

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою СГМ
к.т.н., професор
_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ
“ ____ ” _____ 2024 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

«Механізація переробки насіння соняшнику з удосконаленням
сушильного агрегату»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи АІ-23М-2
ОПП «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
_____Гурко Андрій Васильович
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____Дмитро БОГАТИРЬОВ
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент
доцент, канд. техн. наук
_____Олександра БІЛОВОД
« ____ » _____ 2024 р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

Галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма ОПП «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« » 2024 року

**ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Гурко Андрій Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Механізація переробки насіння соняшнику з удосконаленням сушильного агрегату
2. Керівник роботи
Богатирьов Дмитро Володимирович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 01.12.2024 р.
4. Мета та завдання дипломної роботи (проекту) є підвищення ефективності післязбирального обробітку соняшнику за рахунок удосконалення сушильного агрегату
5. Перелік графічного матеріалу 1.Операційна карта (ф. А1); 2 Технологічна карта (ф. А1); 3-4 Дослідна частина (2 листа ф. А1); 5 Загальний вигляд (ф. А0); 6 Модернізований вузол (ф. А1); 7 Деталювання (разом ф. А1). Всього 7 арк. ф. А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-6	Богатирьов Д.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	до 1.11.24 р.	
2	Технологічна частина	20.11.2024 р.	
3	Наукова частина	27.11.2024 р.	
4	Охорона праці	28.11.2024 р.	
5	Економічна частина	28.11.2024 р.	
6	Висновок	28.11.2024 р.	
7	Виконання графічної частини роботи	Після виконання відповідних розділів	
8	Нормоконтроль	Згідно графіку захисту	
9	Захист дипломної роботи		

Дата видачі завдання
«___» _____ 2024 р.

Підпис керівника _____

Богатирьов Д.В.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2024 р.

Підпис здобувача _____

Гурко А.В.
(прізвище та ініціали)

[illegible]

[illegible]

[illegible]

ВСТУП

Сушіння — основна технологічна і дуже відповідальна операція щодо приведення насіння сільськогосподарських культур до стійкого стану для подальшого зберігання та обробітку. Тільки після того, як із свіжозібраної зернової маси видалено всю надлишкову вологу і зерно доведено до сухого стану, можна розраховувати на подальшу надійну збереженість продукції. Відомо, що в сухій зерновій масі всі живі компоненти, крім шкідників та комах, перебувають в анабіотичному стані. Зберігання насіння сухим — основний захід підтримання високої життєдіяльності насіння в зернових партіях усіх культур, а також якості продовольчого насіння протягом тривалого строку зберігання.

Усі способи сушіння насіння враховують сорбційні та інші його властивості. Зерно як об'єкт сушіння — це живий організм з капілярно-пористою структурою. Плодові оболонки насіння пронизані капілярами, тому є проникними для пари води. Насінні оболонки й алеїроновий шар, навпаки, відносно слабкі для пари води і за неправильного режиму сушіння можуть бути причиною здуття насіння, спричиненого затримкою видалення водяної пари, яка накопичилась всередині ендосперму.

Сушіння — це також складний технологічний тепло- та масообмінний процес, який повинен забезпечити збереженість усіх властивостей речовин у зерні, що можливо за умови дотримання оптимальних параметрів цього процесу. Так, під час сушіння постійно змінюються термодинамічні й теплофізичні властивості насіння, зокрема теплоємність і теплопровідність. Тому необхідно суворо дотримувати рекомендованих режимів сушіння насіння кожної культури залежно від його вологості та цільового призначення.

					СП 00.000 ПЗ			
Зм	Арк	Нодокум.	Підпис	Дата				
Розр.	Гурко				Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.	Богатирьов						6	53
						ЦНТУ, гр. АІ-24М-2		
Н.контр.	Мачок							
Затв.	Васильковський							

Застосовують три способи сушіння (зневоднення) насіння: теплове (в тому числі вакуумне); сорбційне (контактне); механічне (відтискання, центрифугування). Найчастіше практикують теплове сушіння, рідше — сорбційне, а механічне — тільки у мийних машинах на борошномельних заводах. Під час теплового сушіння рідина перетворюється на пару, на що витрачається теплова енергія. При сорбційному сушінні волога із насіння може видалятися як у пароподібному, так і в рідкому стані, причому цей процес не пов'язаний з необхідністю використання додаткового джерела енергії.

