зміна властивостей потоку (число Pe) та ступінь енергетичної дії інфрачервоного випромінювання (число Bu). Коефіцієнт масовіддачі знаходимо з числа Стентона, яке закладається в основі розрахунку.

Вихідні дані розрахунку: питома маса продукції P_S , швидкість транспортерної стрічки v_c , розміри часток сировини d_s , потужність випромінювачів $N_{оп}$, потужність вібропривода $N_{пр}$, густина вологи ρ_B , коефіцієнт температуропровідності a , об'ємна продуктивність процесу за вологою Π_v , питома температура пароутворення r .

Блок схему розрахунку кінетики масоперенесення при інфрачервоному сушінні зерна ріпаку наведено на рис. 5.5.

РОЗДІЛ 5

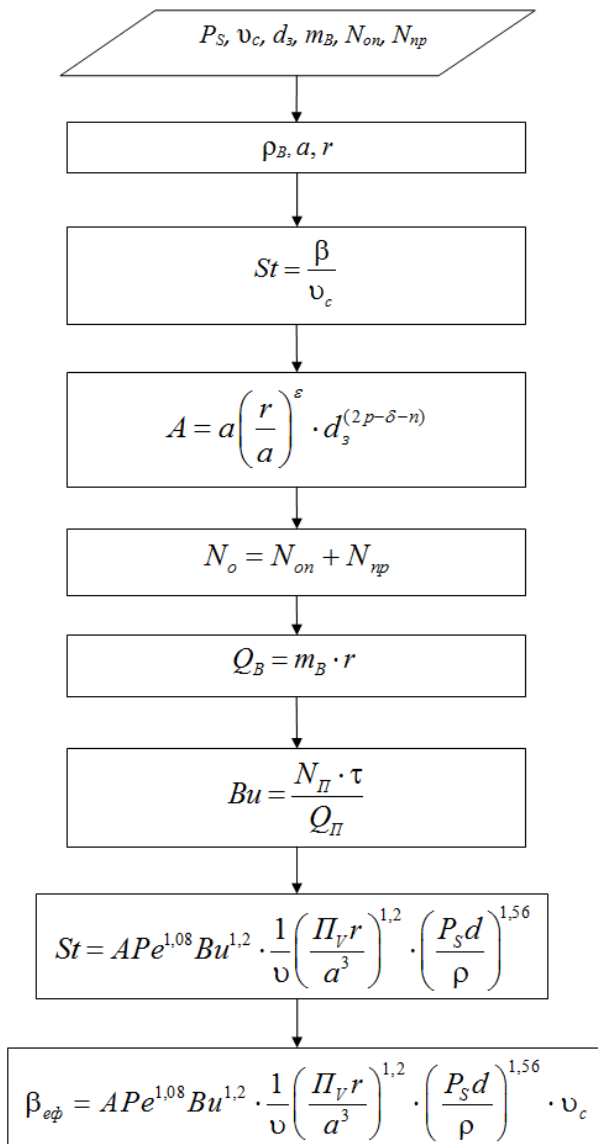


Рис. 5.5. Блок-схема розрахунку інтенсивності масоперенесення при інфрачервоному сушінні зерна ріпаку

5.2 Аналіз динаміки руху виконавчих органів віброконвеєрної системи

Для генерації коливань в досліджуваній конвеєрній вібромашині передбачено використання механічного віброприводу дебалансного типу, що агрегатується в опорних котках напрямної стрічки розробленої інфрачервоної сушарки. Для досліджуваної машини збуджувальна сила виникає внаслідок обертання неврівноважених мас дебалансів. У геометричному центрі вібробуджувача встановлено приводний вал.

5.2.1 Основні структурні складові

З метою вибору ефективних робочих режимів проведено аналіз динаміки силової схеми вібробудження досліджуваної сушарки. При цьому вирішено такі завдання:

- складання розрахункової схеми машини з механічним дебалансним вібробуджувачем;
- складання рівнянь руху рухомих ланок віброприводу при використанні наближених і чисельних методів аналізу;
- дослідження амплітудно-частотних характеристик; визначення потужності приводу.

Для досліджуваної вібросушарки має місце наступний розподіл мас (рис. 5.6):

$$m_1 = m_{деб}$$

$$m_2 = m_{д.с.} + m_n + m_B + m_{np};$$

$$m_0 = m_1 + m_2$$

де m_n – відповідно маси опорних вузлів приводного валу;

$m_{д.с.}$ – маса бічних дисків і втулки;

m_B – маса приводного валу;

$m_{деб}$ – маса дебалансів;

m_{np} – маса технологічного завантаження (наповнювача);

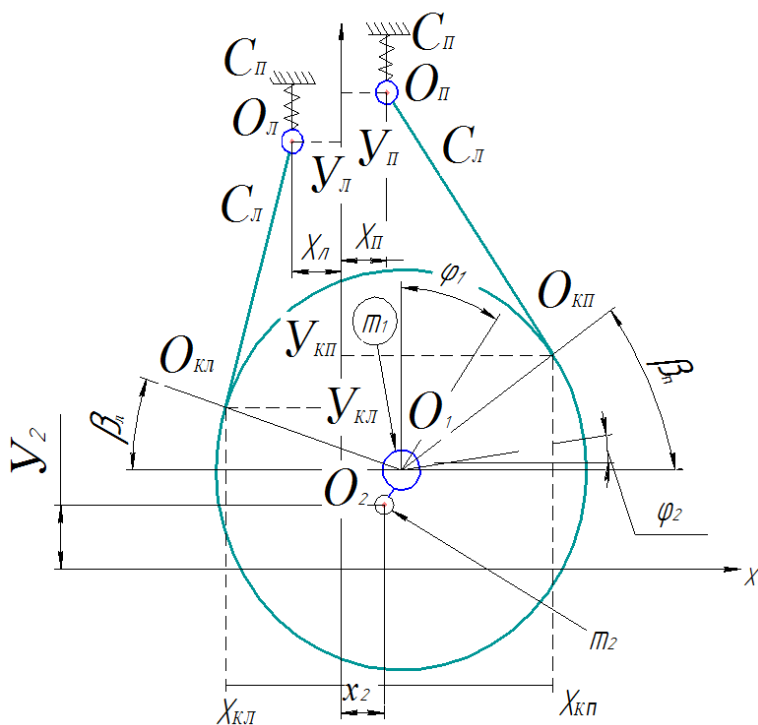


Рис. 5.6. Вібромашина з гнучкою напрямною та динамічним приводом:
розподіл мас у системі:

$$m = m_1 + m_2$$

$$m_1 = m_{\text{двб}}$$

$$m_2 = m_{\text{с}} + m_n$$

ступені вільності системи:

x_2 – горизонтальне переміщення приводного валу;

y_2 – вертикальне переміщення та приводного валу;

φ_1 – кутове зміщення приводного валу;

φ_2 – кутове зміщення бічного диску опорного котка

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

5.2.2 Сили, що діють в розглянутих вібростемах

При складанні диференціальних рівнянь руху враховують наступні сили:

- збуджувальну силу, створювану кінематичним або динамічним способом;
- сили тяжіння основних елементів системи;
- сили пружності гнучкої системи приводів;
- сили натягу гілок еластичною направляючою T_L і T_{II} ;
- сили дисипативного опору (гістерезисні втрати при деформації пружин і елементів робочого органу тертя та ін.).

Збуджуюча сила, що виникає при роботі віброприводу змінюється за величиною і напрямком. Так величини проєкції її на осі координат F_x і F_y , а також амплітудне значення сили F складе :

$$F_x = m_1 \cdot l_{12} \cdot \omega_1^2 \cdot \sin \omega_1 t ;$$

$$F_y = m_1 \cdot l_{12} \cdot \omega_1^2 \cdot \cos \omega_1 t .$$

Внутрішні пружні сили опору системи, які збуджує і водночас повинна подолати змушуюча сила, без урахування дисипативних втрат, можна представити як [4 – 6]:

$$F_c = (C - m \cdot \omega_1^2) \cdot A,$$

де A – амплітуда коливань.

Розглянуті механічні системи характеризуються наявністю подвійного пружного зв'язку: між платформою і корпусом, а також між пружними валиками напрямної частини машини і її основою. Зважаючи на гнучкий зв'язок між опорним котком і підпружиненою підвіскою віброзбуджувача, реакцією опори в напрямку осі X варто знехтувати, а вплив на систему підпружиненої опори буде позначатися тільки при розгляванні опори.

Сила натягу направляючої стрічки T залежить від сумарної деформації гнучкого зв'язку Δl і її жорсткості C_0 :

$$T = \Delta l \cdot C_0 \quad (5.30)$$

РОЗДІЛ 5

Для знаходження шуканих величин необхідно розглянути деякі кінематичні характеристики досліджуваних систем. Так з рис. 5.6 видно, що початкова відстань між точками контакту і підвісу стрічки $O_L O_{KL_0}$, $O_{II} O_{KPI_0}$ становить:

$$\begin{aligned} O_L O_{KL_0} &= \sqrt{X_L^2 Y_L^2 - R^2} \\ O_{II} O_{KPI_0} &= \sqrt{X_{II}^2 Y_{II}^2 - R^2} \end{aligned} \quad (5.31)$$

Аналогічно в поточний момент часу ці відстані будуть дорівнювати:

$$\begin{aligned} O_L O_{KL} &= \sqrt{(X_L - X_2)^2 + (Y_L - Y_2)^2 - R^2} \\ O_{II} O_{KPI} &= \sqrt{(X_{II} - X_2)^2 + (Y_{II} - Y_2)^2 - R^2} \end{aligned} \quad (5.32)$$

Рівняння прямої, що проходить через точки: $O(X_2; Y_2)$ і $O_{KPI}(X_{KPI}; Y_{KPI})$ виражаються залежністю:

$$\frac{Y - Y_2}{Y_{KPI} - Y_2} = \frac{X - X_2}{X_{KPI} - X_2} \Rightarrow \quad (5.33)$$

$$-X(Y_{KPI} - Y_2) + (X_{KPI} - X_2) - Y_2(X_{KPI} - X_2) + X_2(Y_{KPI} - Y_2) = 0$$

$$\text{або } Y = X \frac{Y_{KPI} - Y_2}{X_{KPI} - X_2} + Y_2 - X_2 \frac{Y_{KPI} - Y_2}{X_{KPI} - X_2} \quad (5.34)$$

Використовуючи (5.33), відстань від точки $O_{II}(X_{II}; Y_{II})$ до прямої $O O_{KPI}$ дорівнює:

$$\begin{aligned} O_{II} O_{KPI} &= \frac{-X_{II}(Y_{KPI} - Y_2) + Y_{II}(X_{KPI} - X_2) - Y_2(X_{KPI} - X_2) + X_2(Y_{KPI} - Y_2)}{\sqrt{(X_{KPI} - X_2)^2 + (Y_{KPI} - Y_2)^2}} \\ \Rightarrow O_{II} O_{KPI} &= \frac{(X_{KPI} - X_2)(Y_{II} - Y_2) - (Y_{KPI} - Y_2)(X_{II} - X_2)}{\sqrt{(X_{KPI} - X_2)^2 + (Y_{KPI} - Y_2)^2}} \end{aligned} \quad (5.35)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь (5.32) і (5.35), отримаємо:

$$\sqrt{(X_{II} - X_2)^2 + (Y_{II} - Y_2)^2 - R^2} = \frac{(X_{KPI} - X_2)(Y_{II} - Y_2) - (Y_{KPI} - Y_2)(X_{II} - X_2)}{\sqrt{(X_{KPI} - X_2)^2 + (Y_{KPI} - Y_2)^2}} \quad (5.36)$$

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ
ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ**

Ділимо чисельник і знаменник правої частини виразу (5.36) на $(X_{кп} - X_2)$ та враховуючи, що

$$tg\beta_{п} = \frac{Y_{кп} - Y_2}{X_{кп} - X_2}, \quad (5.37)$$

після певних перетворень отримаємо:

$$\frac{(X_{п} - X_2)^2 + (Y_{п} - Y_2)^2 - tg^2\beta_{п} + 2(Y_{п} - Y_2)(X_{п} - X_2)tg\beta_{п}}{1 + tg^2\beta_{п}} = R^2$$

$$\Rightarrow 1 + tg^2\beta_{п}[(Y_{п} - Y_2)^2 - R^2] + tg\beta_{п}[(Y_{п} - Y_2)(X_{п} - X_2)] - R^2 + (X_{п} - X_2)^2 = 0 \quad (5.38)$$

При підстановці чисельних значень переконуємося, що позитивне значення має тільки один корінь рівняння (5.38):

$$tg\beta_{п} = \frac{[Y_{п} - Y_2] \cdot [X_{п} - X_2] - R\sqrt{[X_{п} - X_2]^2 + [Y_{п} - Y_2]^2 - R^2}}{R^2 - [Y_{п} - Y_2]^2} \quad (5.39)$$

Користуючись даною методикою, аналогічно виведено вираз:

$$tg\beta_{л} = \frac{[Y_{л} - Y_2] \cdot [X_2 - X_{л}] - R\sqrt{[X_2 - X_{л}]^2 + [Y_{л} - Y_2]^2 - R^2}}{R^2 - [Y_{л} - Y_2]^2} \quad (5.40)$$

Для динамічного віброприводу сумарна деформація стрічки і пружного елемента підпружиненої підвіски в поточний момент часу для лівої і правої гілки складе:

$$\Delta l_{л} = \sqrt{(X_{л} - X_2)^2 + (Y_{л} - Y_2)^2 - R^2} - \sqrt{X_{л}^2 + Y_{л}^2 - R^2} + R\varphi_2;$$

$$\Delta l_{п} = O_{п}O_{кп} - O_{п}O_{кп_0} - R\varphi_2 =$$

$$= \sqrt{(X_{п} - X_2)^2 + (Y_{п} - Y_2)^2 - R^2} - \sqrt{X_{п}^2 + Y_{п}^2 - R^2} - R\varphi_2. \quad (5.41)$$

Складова $R\varphi_2$ враховує поворот бічних дисків вібратора на кут φ_2 .

Тоді сили натягу стрічки для лівої і правої гілок виражаються залежностями:

$$\begin{aligned}
 T_{II} &= C_0 \sqrt{(X_{II} - X_2)^2 + (Y_{II} - Y_2)^2 - R^2} - \sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2} + R\varphi_2; \\
 T_{II} &= C_0 \sqrt{(X_{II} - l_{12} \sin \varphi_1)^2 + (Y_{II} - l_{12} \cos \varphi_1)^2 - R^2} - \\
 &\quad - \sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2} - R\varphi_2 .
 \end{aligned}
 \tag{5.42}$$

5.2.3 Складання, розв'язок та математичне опрацювання рівнянь руху конвеєрної вібромашини з дебалансним приводом

З розрахункової схеми динамічного вібробуджувача рис.5.7а видно, що розглянута система має 4 ступені свободи:

- кут повороту приводного валу ν_1 ;
- кут повороту бічних дисків опорного котка ν_2 ;
- зміщення X_2 приводного валу щодо вісі OX ;
- зміщення Y_2 приводного валу щодо вісі OY ;

Щоб оцінити закономірності руху складових елементів віброприводу по кожній з незалежних координат, зручно використовувати рівняння Лагранжа. При цьому, для кожної узагальненої координати q необхідно скласти диференціальне рівняння у вигляді:

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right] - \frac{\partial T}{\partial q} = Qq
 \tag{5.43}$$

де T – кінетична енергія системи;

$q[\varphi_1; \varphi_2; X_2; Y_2]$ – узагальнена координата ;

Qq – узагальнена сила.

Запишемо диференціальні рівняння руху даної системи у вигляді:

$$\begin{aligned}
 \ddot{X}_2 + \frac{c_x}{m_0} X_2 &= \frac{m_1 l_{12}}{m_0} \left[\ddot{\varphi}_1 \cos \varphi_1 - \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_1 \right] + \\
 &\quad + \frac{1}{m_0} [T_{II} \sin B_{II} - T_{II} \cos B_{II}];
 \end{aligned}
 \tag{5.44}$$

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ
ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ**

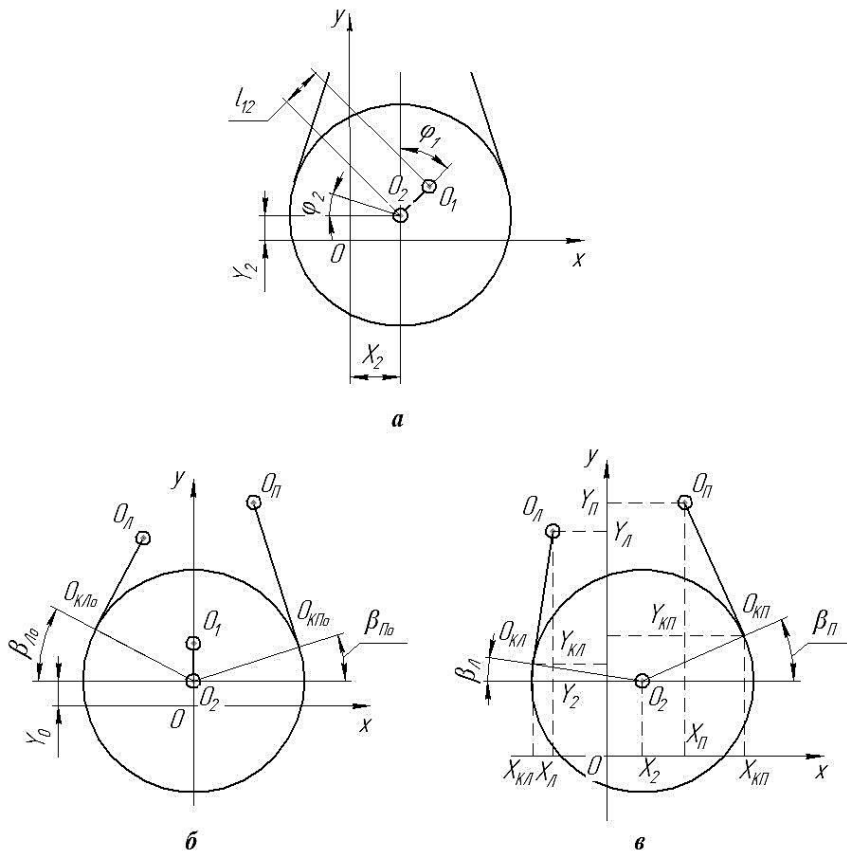


Рис. 5.7. Геометричні параметри дебалансного вібропривода.

а) ступені вільності розглянутої вібросистеми ;

б) система в початковому положенні;

в) система в поточному становищі

$$\ddot{Y}_2 + \frac{c_y}{m_0} Y_2 = \frac{m_1 l_{12}}{m_0} \left[\dot{\phi}_1 \sin \phi_1 - \dot{\phi}_1^2 \cos \phi_1 \right] - \quad (5.45)$$

$$- \frac{1}{m_0} \left[m_0 q - T_{II} \cos B_{II} - T_{II} \cos B_{II} \right];$$

$$\ddot{\phi}_2 - [T_{II} - T_{II}] R / J_2; \quad (5.46)$$

$$\ddot{\phi}_1 + \frac{\ddot{X}_2}{l_{12}} \cos \phi_1 + \frac{\ddot{Y}_2 + m_1 q}{l_{12}} \sin \phi_1 + \frac{M_{KP}}{m_1 l_{12}^2}. \quad (5.47)$$

Для визначення виразів для амплітуди коливань елементів приводів і потужності на його реалізацію, досить вирішити рівняння (5.43) і (5.44). При цьому доцільно прийняти наступні припущення, які узгоджуються з особливостями розглянутої системи:

$$\begin{aligned} \beta_{II} &= \beta_{II} = const; \\ Y_{II} &= Y_{II}; |X_{II}| = |X_{II}|; \\ \dot{\phi}_1 &= const \end{aligned} \quad (5.48)$$

Нелінійність отриманих рівнянь визначається наявністю в них сил натягу гілок направляючої стрічки T_{II} і T_{II} . Тому для вирішення даних диференціальних рівнянь виконуємо ряд перетворень, враховуючи прийняті припущення. Використовуючи вирази (5.39) отримаємо:

$$\begin{aligned} T_{II} - T_{II} &= C_0 \left[\sqrt{(X_{II} - X_2)^2 + (Y_{II} - Y_2)^2 - R^2} \right. \\ &\quad \left. - \sqrt{(X_{II} - X_2)^2 + (Y_{II} - Y_2)^2 - R^2} \right] + 2C_0 R \phi_2 = \\ &= C_0 \left[\sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2 - 2X_{II}X_2 - 2Y_{II}Y_2 + X_2^2 + Y_2^2} - \right. \\ &\quad \left. - \sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2 - 2X_{II}X_2 - 2Y_{II}Y_2 + X_2^2 + Y_2^2} \right] + 2C_0 R \phi_2 \Rightarrow \end{aligned}$$

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ
ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ**

$$\Rightarrow T_{\text{Л}} - T_{\text{П}} = C_0 \left[\sqrt{X_{\text{П}}^2 + Y_{\text{П}}^2 - R^2} \sqrt{1 - \frac{2X_{\text{Л}}X_2 + 2Y_{\text{Л}}Y_2 - X_2^2 - Y_2^2}{X_{\text{П}}^2 + Y_{\text{П}}^2 - R^2}} - \sqrt{1 - \frac{2X_{\text{П}}X_2 + 2Y_{\text{П}}Y_2 - X_2^2 - Y_2^2}{X_{\text{П}}^2 + Y_{\text{П}}^2 - R^2}} \right] + 2C_0 R \varphi_2. \quad (4.49)$$

Використовуючи розкладання в ряд Тейлора [7] $\sqrt{1+\delta} = 1 + \frac{\delta}{2} + \dots$ та обмежуючись першими двома числами отриманого ряду запишемо:

$$\sqrt{1+\delta} = 1 + \frac{\delta}{2} \quad (5.50)$$

Тоді вираз (5.49) можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} T_{\text{Л}} - T_{\text{П}} &= C_0 \left[\sqrt{X_{\text{П}}^2 + Y_{\text{П}}^2 - R^2} \left[\frac{2X_2[X_{\text{П}} - X_{\text{Л}}] + 2Y_2[Y_{\text{П}} - Y_{\text{Л}}]}{2[X_{\text{П}}^2 + Y_{\text{П}}^2 - R^2]} \right] \right] + 2C_0 R \varphi_2 \\ \Rightarrow T_{\text{Л}} - T_{\text{П}} &= \frac{2C_0 X_{\text{П}} X_2}{X_{\text{П}}^2 + Y_{\text{П}}^2 - R^2} + 2C_0 R \varphi_2. \end{aligned} \quad (5.51)$$

Аналогічно попередній методиці:

$$\begin{aligned} T_{\text{Л}} + T_{\text{П}} &= C_0 \left[\sqrt{(X_{\text{Л}} - X_2)^2 + (Y_{\text{Л}} - Y_2)^2 - R^2} - \sqrt{(X_{\text{П}} - X_2)^2 + (Y_{\text{П}} - Y_2)^2 - R^2} - 2\sqrt{X_{\text{П}}^2 + Y_{\text{П}}^2 - R^2} \right] = \\ &= C_0 \frac{2(X_{\text{Л}} + X_{\text{П}})X_2 + (Y_{\text{Л}} + Y_{\text{П}}) - 2(X_2^2 + Y_2^2)}{2\sqrt{X_{\text{П}}^2 + Y_{\text{П}}^2 - R^2}} \Rightarrow \\ \Rightarrow T_{\text{Л}} + T_{\text{П}} &= -C_0 \frac{2Y_{\text{П}}Y_2}{\sqrt{X_{\text{П}}^2 + Y_{\text{П}}^2 - R^2}} + C_0 \frac{X_2^2 + Y_2^2}{\sqrt{X_{\text{П}}^2 + Y_{\text{П}}^2 - R^2}} \end{aligned} \quad (5.52)$$

Враховуючи, що другий доданок отриманого виразу малий, отримаємо шукану залежність у вигляді:

РОЗДІЛ 5

$$T_{II} + T_{II} = \frac{2C_O Y_{II} Y_2}{\sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2}} \quad (5.53)$$

З урахуванням (5.49) і прийнятих припущень (5.48) диференціальні рівняння руху перетворюються до вигляду:

$$\begin{aligned} \ddot{X}_2 + \frac{1}{m_0} \left[C_X - \frac{2C_O X_{II} \sin B}{\sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2}} \right] X_2 = \\ = \frac{m_1 l_{12} \omega_1^2}{m_0} \sin \omega_1 t + \frac{1}{m_0} 2C_O R \varphi_2 \sin \beta ; \end{aligned} \quad (5.54)$$

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi}_2 = \left[-\frac{2C_O X_{II} X_2}{\sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2}} - 2C_O R \varphi_2 \right] \frac{R}{J_2} \Rightarrow \\ \varphi_2 = -\frac{\ddot{\varphi}_2 J_2}{2C_O R^2} - \frac{X_{II} X_2}{R \sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2}}. \end{aligned} \quad (5.55)$$

Тоді перетворюємо вираз (5.54) до вигляду :

$$\ddot{X}_2 + \frac{C_X}{m_0} X_2 = -\frac{m_1 l_{12} \omega_1^2}{m_0} \sin \omega_1 t - \frac{\varepsilon_2 J_2 \sin \beta}{R m_0}.$$

Враховуючи дисипативні сили опору в системі, а також те, що при робочому натягу стрічки $\varphi_2 = 0 \Rightarrow \varepsilon_2 = 0$, отримуємо:

$$\ddot{X}_2 + \frac{C_X}{m_0} X_2 + \varphi_X \dot{X}_2 = \ddot{X}_2 + k_X^2 X_2 + \varphi_X \dot{X}_2 = \sin \omega_1 t [-A_1] \quad (5.56)$$

де X – характеристика демпфуючих властивостей системи;

$$k_X^2 = \frac{C_X}{m_0} - \text{власна частота горизонтальних коливань системи}$$

ми

$$A_1 = \frac{1}{m_0} m_1 l_{12} \omega_1^2.$$

Представляємо рішення рівняння (5.38) у вигляді:

$$X_2 = e^{-\frac{d_X t}{2}} \left[C_1 \cos \rho_1 t + C_1 \sin \rho_1 t \right] + \frac{A_1 \left[\left[\omega_1^2 - k_X^2 \right] \sin \omega_1 t + \varphi_X \omega_1 \cos \omega_1 t \right]}{\left[\omega_1^2 - k_X^2 \right]^2 + \varphi_X^2 \omega_1^2}, \quad (5.57)$$

$$\text{де } \rho_1 = \sqrt{k_X^2 - \frac{\varphi_X^2}{4}}; \quad C_1 = -\frac{\varphi_X A_1 \omega_1}{\left[\omega_1^2 - k_X^2 \right]^2 + \varphi_X^2 \omega_1^2};$$

$$C_2 = \frac{v_{X_0}}{\rho_1} + \frac{A_1 \omega_1 \left[\omega_1^2 - k_X^2 \right] - \frac{1}{2} \varphi_X^2}{\rho_1 \left[\left[\omega_1^2 - k_X^2 \right]^2 + \varphi_X^2 \omega_1^2 \right]}.$$

Аналогічно перетворюємо рівняння (5.44) і отримуємо:

$$\ddot{Y}_2 + \alpha_y Y_2 + k_y^2 Y_2 = A_1 \cos \omega_1 t - A_3, \quad (5.58)$$

$$\text{де } k_y^2 = \frac{1}{m_0} \left[\frac{2C_O Y_{II} \cos B}{X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2} \right]; \quad A_3 = \frac{1}{m_0} \left[m_0 g - C_y \delta_{cm} \right].$$

Рішенням даного виразу є рівняння:

$$Y_2 = e^{-\frac{d_X t}{2}} \left[C_3 \cos \rho_2 t + C_4 \sin \rho_2 t \right] + \frac{A_1 \left[\varphi_y \omega_1 \sin \omega_1 t - \left[\omega_1^2 - k_y^2 \right] \cos \omega_1 t \right]}{\left[\omega_1^2 - k_y^2 \right]^2 + \varphi_y^2 \omega_1^2} - \frac{A_3}{k_y^2}, \quad (5.59)$$

$$\text{де } \rho_2 = \sqrt{k_y^2 - \frac{1}{4} \varphi_y^2}; \quad C_3 = \frac{A_3}{k_y^2} + h + \frac{A_1 \left[\omega_1^2 - k_y^2 \right]}{\left[\omega_1^2 - k_y^2 \right]^2 + \varphi_y^2 \omega_1^2};$$

$$C_4 = \frac{v_{y_0}}{\rho_2} + \frac{\varphi_y A_3}{2\rho_2 k_y^2} + \frac{\varphi_y h}{2\rho_2} + \frac{\varphi_y A_1 \left[\frac{1}{2} \left[\omega_1^2 - k_y^2 \right] - \omega_1^2 \right]}{\rho_2 \left[\left[\omega_1^2 - k_y^2 \right]^2 + \varphi_y^2 \omega_1^2 \right]}.$$

РОЗДІЛ 5

Внаслідок розсіювання енергії вільні коливання вібро-системи загасають, і для усталеного режиму рівняння траєкторії руху приводного валу можна представити у вигляді:

$$X_2 = \frac{A_1 [\omega_1^2 - k_x^2]}{[\omega_1^2 - k_x^2]^2 + \varphi_x^2 \omega_1^2} \sin \omega_1 t + \frac{A_1 \varphi_x \omega_1}{[\omega_1^2 - k_x^2]^2 + \varphi_x^2 \omega_1^2} \cos \omega_1 t; \quad (5.60)$$

$$Y_2 = -\frac{A_1 [\omega_1^2 - k_y^2]}{[\omega_1^2 - k_y^2]^2 + \varphi_y^2 \omega_1^2} \cos \omega_1 t + \frac{A_1 \varphi_y \omega_1}{[\omega_1^2 - k_y^2]^2 + \varphi_y^2 \omega_1^2} \sin \omega_1 t. \quad (5.61)$$

Ввівши заміну:

$$\frac{A_1 [\omega_1^2 - k_x^2]}{[\omega_1^2 - k_x^2]^2 + \varphi_x^2 \omega_1^2} = A_{IIX} \cos \varphi_x; \quad \frac{A_1 [\varphi_x \omega_1]}{[\omega_1^2 - k_x^2]^2 + \varphi_x^2 \omega_1^2} = A_{IIX} \sin \varphi_x; \quad (5.62)$$

перетворюємо рівняння (5.60):

$$X_2 = A_{IIX} [\cos \varphi_x \sin \omega_1 t + \sin \varphi_x \cos \omega_1 t] = A_{IIX} \sin [\omega_1 t + \varphi_x], \quad (5.63)$$

де $A_{X2} = A_{IIX} = A_{KX}$ – амплітуда коливань контейнера і приводного валу вібратора;

$$\varphi_x = \arctg \left| \frac{\alpha_x \omega_1}{\omega_1^2 - k_x^2} \right|.$$

Використовуючи рівняння (5.62), після деяких перетворень одержимо рівняння амплітуди горизонтальних коливань:

$$A_{IIX} = A_{KX} = \frac{A_1}{\sqrt{[\omega_1^2 - k_x^2]^2 + \alpha_x^2 \omega_1^2}} = \frac{m_1 l_{12} \omega_1^2}{m_0 \sqrt{[\omega_1^2 - k_x^2]^2 + \alpha_x^2 \omega_1^2}} \quad (5.64)$$

Аналогічно отримуємо шукані вирази для вертикальних коливань:

$$Y_2 = A_{IIV} \cos [\omega_1 t - \varphi_y]; \quad (5.65)$$

$$\varphi_y = \arctg \left| \frac{\alpha_y \omega_1}{k_y^2 - \omega_1^2} \right|; \quad (5.66)$$

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

$$A_{\text{ПВ}} = A_{\text{КВ}} = \frac{A_1}{\sqrt{[\omega_1^2 - k_y^2]^2 + \alpha_y^2 \omega_1^2}}. \quad (5.67)$$

Тоді рівняння для результуючої амплітуди коливань елементів динамічного віброприводу:

$$\begin{aligned} A_{\text{П}} = A_{\text{К}} &= \sqrt{A_{\text{ПХ}}^2 + A_{\text{ПВ}}^2} = \\ &= \frac{m_1 l_{12} \omega_1^2}{m_0} \sqrt{\frac{1}{[\omega_1^2 - k_x^2]^2 + \alpha_x^2 \omega_1^2} + \frac{1}{[\omega_1^2 - k_y^2]^2 + \alpha_y^2 \omega_1^2}}. \end{aligned} \quad (5.68)$$

Отже, за даними експериментальних досліджень, з використанням методу аналізу розмірностей та теореми Федермана-Бекінгема побудовано критеріальне рівняння процесу масообміну при інфрачервоному сушінні у рухомому шарі продукції, що визначається критеріями Пекле, Стантона, Бурдо, у вигляді функції, яка характеризує продуктивність досліджуваного процесу та дозволяє сформулювати рекомендований ряд параметрів робочого режиму.