Серед численних способів теплового сушіння, які різняться способом передачі теплоти зерну, найпоширеніший конвективний. За та ким принципом працюють шахтні, рециркуляційні, барабанні, стрічкові та інші типи сушарок.3

Під час сушіння насіння відбуваються такі фізичні явища: передача теплоти від агента сушіння до насіння; рух вологи з централь них шарів насіння до поверхневих; випаровування вологи з поверхні насіння та дифузія її в навколишнє середовище; переміщення вологи при наявності температурного градієнта з потоком теплоти внаслідок термовологопровідності.

Ефективність процесу сушіння залежить від товщини шару насіння та частоти його переміщування. При температурі насипу 25 - 30 °С його треба переміщувати, оскільки нагрівання його верхнього шару призводить до інтенсивного випаровування вологи, внаслідок чого виникає різниця температур між верхнім нагрітим і нижнім холодним шарами. Тепле повітря вологомістке, однак при зіткненні з холодним зерном вологоємність його знижується й утворюється конденсаційна волога.

Метою магістерської роботи є спроба розробити зерносушарку для раціонального використання в умовах реального агропідприємства.

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Вибір і обґрунтування технології переробки сировини у готовий продукт

2.1.1. Розрахунок пропускної здатності елеватора

Вихідними даними для розрахунку пропускної здатності, проектного елеватора є його задана продуктивність.

Для розрахунку кількості зернової суміші, що підлягає обробці на зерноочисно-сушильному пункті, необхідно врахувати середню початкову вологість $\omega_{\text{сер}}$ насіння, а також середній відносний вміст $\lambda_{\text{сер}}$ насіння в зерновій масі, що надходить із комбайнів.

При розрахунку по середній початковій вологості $\omega_{\text{сер}}$ вага зернової маси G_1 підлягаючій обробці на пункті, буде

$$G_1 = G_{\text{в}} \frac{100 - \omega_{\text{к}}}{100 - \omega_{\text{сер}}},$$

де $\omega_{\text{к}}$ – кондиційна вологість, $\omega_{\text{к}} = 13\%$;

$\omega_{\text{сер}}$ – середня вологість, $\omega_{\text{сер}} = 19\%$;

$G_{\text{в}}$ – обсяг випускаємої продукції, 17697 пл.т.

$$G_1 = G_{\text{в}} \cdot \frac{100 - \omega_{\text{к}}}{100 - \omega_{\text{сер}}} = 176970 \cdot \frac{100 - 13}{100 - 19} = 181339,63 \text{ ц}$$

2.1.2. Розробка технологічної схеми обробки насіння

При розробці технологічної схеми обробки насіння виходимо із природно-кліматичних умов району, де знаходиться підприємство, а також призначення зернового матеріалу - продовольче зерно або насіннєве.

У великих підприємствах з великою розрахунковою пропускною здатністю пункту рекомендується будувати роздільні потокові лінії для обробки продовольчого й насінного насіння.

Для доведення зернового матеріалу, що надходить з-під комбайнів на пункт, до кондиції державного стандарту по чистоті й вологості в умовах районів з підвищеною вологістю технологічний процес обробки насіння

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розробляємо за наступною схемою: зважування, первинна обробка (провітрювання, очищення), сушіння, вторинна обробка (очищення, сортування), зважування сухого очищеного насіння.

При сприятливих погодних умовах частина насіння, що надходить на пункт, може не вимагати штучного сушіння. Тому технологічна схема повинна передбачати можливість обробки насіння без сушіння або можливість використання сушарки без працюючої топки.