На основі аналізу динаміки руху виконавчих органів віброконвеєрної машини з дебалансним вібробуджувачем при використанні методу Лагранжа отримано кінематичні, силові та енергетичні характеристики приводу, що дозволили рекомендувати ефективний амплітудно-швидкісний режим подачі інерційних імпульсів за коливань.

Література до розділу 5

1. *Бурдо, О.Г.* Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах : учебник / О.Г. Бурдо, Л.Г. Калинин. – Одесса: Друк, 2008. – 348 с.
2. *Ефремов, Г.И.* Макрокинетика процессов переноса / Г.И. Ефремов. – М. – 2001. – 287 с.
3. *Таганов, И.Н.* Моделирование процессов массо- и энергопереноса / И.Н. Таганов. – «Химия». – Л., 1979. – 204 с.
4. *Кошкин, Л.Н.* Роторные и роторно-конвейерные линии / Л.Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1986. – 319 с.
5. *Членов, В. А.* Тепло- и массообмен при сушке сыпучих материалов кондуктивным методом в виброкипящем слое / В.А. Членов, Н. В. Михайлов. – Тепло- и массоперенос. – Киев, 1968. – Т. 6, ч. 2. – С. 150–160.
6. А.С. №761244 СССР. Вибрационная машина с транспортирующим элементом / П.Д. Денисов, В.М. Кунин, Н.Ф. Брайлян, В.И. Кармалюк, Г.А. Боярских, Л.Д. Амбарцумян, А.И. Абрамов. – Бюлл. изобр. – 1980. – №21.
7. *Членов, В. А.* Виброкипящий слой / В. А. Членов, Н. В. Михайлов. – М. : Наука, 1972. – 344 с.
8. *Янович, В.П.* Експериментальна оцінка амплітудно-частотних характеристик віброконверсної технологічної машини / В.П. Янович, В.І. Драчишин, В.І. Паламарчук, Т.Ю. Сизова // Вібрації в техніці та технологіях. – №3(78) . – Вінниця, 2015. – С.145-150.
9. *Зав'ялов, В.Л.* Експериментальна оцінка енергетичних характеристик віброконверсної технологічної машини / В.Л. Зав'ялов, В.П. Янович, В.І. Драчишин, В.І. Паламарчук // Вібрації в техніці та технологіях. – №3(79) . – Вінниця, 2015. – С.79-85.

**РОЗДІЛ 6 КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ
ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО
СУШІННЯ**

Застосування роторних та роторно-конвеєрних схем машин дозволяє досягнути вищих форм безперервності та пропорційності технологічного процесу, хоча і за рахунок значного ускладнення технологічного обладнання та процесу обробки. Використання машин із вільним кінематичним зв'язком між інструментом та частками сировини дозволяє разом із спрощенням конструктивного виконання реалізувати об'ємну взаємодію робочого вільногранульованого середовища з виробами.

Найбільш досконалими серед технологічного обладнання подібного типу є **вібраційні технологічні машини**. Вібраційні машини з керованим процесом обробки відповідають наступному і якісно вищому рівню досконалості технологічного обладнання. Таким чином, серед основних напрямів розвитку технологічного обладнання можна виділити вдосконалення вібраційних машин конвеєрного типу та створення умов для керованості процесом обробки деталей чи продукції. Вибір оптимальних режимів обробки для вібраційних машин ґрунтується насамперед на комплексному аналізі результатів теоретичного та експериментального дослідження основних параметрів кожної з установок.

6.1 Віброконвеєрні системи з недеформованим транспортуючим органом

Вдосконалення вібраційного технологічного обладнання висуває ряд проблем, пов'язаних з реалізацією комплексної механізації всього процесу. Вирішення даної проблеми вимагає, в першу чергу, здійснення за допомогою однієї машини декількох стадій обробки.

РОЗДІЛ 6

Під керівництвом А.П.Бабічева було розроблено ряд технологічних процесів, в яких продукція послідовно обробляється різними робочими середовищами [1]. Реалізація подібних багатостадійних процесів обумовлює перевантаження деталей з одного контейнера в інший або заміну робочого середовища в одному контейнері. Це вимагає або ускладнення конструкції машини або збільшення часу технологічного циклу обробки, що ускладнює можливість автоматизації технологічного процесу та зменшує продуктивність виробничого обладнання.

Більш досконалі схеми багатосекційних вібраційних машин із незалежними робочими камерами були розроблені І.Е.Бурштейном та В.В.Балицьким. На рамі однієї із таких вібраційних машин розміщується необхідна кількість робочих камер на різних відстанях від осі привідного вала віброзбуджувача. Подібне розташування обумовлює різні амплітуди коливань в окремих робочих ємкостях.

Для того, щоб мати змогу регулювати амплітуду коливань в контейнерах необхідно передбачити спеціальний пристрій для забезпечення зміни відстані між осями робочих камер та привідного валу вібратора. З цією метою спроектовано машини, в яких робочі камери можуть переміщуватися відносно нерухомо встановленого віброзбуджувача. Також розроблено вібраційне обладнання, в якому віброзбуджувач встановлений із можливістю переміщення відносно робочих камер.

Іншим способом створення багатосекційності вібраційного технологічного обладнання, в кожній із секцій якого одночасно забезпечується автономність режиму обробки, можна назвати виділення окремих секцій всередині робочого контейнера. Так, відома вібраційна машина [2], робочі ємкості якої створені боковими поверхнями барабанів, що розташовані один в одному. В цьому випадку окремі контейнери машини відносно ізольовані та пов'язані між собою пружними елементами різної жорсткості. Різноманітність режимів роботи в робочих секціях створюється як за рахунок різної

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

жорсткості пружин, так і за рахунок наявності в контейнерах машини іншого робочого середовища.

Таким чином, багатосекційні вібраційні машини, здебільшого, утворюються або за рахунок використання декількох окремих робочих контейнерів, що встановлені на загальній основі; або за рахунок відокремлення незалежних секцій в межах робочого контейнера. Подібні машини характеризуються простотою конструктивного виконання та можливістю створення різноманітних режимів обробки в кожній із незалежних робочих ємкостей. Але труднощі та, нерідко і неможливість реалізації поточної форми обробітку в даних машинах свідчать про невисокий рівень досконалості розглянутого технологічного обладнання.

Американський інженер Гунтер В. Балз запропонував двокамерну конструкцію вібраційної машини із замкнутою формою робочої камери (рис. 6.1).

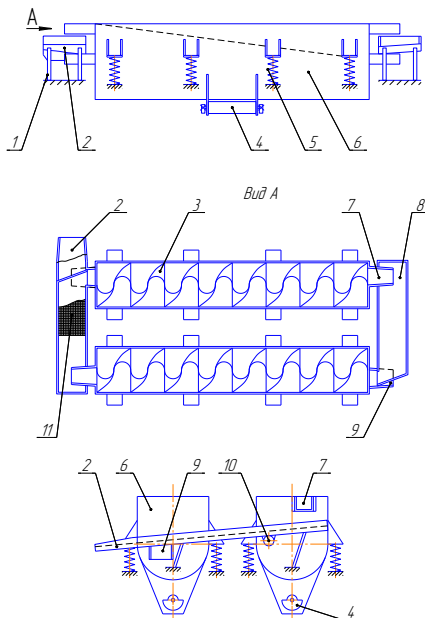


Рис. 6.1. Принципова схема двоконтейнерної вібраційної машини безперервної дії з перехідними лотками

РОЗДІЛ 6

В даній машині два однакових контейнера 6 вмонтовані на нерухомій основі за допомогою пружних опор 6. Контейнери оснащені індивідуальними віброзбуджувачами 4, перевантажувальним лотком 8 та сепаруючим віброкотком 2. В середині робочої камери установлені шнеки 3 для транспортування завантаження вздовж контейнерів. Подібна вібраційна установка відзначається компактністю та порівняно простою конструкцією.

Є цікавою також вібраційна машина безперервної дії, яка розроблена у Московському автомеханічному інституті. Контейнери 1 і 2 (рис. 6.2) машини споряджені індивідуальними вібраційними жолобами 3, 4 для транспортування технологічного завантаження із однієї робочої ємкості в іншу.

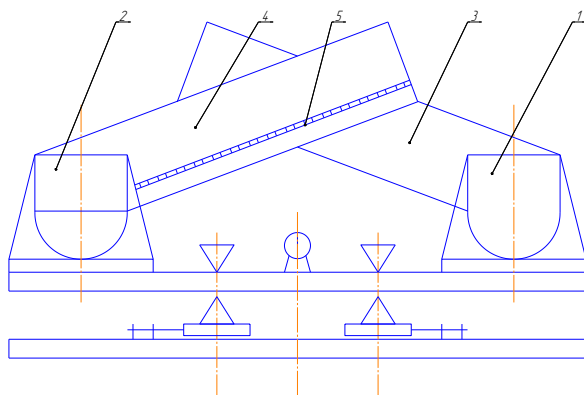


Рис. 6.2. принципова схема двоконтейнерної вібраційної машини безперервної дії з перехідними віброжолобами:
1, 2 – робочі контейнери; 3, 4 – вібраційні жолоби;
5 – решітчасте полотно

Оскільки рівень робочого тіла в одному із контейнерів вище за днище транспортувального віброжолоба, то частина деталей, що пройшла обробку в першій робочій камері та наповнювач по напрямній подаються до другого контейнера. Далі після обробки в останньому, деталі потрапляють до іншого вібраційного жолоба. Наповнювач проходить через решітчасте полотно 5 та спрямовується для повторного викори-

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

стання, а достатньо оброблені деталі – до приймальника. При необхідності збільшити час обробки деталей зворотна пластина з решітчастим полотном підіймається, а технологічне завантаження по днищу вібраційного жолоба спрямовується до першої робочої камери.

Вище були розглянуті деякі багатопозиційні вібраційні машини, в яких робочі ємкості виконані з можливістю переміщення відносно віброзбуджувача. Зміна відстані між осями робочих камер та вібратора дозволяє надавати віброконтейнерам коливань з різною амплітудою. Зміна коливань однієї камери за рахунок переміщення її на плиті приводить до зміни амплітуди в іншій робочій ємкості, так як змінюється загальний момент інерції системи. Подібний жорсткий зв'язок між робочими камерами погіршує можливість регулювання в них вібраційних режимів. Конструктивні елементи вібраційної машини забезпечують надання кожній із робочих камер 1, 2 (рис. 6.3) незалежних коливань з потрібною амплітудою.

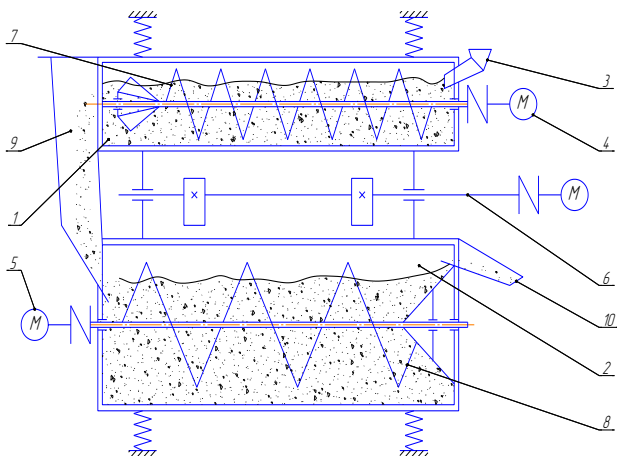


Рис. 6.3. Принципова схема двокамерної вібраційної машини безперервної дії з шнековим механізмом транспортування технологічного завантаження:

1, 2 – робочі камери; 3 – подаючий бункер; 4, 5 – приводи шнекових механізмів; 6 – вібропривід; 7, 8 – шнекові механізми; 9 – перехідний лоток; 10 – вихідний лоток

РОЗДІЛ 6

При цьому робочі контейнери коливаються з різною амплітудою за рахунок різної жорсткості пружних елементів. Шнековий механізм вібраційної машини має незалежний привід та забезпечує транспортування і відокремлення деталей від робочого наповнювача. Рама машини виконана у вигляді декількох вертикально розташованих та пружно установлених на станині плит. Робочі контейнери підвішені на пружних елементах, які розташовані по всьому периметру плит. Привідні вали віброзбуджувачів розміщені в одній горизонтальній площині симетрично відносно вертикальної площини, що проходить через вісі робочих контейнерів.

В процесі роботи машини деталі рухаються до зворотного конуса першої камери, попадають в другу і далі – у приймальну тару. При цьому регулювання швидкості обертання шнека дає можливість змінювати час перебування деталей в зоні обробки. Під час роботи машини деталі рухаються до зворотного конусу камери 1, надходять до другого контейнера 2 та після відповідної обробки потрапляють до вивантажувальної ділянки.

Інша вібраційна машина безперервної дії складається із двоконтейнерної робочої камери, змонтованої за допомогою пружних опор на станині. Вздовж зовнішніх бічних стінок контейнерів розташовані віброзбуджувачі, які з'єднані через еластичні муфти з двигунами. Між суміжними стінками робочих камер знаходиться додатковий вантаж у вигляді плити. Біля однієї з торцевих стінок внутрішньої порожнини контейнери споряджені перехідним вікном. Коло другої торцевої стінки, в зоні найбільшого тиску завантаження, встановлено жолоб. Останній зв'язаний за допомогою шарніра із сепарувальним лотком, змонтованим на станині через похилі пружини.

Віброзбуджувачі надають камері з робочим завантаженням коливальний рух по коловій траєкторії. Вантаж забезпечує вібраторам синхронізацію, тобто синфазне та синхронне обертання. Під дією вібрації вантаж підіймається по жолобу

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ

та потрапляє на вібуючий сепарувальний лоток та крізь перфороване днище просіюється до лівого контейнера. Таким чином, коло лівої торцевої стінки відбувається перевантаження технологічного середовища до відповідного контейнера. Біля правої торцевої стінки, за рахунок нерівномірності тиску, робоче завантаження через вікно у суміжній боковій стінці надходить до правого контейнера.

Внаслідок такої циркуляції технологічного середовища, в робочих камерах створюється перепад висот завантаження. Через свою текучість технологічна маса під дією вібрації прагне до рівномірного розподілу всередині контейнерів, що приводить до переміщення технологічного завантаження по замкненій спіральній траєкторії вздовж стінок робочої камери. При цьому оброблена продукція по лотку транспортується до приймальної тари. Швидкість транспортування завантаження робочої камери можна регулювати або за рахунок зміни величини параметрів вібраційного режиму, або внаслідок зміни поперечного перерізу жолоба.

Типовим представником камерної інфрачервоної сушарки є сушильна шафа «Суховай-4» (четверте покоління інфрачервоних сушильних шаф), призначена для сушіння всіх рослинних і тваринних продуктів, макаронних виробів, біопродуктів тощо; для обсмажування з одночасною сушкою горіхів, насіння, сухариків.

В основі застосовуваної ІЧ-технології використані спеціально розроблені плоскі високотемпературні випромінювачі з підвищеним терміном служби. Шафа має реверсивну U-подібну продувку крізь дві камери, в яких знаходяться 24 лотка для продуктів. На вході і виході потоків повітря встановлено теплообмінники, що дозволяють довести витрати на випаровування 1 кг води з продукту до 0,9 кВт·год/кг. Управління шафою здійснює прилад з 56-ти записаними програмами, контролем вологості і температури в процесі сушіння.

РОЗДІЛ 6

Необхідність підвищення продуктивності інфрачервоної обробки зумовило вихід на виробничу арену конвеєрних радіаційних сушарок.

Конструктивно інфрачервоні сушарки, залежно від виду об'єкта сушіння, можуть мати різне виконання, але все ж можна виділити загальні ознаки, характерні для всіх видів ІЧ-сушарок конвеєрного виконання (рис. 6.4).

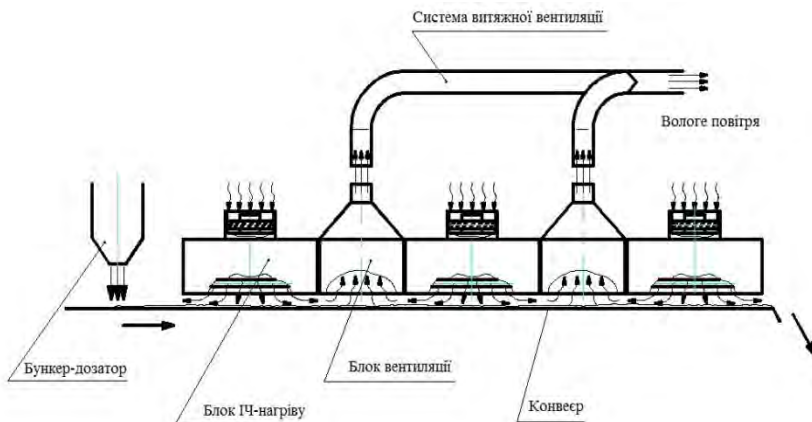


Рис. 6.4. Технологічна схема конвеєрної інфрачервоної сушарки

Продукт, що піддається сушінню, з бункера-дозатора надходить на конвеєр. Залежно від фракційного складу об'єкта сушіння це може бути сітковий, пластинчастий транспортер або віброконвеєр. Швидкість руху продукту по конвеєру може регулюватися. Дозатор бункера забезпечує рівномірний розподіл продукту по ширині конвеєра і необхідну подачу продукту за одиницю часу.

Над конвеєром встановлені нагрівальні блоки і чергуються з ними блоки вентиляції. У нагрівальних блоках як джерело ІЧ-випромінювання використовуються високотемпературні інфрачервоні галогенові лампи. Кількість блоків ІЧ-нагріву, їх потужність, типи використовуваних ламп може змінюватися в залежності від конкретного завдання. З причини високої теплового навантаження, що припадає на нагрівальні

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ

льний блок, елементи конструкції блоку охолоджуються повітрям. Охолоджуючий повітря виходить з блоку через перфоровані поверхні між ІЧ-лампами, нагрівається і додатково переносить тепло до об'єкта сушіння. Одночасно він екранує зону сушіння від більш холодного зовнішнього повітря. Блоки вентиляції, розташовані між нагрівальними блоками, служать для видалення виділяються в процесі сушіння парів води. При необхідності, в процес сушіння можуть бути включені зрушувачі для перемішування продукту.

Компанія «ТехноАгроСервіс» розробила наступні марки сушильних установок, залежно від продуктивності і виду застосовуваних інфрачервоних випромінювачів (електричні чи газові): «Ураган» - 100, 200; «Ураган ХХІ» - 350Е, 350Г, 700Е, 700Г; «Торнадо ХХІ» - 500Е, 500Г, 1000Е, 1000Г [3].

Обидва види марок спроектовані із застосуванням однакових технічних рішень, що забезпечують найоптимальніші теплофізичні, аеродинамічні і технологічні показники серед існуючих аналогів. Основне в плані виконання відміну установок «Ураган ХХІ» від установок «Торнадо ХХІ» - ширина конвеєрних стрічок (1200 і 2000мм) і габарити по ширині.

Інфрачервоні конвеєрні сушарки безперервної дії «Ураган»-100, «Ураган»-200 (Рис. 6.5) включають в себе три стрічки з нержавіючих сіток, автономно регульовані за швидкостями, в процесі роботи сушильної установки товщина шару продукту регулюється автоматично. Крім того, в установках використовується U-подібне продування. Під час роботи установка виробляє автономне введення повітря, а також вихід водяної пари за межі приміщення, завдяки чому не змінюються умови всередині приміщення (установки інших виробників здійснюють забір повітря прямо з приміщення). Енергоспоживання інфрачервоної сушарки «Ураган»-100/200 становить 1кВт·год на випаровування 1 кг води (у інших установок цей показник становить 1,7-3,5 кВт·год/кг). Сушарка автоматично завантажує продукт з бункера і розподіляє його на сітку.



Рис. 6.6. Конвеєрні інфрачервоні сушарки «Ураган»-100

Продуктивність інфрачервоних конвеєрних сушарок безперервної дії по різним видам сировини при сушінні до вологості 10% (кг/год): коренеплоди: 120/240; картопля: 140/280; цибуля: 110/220; зернові: 120/240; кісточкові: 100/200; баштанні: 100/200; ягоди: 80/160; крупи (по вареної крупі): 120/240; м'ясо, риба: 100/200.

Для обробки сипкої гранульованої продукції якнайкраще підходять сушильні установки УСК (рис. 6.6), оскільки вони найбільш повно відповідають технологічним умовам і по частині продуктивності, і по частині якості за рахунок таких заходів як:

- повна автоматизація процесу, починаючи від завантаження продукту до його вивантаження;
- сушка продукту кварцовими трубчастими інфрачервоними нагрівачами, що забезпечують глибокий прогрів ІЧ променями;
- розташування нагрівачів над конвеєрними стрічками;
- забезпечення об'ємного прогріву продукту (в зоні нагрівачів до 60-80°C) і процесу зволоження, коли продукт рухається між нагрівниками.

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕСЕРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ



Рис. 6.6. Конвеєрна інфрачервона сушарка типу УСК

Конструкція сушильної установки УСК передбачає використання технології високотемпературної сушки. Використовується метод переривчастого опромінення, при якому нагрів продукту ІЧ променями поєднується з охолодженням повітрям. Перевага ІЧ опромінення полягає в тому, що його енергія незначно розсіюється і прогріває колоїдні речовини на глибину до 2 мм. І навіть присутній на поверхні продукту тонкий шар пароповітряної суміші не являє перешкоди для ІЧ променів. Окрім того, сушіння ІЧ нагрівальними елементами значно знижує енерговитрати і збільшує ефективність, оскільки діапазон їх випромінювання кратний резонансній частоті коливань H_2O (молекул води) [4].

Установка для інфрачервоного сушіння високовологої сипкої сировини УТЗ-4 «М-500» (рис. 6.7) призначена для поліпшення харчових властивостей зернових, олійних і крохмаловмісних зернових культур, для консервування методом сушки високовологої (40-50%) зернового і соковитої сировини (варених круп, пророщеного насіння, фруктів, овочів тощо). Працює в режимі інтенсивного ІЧ-енергопідводу, що дозволяє за 90...110 с випарувати до 25% води з оброблюваного матеріалу. При цьому вода усередині матеріалу переходить у пару, що створює підвищений тиск всередині об'єкта сушіння та роздуває його структуру.



Рис. 6.7. Інфрачервона конвеєрна сушарка УТЗ-4 «М-500»

Роздута пухка структура досушується нагрітим повітрям за 5-6 хв. до кінцевої вологості. Таким чином, загальний час сушіння до вологості 12-14% не перевищує 8-10 хв. Питоме енергоспоживання при сушінні високоволової сировини ІЧ-методом менше 1,5 кВт на 1 кг випаровуваної вологи.

Універсальна конвеєрна сушильна установка безперервної дії (рис. 6.8) призначена для сушіння овочів, коренеплодів, трав, водоростей, фруктів тощо в автоматичному режимі за заданими параметрами. Обробка продукції при цьому базується на принципі спільного застосування спеціально розроблених інфрачервоних випромінювачів з підвищеним терміном служби розташованих по всій сушильній площині і конвекційного процесу попередньо нагрітим повітрям. Система обдуву продукту сконструйована зональним чином, тобто кожна стрічка є окремою кліматичною зоною з регульованою температурою, вологістю і швидкістю потоку повітря.

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ



Рис. 6.8. Технологічна схема універсальної конвеєрної інфрачервоної сушарки:

- 1 – пневмоукладчик або подаючий транспортер (залежно від продукції);
- 2 – пульт керування; 3 – сушильна камера (з трьома сушильними зонами, з перетворювачами частотними на вентиляторах); 4 – вібротранспортер;
- 5 – пневмотранспортер подаючий; 6 – бункер-накопичувач (бункер стабілізації для остаточного зрівнювання вологи продуктів); 7 – сходи;
- 8 – транспортер вивантаження готової продукції

За додатковою домовленістю інфрачервона сушарка може бути переоснащена нагрівальними елементами сушильної камери на інший вид енергоносія (природний газ, мазут, дизпаливо і т.д.). При необхідності деякі конструктивні моменти можуть бути змінені, залежно від конкретних завдань поставлених клієнтом (системи очищення стрічок, соковідводи і т.д.).

Також являє інтерес інфрачервона конвеєрна сушарка, що розроблена у Національному університеті харчових технологій [5] для обробки яблучних вичавок (рис. 6.9). Інфрачервоне сушіння яблучних вичавок як технологічний процес ґрунтується на тому, що інфрачервоне випромінювання з довжиною хвиль в інтервалі від 2,0 до 4,0 мкм, активно поглинається водою яка міститься в вичавках, але не поглинається тканиною висушеного продукту (і матеріалами, з яких виготовлено обладнання сушарки), тому видалення вологи можливе за невисокої температури (40...60°C), що дозволяє майже повністю зберегти вітаміни, біологічно активні речовини, колір, смак і аромат яблучних вичавок.

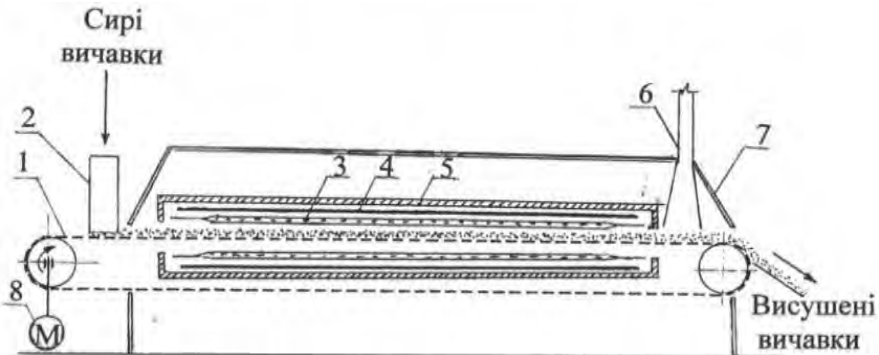


Рис. 6.9. Експериментальна сушарка з терморадіаційним енергопідведенням:

- 1 – сітчастий конвеєр; 2 – врівнювач шару продукту; 3 – трубчасті змійовикові випромінювачі ТЭН 210Б 13/3,2 Т220; 4 – відбивачі ІЧ-променів; 5 – теплова ізоляція; 6 – витяжний пристрій; 7 – корпус; 8 – привід

Ефективне розташування терморадіаційних блоків у робочій ємності дозволяє забезпечити рівномірність опромінення продукту, оскільки поглинання випромінювання здійснюється в межах смуги поглинання продукту; значно підвищити кінетичні та якісні параметри сушіння, зокрема, мікробіологічна обсяжність вичавок зменшилася у 500 – 600 разів.

Подальший розвиток конвеєрних інфрачервоних сушарок спостерігається при використанні «вібраційного технологічного поля».

Вібраційні сушарки з інфрачервоними випромінювачами (СВИК) [6] відносяться до сушильних установок віброкиплячого шару з енергопідведенням в електромагнітному полі інфрачервоного діапазону (рис. 6.10). Енергопідведення до об'єкта сушіння в електромагнітному полі сприяє значній інтенсифікації процесу тепло- і масообміну, підвищенню якості продукту і створює сприятливі умови для автоматизації процесу.

При ІЧ-опроміненні процес сушіння інтенсифікується завдяки значній густині теплового потоку на поверхні матеріалу (на порядок більше, ніж при конвективному сушінні),

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕСЕРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

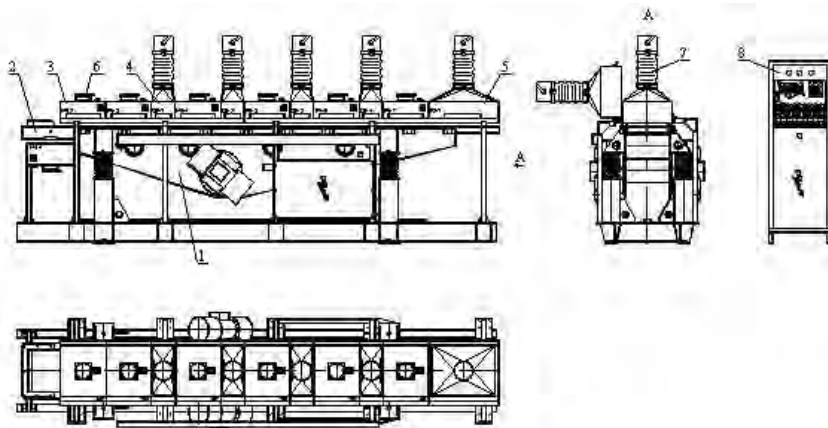


Рис. 6.10. Конструктивна схема вібраційної інфрачервоної сушарки типу «СВИК»

розсіюванню в об'єкті сушіння потоку, поглиненого поверхневим шаром, і часткового проникненню енергії всередину матеріалу. Дані процеси відзначаються такими особливостями:

- висока інтенсивність тепломасообмінних процесів при обробці віброкиплячого шару ІЧ-випромінюванням високої щільності;
- гнучка система контролю і управління, що дозволяє ведення позонної обробки в широкому температурному діапазоні;
- поєднання в одному апараті транспортної та технологічної операцій;
- високий ступінь рівномірності обробки матеріалу;
- відсутність виносу частинок продукту з шару;
- мала інерційність процесу.

В процесі обробки під дією вібраційних коливань на оброблюваний шар продукту він набуває властивостей текучості, розпушується, перемішується і транспортується в заданому напрямку. Всі частинки продукту при цьому піддаються обробці інфрачервоним випромінюванням, створюваним ква-

рцовими галогенними лампами, встановленими над шаром. Завдяки високій щільності теплового потоку і його проникаючої здатності відбувається швидкий прогрів та сушіння продукту.

Для інтенсифікації тепломасообміну сушіння ведеться в осцилюючому режимі, а в зонах термообробки передбачено введення нагрітого повітря.

Швидкість транспортування матеріалу і час його обробки регулюється зміною швидкості обертання вібраторів. Температура лотка під касетами контролюється контактними термopарами, температура матеріалу на виході з сушарки контролюється безконтактним датчиком (пірометром).

Проте основними недоліками віброконвеєрних систем з недеформованим транспортуючим органом залишаються високі металоємкість та енерговитрати, незрівноваженість конструкції та відповідно високі динамічні навантаження на опорні вузли.

6.2 Віброконвеєрні системи з деформованим транспортуючим органом

Створення сприятливих умов для інтенсифікації процесу виробництва та застосування ефективних методів дії на його об'єкт; безперервна реалізація технологічного руху; зменшення та усунення взагалі використання непродуктивної праці; зокрема при здійсненні допоміжних операцій; керування динамічним станом системи, в якій відбувається технологічна дія; багатофункціональність технологічного процесу та гармонійне поєднання його основних структурних складових становлять, здебільшого, тенденції розвитку технічного прогресу при реалізації конвеєрного радіаційного сушіння.

В ряді вібраційних машин безперервної дії гнучкий транспортуючий елемент використовується для забезпечення циркуляційного руху робочого середовища. Так, вібраційна конвеєрна машина [7], що представлена на рис. 6.11, містить

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

замкнену систему подані гранульованого наповнювача. Дана система включає нагромаджувальну ємкість 2, механізм підйому у вигляді стрічкового транспортеру 1 і, пристрій 3 для регулювання рівня робочого середовища. Створення спрямованого циркуляційного потоку робочого наповнювача сприяє поліпшенню якості обробки продукції та підвищенню інтенсифікації процесу.

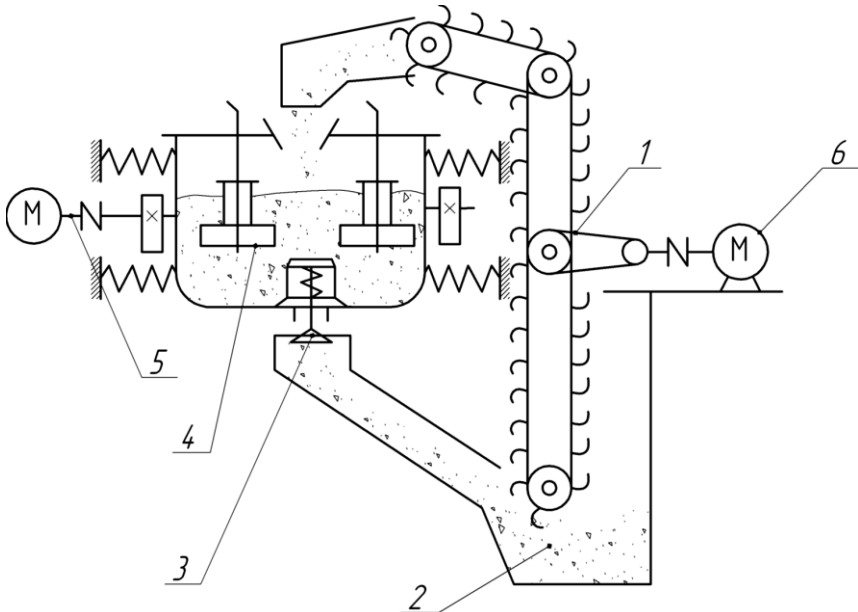


Рис. 6.11. Принципова схема вібраційної конвеєрної машини із замкнутою системою циркуляції робочого середовища для обробки продукції:
1 - стрічковий транспортер; 2 - нагромаджувальна ємкість; 3 - пристрій для регулювання рівня робочого середовища; 4 - продукція, що обробляється; 5 - вібропривод; 6 - привід транспортера

Інша вібраційна машина [8], що має транспортер з подібними функціями, призначена для обробки продукції "насіпом". Серед її основних елементів можна виділити робочий резервуар 4 (рис. 6.12), стрічковий конвеєр 1 та розділювальний пристрій 2.

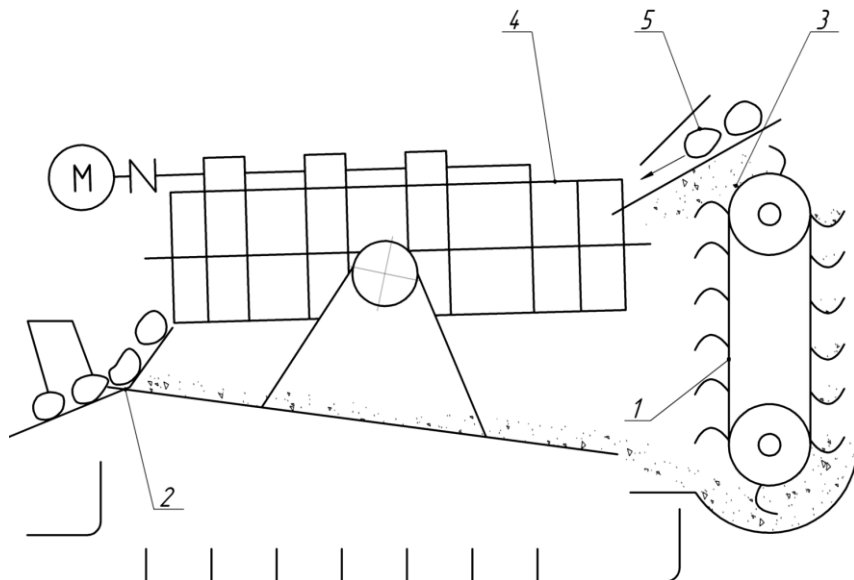


Рис. 6.12. Принципова схема вібраційної машини безперервної дії з трубчатим секційним контейнером:

- 1 – стрічковий конвеєр; 2 – розділювальний пристрій; 3 – робочий наповнювач; 4 – контейнер; 5 – продукція, що обробляється

Резервуар машини виконано у вигляді труби та складається з окремих секцій, що кінематичне пов'язані між собою. Секції труби являють собою ряд обертальних та нерухомих кільцевих ділянок. Резервуар установлений з можливістю зміни кута нахилу, що дозволяє регулювати режими роботи машини. Конструктивне виконання кільцевих ділянок забезпечує обертання останніх у різні боки. Технологічне завантаження під дією відцентрових сил переміщується до рухомого кільця та обертається разом з ним. За рахунок нахилу осі резервуару маса завантаження зміщується донизу до нерухої кільцевої ділянки, де відбувається різке гальмування.

Наявність транспортуючого руху, що безперервно здійснюється в певній машині, можна назвати необхідною умовою для визначення даної машини як конвеєрної. Цілеспрямована технологічна дія машини, яка органічно поєднується з

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

означеним транспортуючим рухом, становить достатню умову подібного визначення. Серед способів реалізації транспортуючої операції в технологічних машинах, у тому числі і у вібраційних, найбільше розповсюдження має використання механічних пристроїв із гнучким транспортним елементом. При цьому по мірі вдосконалення вібраційних технологічних машин конвеєрного типу функції гнучкого елемента якісно змінюються.

В ряді вібраційних машин безперервної дії гнучкий транспортуючий елемент використовується для забезпечення циркуляційного руху робочого середовища.

Вібраційна машина безперервної дії [9], яка була розроблена у Пензенському науково-дослідницькому інституті приладобудування, містить у своєму складі стрічковий транспортер, що містить блок електромагнітного очищення обробленої продукції. При обертанні приводного барабану отримують рух стрічковий конвеєр та магнітний блок. Під дією магнітного поля феромагнітні частини притягуються до стрічкового транспортеру та виводяться із зони обробки.

Вібраційна конвеєрна машина [10], що містить транспортерну стрічку з коливальними та неколивальними ділянками. З метою підвищення продуктивності стрічка розташована на барабані у вигляді спіралі, так як це дозволяє збільшити кількість продукції, що одночасно обробляється в машині. З метою забезпечення компенсації положень коливальної та неколивальної гілок гнучкої стрічки, механізм її подачі споряджений тяговими та гальмівними парами роликів.

Ряд вібраційних машин конвеєрного типу з подібними конструктивними елементами розроблені також під керівництвом П.Д.Денисова. Це зокрема вібраційна конвеєрна машина [11], що містить контейнер, всередині якого умонтований пристрій для транспортування продукції, що складається із барабана та гнучкого транспортуючого елемента, що його охоплює. Барабан обкочується по роликам, які закріплені всередині контейнера на його бічних стінках, та має незалеж-

ний привод. Робочий контейнер машини підвішений на амортизаторах та приводиться до коливального руху за допомогою приєднаного вібробуджувача.

Розглянуті вище машини не дозволяють повільно змінювати режими обробки в процесі транспортування. Тому являє інтерес вібраційна машина [12], що має пружно підвішений робочий контейнер, дебалансний вібробуджувач; транспортувальну систему, яка забезпечує проходження через робочу зону гнучкої стрічки із продукцією. Транспортна стрічка розташована вздовж робочого контейнеру похило та створює своєю зовнішньою поверхнею його рухоме днище, а вал вібробуджувача установлений з можливістю передачі змінних коливань по довжині зони обробки. Така компоновка приводить до того, що по мірі переміщення стрічки в контейнері постійно зростає енергія зіткнення часток технологічного середовища. Для забезпечення похилого транспортування гнучкого елемента в робочій камері на бічних стінках контейнера виконані напрямні, а стрічка споряджена поперечними планками жорсткості з роликками на кінцях, що установлені з можливістю взаємодії з напрямними.

У вібраційній машині безперервної дії [13], яка розроблена у Тамбовському інституті хімічного машинобудування, гнучкий транспортуючий елемент створює своєю поверхнею стінки робочої камери. Дана вібраційна машина містить робочий контейнер, що пружно умонтований на основі, пристрій для транспортування продукції та їх вилучення із зони обробки. Останній являє собою гнучкий елемент машини, що виконаний у вигляді труби, яка сформована з дротяного матеріалу. Така конструкція гнучкого елемента забезпечує обробку сировини з усіх сторін робочої камери. Під час роботи вібраційної машини гнучка труба разом із продукцією безперервно переміщується в зоні обробки.

Розглянуті конвеєрні вібраційні машини мають подібні основні конструктивні елементи, а саме, механічний вібропривід, робочий контейнер та транспортувальний пристрій у

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

вигляді гнучкого конвеєру. Вони дозволяють ефективно обробляти продукцію у віброзваженому стані та зумовлюють хороші перспективи для здійснення повної автоматизації процесу обробки. Проте загальним недоліком їх можна назвати те, що саме наявність гнучкого транспортувального елемента значно ускладнює конструкцію машини, утруднює, а в деяких випадках і виключає можливість регулювання робочих режимів вібраційної установки.

Більш раціональне використання означених конструктивних елементів характерне для ряду вібраційних конвеєрних машин, що були розроблені на базі Вінницького державного аграрного університету. Так, являє інтерес вібраційна машина конвеєрного типу [14], що містить корпус, ексцентриковий віброзбуджувач та нескінчену стрічку, поверхня якої служить місцем для кріплення виробів. З метою спрощення конструктивного виконання торці контейнеру виконані у вигляді двох дисків 3 (рис. 6.13), а його бічна поверхня створена транспортерною стрічкою 1.

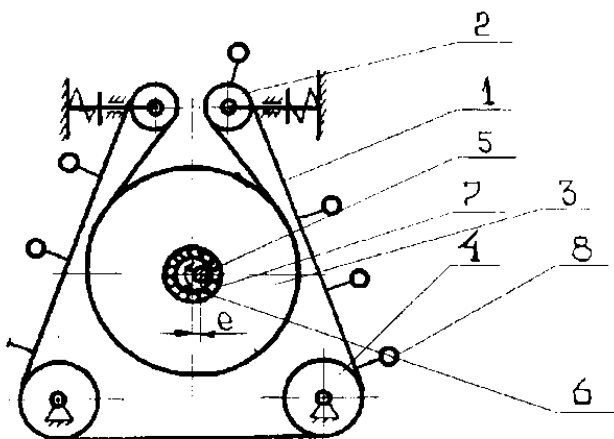


Рис. 6.13. Віброконвеєрна машина з ексцентриковим приводом:
1 – гнучка стрічка; 2 – обтискний валець; 3 – бічний диск; 4 – опорний валець; 5 – приводний вал; 6 – кулачок; 7 – підшипник; 8 – продукція

РОЗДІЛ 6

Коливальний рух контейнеру надається від приводного валу 5 з двома кулачками. При цьому підшипники не передають крутний момент дискам 3, а тільки сприяють їх радіальним переміщенням, що зумовлені ексцентриситетом приводного валу. Таким чином, диски синхронно здійснюють коливальний рух по коловій траєкторії та одночасно повертаються на певну величину, що протилежна обертанню вала. Стрічка на ділянці контакту з торцевими дисками здійснює одночасно з ними коливальний рух та просовується за рахунок циркуляційної дії завантаження і обертання дисків. Вібробудувач виконаний у вигляді вала 5 з двома кулачками, що розміщені на його кінцях. Кулачки розташовані в дисках співвісно, а приводний вал – з ексцентриситетом. Переміщення стрічки можливе тільки при достатньому зчепленні між торцевими дисками контейнера та гнучкою стрічкою, низькому коефіцієнті тертя в опорних вузлах машини та при досить інтенсивному імпульсному режимі обробки для забезпечення достатнього віброприскорення. Ці умови значно звужують інтервал можливих робочих швидкостей транспортної стрічки, що обмежує продуктивність та технологічні можливості машини.

Вказані недоліки враховані в наступній конвеєрній вібраційній машині [15], в якій збережена загальна компоновка вузлів, що і в попередній машині. Така компоновка зумовлює, з одного боку, простоту виготовлення даної установки, так як майже всі її деталі або мають нескладні геометричні форми, або є стандартними металоконструкціями. З іншого боку, розміщення джерела вібрації в центрі та з бічних сторін робочої камери, дозволяє зменшити об'єм "застійних зон" у робочому контейнері, що сприяє інтенсифікації процесу обробки деталей. На відміну від розглянутої вище схеми дана вібраційна машина (рис. 6.14) має декілька особливостей. Так, наявність механічного приводу стрічки, хоча, дещо і ускладнює конструкцію машини, але дозволяє більш гнучко реагувати на вимоги певних технологій при обробці продукції різного

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

типу. При цьому створюються сприятливі умови для забезпечення автоматизованого процесу обробки. Крім того, в машині застосований комбінований спосіб віброзбудження робочих коливань, що дозволяє значно зменшити енерговитрати на привод та поліпшити умови експлуатації опорних вузлів вібратора [16, 17] за рахунок істотного зменшення коливних мас у системі.

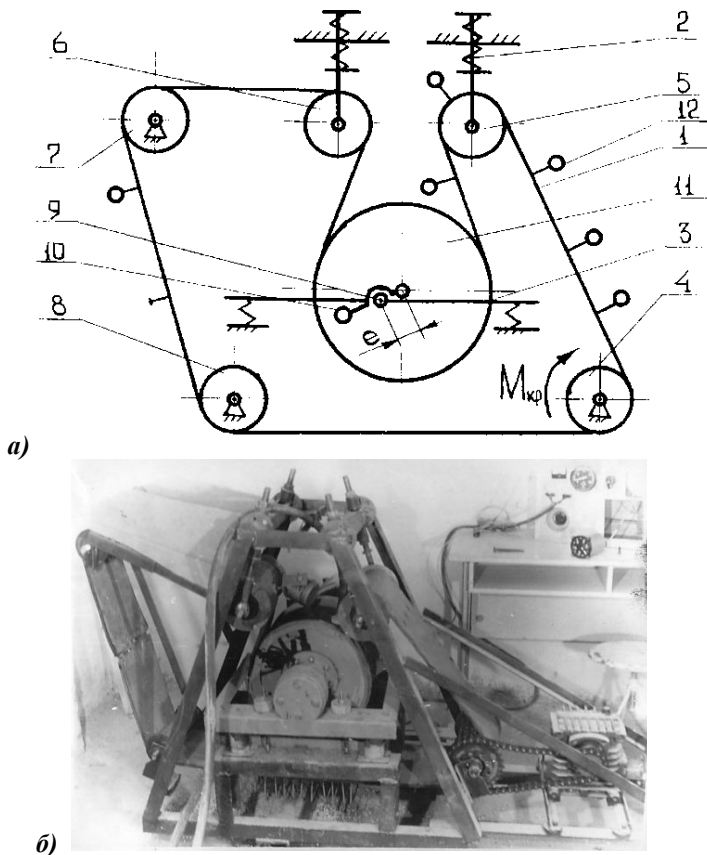


Рис. 6.14. Віброконвеєрна машина з механічним комбінованим приводом плоских коливань: а – принципова схема машини; б – фотографія машини; 1 – гнучка стрічка; 2 – підпружинена підвіска; 3 – платформа; 4 – ведучий коток; 5, 6, 7, 8 – опорні котки; 9 – приводний вал; 10 – противага; 11 – бічний диск; 12 – продукція, що обробляється

РОЗДІЛ 6

Конструкція пружної підвіски 2 обумовлює простоту регулювання натягу стрічки та дає можливість використовувати робочий наповнювач різного типу, у тому числі і з досить високою питомою вагою. Застосування спеціальних пристроїв, які закріплюються на поверхні стрічки дозволяє досить ефективно здійснювати видалення деталей із маси робочого наповнювача. До того ж, додатковий опорний коток 7 полегшує процес вилучення оброблених деталей з поверхні транспортної стрічки. Наведені особливості та результати експериментальних і виробничих досліджень обґрунтовують можливість успішної реалізації даної схеми конвеєрної вібраційної машини у досить широкому спектрі технологій промислового та сільськогосподарського переробного виробництва:

- при віброзміцненні лезового металооброблювального інструменту;
- для оздоблювально-очищувальної обробки виробів;
- в процесах очищення та миття коренеклубнеплодів;
- в процесах розділення неоднорідних систем харчових і переробних виробництв.

Аналіз розглянутих конвеєрних вібраційних машин показує, що гнучкий елемент даних установок виконує ряд різноманітних і важливих функцій, а саме: здійснює транспортування робочого середовища, продукції та пристроїв, вилучення їх із зони обробки; створює своєю поверхнею рухоме днище робочого контейнеру, а то і взагалі – усі стінки робочої камери, реалізує можливість багатостадійної обробки за порівняно простої конструкції обладнання (Рис. 6.15, 6.16, 6.18). Такий широкий спектр функціонального використання гнучкого елемента свідчить про постійний пошук вітчизняними та закордонними конструкторами раціональної компоновки вібраційних машин безперервної дії; про широкі можливості універсалізації, комплексної механізації та автоматизації технологічного процесу; про перспективи росту досконалості подібних конвеєрних вібраційних машин.

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕРСНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

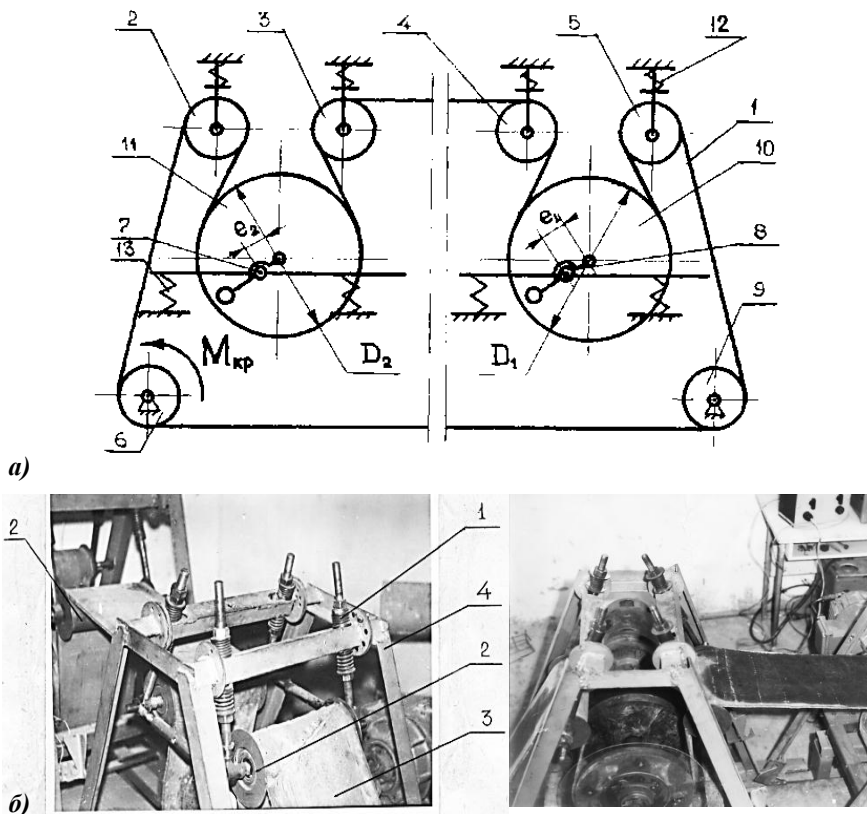


Рис. 6.16. Віброконверсна машина для багатостадійної обробки продукції з механічним комбінованим вібробудженням:

- а) принципова схема машини: 1 – гнучка стрічка; 2, 3, 4, 5, 9 – опорні котки; 6 – приводний коток; 7, 8 – приводні вали; 10, 11 – бічні диски робочого контейнера; 12 – пружна підвіска; 13 – пружні елементи приводного валу;
- б) фотографії машини: 1 – пружна підвіска; 2 – опорний коток; 3 – гнучка стрічка; 4 – корпус

РОЗДІЛ 6

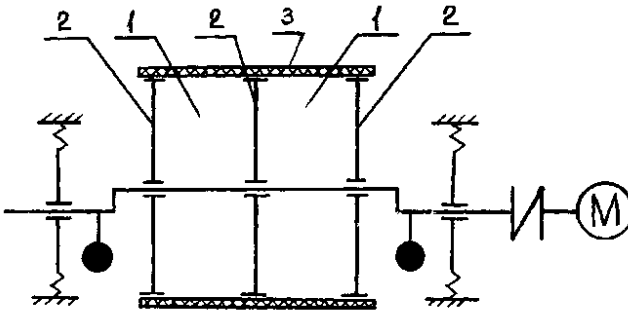


Рис. 6.16. Схема багатокамерної віброконверсної машини з механічним комбінованим віброзбудженням:

1 – робочі камери; 2 – бічні диски; 3 – гнучка стрічка

У ВНАУ розроблено віброконверсну машину для відтискування та сушіння високовологої сипкої сировини (рис. 6.17). Вібропривод машини містить двигун 1, який через пружну муфту 2 з'єднується з ексцентриковим валом 3. Протизаги 4 дозволяють зрівноважувати стаціонарні маси системи, а пружні елементи 5 забезпечують як демпфірування, так і передачу інерційних навантажень на раму вібраційної машини, значно розвантажуючи опорні вузли 6 приводного вала 3.

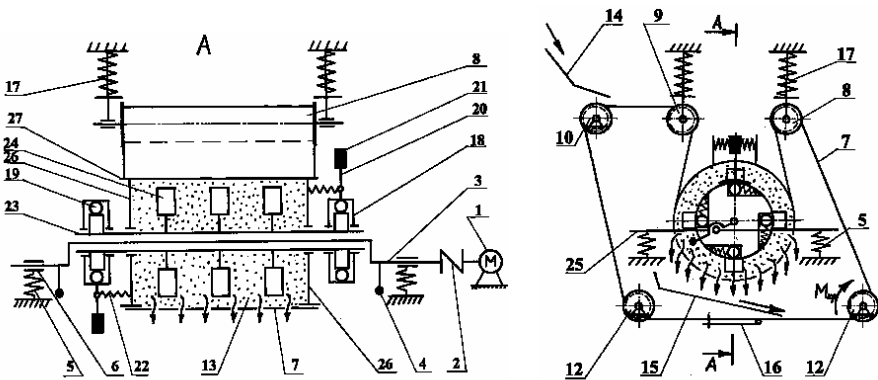


Рис. 6.17. Конверсна вібромашина для відтискування рідини

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ

Система транспортування продукції у зону обробки складається із еластичної стрічки 7, що спирається на вальці 8, 9, 10, 11, 12, останній з яких є ведучим та забезпечує переміщення в зону обробки разом із стрічкою продукції 13 з лотка 14. Перфорована ділянка стрічки 7 та лоток 15 служать для вилучення відтиснутої рідини, а закріпленій на поверхні стрічки люк 16 – для вивантаження залишку. Опорні вальці 8, 9 з пружними елементами 17 не тільки з'єднують раму вібромашини із стрічкою 7, але і забезпечують необхідний натяг останньої.

Перемішувачий механізм виконаний у вигляді лопатевого пристрою з механізмом вільного ходу, який складається з системи ведучого 18 та веденого 19 елементів, штанги 20 та вантажа маятника 21, який через пружини 22 з'єднується з робочим контейнером. Лопатевий вал містить порожнистий вал 23, із-зовні якого монтуються перемішувачі лопаті 24, а всередині – розташовується приводний вал 3, опорні вузли якого встановлюються на платформі 26.

Робочу ємкість машини становлять диски 26 та поверхня еластичної стрічки 7. Для поліпшення контакту стрічки та дисків 26 на поверхні останніх передбачено напрямні 27.

Дана конструкція вібраційної машини реалізує ідею єдиного приводу і перетворення коливань контейнера в обертотий рух лопатевого валу, що органічно вписується в схему машини конвеєрного типу. Основна новизна конструкції полягає у застосуванні означених конструктивних заходів для реалізації процесу відтискування рідини в безперервному циклі обробки твердотільної сировини.

При реалізації процесу обробки сировина через лоток 11 потрапляє на еластичну стрічку 7, рух якої забезпечується обертанням від окремого приводу вальця 12, та далі надходить до робочого контейнера. Попередньо примусовим обертанням вальця 12 стрічка 7 своєю перфорованою ділянкою підводиться в зону обробки. Одночасно від двигуна 1 через муфту 2 приводиться до обертання ексцентриковий вал 3, що

збуджує коливальний рух дисків 26 та сполученої з ними перфорованої ділянки стрічки 7. Крім того, вібрація через опорні елементи передається ведучим та веденим ланкам механізму вільного ходу, а через штанги 20 – вантажам маятника 21. Власні частоти коливань маятників підбирають рівними частотам коливань робочого контейнера в установленому режимі. Тому виникнення резонансу в одній системі зумовлює ефективне перетворення коливального руху маятників до обертового руху лопатевого вала 23. В результаті лопаті 24, як і вібраційне поле в зоні обробки забезпечують пресуючу дію на продукцію 13, яка весь час перебуває у стані циркуляційного руху. Рідина, що відтискується під час такої технічної дії проходить через отвори перфорованої ділянки та відводиться лотком 16. По досягненні необхідного виходу рідини примусовим рухом стрічки 7 до робочої зони підводиться ділянка з лючком 16, через який здійснюється вивантаження відтиснутого залишку. Одночасно нова партія завантаження проходить до зони відтискування, замикаючи технологічний цикл.

Таким чином, з одного боку, поєднання коливального руху поверхонь робочої ємкості та відтискувальної дії лопатей створюють високу енергонасиченість технологічного завантаження та відповідно високу продуктивність машини; а з іншого боку, за даного способу обробки має місце безперервний технологічний цикл в одну або декілька стадій при порівняно простому конструктивному виконанні робочих органів вібраційної машини та реалізації енергозберігаючої технології, що зумовлює ефективність застосування представленої багатокамерної віброконвеєрної машини (рис. 6.35).

6.3 Вибір схеми віброхвильової сушарки

Віброконвеєрна сушарка (рис. 6.18) з інфрачервоним опромінюванням продукції являє собою поєднання стрічкового транспортера та вібраційної технологічної машини з

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

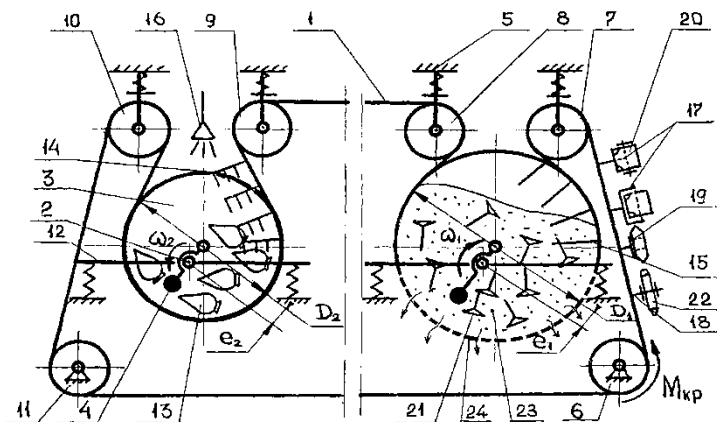


Рис. 6.36. Багатокамерна віброконвеєрна технологічна машина:
 1 – гнучка стрічка; 2 – ексцентриковий вал; 3 – бічний диск; 4 – противага;
 5 – пружна підвіска; 6 – приводний коток; 7, 8, 9, 10, 11 – опорні котки;
 12 – підпружинена платформа; 13 – коренеплоди; 20 – поршень; 21 – клапан;
 22 – фреза; 23 – робоче завантаження; 14, 15 – вивантажувальні при-
 строї ковшового та П-видного типу; 16 – форсунка подачі рідини;
 17, 18, 19 – кріплення деталей на стрічці; 24 – перфорована ділянка

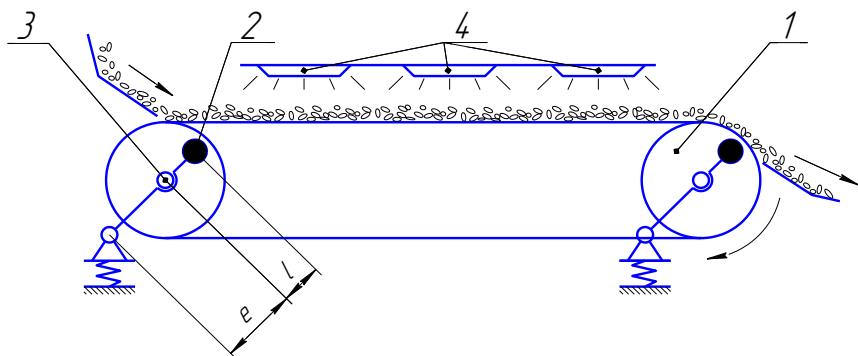


Рис. 6.18. Схема експериментальної конвеєрної установки для сушіння:
 1 – приводний коток; 2 – противага; 3 – натяжний коток; 4 – інфрачервоні
 опромінювачі; e – ексцентриситет приводу; l – ордината центра мас

РОЗДІЛ 6

комбінованим кінематичним способом генерації коливань, створюючи умови для безперервної обробки продукції, забезпечення її зваженого стану та зменшення коливних мас віброприводу [18, 19].