Таким чином, при розробці технологічної схеми обробки насіння передбачено наступні три основних варіанти:

первинне очищення – попередній прогрів насіння - сушіння - вторинне очищення;

первинне очищення - попередній прогрів насіння - подвійне сушіння - вторинне очищення;

первинне очищення - вторинне очищення.

Всі подальші розрахунки виконуються за першим варіантом.

2.2. Обґрунтування засобів механізації і розрахунок потреби обладнання для виконання технологічних процесів переробки сировини з розробкою технологічної карти

2.2.1 Вибір і розрахунок необхідної кількості машин й устаткування

При проектуванні зерноочисно-сушильних пунктів вибираємо й розраховуємо необхідну кількість зерноочисних машин і сушарок, а також місткостей для прийому зернового матеріалу, збору й тимчасового зберігання його після первинного очищення перед сушінням, відлежування насіння після первинного сушіння, збору сухого очищеного насіння після остаточного очищення й сортування і.т.д.

Визначаємо необхідну продуктивність машин для первинного очищення, сушіння й вторинного очищення після сушіння, виходячи з наступних міркувань.

Нехай G_B – загальна кількість зернової маси в ц, що повинне надійти на пункт із посівних площ господарства; ω_k й $\omega_{сер}$ – кондиційної й середня

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахункова вологості насіння, %; t_k – час роботи машини, год; k – коефіцієнт використання часу роботи машини; $\lambda_{\text{сер}}$ – середній відносний зміст насіння в зерновій суміші після комбайнів.

Продуктивність машини для первинної обробки зернової суміші буде (за умови потоковості процесу збирання)

$$Q_1 = \frac{G_s \cdot (100 - \omega_k)}{10 \cdot t_k \cdot k_1 \cdot \lambda_{\text{сер}} \cdot (100 - \omega_{\text{сер}})} \text{ (т/год)}$$

$$Q_1 = \frac{17697 \cdot (100 - 17)}{10 \cdot 15 \cdot 0,9 \cdot 0,72 \cdot (100 - 19)} = 186,56 \text{ (т/год)}$$

Визначаємо необхідну кількість зернових сепараторів ЗСМ – 100

$$N_c = \frac{Q_1}{Q_c} = \frac{186,56}{100} = 1,865, \text{ приймаємо 2 шт.}$$

де Q_c – продуктивність сепаратора (при вологості до 20%), $Q_c = 10 \text{ т/год}$;

Для зерносушильної частини елеватора при пропуску протягом доби продуктивність визначаємо за формулою:

$$Q_2 = \frac{G_s \cdot (100 - \omega_k)}{10 \cdot t_c \cdot k_2 \cdot \lambda'_{\text{сер}} \cdot (100 - \omega_{\text{сер}})}$$

$$Q_2 = \frac{176970 \cdot (100 - 11)}{10 \cdot 24 \cdot 248 \cdot 0,98 \cdot 0,95 \cdot (100 - 17)} = 35,3 \text{ (т/год)}$$

Так як паспортна продуктивність сушарки становить після модернізації становить 5 (т/год), то приймаємо кількість сушарок 1 шт.

Продуктивність машини для остаточного очищення й сортування сухого насіння при тім же числі годин роботи в добу обмежена продуктивністю зерносушарки. Тому необхідну сепараторів визначаємо в залежності від продуктивності сушарки.

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо необхідну кількість зернових сепараторів шафового типу ЗЗСШ – 20:

$$N_c = \frac{Q_3}{Q_{зш}} = \frac{35,5}{20} = 1,775, \text{ приймаємо } 2 \text{ шт.}$$

де $Q_{зш}$ – продуктивність сепаратора (при вологості до 20%), $Q_{зш} = 20\text{т/год}$;

Ємність пристроїв для прийому зернової суміші, збору й тимчасового зберігання її після первинного сушіння, для відлежування насіння повинні забезпечувати безперебійну роботу пункту з обліком прийнятого технологічного процесу обробки насіння.