Розпушення маси продукції під дією знакозмінних навантажень призводить як до зменшення внутрішнього тертя та в'язкості у технологічному середовищі, так і до забезпечення рівномірної теплової обробки сипкої продукції.

На рис. 6.19а представлена принципова схема розробленої вібраційної конвеєрної сушарки. На рис. 6.19б представлена принципова схема приводного механізму віброзбуджувача опорного котка. На рис. 6.19в представлена принципова схема приводного механізму ведучого котка з дебалансною схемою віброзбудження, що спрощує конструкцію та експлуатацію привода [20].

Вібраційна сушарка містить ведучий і опорний котки 1 і 2, на яких закріплена транспортерна стрічка 3 для переміщення продукції 4. Над стрічкою по ходу її руху розміщені три інфрачервоні випромінювачі 6. Ексцентриковий вал 6 опирається на опорний вузол 7 віброзбуджувача, що знаходиться на платформі 8, яка через пружні елементи 9 зв'язана з рамою установки. Противаги 10 зрівноважують інерційні зусилля в кінематичному віброзбуджувачі. Котки 1 і 2 з опорними вузлами 11 кріпляться до рами сушарки, що опирається на віброопори 12. На котках є реборди 13.

Привод віброзбуджувача здійснюється двигуном 14 через пружну муфту 16. Приводний механізм ведучого котка складається з двигуна приводу ведучого котка 16, ведучої шестерні 17, веденого зубчастого колеса 18, опорних вузлів 19, пружної муфти приводу ведучого котка 20, приводної вісі ведучого котка 21 та опорних вузлів осі ведучого котка 22 і 23.

Сипкий матеріал 5 подається на стрічку конвеєра 3. Вмикають електродвигун, що приводить в рух барабан 1 та вмикають випромінювачі 6. Крутний момент від електро-

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕСЕРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

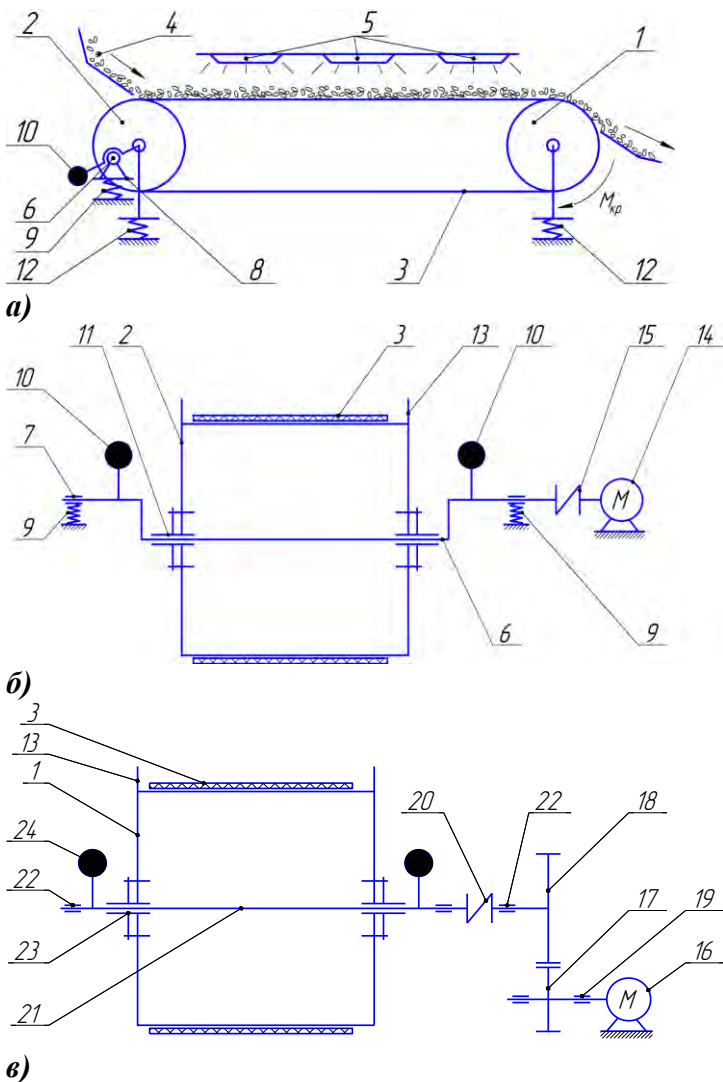


Рис. 6.19. Вібращйна сушарка з інфрачервоними випромінювачами:
 а – принципова схема машини; б – кінематичний привід машини;
 в – дебалансний привід машини

РОЗДІЛ 6

двигуна 14 через гнучку муфту 15 передається на ексцентрико вий приводний вал 6, створюючи біжучу хвилю на стрічці 3, що призводить до виникнення псевдозваженого стану оброблювального матеріалу та його поступального руху, збільшуючи у 2...3 рази площу тепломасообміну та відповідно ефективність вологовидалення.

Агрегатований кінематичний віброзбуджувач в опорному котку сушарки (рис. 6.19, б) дозволяє зменшити коливну масу привода та передбачає нівелювання паразитних коливань за допомогою пружних елементів 9. Така схема приводного органу разом із наявністю хвильового конвеєра з деформувальним транспортуючим елементом дозволяє значно удосконалити систему зрівноваження сушарки. Таким чином, застосування запропонованої конструкції вібраційної сушарки з кінематичним методом віброзбудження дасть можливість значно інтенсифікувати процес видалення вільної та фізично зв'язаної вологи за рахунок створення псевдозваженого стану оброблювального матеріалу, зменшити метало- та енергоємність апарату та забезпечити умови ефективного зрівноваження даної коливальної системи.

Більш досконала схема розробленої віброхвильової конвеєрної інфрачервоної сушарки із врахуванням експлуатаційних потреб досліджуваного процесу представлена на рисунку 6.20. На відміну від вібраційних конвеєрних сушарок розроблена установка містить гнучкий вантажонесучий орган, на якому створюється біжуча або стояча хвиля при роботі механічних віброзбуджувачів 2, 3. Така хвиля сприяє як транспортуванню продукції, що надходить з живильника 7, так і інтенсивному її перемішуванню. Тим самим зменшується теплова інтенсивність на поверхневий шар при збереженні достатньо високої швидкості потоку. При цьому достатньо забезпечити коливання тільки котків 5, 6 для підтримання високої кінетики досліджуваного процесу, що значно зменшує енерговитрати на привод порівняно з вібраційними конвеєрними установками.

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕРСНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШННЯ

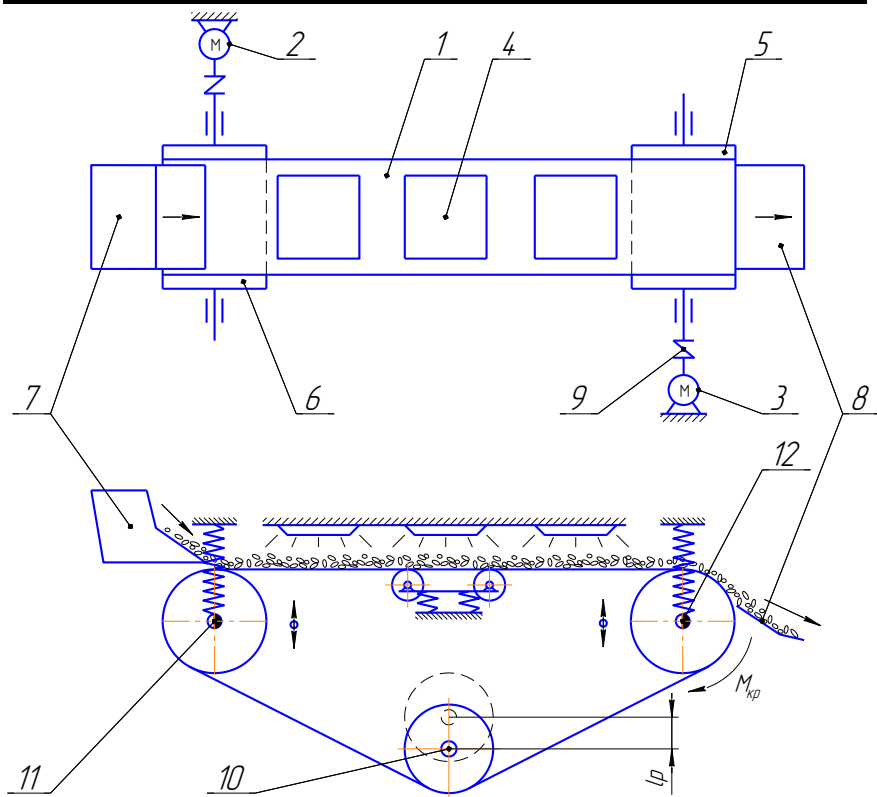


Рис. 6.20. Принципова схема конвеєрної віброхвильової
інфрачервоної сушарки:

1 – стрічка; 2, 3 – двигуни віброзбуджувачів; 4 – інфрачервоні випромінювачі; 5,6 – котки; 7 – живильник; 8 – приймальний бункер; 9 – гнучка муфта; 10 – натяжний коток; 11, 12 – дебалансні віброзбуджувачі

На основі представленої схеми була розроблена експериментально-промислова модель інфрачервоної віброхвильової сушарки (рис. 6.21).

РОЗДІЛ 6



Рис. 6.21. Зовнішній вигляд експериментально-промислової моделі інфрачервоної віброхвильової сушарки

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ

Література до розділу 6

1. А.с. № 539742 СССР. Устройство для обработки деталей в упруго установленной емкости (контейнере) / А.П. Бабичев, Ю.М. Самодумский, И.Н. Левкин, И.В. Никитин // Бюл. изобр. –1976. -№ 47.

2. Берник, П.С. Развитие конструктивных та технологических схем машин для обработки виробів в умовах вільного кінематичного зв'язку між деталями та робочим інструментом / П.С. Берник, І.П.Паламарчук, І.Г. Липовий // Вибрации в технике и технологиях.– 1998.– № 2(6). –С. 21-29.

3. Сушильные установки, инфракрасная сушка пищевых продуктов [Электронный ресурс] / ТОО «ТехноАгроСервис». — Режим доступа: \WWW/ URL: <http://tass.kz/wordpress/glavnaya/oborudovaniye/>— 2013 г.

4. Конвейерные сушильные установки [Электронный ресурс] / Производственное конструкторское бюро "ПКБ Малышева". — Режим доступа: \WWW/ URL: <http://pkbm.ru/konveiersuhka/>— 2013 г.

5. Малежик, І.Ф. Розробка сушарки з терморадіаційним енергопідведенням [Текст] / І.Ф. Малежик, І.В. Дубковецький, Т.Є. Веселовська. – Наук. пр. НУХТ. – 2008.

6. Сушилка вибрационная с ик-излучателями СВИК-150 [Электронный ресурс] / Производственная Компания "Старт".— Режим доступа: \WWW/ URL: <http://pcstart.ru/infrared/sushilkavibro/> — 2009 г.

7. А.С. №753613 СССР. Вибрационная машина для непрерывной обработки деталей / Н.И. Тимохин, Л.Г.Одинцов, Ю.А. Максимов, В.Я. Емельянов, Н.А. Вилков. – Бюл. изобр. – 1980. - №17.

8. А.С. №743847 СССР. Устройство для вибрационной обработки деталей / И.А. Кожевин, В.М. Кузаконь. – Бюл. изобр. – 1980. - №16.

РОЗДІЛ 6

9. А.С. №529063 СССР. Машина для непрерывной обработки / В.А. Повидайло, В.А. Щигель. – Бюл. изобр. – 1976. - №16.

10. А.С. №496164 СССР. Вибрационная машина для обработки деталей, закрепленных на ленте / И.Н. Карташев, П.П. Жданкин, А.Е. Родиченко. – Бюл. изобр. – 1976. - №34.

11. А.С. №761244 СССР. Вибрационная машина с транспортирующим элементом / П.Д. Денисов, В.М.Кунин, Н.Ф.Брайлян, В.И. Кармалюк, Г.А. Боярских, Л.Д. Амбарцумян, А.И. Абрамов. – Бюлл. изобр. – 1980. - №21.

12. А.С. №580094 СССР. Устройство для вибрационной обработки хрупких и крупногабаритных деталей [Текст] / П.Д.Денисов, Н.Ф. Брайлян, В.И. Кармалюк, Э.С. Бакала, В.Т. Дубовой. – Бюл. изобр. – 1977. - №34.

13. А.С. №897481 СССР. Машина для вибрационной обработки / В.Г. Варфоломеев, Н.Е. Портнов, Д.И. Архангельский. – Бюл. изобр. – 1982. - №2.

14. А.С. №1479140 СССР. Вибрационно-центробежный сепаратор [Текст] / Л.Н. Тищенко, Д.И. Мазоренко, С.В. Проценко, Н.В. Солоновский. – Бюл. изобр. – 1989. - №18.

15. Патент 39269 України, МПК F26B 17/26. Вібраційна сушарка для дисперсних матеріалів / Берник П. С., Зозуляк І. А., Ярошенко Л. В. ; заявник та патентовласник Вінн. держ. с.-г. ін-т. – № 98126463 ; заявл. 08.12.1998 ; опубл. 16.06.2001, Бюл. № 6.

16. *Паламарчук, І.П.* Обґрунтування робочих параметрів хвильового конвеєра для переміщення фаршу / І.П. Паламарчук, І.Г. Липовий // Вібрації в техніці та технологіях, 1997.– С. 80-82.

17. Пат. 49119 України. Пристрій для вібраційної обробки сільськогосподарської продукції / І.П. Паламарчук, О.М. Омелянов. – Бюл.– 2002. -№ 9.

18. *Паламарчук, І.П.* Обґрунтування конструктивної та технологічної схеми конвеєрної вібраційної сушарки / І.П. Паламарчук, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук // Вібрації в тех-

КОНСТРУКЦІЙНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВІБРОКОНВЕЄРНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ

ніці та технологіях. №2(66). Вінниця, 2012 - С.116-126.

19. Паламарчук, І.П. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми конвеєрної вібромашини для обробки продукції «насіпом» / І.П. Паламарчук, В.І. Драчишин, В.І. Паламарчук // Збірник наукових праць ВНАУ, № 2(85), 2014. – С. 185 – 192.

20. Патент №87767 України. Вібраційна конвеєрна сушарка з інфрачервоними випромінювачами / І.П. Паламарчук, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук. – заявл. 28.02.2013; опубл. 26.02.2014, Бюл. № 4. — 4 с.

РОЗДІЛ 7 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

7.1 Оцінка кінематичних характеристик конвеєрної вібраційної машини

Для реалізації процесу обробки продукції «насіпом» передбачається використання спеціальних вивантажувальних пристроїв з метою видалення обробленої продукції із робочого контейнера [1, 2]. Одним із варіантів подібного механізму є ковшовий пристрій (рис. 7.1), основні елементи якого жорстко закріплені на поверхні гнучкої стрічки конвеєрної вібраційної машини. Довжина вивантажувального пристрою визначається за умови вилучення обробленої сировини із робочої камери, згідно з якою:

$$V_K = V_3 = V_{Ki} \cdot n_{Ki}$$

де V_K – об’єм ківшиків елеватора;

V_3 – об’єм технологічного завантаження.

Складові даного рівняння можна визначити за формулами:

$$V_K = V_3 = V_{Ki} \cdot n_{Ki} = a \cdot h \cdot b \cdot \left(\frac{L}{l} + 1 \right), \quad (7.1)$$

$V_{Ki} = a \cdot h \cdot b$ – об’єм одного ківшика вивантажувального пристрою;

$n_{Ki} = L/l + 1$ – кількість ківшиків;

$b = B - 10 \dots 15$ мм – ширина ківшика;

L – загальна довжина вивантажувального пристрою;

a, h, l – інші геометричні параметри елеватора;

B – ширина гнучкої стрічки.

$$V_3 = V_P \cdot \alpha_3 = \frac{1}{4} \cdot \alpha_3 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot B \cdot \alpha_g, \quad (7.2)$$

де V_P – об’єм робочої камери вібромашини;

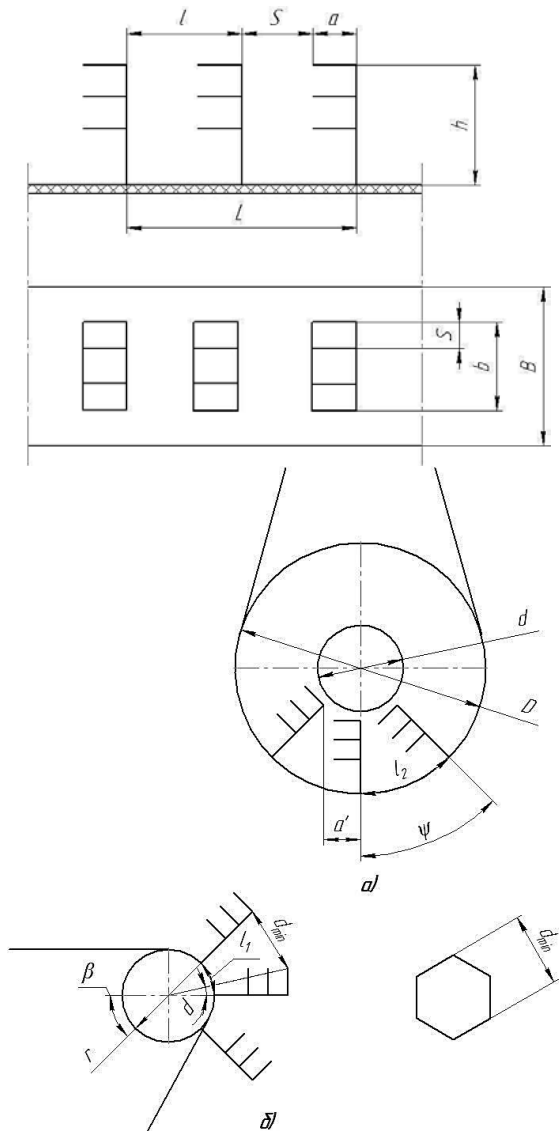


Рис. 7.1. Розрахункова схема вивантажувального пристрою елеваторного типу досліджуваної конвеєрної транспортно-технологічної машини:

- а) принципова схема вивантажувального пристрою;
- б) геометричні параметри вивантажувального пристрою

РОЗДІЛ 7

α_g – коефіцієнт, що враховує співвідношення між продукцією та робочим наповнювачем в контейнері;

α_3 – коефіцієнт завантаження робочої камери, який визначається за умови непросипання технологічного завантаження через щілини між бічними дисками контейнера та поверхнею стрічки;

D, d – відповідно діаметри диску та втулки.

Використовуючи формули (7.1), (7.2) можна отримати шукану величину довжини вивантажувального пристрою:

$$L = l \cdot \left[\frac{\alpha_3 \cdot \Pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot B \cdot \alpha_g}{4 \cdot a \cdot h \cdot b} - 1 \right] \quad (7.3)$$

Величину кроку ковшового елеватора l визначають в залежності від конструктивних особливостей основних елементів конвеєрної вібромашини та особливостей технологічного процесу. Так, при переміщенні ківшиків через опорний коток важливо не допускати висипання обробленої продукції через щілини, що утворюються при цьому. Подібні вимоги задовольняє умова:

$$S < d_{\min}, \quad l < l_1, \quad (7.4)$$

де d_{\min} – мінімальний розмір оброблюваної продукції;

S – відстань між ківшиками;

l_1 – геометричний параметр елеватора, який можна визначити за формулою:

$$l_1 = \frac{\pi \cdot R \cdot \beta}{180}, \quad (7.5)$$

де $\beta = \gamma + \arctg \left[\frac{a}{R+h} \right]$;

З певним припущенням можна вважати, що $\gamma = \frac{180 \cdot d_{\min}}{\pi \cdot (R+h)}$.

Також, щоб виключити можливість дотику сусідніх ківшиків при знаходженні їх в нижній частині робочої камери:

$$l > l_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot \psi}{360}, \quad (7.6)$$

де $\psi = \arctg \left[\frac{\alpha + 5 \dots 10 \text{ мм}}{d/2 + 5 \dots 10 \text{ мм}} \right],$

l_2 – геометричний параметр елеватора.

Величину l підбирають згідно з умовами (7.4) та (7.6), тобто $l_2 < l < l_1$. Висота ківшика h визначається в залежності від розмірів дисків та втулки контейнера:

$$h = \frac{1}{2}(D - d) - 5 \dots 10 \text{ мм}. \quad (7.7)$$

Другим варіантом вивантажувального пристрою може служити сукупність П-видних стержнів 2 (рис. 7.1), що жорстко закріплюються на поверхні стрічки 1. Останній елемент даного пристрою має поперечини 3 для виключення випадання обробленої продукції. Аналогічно попередній розрахунковій методиці довжина вивантажувального пристрою за умови повного вилучення продукту із маси робочого середовища дорівнює:

$$L = \frac{\alpha_g \cdot \alpha_3 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot B}{4 \cdot b \cdot h}. \quad (7.8)$$

Геометричні параметри вивантажувального пристрою визначаються з врахуванням особливостей переміщення його всередині робочої камери та за її межами (рис. 7.1, б). Так для запобігання випадання оброблюваної продукції із вивантажувального пристрою в процесі руху останнього по опорному котку достатньо, щоб:

$$l \leq l_1 = \frac{1}{90} \pi \cdot R \cdot \arcsin \left[\frac{d_{\min}}{2 \cdot (r + h)} \right]. \quad (7.9)$$

При переміщенні пристрою в нижній частині робочої камери сусідні П-видні елементи не дотикаються один до одного за умови:

$$l \geq l_2 = \frac{1}{360} \pi \cdot D \cdot \arcsin \left[\frac{2d_c}{0,5 \cdot d + 5 \dots 10 \text{ мм}} \right] \quad (7.10)$$

РОЗДІЛ 7

Нерівності (7.9), (7.10) дозволяють визначити шукану величину кроку вивантажувального пристрою.

Таким чином, при реалізації процесу обробки «насіпом» на конвеєрній вібраційній машині доцільно використовувати спеціальні вивантажуючі пристрої, що жорстко закріплюються на поверхні гнучкої стрічки або установлюються на ній за допомогою магнітних кріплень. Обробку масивних, крихких виробів, а також продукції, де потрібно обробляти лише певні ділянки їх поверхні, ефективно здійснювати при закріпленні оброблюваної сировини. При цьому елементи кріплення також доцільно жорстко або за допомогою магнітів вмонтовувати на поверхні стрічки [3, 4, 5].

Вихідними параметрами для технологічного розрахунку вібраційної машини є параметри коливального процесу, необхідний час обробки продукції, амплітудно-силові характеристики вібробудувача, що визначаються, як правило, в процесі експериментального та теоретичного аналізу машини, а також робоча програма з виготовлення продукції [1].

Силовий аналіз віброконвеєрної технологічної машини розпочинаємо з визначення основних параметрів її пружної системи (рис. 7.2).

Так як пружні елементи підвіски та гнучка стрічка розташовується послідовно, то приведена жорсткість гнучкого зв'язку між верхньою опорою та вібробудувачем виражається за формулою:

$$C_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot C_1 \cdot C_c}{C_c + C_1}, \quad (7.11)$$

де C_c – жорсткість гнучкої стрічки; C_1 – жорсткість пружної опори.

Використовуючи схему пружних зв'язків, що представлені на рис. 7.2, можна знайти статичний прогин елементів пружної системи.

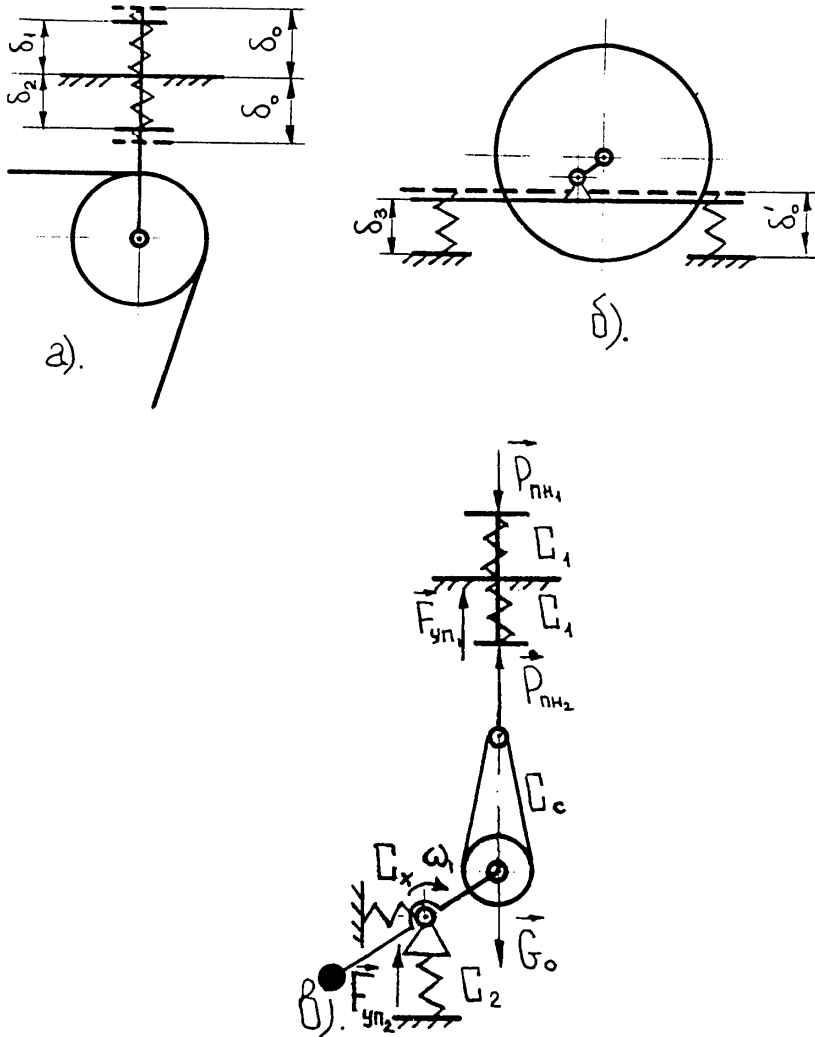


Рис. 7.2. Елементи пружної системи конвеєрної транспортно-технологічної вібромашини: а) – пружна підвіска; б) – пружні елементи опорного вузла вібромашини; в) – розрахункова схема пружної системи конвеєрної вібромашини з механічним комбінованим віброзбудженням

РОЗДІЛ 7

Для кінематичного віброприводу даний параметр складає:

$$\delta_{CT} = \frac{G_0 - C_1 \cdot (\delta_1 - \delta_2)}{C_{IP}}, \quad (7.12)$$

де G_0 – вага основних складових віброприводу;

δ_1, δ_2 – висоти пружин верхньої опори після статичного деформування.

Із умов забезпечення взаємного переміщення напрямної стрічки та дисків віброзбуджувача при коливальному русі параметри верхньої опори мають вигляд:

$$\begin{aligned} R_{оп} &> m_2(g + y); \\ C_{IP} &> \frac{m_2(g + y)}{4(y_0 + \ddot{y} - \delta_{CT})}, \end{aligned} \quad (7.13)$$

де $R_{оп}$ – реакція верхньої опори;

y_0 – початкова ордината пружного елемента;

\ddot{y} – друга похідна вертикального переміщення пружного елемента.

Для динамічного та комбінованого вібропривідів характерна наявність двох пружних зв'язків контейнера. Один зв'язок створюється напрямною стрічкою та верхньою опорою, а другий – пружними елементами платформи віброзбуджувача. Тоді вираз статичного прогину набуває вигляд:

$$\delta_{CT} = \frac{G_0 - C_1 \cdot (\delta_1 - \delta_2) - C_1 \cdot (\delta_0 - \delta_3)}{C_{IP} + C_2} \quad (7.14)$$

де C_2 – жорсткість пружного елемента платформи у вертикальному напрямі;

δ_0, δ_3 – відповідна висота пружного елемента платформи до і після статичного деформування.

Параметри пружної опори:

$$\begin{aligned} R_{оп} &> m_2(g + \ddot{y}) - 4C_2y; \\ C_{IP} &> \frac{m_2(g + \ddot{y}) - 4C_2y}{4(y_0 - \delta_{CT} + y)}. \end{aligned} \quad (7.15)$$

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

В процесі дослідження геометричних параметрів машин для комбінованого способу генерації коливань (рис 7.3) були отримані наступні залежності:

$$tg\beta_{\text{Л}} = \frac{X_{\text{ПР.П}} Y_{\text{ПР.Л}} - R \sqrt{X_{\text{ПР.Л}}^2 + Y_{\text{ПР.Л}}^2 - R^2}}{R^2 - Y_{\text{ПР.Л}}^2}, \quad (7.16)$$

де $X_2 = X_1 - l_{12} \sin \varphi_1$; $Y_2 = Y_1 + l_{12} \cos \varphi_1$,

на підставі яких можна знайти приведені координати:

$$\begin{aligned} X_{\text{ПР.П}} &= X_{\text{П}} - X_1 + l_{12} \sin \varphi_1; & X_{\text{ПР.Л}} &= X_1 - X_{\text{Л}} - l_{12} \sin \varphi_1; \\ Y_{\text{ПР.П}} &= Y_{\text{П}} - Y_1 - l_{12} \cos \varphi_1; & Y_{\text{ПР.Л}} &= Y_{\text{Л}} - Y_1 - l_{12} \cos \varphi_1. \end{aligned} \quad (7.17)$$

Серед сил, що діють в розглянутих вище коливальних системах, доцільно виділити змушуючу силу F , силу ваги P основних складових віброприводу та сили натягу T гнучкої стрічки, які саме і визначають закономірності руху елементів механізму.

Величини проекції змушуючої сили на вибрані осі координат F_X , F_Y та її амплітудне значення F складають для схеми з динамічним віброзбудженням:

$$\begin{cases} F_X = m_1 \cdot l_{12} \cdot \omega_1^2 \cdot \sin \omega_1 t \\ F_Y = m_1 \cdot l_{12} \cdot \omega_1^2 \cdot \cos \omega_1 t, \\ F = m_1 \cdot l_{12} \cdot \omega_1^2 \end{cases} \quad (7.18)$$

де ω_1 – кутова швидкість обертання приводного валу віброзбуджувача;

l_{12} – відстань між віссю приводного валу та центром маси m_1 , тобто інерційного елемента;

t – поточне значення часу.

Для схеми з кінематичним та комбінованим віброзбудженням величина l_{12} становить ексцентриситет приводу, тобто відстань між осями приводного валу та робочого контейнера.

Силу натягу гнучкої стрічки T_C можна виразити через сумарну деформацію гнучкого зв'язку I та його приведену жорсткість $C_{\text{ПР}}$.

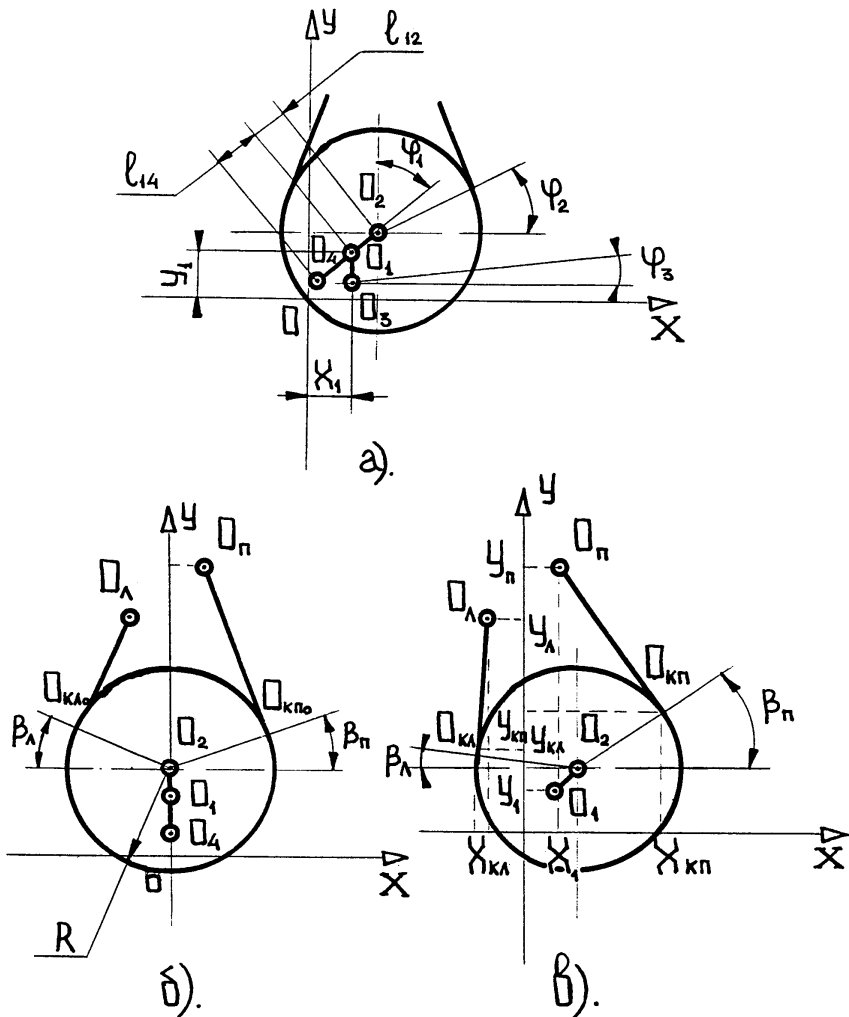


Рис. 7.3. Геометричні параметри комбінованого механічного віброприводу досліджуваної конвеєрної транспортно-технологічної машини: а) – ступені вільності досліджуваної вібросистеми; б) – початкове положення системи; в) – поточне положення системи

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

$$T_C = I \cdot C_{IPR}. \quad (7.19)$$

Для динамічного віброприводу даної конвеєрної машини сумарна деформація стрічки та пружного елемента верхньої опори в поточний момент часу складає (відповідно для лівої та правої гілки):

$$\begin{aligned} I_L &= O_L O_{KL} - O_L O_{KLO} + R_2 \varphi_2 = \\ &= \sqrt{(X_L - X_2)^2 + (Y_L - Y_2)^2 - R^2} - \sqrt{X_L^2 + Y_L^2 - R^2} + R\varphi_2 \end{aligned} \quad (7.20)$$

$$\begin{aligned} I_{II} &= O_{II} O_{KII} - O_{II} O_{KPIO} - R_2 \varphi_2 = \\ &= \sqrt{(X_{II} - X_2)^2 + (Y_{II} - Y_2)^2 - R^2} - \sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2} + R\varphi_2 \end{aligned} \quad (7.21)$$

Складова $R\varphi_2$ враховує поворот бічних дисків віброзбуджувача на кут φ_2 . Сили натягу лівої та правої гілок стрічки можна представити тоді у вигляді:

$$T_L = C_{IPR} \left[\sqrt{X_{IPR,L}^2 + Y_{IPR,L}^2 - R^2} - \sqrt{Y_L^2 + Y_L^2 - R^2} + R\varphi_2 \right], \quad (7.22)$$

$$T_{II} = C_{IPR} \left[\sqrt{X_{IPR,II}^2 + Y_{IPR,II}^2 - R^2} - \sqrt{Y_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2} + R\varphi_2 \right]. \quad (7.23)$$

При визначенні моментів інерції необхідно виділити основні елементи, що визначають структуру та функціонування розглянутих схем віброприводів, а саме: контейнер, який містить бічні диски та втулку, що їх з'єднує в єдиний вузол; приводний вал; підшипникові опори дисків та валу; дебаланси та противаги; платформу та технологічне завантаження. При розрахунку моментів інерції даних елементів по можливості зводимо їх до фігур з простою геометричною формою, для яких використовуються наступні залежності[6]:

$$J_B = \frac{1}{8} m_B d_B^2, \quad (7.24)$$

$$J_{II1} = \frac{1}{8} m_{II1} [D_{II1}^2 + d_{II1}^2], \quad (7.25)$$

$$J_{II2} = \frac{1}{8} m_{II2} [D_{II2}^2 + d_{II2}^2] \quad (7.26)$$

РОЗДІЛ 7

де $m_{П1}, m_{П2}$ – відповідно маси приводного вала, його опорних вузлів та підшипникових опор контейнера;

d_B – діаметр приводного вала;

$d_{П1}, d_{П2}, D_{П1}, D_{П2}$ – відповідно внутрішні та зовнішні діаметри опорних вузлів приводного вала та контейнера.

Останні два параметри можна виразити таким чином:

$$D_{П}^2 = \frac{4m_{П}}{\pi \cdot \gamma_{П} \cdot l_{П}} + d_{П}^2 \quad (7.27)$$

де $\gamma_{П}$ – середня об'ємна вага матеріалу підшипникового вузла;

$l_{П}$ – довжина підшипникової опори.

Аналогічно розраховується момент інерції контейнера (рис. 7.28).

$$J_K = 2J_{ДЗ} + J_{ВТ.З} = \frac{1}{4}m_D(D_D^2 + d_D^2) + \frac{1}{8}m_{ВТ}(D_{ВТ}^2 + d_{ВТ}^2), \quad (7.28)$$

де $J_{ДЗ}, J_{ВТ.З}$ – відповідно момент інерції дисків та втулки відносно вісі z ;

$m_D, m_{ВТ}$ – відповідно маси дисків та втулки;

$D_D, D_{ВТ}, d_D, d_{ВТ}$ – відповідно зовнішні та внутрішні діаметри дисків та втулки.

Платформа віброзбуджувача складається з стандартних металоконструкцій, що дозволяє легко визначити її момент інерції:

$$J_{Пл} = 2 \left[\frac{m_{Ш}S_Z}{F_{Ш}} + \frac{m_Y S_{Z^1}}{F_Y} + m_Y \left(\frac{l_{Ш}}{2} - Y_C \right)^2 \right], \quad (7.29)$$

де $J_{ШЗ}, J_{YZ}$ – відповідно момент інерції швелера та кутника відносно осей Z та Z^1 ;

S_Z, S_{Z^1} – відповідно статичні моменти інерції перерізу швелера та уголка відносно осей Z та Z^1 ;

$m_{Ш}, m_Y$ – відповідно маси швелера та кутника;

Y_C – ордината центра ваги кутника;

$l_{Ш}$ – довжина швелера.

При розрахунку моменту інерції технологічного завантаження вважаємо, що дане середовище являє собою суцільне

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

тіло з об'ємною вагою, що займає в робочій камері певний об'єм V_3 . Маса технологічного завантаження розраховується з врахуванням коефіцієнту приєднувальної маси ξ_m :

$$J_{3AB} = m_{3AB} \frac{F_B Y'_C}{F_H}, \quad (7.30)$$

де $m_{3AB} = V_3 \gamma_3 \xi_m$ – маса технологічного завантаження;

Y'_C – ордината центра ваги верхнього сектору:

$$Y'_C = \frac{4R \sin^3 \alpha}{3 \left(\frac{\pi\alpha}{90} - \sin 2\alpha \right)};$$

F_B – площа перерізу верхнього сектору:

$$F_B = \frac{1}{2} R^2 \left(\frac{\pi\alpha}{90} - \sin 2\alpha \right);$$

F_H – площа перерізу нижнього сектору:

$$F_H = \Pi(R^2 - r^2) - \frac{R^2}{2} \left(\frac{\pi\alpha}{90} - \sin 2\alpha \right).$$

Дебаланси та противаги в даній конвєсрній вібраційній машині являють собою тіла, що мають переріз у вигляді колового сектору (рис. 7.4, а). На підставі розглянутих вище розрахункових методик шукані параметри даних елементів виражаються:

$$\begin{aligned} m_C &= \theta L^2 \delta_C \gamma_C \\ S_C &= \frac{2}{3} L^3 \delta_C \gamma_C \sin \theta, \\ J_C &= \frac{1}{2} m_C L^2 \end{aligned} \quad (7.31)$$

де m_C – маса секторного елемента (дебалансів або противаг);

S_C – статичний момент маси секторного елемента;

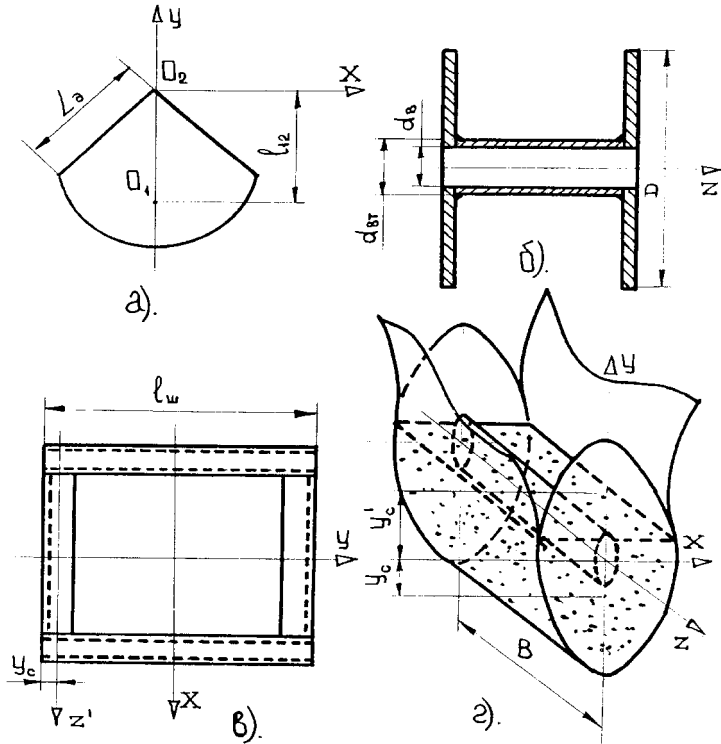


Рис. 7.4. Розрахункові схеми для визначення моментів інерції основних елементів досліджуваної конвеєрної транспортно-технологічної вібронашини: а) – дебаланс; б) – робочий контейнер; в) – платформа; г) – робочий наповнювач

J_C – момент інерції секторного елемента;

γ_C, δ_C – відповідно об’ємна маса та товщина секторного елемента;

L – твірна сектора;

θ – половина центрального кута сектора;

l_{12} – ордината центра ваги.

7.2 Вибір схеми віброзбудження транспортно-технологічної машини з гнучким контейнером

В процесі обґрунтування вибору схеми віброзбудження досліджуваної транспортно-технологічної машини або вібромашини з гнучким контейнером підлягали теоретичному аналізу наступні три схеми (рис. 7.5 – 7.7).

Для кожної із досліджуваних коливальних систем були складені рівняння руху виконавчих органів приводів за кожною із ступенів вільності [1]. Використовуючи отримані рівняння були сформульовані залежності для основних параметрів досліджуваних віброзбуджувачів.

Для комбінованого кінематичного віброприводу плоских коливань вирази для означених параметрів мають вигляд:

- абсолютна амплітуда коливань

$$A = \sqrt{2\ell_{12}^2 + \frac{B_1(B_1 - 2\ell_{12}(\omega_1^2 - k_x^2))}{(\omega_1^2 - k_x^2)^2 + \alpha_x^2\omega_1^2} + \frac{(B_1 - C_o)(B_1 - C_o - 2\ell_{12}(\omega_1^2 - k_y^2))}{(\omega_1^2 - k_y^2)^2 + \alpha_y^2\omega_1^2}}; \\ B_1 = A_4 \cdot \omega_1^2 \quad (7.32)$$

- потужність приводу машини

$$N_{np} = m_1 \ell_{12} \omega_1^3 \eta_{np}^{-1} \cdot \left[0,5 d_u \mu + m_1 \ell_{12} \omega_1^2 \cdot m_0^{-1} \times \right. \quad (7.33)$$

$$\left. \times \sqrt{\left(\frac{(\omega_1^2 - k_x^2) \cos \omega_1 t - \alpha_x \omega_1 \sin \omega_1 t}{(\omega_1^2 - k_x^2)^2 + \alpha_x^2 \omega_1^2} \right)^2 + \left(\frac{(\omega_1^2 - k_y^2) \sin \omega_1 t + \alpha_y \omega_1 \cos \omega_1 t}{(\omega_1^2 - k_y^2)^2 + \alpha_y^2 \omega_1^2} \right)^2} \right]$$

- навантаження на опорні вузли приводного валу

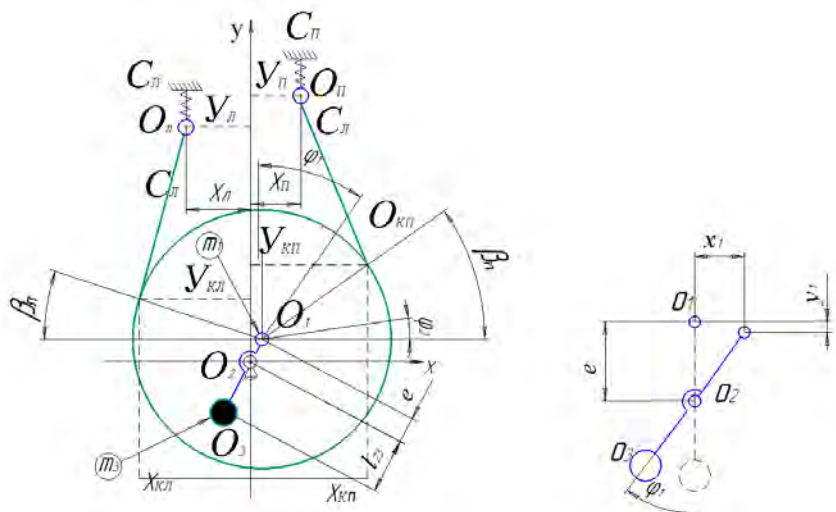
$$F_{нзр} = m_1 \ell_{12} \omega_1^4 \times \quad (7.34)$$

$$\times \sqrt{\left(\frac{(k_x^2 - \omega_1^2) \sin \omega_1 t - \omega_1 \alpha_x \cos \omega_1 t}{(\omega_1^2 - k_x^2)^2 + \alpha_x^2 \omega_1^2} \right)^2 + \left(\frac{(\omega_1^2 - k_y^2) \cos \omega_1 t - \alpha_y \omega_1 \sin \omega_1 t}{(\omega_1^2 - k_y^2)^2 + \alpha_y^2 \omega_1^2} \right)^2}$$

- енергія руху коливних мас віброприводу

РОЗДІЛ 7

$$E_{\text{кол}} = 0,5m_0^{-1}m_1^2\ell_{12}^2\omega_1^6 \times \left[\left(\frac{(\omega_1^2 - k_x^2)\cos\omega_1 t - \alpha_x\omega_1 \sin\omega_1 t}{(\omega_1^2 - k_x^2)^2 + \alpha_x^2\omega_1^2} \right)^2 + \left(\frac{(\omega_1^2 - k_y^2)\sin\omega_1 t - \alpha_y\omega_1 \cos\omega_1 t}{(\omega_1^2 - k_y^2)^2 + \alpha_y^2\omega_1^2} \right)^2 \right] \quad (7.35)$$



розподіл мас у системі:

$$m = m_1 + m_3$$

$$m_1 = m_K + m_{n1} + \xi_m \cdot m_{\text{зав}}$$

$$m_3 = m_{\text{пр}}$$

рівняння балансування

системи: $m_3 \cdot l_{23} = m_1 \cdot e$

ступені вільності системи:

ν_1 – кутове зміщення приводного валу;

ν_2 – кутове зміщення бічного диска контейнера;

$$x_1 = e \cdot \sin \varphi_1$$

$$y_1 = e \cdot (1 - \cos \varphi_1)$$

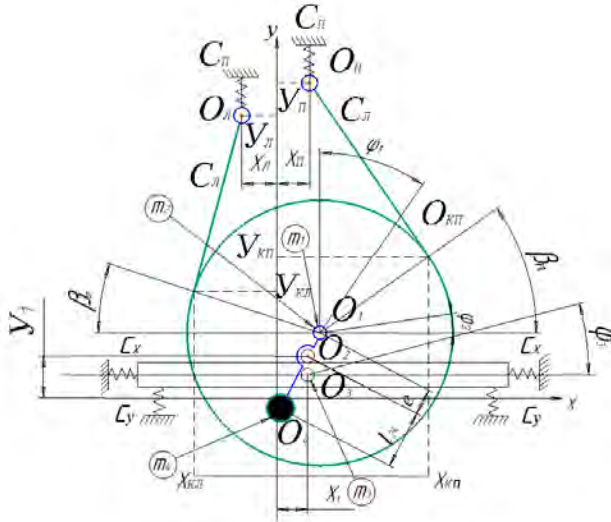
Рис. 7.5. Розрахункова схема машини з гнучким контейнером та примусовим кінематичним віброприводом:

m_K – маса контейнера; $m_{\text{зав}}$ – маса технологічного завантаження;

m_{n1} – маса опорного вузла; $m_{\text{пр}}$ – маса протитяги;

ξ_m – коефіцієнт «приєднаної» маси

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ



розподіл мас у системі:

$$\begin{aligned}
 m &= m_1 + m_2 + m_3 + m_4 \\
 m_1 &= m_K + m_{n1} + \xi_m \cdot m_{зав} \\
 m_2 &= m_B + m_{n2} \\
 m_3 &= m_{пл} \\
 m_4 &= m_{пр}
 \end{aligned}$$

рівняння балансування

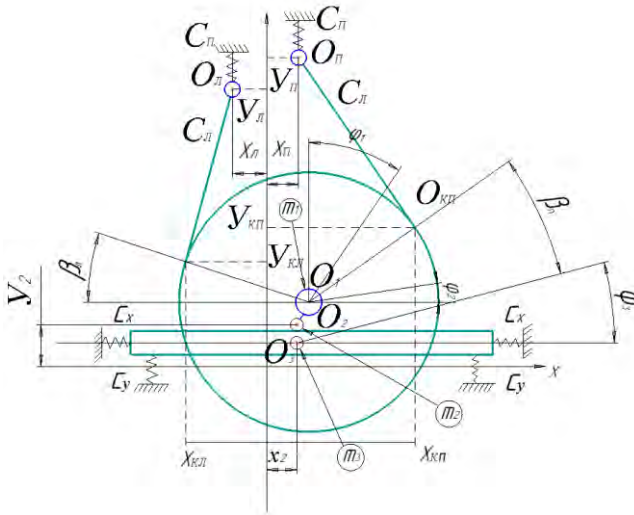
системи: $(m_K + m_{n1}) \cdot e = m_4 \cdot l_{24}$

ступені вільності системи:

- x_1 – горизонтальне переміщення контейнера;
- y_1 – вертикальне переміщення контейнера;
- u_1 – кутове зміщення бічного диску контейнера;
- u_2 – кутове зміщення приводного валу;
- u_3 – кутове зміщення платформи

Рис. 7.7. Розрахункова схема машини з гнучким контейнером та комбінованим кінематичним віброприводом:

m_K – маса контейнера; $m_{зав}$ – маса технологічного завантаження;
 m_{n1} , m_{n2} – маси опорних вузлів; $m_{пл}$ – маса платформи;
 $m_{пр}$ – маса противаги; ξ_m – коефіцієнт «приєднаної» маси



розподіл мас у системі:

$$m = m_1 + m_2 + m_3$$

$$m_1 = m_{ДЕБ}$$

$$m_2 = m_B + m_K + m_{n1} + m_{n2} + \xi_m \cdot m_{зав}$$

$$m_3 = m_{пл}$$

ступені вільності системи:

x_2 – горизонтальне переміщення

контейнера та приводного валу;

y_2 – вертикальне переміщення кон-

тейнера та приводного валу;

ν_1 – кутове зміщення приводного валу;

ν_2 – кутове зміщення бічного диску контейнера;

ν_3 – кутове зміщення платформи

Рис. 7.7. Розрахункова схема машини з гнучким контейнером та дебалансним динамічним вібропривідом :

m_K – маса контейнера; $m_{зав}$ – маса технологічного завантаження;

m_{n1} , m_{n2} – маси опорних вузлів; $m_{пл}$ – маса платформи;

$m_{пр}$ – маса противаги; ξ_m – коефіцієнт «приєднаної» маси

В ході дослідження динаміки конвеєрної вібромашини отримані геометричні і силові характеристики таких варіантів приводів: динамічного дебалансного та комбінованого ексцентрикового з врівноваженням стаціонарних мас. При виборі

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

оптимального типу механічного віброзбуджувача в якості критеріїв порівняльної оцінки приймалися (табл. 7.1):

- амплітуда коливань приводного валу вібратора і контейнера, що розвиваються при однаковому збурюючому зусиллі на даному режимі;
- потужність, споживана приводом на заданому робочому режимі, тобто при однаковій амплітуді коливань і умовах обробки;
- коефіцієнти споживання і віддачі енергії.

Таблиця 7.1

Порівняльна оцінка досліджуваних приводів

| Привод | динамічний | | кінематичний комбінований | |
|--|-------------------|--------------|----------------------------------|--------------|
| | теор. | експ. | теор. | експ. |
| При однаковій змушуючій силі $F = 918 \text{ Н}$ | | | | |
| 1. Амплітуда коливань контейнера, A_k , мм | 1,36 | 1,52 | 3,49 | 3,5 |
| 2. Амплітуда коливань приводного валу вібратора A_p , мм | 1,36 | 1,52 | 0,505 | 0,4 |
| 3. Потужність змушуючої сили, кВт | 1,522 | – | 0,861 | – |
| 4. Потужність привода, кВт | – | 1,35 | 0,73 | – |

Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень показав, що при однаковому збурювальному зусиллі комбінований привод з урівноваженням стаціонарних мас розвиває амплітуду коливань більшу як для динамічного віброзбуджувача. Це дозволяє при менших енерговитратах досягти підвищення продуктивності при використанні даного приводу.

Збіг динамічної і статичної осей у комбінованого віброприводу з урівноваженням стаціонарних мас дозволяє понизити амплітуду коливань приводного валу в порівнянні з дебалансним віброзбуджувачем в 5...9 разів, що забезпечує мож-

лівість поліпшення умов роботи і підвищення терміну служби опорних вузлів.

При однаковій збурювальній силі потужність її для динамічного приводу виявилася нижчою на 11,7%, чим для комбінованого приводу із статичним балансуванням і на 13,5% нижче, ніж для подібного приводу без урівноваження стаціонарних мас, що свідчить про меншу споживану енергію на одиницю збурюючої сили при дебалансному віброзбудженні. В той же час, при однаковій амплітуді коливань контейнера потужність збурюючої сили комбінованого приводу із статичним балансуванням виявилася в 1,5 разу нижчою, ніж для дебалансного віброприводу, а потужність приводу – в 1,8 разу нижчою, що відображає кращу динамічність пропонованого віброзбуджувача.

Конструктивне виконання даного комбінованого приводу, що поєднує кінематичне віброзбудження з наявністю пружної системи опорних вузлів і системи урівноваження стаціонарних мас; проведені експериментальні і теоретичні дослідження зумовлюють перспективність використання даного механічного віброприводу не тільки в досліджуваній конвеєрній вібромашині, але і у ряді відомих вібраційних машин, особливо при центральному розташуванні джерела вібрації.

Паралельно експериментальним дослідженням були отримані геометричні й силові характеристики для математичних моделей досліджуваних варіантів віброприводів, в яких враховувалася основна особливість даних схем – наявність пружного зв'язку між контейнером вібратора і підпружиненою підвіскою. Знайдені вирази дозволили визначити шукані амплітудно-силові характеристики приводів. Розбіжність теоретичних і експериментальних досліджень опинилася в межах $10\div 15\%$.

Силові та енергетичні характеристики досліджуваних віброприводів транспортно-технологічної машини з гнучким контейнером представлені на рисунках 7.8, 7.9, а їх порівняльний аналіз – на рисунках 7.10, 7.11, 7.12, 7.13 [6].

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

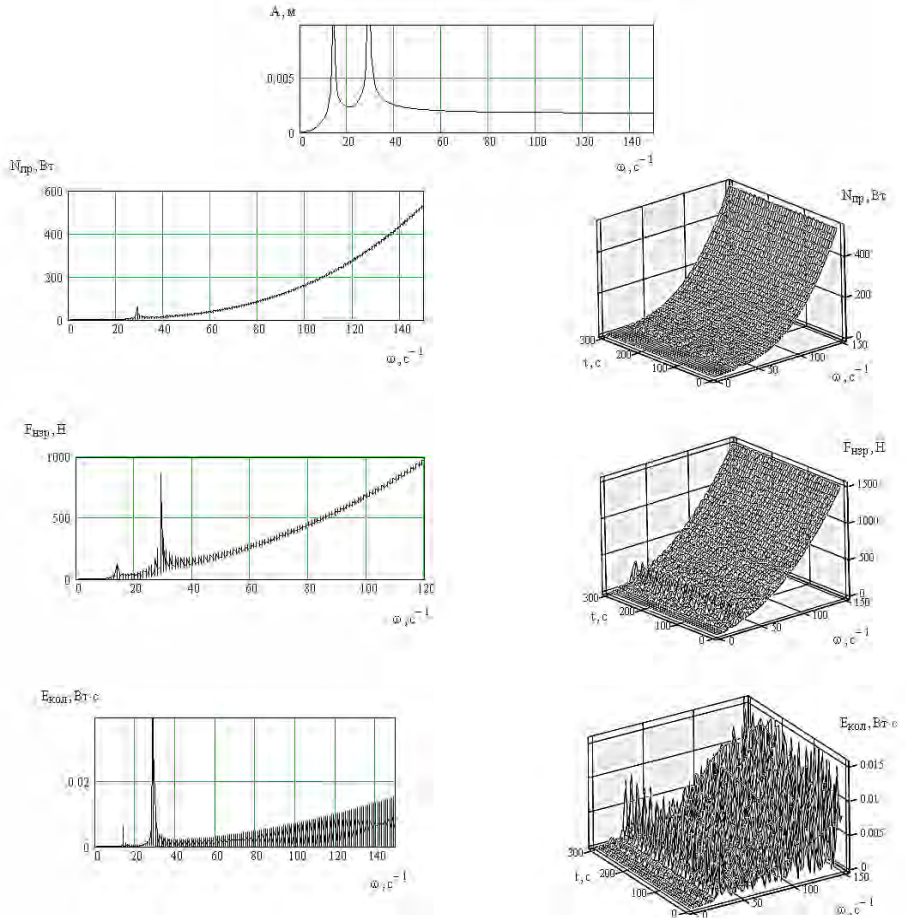


Рис. 7.8. Амплітудно-частотні $f = A(\omega)$, силові $f = F_{\text{нзр}}(\omega, t)$ та енергетичні $f = N_{\text{пр}}(\omega, t)$, $E_{\text{кол}}(\omega, t)$ характеристики дебалансного динамічного віброприводу машини з гнучким контейнером:
 A – амплітуда коливань робочого контейнера; $N_{\text{пр}}$ – потужність приводу;
 $F_{\text{нзр}}$ – незрівноважені зусилля, що навантажують опорні вузли;
 $E_{\text{кол}}$ – енергія коливальних мас

РОЗДІЛ 7

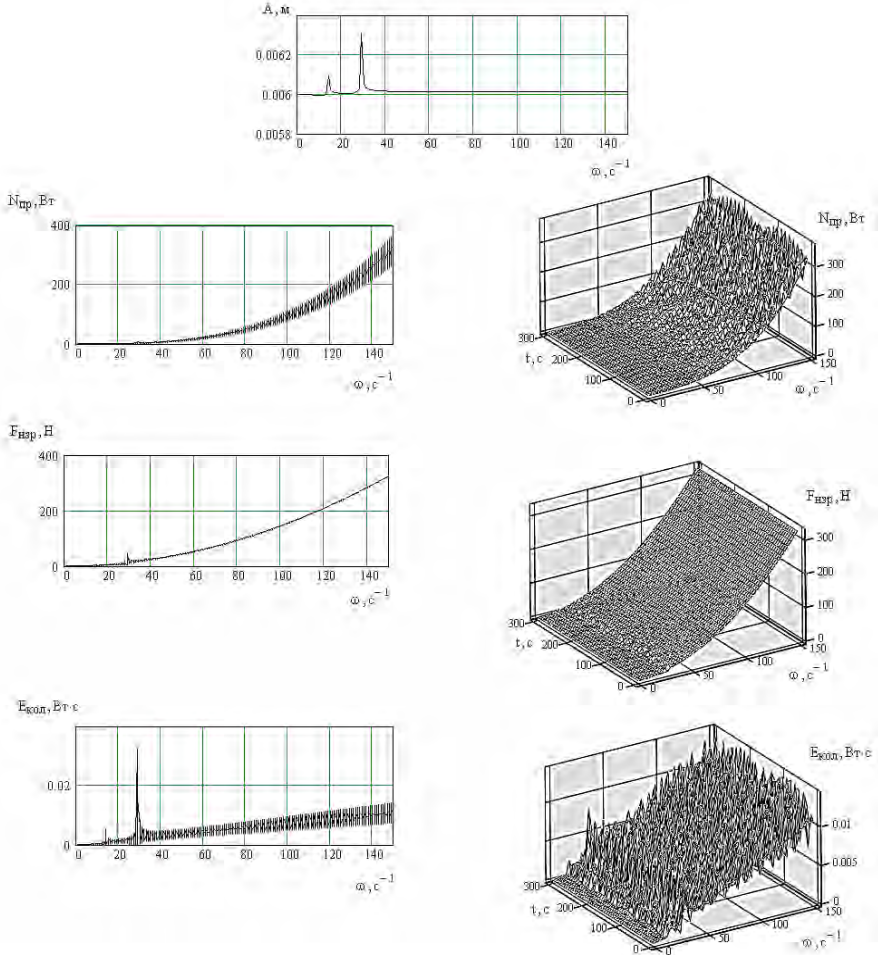


Рис. 7.9. Амплітудно-частотні $f = A(\omega)$, силові $f = F_{\text{нзр}}(\omega, t)$ та енергетичні $f = N_{\text{пр}}(\omega, t)$, $E_{\text{кол}}(\omega, t)$ характеристики комбінованого кінематичного віброприводу машини з гнучким контейнером:

A – амплітуда коливань робочого контейнера;