Мінімальна ємність приймальних бункерів для насіння, що доставляється автомобільним та залізничним транспортом:

- для автомобільного

$$V_1 \geq V_a = \frac{Q_a}{\gamma} = \frac{12000}{760} = 15,7 \approx 16\text{м}^3,$$

- для залізничного

$$V_2 \geq V_z = \frac{Q_z}{\gamma} = \frac{96000}{760} = 127\text{м}^3,$$

де Q_a , Q_z – вантажопідємність вантажної машини (середня) та одного залізничного вагону, кг;

γ – густина зернової суміші, кг/м^3 .

Визначаємо ємність збірного бункера для насіння після первинного очищення:

$$V_3 = \frac{G_s \cdot \lambda_{сеп}}{10 \cdot \gamma' \cdot \lambda'_{сеп}} - \frac{Q_2 \cdot t_k \cdot k_1}{\gamma' \cdot k_2} - V_c,$$

$$V_3 = \frac{176970 \cdot 0.72}{10 \cdot 820 \cdot 10^{-3} \cdot 0.95} - \frac{35.3 \cdot 15 \cdot 0.9}{820 \cdot 10^{-3} \cdot 0.98} - 9080 = 16350 - 600 - 9080 = 6670\text{м}^3$$

де γ' – густина зернової суміші, т/м^3 ;

V_c – об'єм зон сушіння, м^3 .

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1.

Механізація технологічних процесів базової і вдосконаленої технології

№ п/п	Найменування технологічних процесів	Базова технологія	Вдосконалена технологія
1	2	3	4
1.	Розвантаження автомобільного транспорту	автопогрузчик ГУАР-30	автопогрузчик ГУАР-30
2.	Розвантаження залізничного транспорту	інерційний розавантажувач вагонів ІМР-4	інерційний розавантажувач вагонів ІМР-4
3.	Зважування зернової маси	ДН-1000	ДН-1000
4.	Транспортування до сепараторів	НЦ-2х100	НЦ-2х100
5.	Первинне очищення насіння	сепаратор ЗСМ- 100	сепаратор ЗСМ- 100
6.	Транспортування до збірному бункера	НЦ-2х100	НЦ-2х100
7.	Зберігання у збірному бункері	ХЕ-160	ХЕ-160
8.	Подача насіння до попереднього сушіння	-	НЦ-350
9.	Попереднє сушіння	-	ЗПА-5
10.	Подача насіння у зерносушарку на сушіння	НЦ-350	НЦ-350
11.	Сушіння насіння	Т-662	ЗПА-5
12.	Подача насіння у сепараторів вторинної очистки	НЦ-350	НЦ-350
13.	Вторинне очищення	А1-БМС-6	ЗСП-20
14.	Подача насіння до елеватора	НЦ-2х100	НЦ-2х100
15.	Зберігання у елеватора	Елеватор ємністю 4,2 тис. тонн	Елеватор ємністю 4,2 тис. тонн

Визначаємо річний обсяг роботи кожного виду обладнання за наступною формулою:

$$Q^{pic}_j = Q_j \cdot T_{зм} \cdot n \cdot D_j,$$

де Q_j – годинна продуктивність машини, т/год;

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$T_{зм}$ – тривалість зміни, год;

n – кількість змін;

D_j – кількість днів, протягом яких повторюється j -та операція.

На елеваторі агропідприємства очисні машини, транспортуючі та дозуючі пристрої для очищення працюють одну зміну, а для тих, що використовуються для забезпечення протікання процесу сушіння – цілодобово.

При виборі технологічного та енергетичного обладнання перевагу віддаємо тим технічним засобам, які найякісніше забезпечують виконання заданої роботи у повній відповідності до агротехнічних вимог даного процесу (операції); мають достатню продуктивність і можливість використання не лише як окремої машини, а й у складі потокових технологічних ліній, пристосованих до умов автоматизованого управління; відрізняються відносно низькими метало- та енергоємністю, вищою надійністю і довговічністю, простотою конструкції в процесі експлуатації, а також кращою ремонтоздатністю.