$N_{\text{пр}}$ – потужність приводу; $F_{\text{нзр}}$ – незрівноважені зусилля, що навантажують опорні вузли; $E_{\text{кол}}$ – енергія коливальних мас

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

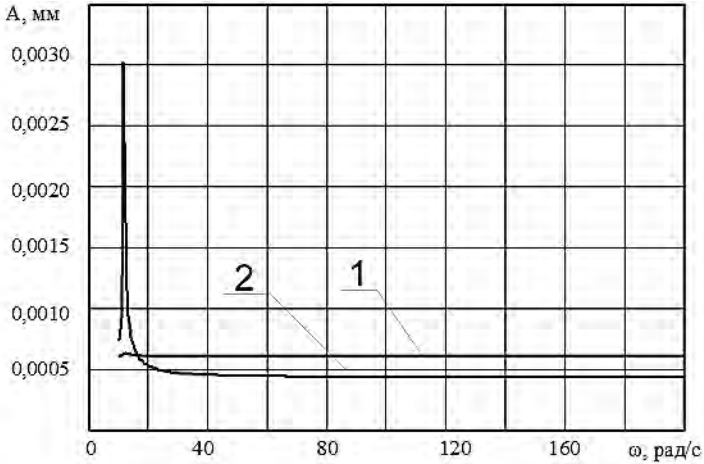


Рис. 7.10. Амплітудно-частотна характеристика дослідження приводів плоских коливань: 1 – комбінований кінематичний вібропривід; 2 – дебалансний динамічний вібропривід

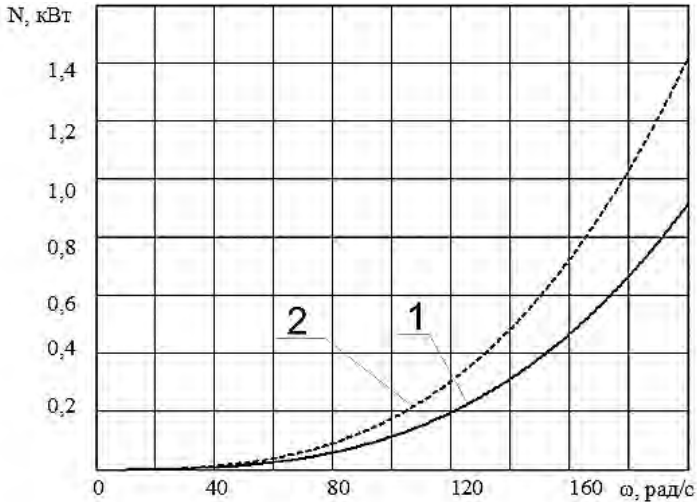


Рис. 7.11. Витрати потужності на привод досліджуваних віброзбуджувачів: 1 – комбінований кінематичний вібропривід; 2 – дебалансний динамічний вібропривід

РОЗДІЛ 7

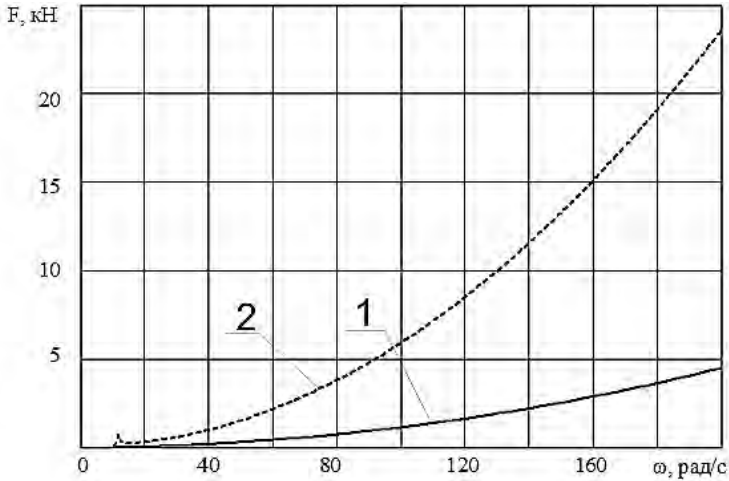


Рис. 7.12. Незрівноважені зусилля в досліджуваних віброприводах плоских коливань: 1 – комбінований кінематичний вібропривід; 2 – дебалансний динамічний вібропривід

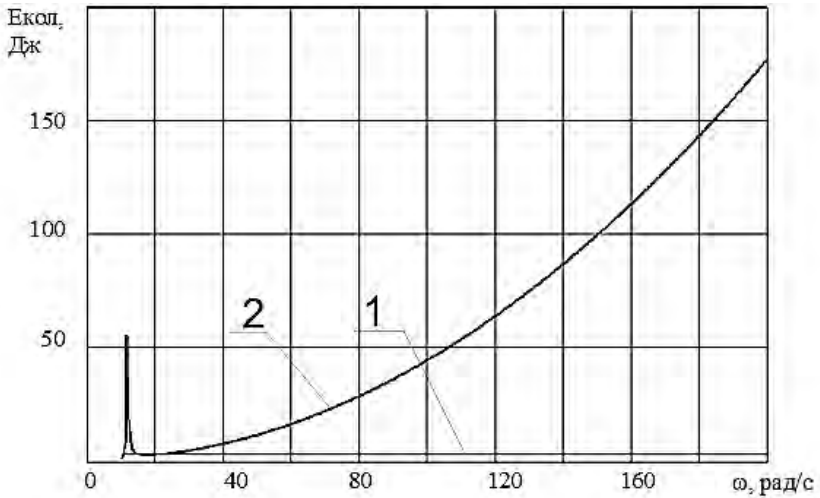


Рис. 7.13. Енергетична характеристика віброприводів плоских коливань: 1 – комбінований кінематичний вібропривід; 2 – дебалансний динамічний вібропривід

7.3 Обґрунтування робочих параметрів хвильового конвеєра для нагнітання в'язкопластичної сировини

Принципи, закладені в основу переважної більшості відомих машин і механізмів інтенсивної механічної дії, були відкриті більше півстоліття назад і в цей час можливості їхні роботи практично вичерпані. Тому увага конструкторів в останні роки звертається на нові напрямки розробок, одним із яких є створення машин і технологій, що використовують хвилеподібний рух, таких, як хвильові передачі та рушії, транспортери та хвильові насоси, віброконвеєрні транспортно-технологічні машини [1]. В основі їхньої дії лежить аналогічне хвильовому рух заданого профілю робочого елемента під дією зовнішніх механічних сил, або бігучими електричними або магнітними полями. Однак у цих розробках є значний розрив між кількістю винаходів і створених машин, що вказує на часту невідповідність конструкторського прогнозу їх динамічному руху. Ця обставина спонукає до розвитку теорії хвиль стосовно до типових робочих органів машин.

У той же час розвиток фізико-математичних основ теорії хвиль в елементах машин, виявлення й вивчення хвильових ефектів дозволяє не тільки правильно їх урахувувати при проектуванні, але й відкриває можливості для створення машин нового цільового призначення, що працюють на хвильових принципах.

При конструюванні машин основним засобом прогнозування динамічного руху технічних систем є чисельне моделювання на електронно-обчислювальних машинах, на шляху якого є наступні головні труднощі: постановка крайових завдань, коректно враховуючи сили взаємодії в рухомих спраженнях елементів машин; розробка методів їхнього рішення, що враховують саме ті хвильові ефекти, які визначають динамічний рух виконавчих органів машин.

Розробка адекватних методів рішення таких крайових завдань вимагає виявлення й вивчення досить повного набору

хвильових ефектів у пружних елементах машин. У пружних системах, описуваних рівняннями в частинних похідних четвертого (гнучкі коливання стрижнів, пластин), шостого (коливання кілець, оболонок) порядків і вище, вони мають специфічні особливості прояву й вимагають подальшого вивчення з метою правильного їхнього обліку. Зазначені ефекти можуть бути покладені в основу руху тіл, принципу дії машин, приладів і технологій.

При наявності біжучих поздовжньо-зміщених хвиль робочі органи машини здійснюють обертовий рух по еліптичних траєкторіях. Причому напрямок обертання залежить від напрямку поширення хвиль і порушеної форми коливань.

При поширенні пружних хвиль має місце перетворення їхньої енергії в енергію обертового руху. Це відкриває можливість створення заснованих на цьому ефекті приладів для індикації полів обертань і потоків вібрацій.

Одним з перспективних напрямів розвитку сучасних технологічних процесів у харчовій промисловості, які забезпечили б збільшення випуску харчових продуктів з одночасним підвищенням їхньої якості, є розробка й створення інтегральних технологій із застосуванням машин з м'якими, деформуючими, неметалічними, гнучкими робочими органами, що працюють на хвильових, вібраційно-хвильових і перистальтичних принципах [7, 8]. Коротко це можна сформулювати у вигляді трьох напрямків, що реалізують створення принципово нових харчових машин.

Першим напрямком є розробка й створення інтегральних технологічних процесів з використанням транспортно-технологічних машин.

Другим напрямком є розробка харчових машин, що відрізняються тим, що з метою збереження біологічної цінності сировини при переробці й об'єднання декількох технологічних операцій робочі органи таких машин виконуються з м'якого неметалічного матеріалу (наприклад, харчових полімерів) у формі ємності або каналу й забезпечуються механізма-

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

ми деформації робочого органа при використанні джерела хвильового й вібраційного впливу [9]. Механізми деформації робочого органа кінематично пов'язані з ним і розташовані таким чином, щоб додати йому необхідну геометричну форму, що реалізує хвильовий, віброхвильовий або перистальтичний принципи взаємодії робочого органа з рецептурою харчових продуктів.

Третім напрямом є розробка принципів узгодження роботи харчових машин, що відрізняються тим, що з метою надання машині нових або універсальних можливостей, спрощення її переналагодження на нові режими й рецептури, узгодження її роботи з іншими машинами в часі й просторі проводиться не на механічному, а на більш високих рівнях, наприклад електричному або електронному [10].

Пропоновані нові принципи узгодження роботи машин у самому широкому сенсі для харчового машинобудування являють собою основу найбільш природного й органічного методу розробки надійних і сумісних машин, як при їхній спільній роботі в єдиній технологічній лінії або різних технологічних лініях, так і при переході на нові рецептури харчових продуктів і технологічні режими. Машини з такими якостями можна віднести до машин нового покоління, у яких механіка, крім системи керування й регулювання, підкріплена «інтелектом» у вигляді електронно-обчислювальних машин з відповідним програмним забезпеченням [11].

Застосування хвильового принципу, наприклад, при створенні біжучої хвилі у середовищі виявляється малоефективним для організації ряду технологічних процесів або операцій з в'язко-пластичними середовищами. Для усунення зазначених труднощів запропоновано використати ефект перетворення пружно-пластичного опору в в'язке. Ефект спостерігається у випадку, якщо тілу, що рухається у в'язко-пластичному середовищі, надати додатково переміщення, що становить деякий кут з основним напрямком руху. Ефект пе-

ретворення в'язко-пластичного опору нагадує ефект перетворення сухого тертя.

Як додаткове переміщення стосовно до пружно-в'язко-пластичних середовищ запропоновано використати як односпрямоване, так і різноспрямоване вібраційне переміщення. При вібраційному переміщенні перевага віддається для неметалічних та гнучких робочих органів з технічних міркувань. При такому виборі виконавчим органам технологічної машини одночасно з основним низькочастотним хвилеподібним або хвильовим рухом великої амплітуди надається додатковий високочастотний коливальний рух малих амплітуд. Такі хвильові машини містять у собі складові хвильового й перистальтичного принципів дії. Для приведення неметалічних, гнучких, робочих органів в коливальний рух застосовуються відомі способи віброзбудження: кінематичний, динамічний, параметричний, автоколивальний, перші два з яких набули більш широкого розповсюдження.

При модельному представленні просування вмісту гнучкого контейнера як хвильового процесу під дією перистальтичних рухів середовище, що рухається по каналу гнучкого контейнера, будемо вважати в'язко-пластичним.

Внаслідок рефлекторних скорочень (деформації) стінок контейнера по них буде пробігати поверхнева хвиля, яка надаватиме додаткового руху середовищу, визначатиме форму і параметри цього руху [12].

Для вивчення такої хвилі була введена рухома і нерухома система координат $0, x, y, z$ та $0_1, x_1, y_1, z_1$ (рис. 7.14). Поверхнею хвилі заданої рівнянням в рухомих координатах $z_1 = f_1(x, y_1)$ [47], де $y_1 = f_2(x_1), \{x, y\}$ - область визначення z_1 ,

$$\begin{cases} x = a + x_1 \cdot \cos \alpha_1 + y_1 \cdot \cos \alpha_2 + z_1 \cdot \cos \alpha_3 \\ y = b + x_1 \cdot \cos \alpha_1 + y_1 \cdot \cos \alpha_2 + z_1 \cdot \cos \alpha_3 \\ z = c + x_1 \cdot \cos \alpha_1 + y_1 \cdot \cos \alpha_2 + z_1 \cdot \cos \alpha_3 \end{cases} \quad (7.36)$$

де $a, b, c, \alpha_i, \beta_i, \gamma_i (i = 1, 2, 3)$ – функції часу.

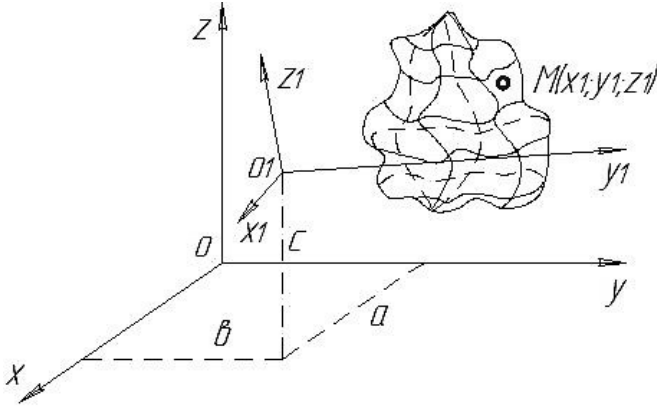


Рис. 7.14. Поверхнева хвиля деформації на поверхні гнучкого тягового органу.

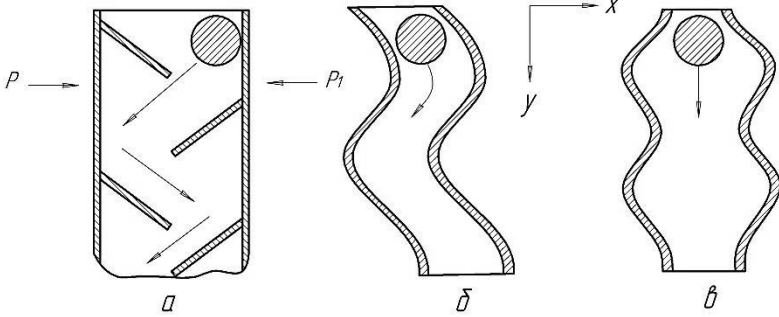


Рис. 7.15. Варіанти руху вмісту досліджуваного хвильового конвеєра

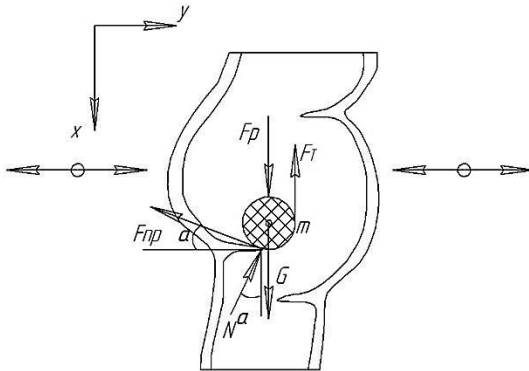


Рис. 7.17. Розрахункова схема системи переміщення вмісту гнучкого контейнера

РОЗДІЛ 7

Параметри a і b будуть обмежуватись розмірами гнучкої пружини в горизонтальному перерізі ; параметр c – відстанню між виступами всередині контейнера.

Якщо скорочення еластичних стінок відбувається з періодом T , то частота скорочень буде дорівнювати:

$$\nu = \frac{1}{T}; \quad \omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} \quad (7.37)$$

Тоді

$$\alpha_i = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t + \varphi_{1i}; \quad \beta_i = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t + \varphi_{2i}; \quad \gamma_i = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t + \varphi_{3i}, \quad i = 1, 2, 3 \dots \quad (7.38)$$

де $\varphi_{1i}, \varphi_{2i}, \varphi_{3i}$ – початкові фази руху середовища.

Рух матеріалу в такій порожнині можна розкласти на два рухи:

- перший рух нагадує переміщення поперечної хвилі в пружному середовищі (рис. 7.15, б).
- другий являє собою переміщення в умовах виникнення радіальної хвилі від перистальтичного руху (рис. 7.15, в).

Крім того наявність еластичних пальців (рис. 7.15, а) дозволяє ототожнити досліджуване переміщення з рухом по спіральним напрямним.

Розглянемо рух в'язко-пластичного середовища по каналу механізму у випадку, коли на нього діють: сила тяжіння G , сила внутрішнього тертя F_T , сила прилипання до стінок F_{np} , сила нормальної реакції з боку стінок N , а також сила тиску з боку стінок, що виникає внаслідок їх рефлекторних скорочень F_p (рис. 7.16).

Запишемо диференціальні рівняння руху елемента середовища в проекціях на координатні осі (вважаємо, що горизонтальний рух однаковий по всьому перерізу):

$$\begin{cases} m \ddot{x} = G - F_T - F_{np} \cdot \sin \alpha - N \cdot \cos \alpha + F_p \\ m \ddot{y} = N \cdot \sin \alpha - F_{np} \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (7.39)$$

Визначимо сили, які входять до системи рівнянь (7.39).

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

Сила тяжіння дорівнює

$$G = m \cdot g, \quad (7.40)$$

де m – маса середовища;

Силу внутрішнього в'язкого тертя знайдемо за формулою Стокса:

$$F_T = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot \dot{x}, \quad (7.41)$$

де η – в'язкість середовища

R – середній радіус елемента маси середовища;

\dot{x} – швидкість руху елемента середовища;

Силу прилипання знаходять за формулою:

$$F_{np} = \lambda \cdot S_k, \quad (7.42)$$

де λ – коефіцієнт прилипання;

S_k – площа контакту елемента середовища і стінки.

В загальному випадку прилипання до стінок включає в себе також тертя між середовищем і стінками, тому можна записати

$$F_{np} = f \cdot N,$$

звідки знайдемо нормальну реакцію стінок:

$$N = \frac{F_{np}}{f} = \frac{\lambda \cdot S_k}{f} \quad (7.43)$$

де f – коефіцієнт тертя матеріалу і стінок.

Сила F_p виникає в результаті зміни швидкості матеріалу від скорочення стінок конвеєру, тому

$$F_p = m \cdot \frac{\Delta v}{\tau}$$

де τ – час одного скорочення.

Дану зміну швидкості знайдемо із закону Бернуллі і рівняння нерозривності потоку середовища :

РОЗДІЛ 7

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = p_2 + \rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}; \quad (7.44)$$

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 ,$$

де p_1 – тиск на стінку до скорочення ;

p_2 – тиск на стінку під час скорочення ;

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}; S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} - \text{площі поперечного перерізу};$$

$\rho \cdot g \cdot h$ – статичний тиск на матеріал ;

ρ – густина матеріалу;

$v_1 = v_0$ – початкова швидкість матеріалу;

v_2 – кінцева швидкість матеріалу;

Перетворюючи формули (7.44) отримуємо:

$$\Delta v = \frac{\Delta p \cdot d_2^2}{\rho \cdot v_0 \cdot d_1^2} . \quad (7.45)$$

Таким чином

$$F_P = \frac{m \cdot \Delta p \cdot d_2^2}{\tau \cdot \rho \cdot v_0 \cdot d_1^2} . \quad (7.46)$$

Враховуючи отримані значення сил, рівняння (7.46) приймає вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{x} = g - \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R}{m} \cdot \dot{x} - \frac{\lambda \cdot S_k}{m} \cdot \sin \alpha - \frac{\lambda \cdot S_k}{m \cdot f} \cdot \cos \alpha + \frac{\Delta p_x d_2^2}{\tau \cdot \rho \cdot v_0 \cdot d_1^2} \\ \ddot{y} = \frac{\lambda \cdot S_k}{mf} \cdot \sin \alpha - \frac{\lambda \cdot S_k}{m} \cdot \cos \alpha + \frac{\Delta p_y d_2^2}{\tau \cdot \rho \cdot v_0 \cdot d_1^2} \end{cases}$$

або

$$\begin{cases} \ddot{x} + \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R}{m} \cdot \dot{x} = \frac{\Delta p_x d_2^2}{\tau \cdot \rho \cdot v_0 \cdot d_1^2} - \frac{\lambda \cdot S_k}{m} \cdot \left(\sin \alpha + \frac{\cos \alpha}{f} \right) \\ \ddot{y} + \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R}{m} \cdot \dot{y} = \frac{\Delta p_y d_2^2}{\tau \cdot \rho \cdot v_0 \cdot d_1^2} - \frac{\lambda \cdot S_k}{m} \cdot \left(\sin \alpha - \frac{\cos \alpha}{f} \right) \end{cases} \quad (7.47)$$

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

де α – кут нахилу виступів всередині конвєсера до горизонталі.

Виконуючи математичну обробку отриманих рівнянь руху використовуємо наступні значення представлених вище параметрів (табл. 7.2).

$$\begin{cases} \ddot{x} + \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R}{m} \cdot \dot{x} = \frac{\Delta p_x d_2^2}{\tau \cdot \rho \cdot v_0 \cdot d_1^2} - \frac{\lambda \cdot S_k}{m} \cdot \left(\sin \alpha + \frac{\cos \alpha}{f} \right) \\ \ddot{y} + \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R}{m} \cdot \dot{y} = \frac{\Delta p_y d_2^2}{\tau \cdot \rho \cdot v_0 \cdot d_1^2} - \frac{\lambda \cdot S_k}{m} \cdot \left(\sin \alpha - \frac{\cos \alpha}{f} \right) \end{cases} \quad (7.48)$$

$$\begin{cases} \ddot{x} + \alpha_x \cdot \dot{x} = a_x \cdot \sin(\omega \cdot t) - B_1 \\ \ddot{y} + \alpha_y \cdot \dot{y} = a_y \cdot \cos(\omega \cdot t) - B_2 \end{cases}$$

$$B_1 = \frac{\lambda \cdot S_k}{m} \cdot \left(\sin \alpha + \frac{\cos \alpha}{f} \right); \quad B_2 = \frac{\lambda \cdot S_k}{m} \cdot \left(\frac{\cos \alpha}{f} - \sin \alpha \right). \quad (7.49)$$

Таблиця 7.2

Вихідні дані для розрахунку руху робочої сировини

| №п/п | Параметри | Одиниці виміру | Величина |
|------|---|--------------------------------------|-----------------------|
| 1 | $\lambda = 2000$ | H/m^2 | коефіцієнт прилипання |
| 2 | $f = 0,15$ | | коефіцієнт тертя |
| 3 | $\alpha = 5^\circ$ | | кут нахилу |
| 4 | $m = 0,15$ | кг | маса |
| 5 | $\eta = 36$ | $\text{H} \cdot \text{с}/\text{m}^2$ | в'язкість середовища |
| 6 | $R = 0,028$ | м | радіус |
| 7 | $S_k = \pi \cdot R^2 \cdot l_k$ | m^2 | площа |
| 8 | $\Delta p_x = 490,3 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ | Па | тиск |
| | $\Delta p_y = 490,3 \cdot \cos(\omega \cdot t)$ | Па | тиск |
| 9 | $d_1 = 0,06$ | м | діаметр |
| 10 | $d_2 = 0,03$ | м | діаметр |
| 11 | $\rho = 600$ | $\text{кг}/\text{m}^3$ | густина |
| 12 | $v_0 = 0,011$ | м/с | швидкість |
| 13 | $\tau = 15$ | с | період |
| 14 | $\omega = 1,033$ | с^{-1} | кутова швидкість |

РОЗДІЛ 7

Розв'язуємо рівняння методом Коші для лінійного неоднорідного диференційного рівняння з постійними коефіцієнтами:

$$\ddot{x} + a_x \cdot \dot{x} = a_x \cdot \sin(\omega \cdot t) - B_1;$$

$$x = \bar{x} + x^* = A_1 + A_2 \cdot e^{-\alpha t} + \frac{a_x \cdot \omega}{\omega^2 - \alpha_x^2} \cdot \sin(\omega \cdot t) + \frac{a_x \cdot \alpha_x}{\omega^2 - \alpha_x^2} \cdot \cos(\omega \cdot t),$$

враховуючи початкові умови $\begin{cases} x_0 = 0 \\ \dot{x}_0 = 0 \end{cases}$.

Тоді шукане рівняння можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{a_x \cdot (\omega^2 + \alpha_x^2)}{(\alpha_x^2 - \omega^2) \cdot (1 + \alpha_x)}; \\ A_2 &= \frac{a_x \cdot (\omega^2 - \alpha_x^2)}{(\omega^2 - \alpha_x^2) \cdot (1 + \alpha_x)}. \end{aligned} \quad (7.50)$$

Підставляючи отримані вирази, шукане рівняння набуває вигляду:

$$\begin{aligned} x &= \frac{a_x \cdot (\omega^2 + \alpha_x^2)}{(\alpha_x^2 - \omega^2) \cdot (1 + \alpha_x)} + \frac{a_x \cdot (\omega^2 - \alpha_x^2)}{(\omega^2 - \alpha_x^2) \cdot (1 + \alpha_x)} \cdot e^{-\alpha t} + \\ &+ \frac{a_x \cdot \omega}{\omega^2 - \alpha_x^2} \cdot \sin(\omega \cdot t) + \frac{a_x \cdot \alpha_x}{\omega^2 - \alpha_x^2} \cdot \cos(\omega \cdot t) = \\ &= \frac{a_x}{(\alpha_x^2 - \omega^2) \cdot (1 + \alpha_x)} \cdot (\omega^2 + \alpha_x^2 - (\omega^2 - \alpha_x^2) \cdot e^{-\alpha t}) + \\ &+ \frac{a_x}{\omega^2 - \alpha_x^2} (\omega \cdot \sin(\omega \cdot t) + \alpha_x \cdot \cos(\omega \cdot t)) \end{aligned} \quad (7.51)$$

Аналогічно отримуємо рішення рівняння

$$\ddot{y} + \alpha \cdot \dot{y} = a \cdot \cos(\omega \cdot t) - B_2.$$

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{a_y}{(\omega^2 + \alpha_y^2)} \cdot e^{-\alpha_y t} + \frac{a_y \cdot \omega}{\omega \cdot (\omega^2 + \alpha_y^2)} \cdot \sin(\omega \cdot t) - \\
 &- \frac{a_y}{\omega^2 + \alpha_y^2} \cdot \cos(\omega \cdot t) = \qquad \qquad \qquad (7.52) \\
 &= \frac{a_y}{\omega^2 + \alpha_y^2} \left(e^{-\alpha_y t} + \frac{\alpha_y}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) - \cos(\omega \cdot t) \right)
 \end{aligned}$$

В результаті математичного аналізу у програмному середовищі MathCAD були отримані наступні графічні залежності (рис. 7.17, 7.18).

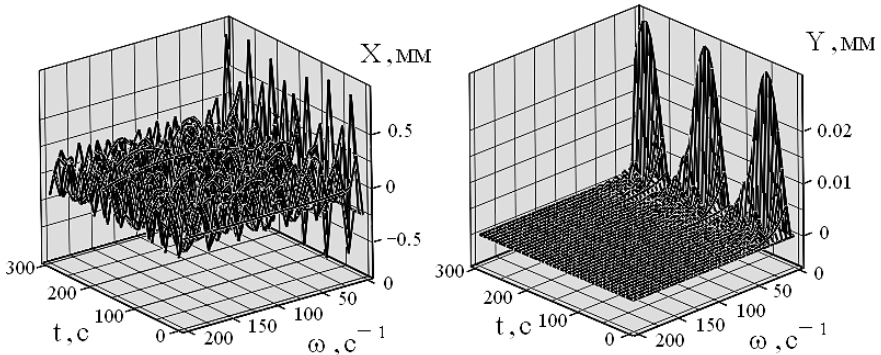


Рис. 7.17. Траекторія руху виконавчих органів машини

Таким чином, в ході дослідження динаміки конвеєрної вібромашини були отримані кінематичні, силові та енергетичні характеристики динамічного дебалансного віброприводу, що дозволяє вибрати ефективні режими роботи вібраційної установки з міркувань забезпечення найбільш інтенсивного режиму передачі інерційного імпульсу при помірних енерговитратах. Отримуваний інерційний режим має надати потрібний хвильовий руху стрічці та визначається амплітудно-частотними та силовими характеристиками обох віброзбуджувачів, які агреговані в опорних котках конвеєрної вібромашини.

РОЗДІЛ 7

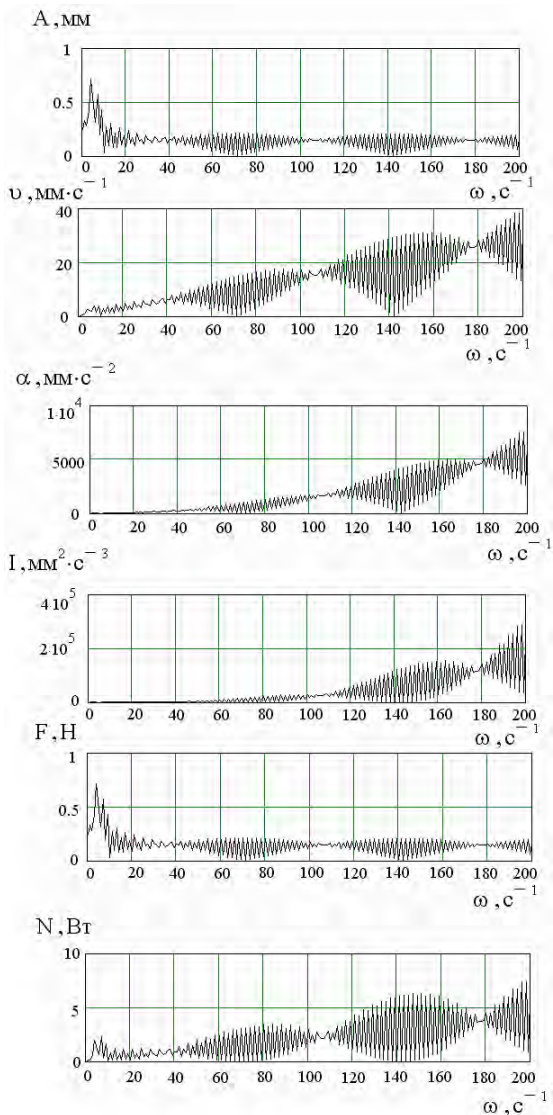


Рис 7.18. Амплітудно-частотні та енергетичні параметри хвильового конвеєра:

v – віброшвидкість; N – потужність приводного валу;
 α – віброприскорення; I – інтенсивність вібраційного поля;
 ω – кутова швидкість приводного валу машини

Література до розділу 7

1. *Берник П.С.* Конвеєрні вібраційні машини для оздоблювально-зміцнювальної обробки / П.С. Берник, І.П. Паламарчук. – К.: Вища школа, 1996 – 237с.

2. Пат. 63977 України . Вібраційний змішувач / М.П. Берник, І.П. Паламарчук, О.В. Цуркан // Бюл. – 2004. – № 2.

3. *Сергієв А.П.* Объемная вибрационная обработка деталей/ А.П. Сергієв. – М.: Наука, 1972. –128с.

4. *Серєда Л.П.* Разработка основ проектирования вибрационных машин для конвейерной обработки / Л.П. Серєда, П.С. Берник, И.П. Паламарчук // Вибрации в технике и технологиях.–1994-№ 1.–С.4-17.

5. *Паламарчук І.П.* Обоснование структурных составляющих виброконвейерной машины для поверхностной упрочняющей обработки рабочих органов сельскохозяйственных машин / І.П. Паламарчук, В.І. Драчишин, В.І. Паламарчук // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2014. Vol. 17. No.4. 132-141.

6. *Паламарчук І.П.* Науково-технічні основи розроблення енергозберігаючих вібромашин механічної дії харчових і переробних виробництв // Дисертація на здобуття наукового ступеня д.т.н. – Київ: НУХТ, 2008. – 479 с.

7. Берник П.С. Вибір схеми збудження коливань у вібромашинах з еластичними стінками / П.С. Берник, І.П. Паламарчук // Матеріали І міжвуз. НТК “Наука – ринковій економіці”. – Вінниця: ВДСГ, 1993. – С.99.

8. *Волик Г.Н.* Некоторые теоретические вопросы воздействия вертикальных вибраций на слой зернового материала и экспериментальные исследования / Г.Н. Волик // Проблемы сепарирования зерна и других сыпучих материалов. – М.: ВНИИЗ, 1963. – С. 37-39.

9. *Бандура В.М.* Оцінка дисипативних властивостей пружно-пластичної сировини в процесі обробки різанням / В.М. Бандура, І.П. Паламарчук // Вісник технологічного

університету Поділля. –Хмельницький.– 2002.– №1(38).– С.97-101.

10. *Чесноков В.М.* Теоретические и практические аспекты применения вибраций в мясной промышленности / В.М. Чесноков, А.В. Горбатов, А.В. Гноевой – М. – 1989. – 185 с.

11. *Гулий І.С.* Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / Гулий І.С., Пушанко М.М. [та ін.]. – Вінниця: Нова книга, 2001.– 576 с.

12. *Паламарчук І.П.* Обґрунтування робочих параметрів хвильового конвеєра для переміщення фаршу / І.П.Паламарчук, І.Г.Липовий // Вібрації в техніці та технологіях, 2007.– №4. – 49. – С. 50-55

РОЗДІЛ 8 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ РОЗРОБЛЕНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

Для прийняття раціонального та обґрунтованого рішення доцільно використовувати функціонально-вартісний аналіз, що об'єднує різні методи колективного аналізу систем, творчого пошуку, оптимізації та вибору рішень.

8.1 Розрахунок техніко-економічних параметрів

Визначаємо основні техніко-економічні параметри процесу сушіння та розраховуємо їх згідно з відомими методами розрахунку [142].

8.1.1 Складання балансу часу технологічного процесу

Загальний час роботи технологічної машини для інфрачервоного сушіння на протязі однієї зміни можна розділити на цикловий та позацикловий час. При цьому цикловий час вважаємо як структурну складову експлуатаційного часу виробничого обладнання, яка циклічно повторюється та характеризує основну технологічну дію на продукцію, а позацикловий – як час, необхідний для підготовки основного циклу обробки; який містить час на підготовку обладнання до експлуатації та робочого місця до та після змінного часу тобто на реалізацію підготовчо-заклучних операцій $t_{ПЗ}$, на простой через несправності або регульовальні роботи $t_{ПР}$, на відновлення працездатності обслуговуючого персоналу або так званий, фізіологічний час $t_{Ф}$.

Таким чином, можна записати, що

$$T_{ЗМ} = T_{Ц} + T_{ПЦ}, \quad (8.1)$$

де $T_{ЗМ}$ – час робочої зміни, який приймаємо $T_{ЗМ} = 8$ год;

РОЗДІЛ 8

$T_{Ц}$ – цикловий час; $T_{ПЦ}$ – позацикловий час.

Цикловий час можна розрахувати як

$$T_{Ц} = t_{Ц} \times Z_{Ц}, \quad (8.2)$$

де $t_{Ц}$ – час одного циклу обробки;

$Z_{Ц}$ – кількість робочих циклів.

Дані складові можна визначити за формулами:

$$t_{Ц} = t_{Р} + t_{Х}, \quad (8.3)$$

де $t_{Р}$ – робочий час, коли відбувається безпосередня обробка продукції;

$t_{Х}$ – холостий час на реалізацію завантажувально-розвантажувальних операцій:

$$t_{Х} = t_{ЗАВ} + t_{РОЗ} \quad (8.4)$$

де $t_{ЗАВ}$ – час на завантаження продукції,

$t_{РОЗ}$ – час на розвантаження продукції.

На основі експериментальних досліджень приймаємо, що $t_{Р} = 1$ хв.; $t_{Х} = 1$ хв. Тоді $t_{Ц} = 1 + 1 = 2$ хв.

Позацикловий час становить.

$$T_{ПЦ} = t_{ПЗ} + t_{Ф} + t_{ПР}. \quad (8.5)$$

Приймаємо $t_{ПЗ} = 10$ хв; $t_{Ф} = 60$ хв ; $t_{ПР} = 30$ хв. Тоді $T_{ПЦ} = 10 + 60 + 30 = 100$ хв.

Використовуючи формули (8.1) та (8.2) кількість циклів становить

$$Z_{Ц} = (T_{ЗМ} - T_{ПЦ}) / t_{Ц} = (8 \times 60 - 100) / 2 = 190.$$

8.1.2 Розрахунок продуктивності машини

Продуктивність машини за один цикл роботи $П_{Ц}$ можна визначити за формулою:

$$П_{Ц} = 60 \times V_3 \times \rho_{П} / t_{Ц} = 60 \times 0,0092 \times 650 / 2 = 179,4 \text{ кг/год}, \quad (8.6)$$

де $\rho_{П}$ – густина продукції. Для суміші, що обробляється, приймаємо $\rho_{П} = 630..650 \text{ кг/м}^3$.

V_3 – об'єм завантаження у робочій зоні стрічки:

$$V_3 = B_{СТ} \times l_{СТ} \times h_{П} = 0,245 \times 1,87 \times 0,02 = 0,0092 \text{ м}^3, \quad (8.7)$$

де $B_{СТ}$ – ширина стрічки, на якій транспортується продукція; $B_{СТ} = 0,245$ м;

$l_{СТ}$ – довжина стрічки; $l_{СТ} = 1,87$ м;

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ

h_{Π} – висота продукції на стрічці; $h_{\Pi} = 20$ мм.

Робоча площа стрічки складає $S_{\text{СТР}} = B_{\text{СТ}} \times l_{\text{СТ}} = 0,458$ м².

Приймаємо $\Pi_{\text{Ц}} = 180$ кг/год. Тоді змінна **продуктивність** технологічної машини становить:

$$\Pi_{\text{ЗМ}} = \Pi_{\text{Ц}} \times Z_{\text{Ц}} = 180 \cdot 190 = 34200 \text{ кг/год} . \quad (8.9)$$

8.1.3 Розрахунок витрат потужності на привід технологічної машини

Загальні витрати потужності на привід $N_{\text{ПР}}$ машини визначаються за формулою.

$$N_{\text{ПР}} = N \times k_3 / \eta , \quad (8.10)$$

де N – технологічна потужність машини, тобто потужність, що витрачається на безпосередню обробку продукції;

k_3 – коефіцієнт запасу потужності, який враховує необхідність здолання пускових навантажень при роботі машини. Орієнтовно можна прийняти $k_3 = 1,28$.

η – ККД приводу, який визначаємо в залежності від кінематичної схеми технологічної машини та її приводу [132]:

$$\eta = \eta_{\text{М}} = 0,99 \quad (8.11)$$

де $\eta_{\text{М}}$ – ККД сполучної пружної муфти; $\eta_{\text{М}} = 0,99$.

Технологічна потужність розробленої машини визначається як:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 ,$$

де N_1 – потужність, що необхідна для обертання приводних валів вібробуджувачів опорних котків;

N_2 – потужність, що витрачається при роботі випромінювачів;

N_3 – потужність, що витрачається при експлуатації вентиляторів для видалення вологого повітря.

Дані складові можна розрахувати за наступною методикою. Потужність N_1 , необхідну для обертання приводних валів вібробуджувачів розраховуємо за формулою:

$$N_1 = N_{F_{\text{max}}} = 416 \text{ Вт}, \quad (8.12)$$

де $N_{F_{\text{max}}}$ – потужність максимальної змушувальної сили, що визначається як:

РОЗДІЛ 8

$$N_{F_{\max}} = F_{\max 1} = F_{\max} \times \omega_1 \times r_1 = A \times m_{\text{КОЛ}} \times \omega^3 \times r_1 = 0,007 \times 5 \times 125,6^3 \times 0,006 = 416 \text{ Вт} \quad (8.13)$$

де F_{\max} – величина максимальної змущувальної сили, що утворюється при обертанні приводного валу вібробуджувача: $F_{\max} = A \times m_{\text{КОЛ}} \times \omega^2$;

ω_1 – кутова швидкість обертання приводного валу вібробуджувача;

$$\omega_1 = \pi \times \dot{n}_1 \times 1200/30 = 125,6 \text{ рад/с;}$$

A – амплітуда коливань котка; $A = 7$ мм;

$m_{\text{КОЛ}}$ – коливна маса, що дорівнює масі віброуючих котків та приводних валів вібробуджувачів:

$$m_{\text{КОЛ}} = 2 \times (m_{\text{ОК}} + m_{\text{ПР}} + 2 \times m_{\text{Д}}) = 2 \times (1,1 + 0,8 + 2 \times 0,3) = 2 \times (1,1 + 1,4) = 5 \text{ кг,}$$

де $m_{\text{ОК}}$ – маса опорного котка; $m_{\text{ОК}} = 1,1$ кг;

$m_{\text{ПР}}$ – маса приводного валу вібробуджувача, $m_{\text{ПР}} = 0,8$ кг;

$m_{\text{Д}}$ – маса дебаланса; $m_{\text{Д}} = 0,3$ кг;

r_1 – радіус приводного валу віброприводу; $r_1 = 0,006$ м.

Частоту обертання приводного валу приймаємо $\dot{n}_1 = 1200$ об/хв.

Потужність, що необхідна для експлуатації випромінювачів розраховуємо за формулою:

$$N_2 = N_{\text{ВИП}} \times Z_{\text{ВИП}} = 800 \times 3 = 2\,400 \text{ Вт,} \quad (8.14)$$

де $N_{\text{ВИП}}$ – номінальна потужність; $N_{\text{ВИП}} = 800$ Вт;

$Z_{\text{ВИП}}$ – кількість випромінювачів; $Z_{\text{ВИП}} = 3$;

Потужність, що витрачається при експлуатації вентиляторів розраховуємо за формулою:

$$N_3 = 2 N_{\text{ВЕНТ}} = 2 \times 30 = 60 \text{ Вт,} \quad (8.15)$$

де $N_{\text{ВЕНТ}}$ – потужність, що витрачається при роботі одного вентилятора; $N_{\text{ВЕНТ}} = 30$ Вт.

Тоді **загальні витрати потужності** на привод машини становитимуть:

$$N_{\text{ПР}} = (N_1 + N_2 + N_3) \times k_3/\eta = (416 + 2400 + 60) \times 1,27/0,99 = 3\,689,4 \text{ Вт.} \quad (8.16)$$

8.1.4 Визначення основних експлуатаційних витрат при роботі технологічної машини

Серед основних експлуатаційних витрат розробленої технологічної машини можна відзначити витрати на виготовлення машини, енерговитрати при її роботі та витрати на заробітну платню обслуговуючому персоналу.

Далі представлено **приклад розрахунку** вищезазначених параметрів.

Загальні витрати на виготовлення технологічної машини становлять:

$$B_3 = B_M + B_{\text{ВИГ}} + B_{\text{ДВ}} + B_{\text{ВЕН}} + B_{\text{ВИП}} + B_{\text{ОП.В}} \quad (8.17)$$

де B_M – вартість матеріалу на виготовлення машини;
 $B_M = 3370$ грн;

$B_{\text{ВИГ}}$ – вартість виготовлення та компонування машини
 $B_{\text{ВИГ}} = 12000$ грн;

$B_{\text{ДВ}}$ – вартість приводних двигунів; $B_{\text{ДВ}} = 2 \times 600 = 1200$ грн;

$B_{\text{ВЕН}}$ – вартість вентиляторів; $B_{\text{ВЕН}} = 2 \times 160 = 320$ грн;

$B_{\text{ВИП}}$ – вартість випромінювачів; $B_{\text{ВИП}} = 3 \times 500 = 1500$ грн;

$B_{\text{ОП.В}}$ – вартість матеріалу та виготовлення двох опорних вузлів машини; $B_{\text{ОП.В}} = 5500$ грн;

Витрати на матеріал B_M складають виходячи з наступних вихідних даних:

- кутник $50 \times 50 \times 4$, довжина 9 м = 558 грн.;
- кутник $32 \times 32 \times 3$, довжина 10,4 м = 342 грн.;
- труба $\varnothing 45$, довжина 5 м = 400 грн.;
- труба $\varnothing 40$, довжина 2 м = 127 грн.;
- смуга 20×4 , довжина 12 м = 169 грн.;
- лист г/к $2 \times 1000 \times 2000 = 624$ грн.;
- виготовлення верхньої кришки теплоізоляції 350 грн.;
- вартість теплоізоляції 150 грн.;
- вартість термостійкої стрічки 650 грн.

Отже, **загальні витрати на виготовлення** становлять:

$$B_3 = 3370 + 12000 + 1200 + 320 + 1500 + 5500 = \mathbf{23\ 790 \text{ грн.}}$$

Річні енерговитрати при експлуатації даної машини складають

$$B_{ЕН} = (N_{ІПР} \times t_{р.ЗМ} \times n_{ЗМ} \times n_{р}) \times C_{ЕН} = \\ = (3,6894 \times 6,5 \times 2 \times 258) \times 1,74 = 21\,529 \text{ грн.},$$

де $t_{р.ЗМ}$ – робочий час одної зміни;

$$t_{р.ЗМ} = T_{ЗМ} - t_{ІЦ} = 8 - 1,5 = 6,5 \text{ год};$$

$n_{ЗМ}$ – кількість змін; $n_{ЗМ} = 2$;

$n_{р}$ – кількість робочих днів на рік; $n_{р} = 258$;

$C_{ЕН}$ – вартість електроенергії; $C_{ЕН} = 1,74 \text{ грн./кВт}\cdot\text{год}$

Річні витрати на заробітну платню обслуговуючому персоналу становлять.

$$B_{ЗП} = B_{ЗПМ} \times n_{М} \times n_{ІПР} = 3450 \times 12 \times 1 = 41\,400 \text{ грн.} \quad (8.18)$$

де $B_{ЗПМ}$ – місячна заробітна платня працівникам, що обслуговують технологічну машину; $B_{ЗПМ} = 3450 \text{ грн.}$;

$n_{М}$ – кількість місяців на рік; $n_{М} = 12$;

$n_{ІПР}$ – кількість обслуговуючого персоналу; $n_{ІПР} = 1$.

Таким чином, загальні експлуатаційні витрати технологічної машини складають:

$$B_{ЕКС} = B_{З} + B_{ЕН} + B_{ЗП} = 23\,790 + 21\,529 + 41\,400 = 86\,819 \text{ грн.}$$

8.1.5 Оцінення ефективності представлених розробок

Аналіз техніко-економічних показників роботи віброхвильової інфрачервоної сушарки та базового обладнання показав, що в результаті приведених розробок має місце основний економічний ефект від зменшення металоємності конструкції та енерговитрат при її експлуатації за практично незмінної продуктивності.

В якості базового обладнання приймаємо найбільш близьку за технічною сутністю та механізмом реалізації до розробленої інфрачервону віброконвеєрну сушарку СВИК-100.

Загальний економічний ефект визначаємо як:

$$E = E_1 + E_2,$$

де E_1 – економічний ефект від зменшення металоємності конструкції досліджуваної машини;

E_2 – економічний ефект від зменшення енерговитрат при експлуатації даної машини.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ

Складові для розробленого обладнання визначаємо наступним чином:

$E_1 = (m_{\text{БАЗ}} - m_{\text{РОЗ}}) \times C_M = (550 - 120) \times 180 = 77\,400$ грн,
де $m_{\text{РОЗ}}$, $m_{\text{БАЗ}}$ – маса металу відповідно для розроблюваної та базової машини;

C_M – вартість металу; приймаємо $C_M = 180$ грн/кг.

$E_2 = B_{\text{ЕНБ}} - B_{\text{ЕН}} = 169\,476,2 - 21\,529 = 147\,947,2$ грн.
де $B_{\text{ЕНБ}}$ – вартість енерговитрат при річній експлуатації базової машини, що розраховується за тією ж методикою:

$B_{\text{ЕНБ}} = ((N_{1Б} + N_{2Б} + N_{3Б}) \times C_{\text{ЕН}}) \times t_{\text{р.ЗМ}} \times n_{\text{ЗМ}} \times n_{\text{р}} =$
 $= ((0,74 + 28 + 0,3) \times 1,74) \times 6,5 \times 2 \times 258 = 169\,476,2$ грн.

де $N_{1Б}$ – витрати потужності при роботі електродвигунів приводу базової машини; $N_{1Б} = 0,74$ кВт;

$N_{2Б}$ – витрати потужності при роботі випромінювачів базової машини; $N_{2Б} = 28$ кВт;

$N_{3Б}$ – витрати потужності при роботі вентиляторів базової машини; $N_{3Б} = 0,3$ кВт.

Таким чином, загальний економічний ефект від введених розробок складає

$$E = E_1 + E_2 = 77\,400 + 147\,947,2 = 225\,347,2 \text{ грн.}$$

Тоді **строк окупності** при впровадженні розробленого змішувача становить

$$T_{\text{ОК}} = B_{\text{ЕКС}} / E = 86\,819 / 225\,347,2 = 0,4 \text{ року}$$

Отримані техніко-економічні параметри для базового та розробленого обладнання зведено у таблицю 8.1.

8.2 Функціонально-вартісний аналіз

При проведенні функціонально-вартісного аналізу досліджувались основні характеристики інфрачервоних сушарок типу «Ураган», «УСК», УТЗ-4 «М-500», «СВИК» [102, 103, 104, 105] та розробленої на базі кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету віброхвильової конвеєрної інфрачервоної сушарки [116, 118].

РОЗДІЛ 8

Таблиця 8.1

Техніко-економічна ефективність розробленої інфрачервоної сушарки

| № п/п | Показники | Базової машини | Розробленої машини | Різниця, ± |
|-------|---|----------------|--------------------|-------------|
| 1 | Продуктивність машини, кг/год | 150 | 180 | +30 |
| 2 | Металоємкість конструкції, кг | 550 | 120 | - 430 |
| 3 | Енергоємність машини, Вт | 29 040 | 3 689,4 | +25 350,6 |
| 4 | Вартість енерговитрат, грн. | 169 476,2 | 21 529 | - 147 947,2 |
| 5 | Ефект від зменшення металоємності конструкції E_1 , грн | | 77 400 | |
| 6 | Ефект від економії енерговитрат E_2 , грн | | 147 947,2 | |
| 7 | Загальний очікуваний економічний ефект E , грн | | 225 347,2 | |
| 8 | Термін окупності T_{OK} , роки | | 0,4 | |

Сушарки типу «Ураган» виробляються компанією «ТехноАгроСервіс» з випромінювачами електричного або газового енергоносія у таких виконаннях:

- «Ураган»-100, 200;
- «Ураган XXI»-350Э, 350Г, 700Э, 700Г;
- «Торнадо XXI»-500Э, 500Г, 1000Э, 1000Г.

Установки «Ураган XXI» від «Торнадо XXI» відрізняються шириною конвеєрних стрічок (відповідно 1000 та 2000 мм) та габаритами по ширині.

Основні технічні характеристики сушарок типу «Ураган» представлені у таблиці 8.2.

**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА
ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ**

Таблиця 8.2

**Конструктивно-технологічні характеристики
інфрачервоних конвексних сушарок типу
«Ураган»-100 та «Ураган»-200**

| № | Характеристики сушарки | «Ураган»-100 | «Ураган»-200 |
|-----------------------------------|--|--|---|
| з електричним енергоносієм | | | |
| 1 | Продуктивність за випарною вологою, кг/год | 100 | 200 |
| 2 | Продуктивність для певного виду сировини до вологості 10%, кг/год: - для коренеплодів - для картоплі - для цибулі - для насінневої продукції - для кісточкової продукції - для бахчевих культур - для ягід - для круп - для м'яса, риби | 120 140 110 120 100 100 80 120 100 | 240 280 220 240 200 200 160 240 200 |
| 3 | Енергоспоживання при випаровуванні 1 кг води, кВт·год/кг | 1,0 | 1,2 |
| 4 | Установлена електрична потужність, кВт | 110 | 210 |
| 5 | Теплова потужність, кВт | 100 | 200 |
| 6 | Габаритні розміри, мм | 1700×4200×2400 | 1700×8500×2400 |
| 7 | Кількість стрічок | 3 | 3 |
| 8 | Ширина стрічки, мм | 1200 | 1200 |
| з газовим енергоносієм | | | |
| 1 | Продуктивність за випарною вологою, кг/год | 100 | 200 |
| 2 | Установлена електрична потужність, кВт | 10 | 10 |
| 3 | Теплова потужність, кВт | 100 | 200 |
| 4 | Витрати газу, м ³ /год | 11 | 22 |
| 5 | Габаритні розміри, мм | 2400×4200×2400 | 2400×8500×2400 |
| 6 | Кількість стрічок | 3 | 3 |

РОЗДІЛ 8

Типи установок сушильних конвеєрних УСК, що різняться за кількістю ярусів та відповідно продуктивністю, використовуються для високотемпературної обробки продукції (таблиця 8.3).

Таблиця 8.3

Основні конструктивно-технологічні характеристики сушарок типу УСК

| № | Характеристики | УСК-5 | УСК-7 | УСК-9 | УСК-15 |
|----|---|--------|-------|-------|--------|
| 1 | Продуктивність, кг/год | 100 | 150 | 225 | 300 |
| 2 | Кількість ярусів (стрічок) | 5 | 7 | 9 | 15 |
| 3 | Ширина стрічки, мм | 1200 | | | |
| 4 | Нагрівальних елементів, шт. | 55 | 77 | 99 | 165 |
| 5 | Потужність на 1 нагрівальний елемент, кВт | 0,6 | | | |
| 6 | Температура сушіння, °С (не більше) | 70 | | | |
| 7 | Номінальна потужність, кВт | 34 | 47 | 67 | 100 |
| 8 | Напруга/частота, В/Гц | 380/50 | | | |
| 9 | Висота сушарки, мм | 1840 | 2100 | 2365 | 2880 |
| 10 | Довжина сушарки, мм | 10100 | 10100 | 10400 | 10400 |

Установка УТЗ-4 «М-500» використовується для інфрачервоного сушіння високо вологих зернових, олійних та крохмаломістких культур (таблиця 8.4).

Технічні характеристики універсальної конвеєрної сушильної установки безперервної дії, що використовується для обробки як сипких, так і дрібнокускових мас, зокрема овочів, коренеплодів, фруктів, трав тощо, приведені у таблиці 8.5.

Вібраційні конвеєрні інфрачервоні сушарки (таблиця 8.6) є найбільш близькі за технічною сутністю до розробленої віброхвильової установки.

**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА
ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ**

Таблиця 8.4

**Основні конструктивно-технологічні характеристики
інфрачервоної сушарки УТЗ-4 «М-500»**

| № | Характеристики сушарки | Величина |
|----------|---|-----------------|
| 1 | Продуктивність за масою сировини вологістю до 42%, кг/год | до 500 |
| 2 | Продуктивність за вологою, що випаровується, л/год | до 170 |
| 3 | Інтервал зміни вологості, % | 42...14 |
| 4 | Тип інфрачервоного випромінювання | КГТ 380-3300 |
| 5 | Ширина стрічки, мм | 1670 |
| 6 | Площа робочої поверхні стрічки, м ² | 12 |
| 7 | Установлена потужність, кВт: - інфрачервоних випромінювачів - вентиляторів та електроприводів - калорифера | 160 5 24 |
| 8 | Габаритні розміри, мм | 4800×2100×2550 |
| 9 | Маса, кг | 1900 |

Таблиця 8.5

**Основні конструктивно-технологічні характеристики
універсальної інфрачервоної сушарки безперервної дії**

| № | Характеристики сушарки | модифікація 1 | модифікація 2 |
|----------|--|----------------------|----------------------|
| 1 | Продуктивність за випареною вологою, кг/год | 300 | 500 |
| 2 | Установлена потужність, кВт | 397 | 653 |
| 3 | Питома потужність на 1 кг випареної вологи, кВт/кг | 1...1,2 | 1...1,2 |
| 4 | Робоча площа стрічки, м ² | 48 | 80 |
| 5 | Кількість стрічок | 3 | 5 |
| 6 | Габаритні розміри, мм | 8100×2270×2400 | 8100×2270×3250 |

РОЗДІЛ 8

Таблиця 8.6

Основні конструктивно-технологічні характеристики вібраційних інфрачервоних сушарок типу «СВИК»

| Характеристики сушарки | СВИК -50 | СВИК -100 | СВИК -150 | СВИК -350 |
|--|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Продуктивність, кг/год - по вихідному продукту - по випареній волозі | 60 6...8 | 100 10...12 | 150 | 350 30...35 |
| Кількість касет інфрачервоних випромінювачів | 4 | 5 | 7 | 7 |
| Параметри касети: - кількість ламп - потужність, кВт | 4 4 | 4 4 | 4 4 | 7 7 |
| Установлена потужність, кВт: - інфрачервоних випромінювачів - приводів вібраційного конвеєра - вентиляторів | 16 0,74 0,3 | 20 0,74 0,99 | 28 0,74 0,3 | 49 0,75×2 0,68 |
| Температура нагріву матеріалів, не більше, °С | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Час термообробки, сек | 30...90 | | | |
| Частота коливань лотка конвеєра, Гц (кол/хв.) | 15(900)...25(1500) | | | |
| Габаритні розміри лотка, мм - довжина - ширина - висота | 2530 200 55 | 3170 200 55 | 3220 200 55 | 4100 350 55 |
| Габаритні розміри сушарки, мм - довжина - ширина - висота | 2768 764 136 | 3440 764 1170 | 3450 772 1250 | 4368 980 1340 |
| Маса, кг | 490 | 560 | 550 | 900 |

**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА
ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ**

Таблиця 8.7

**Основні конструктивно-технологічні характеристики
розробленої віброхвильової інфрачервоної сушарки**

| № | Характеристики сушарки | Величина |
|----------|--|-----------------|
| 1 | Продуктивність за випареною вологою, кг/год | 180 |
| 2 | Потужність на привод робочих органів машини, кВт | 0,145 |
| 3 | Теплова потужність випромінювача, кВт | 0,9 |
| 4 | Кількість випромінювачів | 3 |
| 5 | Робоча ширина стрічки, мм | 245 |
| 6 | Робоча площа стрічки, м ² | 0,458 |
| 7 | Час термообробки продукції, хв | 3 |
| 8 | Маса машини, кг | 120 |
| 9 | Собівартість установки, грн. | 23 790 |
| 10 | Габаритні розміри, мм | 2600×1100×1600 |

Використовуючи базу даних, розміщених у таблицях 8.2 – 8.7, створюємо вихідні дані для проведення функціонально вартісного аналізу інфрачервоних конвеєрних сушарок, що представлено у таблицях 8.8, 8.9.

Для порівняння окремих машин використовують узагальнюючі показники оцінки двох видів [142, 143, 144]. Обидва визначаються як середнє геометричне від окремих оціночних показників, але при визначенні одного із них враховують ступені вагомості окремих показників.

Саме такою методикою скористаємося для визначення узагальнюючих показників для п'яти груп сушарок: «УКСУ», «УСК», УТЗ «М-500», «СВИК». Із кожної групи сушарок вибираємо одну, що є найбільш близькою за технічною характеристикою до розробленої, та представимо їх параметри у табл. 8.8.

РОЗДІЛ 8

Таблиця 8.8

Основні характеристики альтернативних інфрачервоних конвеєрних сушарок для проведення їх функціонально-вартісного аналізу

| № | Характеристики сушарок | СВИК-150 | УКСУ | УСК-7 | УТЗ-4 «М-500» | Проект. ВХКІС |
|---|---|----------|------|-------|---------------|---------------|
| 1 | Продуктивність за вихідним продуктом кг/год | 150 | 300 | 150 | 450 | 180 |
| 2 | Робоча поверхня конвеєрної стрічки (лотка), м ² | 0,644 | 48 | 11,3 | 12 | 0,45 |
| 3 | Маса установки, кг | 550 | 2500 | 1500 | 1900 | 120 |
| 4 | Загальна експлуатаційна потужність, кВт | 29 | 397 | 47 | 189 | 3,7 |
| 5 | Орієнтовна вартість установки, тис. грн. | 200 | 680 | 350 | 510 | 11,54 |
| 6 | Загальний об'єм виробничого приміщення, що займає сушарка, м ³ | 3,33 | 44,1 | 42,42 | 25,71 | 4,58 |
| 7 | Час термообробки, хв. | 1,0 | 1,5 | 1,25 | 1,5 | 1,0 |
| 8 | Ширина стрічки (лотка), мм | 200 | 2000 | 1200 | 1670 | 240 |

В якості показників, для оцінення технічного рівня машин, були використані: питома продуктивність машин (кг/год·м²), питомі енерговитрати на привод (кВт·год/кг), експлуатаційна потужність, що припадає на одиницю маси машини (Вт/кг), вартість виробництва одиниці маси продукції за одиницю часу (грн.·год/кг), вартість використання експлуатаційної потужності (грн./Вт), питома металоємність (кг/м³), об'єм сушарки (м³) [145] (див. табл. 8.9).

**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА
ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ**

Таблиця 8.9

**Вихідні дані для функціонально-вартісного аналізу
альтернативних інфрачервоних конвеєрних сушарок**

| № | Характеристики сушарок | СВИК-150 | УКСУ | УСК-7 | УТЗ-4 «М-500» | Проект. ВХКІС |
|---|---|----------|--------|--------|---------------|---------------|
| 1 | Продуктивність за вихідною продукцією на одиницю робочої площі конвеєра P_s , кг/год·м ² | 232,9 | 6,25 | 13,3 | 37,5 | 400 |
| 2 | Експлуатаційна потужність, що приходить на одиницю маси машини N_m , Вт/кг | 52,7 | 158,8 | 31,3 | 99,5 | 30,8 |
| 3 | Витрати електроенергії на одиницю маси обробленої продукції E_{II} , кВт·год/кг | 0,193 | 1,32 | 0,313 | 0,42 | 0,02 |
| 4 | Вартість виробництва одиниці маси продукції за одиницю часу B_{II} , грн·год/кг | 1333,3 | 2266,7 | 2333,3 | 1133,3 | 52,2 |
| 5 | Вартість використання експлуатаційної потужності B_N , грн./Вт | 6,9 | 1,71 | 7,45 | 2,7 | 2,54 |
| 6 | Металоемкість сушарки на одиницю робочого об'єму m_v , кг/м ³ | 165,2 | 56,7 | 35,4 | 73,9 | 26,2 |
| 7 | Загальний виробничий об'єм сушарки, м ³ | 3,33 | 44,1 | 42,42 | 25,71 | 4,58 |

РОЗДІЛ 8

За першим способом узагальнюючий показник оцінення визначаємо таким чином:

$$D^I = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_n}, \quad (8.19)$$

де d_1, d_2, \dots, d_n – бажаності по окремо взятим i -м показникам:

$$d_i = \exp[-e^{-(x'_i - 4)}], \quad (8.20)$$

де x'_i – значення кожного i -го показника по шкалі x' .

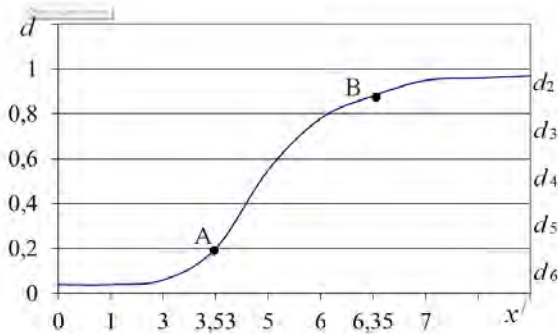


Рис. 8.1. Шкала значень коефіцієнта переваги (бажаності):

$d_1=1,0$ – максимально можливий рівень якості; $d_2=1,0 \dots 0,8$ – допустимий і відмінний; $d_3=0,8 \dots 0,6$ – допустимий і добрий; $d_4=0,6 \dots 0,37$ – допустимий і достатній; $d_5=0,38 \dots 0,2$ – небажаний рівень; $d_6=0,2 \dots 0,0$ – недопустимий.

Так як інтервали варіювання d_{\min} , d_{\max} (рис. 8.1) кожного показника залежать від його ступеня вагомості то:

- для питомої продуктивності $d_{\max}=0,7226$, $d_{\min}=0,6337$;
- для питомих енерговитрат $d_{\max}=0,7301$, $d_{\min}=0,6156$;
- для експлуатаційної потужності, що припадає на одиницю маси машини $d_{\max}=0,7042$, $d_{\min}=0,6471$;
- для вартості виробництва одиниці маси продукції за одиницю часу $d_{\max}=0,7316$, $d_{\min}=0,6138$;
- для вартості використання експлуатаційної потужності $d_{\max}=0,7415$, $d_{\min}=0,6003$;
- для питомої металоємності $d_{\max}=0,7105$, $d_{\min}=0,6399$;
- для об'єму сушарки $d_{\max}=0,7438$, $d_{\min}=0,5972$.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ

Значення показників x_i переносимо на безрозмірну шкалу x'_i з урахуванням масштабних лінійних коефіцієнтів:

$$M'_x = (x_{i\max} - x_{i\min}) / (x'_B - x'_A), \quad (8.21)$$

де $x_{i\max}$ і $x_{i\min}$ – відповідно максимальне і мінімальне значення окремих номінальних показників машин;

x'_B – значення безрозмірної шкали x'_i , яке відповідає $d_{\max}=0,91$;

x'_A – значення безрозмірної шкали x'_i , яке відповідає $d_{\min}=0,2$.

При цьому значення x'_A і x'_B визначаємо за формулами:

$$x'_B = 4 + [-\ln(-\ln d_{\max})], \quad (8.22)$$

$$x'_A = 4 + [-\ln(-\ln d_{\min})], \quad (8.23)$$

Кожне статистичне значення окремого показника оцінки машини x_i переводимо в масштабні значення шкали за формулами:

– для показників, збільшення яких покращує конкурентоздатність машини (продуктивність):

$$x'_i = x'_A + \frac{x_{ic} - x_{i\min}}{M'_x}, \quad (8.24)$$

– для показників, збільшення яких погіршує конкурентоздатність машини (питомі енерговитрати на привід, об'єм, який займає сушарка, металоємність машини):

$$x'_i = x'_B - \frac{x_{ic} - x_{i\min}}{M'_x}, \quad (8.25)$$

де x_{ic} – статистичне значення i -того показника.

Після чого знаходимо всі бажаності d_i за формулою (8.20), потім узагальнюючий D^I -й показник за формулою (8.19). Максимальне значення узагальнюючого показника відповідає кращому варіанту машини.

РОЗДІЛ 8

Аналогічно першому способу, при визначенні узагальнюючого показника другого виду кожний окремий показник перетворюємо в безрозмірну величину за наступними формулами:

– для показників, збільшення яких покращує конкурентоздатність машини (продуктивність):

$$d_i = d_{i_{\max}} + (d_{i_{\min}} - d_{i_{\max}}) \cdot (x_i - x_{i_{\max}}) / (x_{i_{\min}} - x_{i_{\max}}), \quad (8.26)$$

– для показників, збільшення яких погіршує конкурентоздатність машини (питомі енерговитрати на привід, об'єм, який займає сушарка, металоємність машини):

$$d_i = d_{i_{\max}} + (d_{i_{\min}} - d_{i_{\max}}) \cdot (x_i - x_{i_{\min}}) / (x_{i_{\max}} - x_{i_{\min}}), \quad (8.27)$$

де $x_{i_{\max}}$, $x_{i_{\min}}$ – граничні значення окремих показників;

$d_{i_{\min}}$, $d_{i_{\max}}$ – безрозмірні оцінки показника.

Для розрахунків ми прийняли $d_{i_{\max}} = 5$, $d_{i_{\min}} = 1$.

Узагальнюючу оцінку визначаємо як середнє геометричне окремих значень:

$$D^II = \sum_{i=1}^n a_i \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i^{a_i}}, \quad (8.28)$$

де a_i – ступінь вагомості i -го показника.

Ступінь вагомості показників визначаємо методом граничних і номінальних значень за формулою:

$$a_i = (1 - q_i) / \sum_1^n (1 - q_i), \quad (8.29)$$

де q_i – доля покращення i -го критерію в майбутньому,

$$q_i = P_{i_{2p}} / P_{i_{in}} \quad (8.30)$$

$$q_i = P_{i_{in}} / P_{i_{2p}} \quad (8.31)$$

де $P_{i_{2p}}$ – граничне (прогнозоване) значення показника по i -му критерію;

$P_{i_{in}}$ – номінальне значення показника по i -му критерію.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ

В залежності від напрямку покращення показника використовуємо ту чи іншу формулу для визначення q_i . Якщо у відповідності з вимогами технічного прогресу показник треба зменшити, (наприклад, питомі енерговитрати на привід, об'єм, який займає сушарка, металоємність тощо), то використовуємо формулу (8.30), якщо ці показники треба збільшити (як, наприклад, продуктивність), тоді використовуємо формулою (8.31).

В якості номінальних значень використовуємо середні статистичні значення показників, які досягнуті в період проведення оцінки технічного рівня та рівня якості машин.

Граничні значення показників визначаємо як найкраще значення даного показника для групи машин, яка оцінюється. В нашому випадку ступені вагомості показників визначаються за результатами оцінення тільки даної групи машин. У випадку оцінення іншої групи машин аналогічного технологічного призначення вони будуть мати інше значення.

Результати проведених розрахунків зведені в таблиці 8.10 – 8.12. В табл. 8.11, 8.12 наведені безрозмірні величини по окремим показникам та узагальнюючі показники кожної машини отримані в результаті обчислень за двома способами: в чисельнику – по першому способу (D^I), в знаменнику – по другому (D^{II}).

Отримані результати досліджень свідчать про те, що зроблена віброхвильова конвеєрна інфрачервона сушарка переважає існуючі сушарки за узагальнюючими показниками двох видів, що стало можливим завдяки використанню і реалізації безперервного режиму обробки за мінімальних енергота матеріаловитрат із забезпеченням рівномірності пошарової обробки зернової сировини.

Таблиця 8.10

Значення ступенів вагомості показників

| | | Техніко-експлуатаційні показники | | | | | | |
|--|--|---|---|---|--|---|--|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Варіант сушарки | Продуктивність за вихідною продукцією на одиницю робочої площі конвеєра, кг/год·м ² | Експлуатаційна потужність, що приходить на одиницю маси машини, Вт/кг | Витрати електроенергії на одиницю маси обробленої продукції, кВт·год/кг | Вартість виробництва одиниці маси продукції за одиницю часу, грн·год/кг | Вартість використання експлуатаційної потужності, грн/Вт | Металоємність сушарки на одиницю робочого об'єму, кг/м ³ | Загальний виробничий об'єм сушарки, м ³ | |
| | ВХКІС (розроблена) | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,5449 | 0,0000 | 0,4551 |
| | СВНК-150 | 0,0975 | 0,0970 | 0,2092 | 0,2243 | 0,1756 | 0,1964 | 0,0000 |
| | УКСУ | 0,1888 | 0,1546 | 0,1889 | 0,1874 | 0,0000 | 0,1032 | 0,1773 |
| | УСК-7 | 0,1994 | 0,003 | 0,1931 | 0,2016 | 0,1589 | 0,0536 | 0,1901 |
| УТЗ-4 «М-500» | 0,1683 | 0,1282 | 0,1768 | 0,1771 | 0,0681 | 0,1198 | 0,1616 | |
| Середнє значення ступеня вагомості для i-ї групи машин $d_{сер}$ | | 0,1308 | 0,0766 | 0,1536 | 0,1581 | 0,1895 | 0,0946 | 0,1968 |

**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА
ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ**

Таблиця 8.11

Безрозмірні та узагальнюючі показники якості II виду

| Варіант сушарки | Техніко-експлуатаційні показники | | | | | | | Узагальнюючі показники D | Рейтинг |
|-------------------|---|---|---|---|--|---|--|--------------------------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| | Продуктивність за вихідною продукцією на одиницю робочої площі кон-весра, кг/год·м ² | Експлуатаційна потужність, що приходить на одиницю маси машини, Вт/кг | Витрати електроенергії на одиницю маси обробленої продукції, кВт·год/кг | Вартість виробництва одиниці маси продукції за одиницю часу, грн·год/кг | Вартість використання експлуатаційної потужності, грн/Вт | Металоемність сушарки на одиницю робочого об'єму, кг/м ³ | Загальний виробничий об'єм сушарки, м ³ | | |
| ВХІС (розроблена) | 1 | 5,0000 | 5,0000 | 5,0000 | 4,4216 | 5,0000 | 4,8774 | 4,8611 | 1 |
| СВІК-150 | 2 | 3,3025 | 4,3156 | 4,4677 | 2,7535 | 1,0000 | 5,0000 | 2,8195 | 3 |
| УКСУ | 3 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,1168 | 5,0000 | 1,0000 | 1,5784 | 5 |
| УСК-7 | 4 | 1,0716 | 4,9844 | 4,0985 | 1,0000 | 1,0000 | 1,1648 | 1,6920 | 4 |
| УТЗ-4 «М-500» | 5 | 1,3175 | 2,8531 | 3,7692 | 3,1042 | 4,3101 | 3,6273 | 3,0070 | 2 |

Таблиця 8.12

Безрозмірні та узагальнюючі показники якості І виду

| | Техніко-експлуатаційні показники | | | | | | | Узагальнюючі показники D | Рейтинг |
|--------------------|--|---|---|---|--|---|--|-----------------------------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| Варіант сушарки | Продуктивність за вихідною продукцією на одиницю робочої площі конвеєра, кг/год·м ² | Експлуатаційна потужність, що приходить на одиницю маси машини, Вт/кг | Витрати електроенергії на одиницю маси обробленої продукції, кВт·год/кг | Вартість виробництва одиниці маси продукції за одиницю часу, грн/год/кг | Вартість використання експлуатаційної потужності, грн/Вт | Металоємність сушарки на одиницю робочого об'єму, кг/м ³ | Загальний виробничий об'єм сушарки, м ³ | | |
| ВХКІС (розроблена) | 1 0,7226 | 0,7042 | 0,7301 | 0,7316 | 0,7239 | 0,7105 | 0,7400 | 0,7232 | 1 |
| СВІК-150 | 2 0,6839 | 0,6950 | 0,7166 | 0,6693 | 0,6158 | 0,6399 | 0,7438 | 0,6794 | 3 |
| УКСУ | 3 0,6252 | 0,6471 | 0,6156 | 0,6176 | 0,7415 | 0,6960 | 0,5972 | 0,6469 | 5 |
| УСК-7 | 4 0,6271 | 0,7040 | 0,7069 | 0,6138 | 0,6003 | 0,7061 | 0,6042 | 0,6501 | 4 |
| УТЗ-4 «М-500» | 5 0,6337 | 0,6745 | 0,6981 | 0,6797 | 0,7204 | 0,6875 | 0,6694 | 0,6800 | 2 |

8.3 Перспективи технологічної реалізації

Технологічний процес переробки олійного насіння складається з двох етапів: підготовки насіння до добування олії і добування олії.

Підготовка насіння до добування включає в себе такі операції: очищення насіння від сміття, сушіння насіння. До добування олії відносять наступні операції: форпресове видалення олії, екстракційне видалення олії, очищення олії від різних домішок та транспортування олії в склад готової продукції.

Розроблена віброхвильова сушарка може виконувати операцію сушіння і транспортування уже висушеного зерна на форпресове видалення олії (рис. 8.2).

Однією із перспектив використання олії, зокрема ріпакової, є виробництво біодизельного пального [1 – 4]. Метилові ефіри жирних кислот з олії ріпаку (RME) є першим видом біодизельного палива, яке виробляють в світі з 1988 р. Виробництво біодизпалива з рослинних олій методом етерифікації, схематично складається з трьох етапів:

1. Вирощування, збирання та завезення сировини на заводі з виробництва рослинної олії.
2. Пресування насіння з метою отримання рослинної олії.
3. Етерифікація рослинної олії, в результаті якої отримується біодизель.

Збільшення обсягів використання біопалива є пріоритетним напрямом розвитку енергетики країни. Від впровадження і розвитку альтернативних та відновлюваних джерел енергії залежить і майбутнє України. Одним із готових джерел сконцентрованої енергії є рослинні олії й продукт їхньої переробки – біодизель.

РОЗДІЛ 8

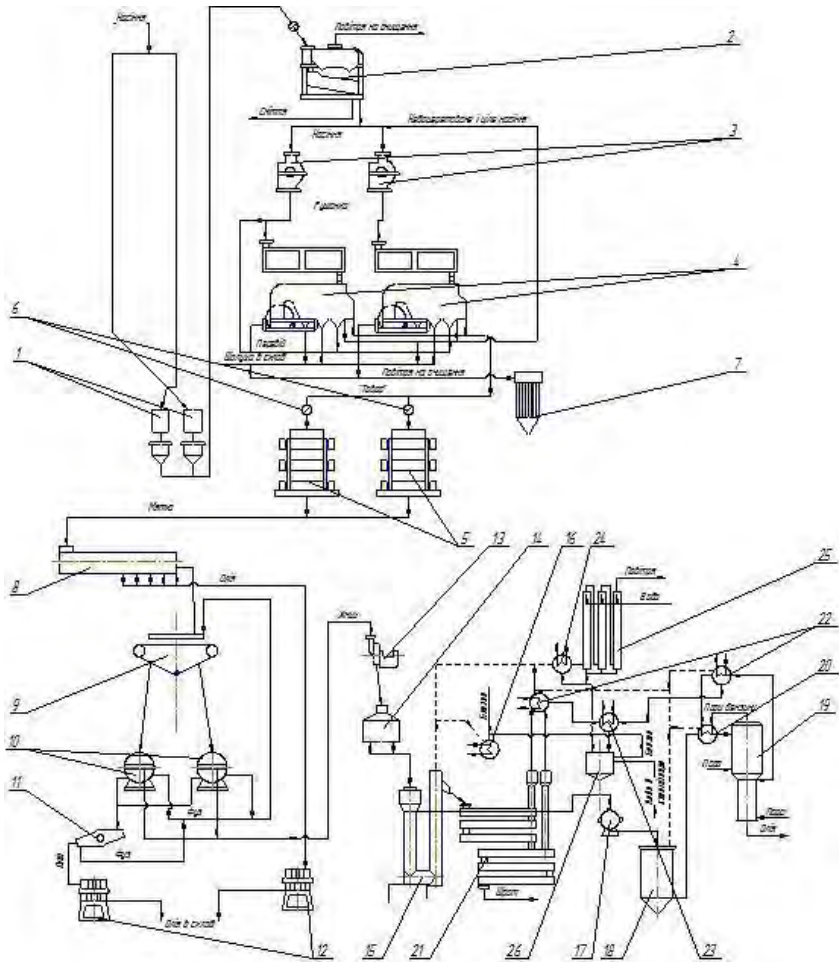


Рис. 8.2. Технологічна схема виробництва олії:

1 – автоматичні ваги, 2 – сепаратор, 3 – шеретувальна машина, 4 – аспіраційна віяльна машина, 5 – п'ятивальцевий верстат, 6 – магніти, 7 – рукавний фільтр, 8 – транспортер, 9 – сушарка, 10 – форпрес, 11 – вібраційне сито, 12 – фільтрпрес, 13 – дробарка для мезги, 14 – двопарна плющилка, 15 – екстрактор безперервної дії, 16 – бензопідігрівник, 17 – фільтр для міцели, 18 – міцелозбірник, 19 – дистильатор безперервної дії, 20 – міцелопідігрівник, 21 – шнековий випарник, 22 – конденсатор для пари бензину і води, 23 – охолоджувач конденсату, 24 – конденсатор для повітряно-газової суміші, 25 – дефлегматор, 26 – водовідділювач.

РОЗДІЛ 8

Чиста олія надходить до ємності для зберігання Б2 (7), а залишковий макух направляється в ємність для відходів. За допомогою насоса Н1 олія потрапляє до фільтра Ф1 (8), де очищається від грубих небажаних домішок, які потім опиняються у ємності для відходів Б3 (9). Олія насосом Н2 перекачується до фільтра Ф2 (10), де вона очищається від тонких домішок. За допомогою насоса Н3 очищена олія спрямовується до ємності Б7 (21) для тимчасового зберігання, після чого олія потрапляє до реактора РО (11) для очищення від мила. Потім олія насосом Н4 перекачується у ємність Б6 (12) для зберігання.

У реактор-змішувач РК (2) подається необхідна кількість метанолу з ємності Б5 (1) та лужного катализатора з ємності Б4 (3). Відбувається процес підготовки розчину катализатора у метанолі, з ємності Б6 (12) подається рослинна олія до реактора Р1 (14), туди ж закачують розчин катализатора. Відбувається перша ступінь трансестерифікації. Далі реакційна суміш перекачується до реактора-відстійника РВ (15), де відбувається розділення гліцеринової та ефірної фаз. Неочищений гліцерин відправляють у ємність Б7 (16), а забруднені метилові ефіри жирних кислот перекачують у другий реактор РМ (17). У ньому відбувається очистка біодизеля від метанолу за допомогою пропускання крізь шар рідини повітря. Пари метилового спирту проходять крізь холодильник, конденсуються в уловлювачі та направляються до ємності Б8 (20) для зберігання.

Дану технологічну схему лінії виробництва біодизеля можна повністю укомплектувати сучасним вітчизняним обладнанням, що випускають машинобудівні заводи для ліній очищення рослинних олій. Лише необхідна його деяка конструкційна зміна з урахуванням фізико-хімічних властивостей сировини та технологічних аспектів одержання біодизеля.

Періодичний процес метанолізу з лужним катализатором у реакторах із перемішувачем і нагрівачем пристроями – це

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ

найпростіший та найпоширеніший варіант виробництва біодизеля.

У процесі виробництва біодизельного палива можна виділити окремі операції: трансестерифікація, розділення ефірної та гліцеринової фаз, видалення метанолу. Тільки з урахуванням у технологічній схемі всіх цих операцій кінцевий продукт – біодизель – буде відповідати вимогам стандартів.

При виробництві біодизеля особливу увагу потрібно звернути на етапи формування якості і собівартості біопалива. Зокрема, це етапи, пов'язані з вирощуванням біомаси, її збиранням, первинною переробкою і зберіганням, виробництвом рослинної олії, її естерифікацією, очищенням біодизельного пального.

Кожен з вказаних етапів виробництва дизельного біопалива доцільно регламентувати нормативами. Так, при вирощуванні біомаси та її збиранні необхідно забезпечити застосування ресурсозберігаючих технологій вирощування, збирання врожаю, зменшення втрат на 10...20%, а також освоїти нові олійні культури, зниження собівартості сировини до 40%. Наприклад, при виробництві олії потрібно досягти її густини на рівні 900...930 кг/м, кислотного числа не більше 2 мг КОН/г, вмісту фосфору не більше 12 мг/кг, золи не більше 0,01%, а метанового числа не менше 39. Невиконання нормативних вимог веде до зниження якості біодизеля, а витрати при цьому тільки зростають.

В цьому напрямку діяльності науковцями України розроблено технологію виробництва біодизельного пального з декількох видів олійних культур. Спільно з вітчизняними машинобудівними заводами запропоновано відповідне устаткування технологічних ліній (з очищенням біодизельного пального на рівні європейських норм).

Література до розділу 8

1. *Друкований, М.Ф.* Комплекс технологій по переробці ріпаку в біодизель / М.Ф. Друкований, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук // Збірник наукових праць ВДАУ. Випуск 42, том 3. Матеріали МНТК «Земля України – потенціал енергетичної та екологічної безпеки держави» Вінниця. 2009. - С. 34-40.
2. *Друкований, М.Ф.* Апарати для переробки олії в біодизель / М.Ф. Друкований, В.М. Бандура, О.М. Друкований, В.І. Паламарчук // Збірник наукових праць ВДАУ. – 2009. № 2. – С. 69-73.
3. *Друкований, М.Ф.* Вібраційна технологія очистки олії від мила при виробництві біодизелю / М.Ф. Друкований, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук // Вібрації в техніці та технологіях. №1(61). Вінниця, 2011 - С.114-120.
4. *Друкований, М.Ф.* Розвиток комплексу біотехнологій – головний шлях розвитку біоенергетики України / М.Ф. Друкований, І.В. Мазур, В.І. Паламарчук // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: 2011 Вип.39, том 2. – С. 205-208.
5. *Le Tu Thanh* Catalytic Technologies for Biodiesel Fuel Production and Utilization of Glycerol / Le Tu Thanh, Kenji Okitsu, Luu Van Boi, Yasuaki Maeda // *Catalysts* 2012, 2, 191-222.
6. *Demirbas, A.* Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. *Appl. Energy* 2009, 86, S108–S118.
7. *Georgogianni, K.G.* Biodiesel production: Reaction and process parameters of alkali-catalyzed transesterification of waste frying oils / Georgogianni, K.G.; Kontominas, M.G.; Tegou, E.; Avlonitis, D.; Gergis, V // *Energy Fuels* 2007, 21, 3023–3028.
8. *Eisentraut, A.* Technology Roadmap Biofuels for Transport / Eisentraut, A.// International Energy Agency: Paris, France, 2011; p. 12.

9. *Balat, M.* A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel / Balat, M.; Balat, H. // *Energy Convers. Manag.* 2008, 49, 2727–2741.

10. *Maeda, Y.* New technology for the production of biodiesel fuel / Maeda, Y.; Thanh, L.T.; Imamura, K.; Izutani, K.; Okitsu, K.; Boi, L.V.; Lan, P.N.; Tuan, N.C.; Yoo, Y.E.; Takenaka, N. // *Green Chem.* 2010, 13, 1124–1128.

11. *Jain, S.* Biodiesel production from *Jatropha curcas* oil / Jain, S.; Sharma, M.P. // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2010, 14, 3140–3148.

12. *Leung, D.Y.C.* Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production / Leung, D.Y.C.; Guo, Y. // *Fuel Process. Technol.* 2006, 87, 883–890.

13. *Ghanei, R.* Variation of physical properties during transesterification of sunflower oil to biodiesel as an approach to predict reaction progress / Ghanei, R.; Moradi, G.R.; TaherpourKalantari, R.; Arjmandzadeh, E. // *Fuel Process. Technol.* 2011, 92, 1593–1598.

14. *Vujicic, D.* Kinetics of biodiesel synthesis from sunflower oil over CaO heterogeneous catalyst / Vujicic, D.; Comic, D.; Zarubica, A.; Micic, R.; Boskovic, G. // *Fuel* 2010, 89, 2054–2061.

15. *Rashid, U.* Production of biodiesel through base-catalyzed transesterification of safflower oil using an optimized protocol / Rashid, U.; Anwar, F. // *Energy Fuels* 2008, 22, 1306–1312.

16. *Thanh, L.T.* A two-step continuous ultrasound assisted production of biodiesel fuel from waste cooking oils: A practical and economical approach to produce high quality biodiesel fuel / Thanh, L.T.; Okitsu, K.; Sadanaga, Y.; Takenaka, N.; Maeda, Y.; Bandow, H. // *Bioresour. Technol.* 2010, 101, 5394–5401.

17. *Kouzu, M.* Calcium oxide as a solid base catalyst for transesterification of soybean oil and its application to biodiesel production / Kouzu, M.; Kasuno, T.; Tajika, M.; Sugimoto, Y.; Yamanaka, S.; Hidaka, J. // *Fuel* 2008, 87, 2798–2806.

18. *Trentin, C.M.* Continuous production of soybean biodiesel with compressed ethanol in a microtube reactor using carbon dioxide as co-solvent / Trentin, C.M.; Lima, A.P.; Alkimim, I.P.; da Silva, C.; de Castilhos, F.; Mazutti, M.A.; Oliveira, J.V. // *Fuel Process. Technol.* 2011, 92, 952–958.

19. *Freedman, B.* Transesterification kinetics of soybean oil / Freedman, B.; Butterfield, R.O.; Pryde, E.H. // *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1986, 63, 1375–1380.

20. *Meher, L.C.* Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review / Meher, L.C.; Sagar, D.V.; Naik, S.N. // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2006, 10, 248–268.

21. *Georgogianni, K.G.* Transesterification of soybean frying oil to biodiesel using heterogeneous catalysts / Georgogianni, K.G.; Katsoulidis, A.P.; Pomonis, P.J.; Kontominas, M.G. // *Fuel Process. Technol.* 2009, 90, 671–676.

22. *Antunes, W.M.* Transesterification of soybean oil with methanol catalyzed by basic solids / Antunes, W.M.; Veloso, C.O.; Henriques, C.A. // *Catal. Today* 2008, 133–135, 548–554.

23. *Verziu, M.* Sunflower and rapeseed oil transesterification to biodiesel over different nanocrystalline MgO catalysts / Verziu, M.; Cojocar, B.; Hu, J.; Richards, R.; Ciuculescu, C.; Filip, P.; Parvulescu, V.I. // *Green Chem.* 2008, 10, 373–381.

24. *Clucci, J.A.* Biodiesel from an alkaline transesterification reaction of soybean oil using ultrasonic mixing / Clucci, J.A.; Borrero, E.E.; Alape, F. // *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2005, 82, 525–530.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано світові тенденції виробництва олії з соняшнику, сої, ріпаку та інших енергетичних культур та перспективи її використання при створенні альтернативних джерел енергії, у переробних та харчових виробництвах.

2. Визначено, що одним із сучасних ефективних способів сушіння даної сировини є застосування інфрачервоного опромінення та обґрунтовано доцільність використання в досліджуваних процесах віброконвеєрних систем, що дозволяє разом з інтенсифікацією обробки забезпечити пошарову рівномірність температурного поля в масі сипкої продукції.

3. Результати експериментальних досліджень інфрачервоного сушіння насіння сої та ріпаку з нерухомим, рухомим та псевдозрідженим шаром сировини виявили підвищення швидкості обробки для останнього у 1,9 рази за оптимальних умов рівномірності теплового контакту та нівелювання перегріву поверхневого шару.

4. Обґрунтовано математичну модель процесу віброконвеєрного хвильового інфрачервоного сушіння з деформованим вантажонесучим органом, за якої наявність двох дебалансних віброзбуджувачів з гнучким зв'язком між собою дозволило реалізувати комбіновану незрівноваженість коливної системи та відповідно можливість хвильового транспортування без істотних механічних навантажень на опори конструкції. Реалізація такої схеми дозволяє збільшити швидкість транспортування продукції на поверхні хвильового конвеєра на 29% порівняно із моментною та на 46% порівняно із силовою незрівноваженістю; підвищення енерговитрат на привод відповідно на 8% та 19%.

5. На основі математичного аналізу динамічної моделі вібраційного приводу хвильового конвеєра були отримані аналітичні та графічні залежності для основних параметрів вібрації та траєкторії руху виконавчих органів машини; амплітудно-частотні та енергетичні характеристики машини, що

дозволили оцінити ефективні з техніко-економічних міркувань теоретичні режими вібраційної обробки; режим транспортування за рахунок руху за правим динамічним гвинтом.

6. Визначено залежності для основних кінематичних, силових, енергетичних та теплофізичних параметрів досліджуваного процесу, що дозволило провести багатофакторне планування експерименту, техніко-економічний та функціонально-вартісний аналіз розроблених процесів та обладнання, підтверджуючи їх високий рейтинг серед існуючих аналогів за конкурентоспроможністю.

7. Математичне моделювання процесу інфрачервоного сушіння в умовах рухомого шару сировини дозволило скласти критеріальне рівняння тепломасообміну та обґрунтувати методику оцінки робочих режимів обробки оліємісткої сировини та рекомендації до проектування досліджуваних транспортно-технологічних систем.

8. Обґрунтовано методику розрахунку вібраційних технологічних та транспортно-технологічних машин, що поєднує послідовність визначення кінематичних, силових та енергетичних параметрів вібрації; врахування впливу руху технологічного середовища, закономірностей поглинання енергії в системі та визначення величини енергії дисипації.

9. Оцінення техніко-економічних показників роботи розробленої віброхвильової інфрачервоної сушарки та базового обладнання показав, що має місце основний економічний ефект від зменшення металоємності конструкції та енерговитрат при її експлуатації за практично незмінної продуктивності.

Національний університет біоресурсів
і природокористування України

Паламарчук Ігор Павлович,
доктор технічних наук, професор

Друкований Михайло Федорович
доктор технічних наук, професор

Паламарчук Владислав Ігорович,
кандидат технічних наук

Бурова Зінаїда Андріївна,
кандидат технічних наук

**ВІБРОМЕХАНІЧНА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ
ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ОЛІЄМІСТКОЇ
СИРОВИНИ**

монографія

Художнє оформлення Паламарчук В.І.
Комп'ютерна верстка Бурова З.А.

Формат 60×84/16. Тираж 300 пр. Ум. друк. арк. 22,2. Зам. № 1111
Видавець і виготовлювач ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ»
03151, Київ, вул. Предславинська, 28
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єкта видавничої справи ДК № 4131 від 04.08.2011 р.