Тривалість роботи кожного технічного засобу t_d протягом доби дорівнює;

$$t_o = \frac{Q^{доб}}{Q_e}$$

Годинну експлуатаційну продуктивність засобу Q_e визначаємо за формулою:

$$Q_e = \frac{Q_m \cdot t_p}{t_{сум}}$$

де Q_m — нормативна продуктивність засобу (відповідно до технічної характеристики); t_p — час операційної роботи, год.

Сумарний час зайнятості машини $t_{сум}$, год, який розраховуємо так:

$$t_{сум} = t_p + t_{п}$$

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де t_n — тривалість простоїв через технічні несправності та час, що затрачається на технічне обслуговування, год, становить для зернопереробної галузі приблизно 15—20 % t_p .

Отже експлуатаційну продуктивність стаціонарних засобів механізації визначаємо за формулою:

$$Q_c = (0,8 \dots 0,85) Q_m.$$

Затрати праці за добу, (люд. — год.) визначаємо за формулою:

$$\dot{O}_{npj} = \frac{G_s \cdot q_j}{D_j},$$

де q_j — питома річна трудомісткість роботи j — того обладнання на виконання основних операцій віднесена до одиниці продукції, люд. — год./т — рік.

Таблиця 2.2.

Технологічна карта виробництва запланованої продукції на агропідприємстві ФОП «Бондаренка В. С.» запроектованої потужності

№ п / п	Найменування технологічних процесів	Кількість днів за рік	Обсяг робіт			Технічні засоби		Тривалість робочого часу за добу, год	Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	Затрати праці за добу, люд.-год.	Затрати праці за рік, люд.-год.
			одиниця вимір	за добу	за рік	тип і марка	кількість				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	2
1.	Розвантаження автомобільного транспорту	250	т	400	10000	Автопогрузчик ГУАР-30	4	7	2	7,14	78,5
2.	Розвантаження залізничного транспорту	250	т	900	225000	інерційний розвантажувач вагонів IMP-4	2	7	4	16	017,8
3.	Зважування зернової маси	250	т	1300	235000	ДН-1000	4	7	4	11,6	098

					СП 00.000 ПЗ					Арк.
										13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

4.	Транспортування до сепараторів	2 50	т.	1300	235000	НЦ-2х100	4	7	1	46,4 2	39 2, 8
5.	Первинне очищення насіння	2 50	т.	1300	235000	сепаратор ЗСМ-100	2	7	2	46,4 2	39 2, 8
6.	Транспортування до збірного бункера	2 50	т.	1300	235000	НЦ-2х100	2	7	1	92	67 85 ,6
7.	Зберігання у збірному бункері	2 50	т.	1300	235000	ХЕ-160	1	24	-	54,1 6	79 1
8.	Подача насіння до попереднього сушіння	2 50	т	240	60000	НЦ-350	1	24	1	10	50 0
9.	Попереднє сушіння насіння	2 50	т	240	60000	ЗПА	1	24	2	5	25 0
10.	Подача насіння у зерносушарку на сушіння	2 50	т	1008	252000	НЦ-350	1	24	-	42	05 00
11.	Сушіння насіння	2 50	т	1008	252000	ЗПА-5	1	24	1	42	05 00
12.	Подача насіння у сепараторів вторинної очистки	2 50	т	480	1200 00	НЦ-350	2	7	-	17,1 4	28 5, 7
13.	Вторинне очищення	2 50	т	480	1200 00	ЗСП-20	2	7	2	17,1 4	28 5, 7
14.	Подача насіння до елеватора	2 50	т	480	1200 00	НЦ-2х100	2	7	-	17,1 4	28 5, 7
15.	Зберігання у силосах елеватора	2 50	т	480	1200 00	Елеватор ємністю 4,5 тис. тонн	1	24	2	17,1 4	28 5, 7

					СП 00.000 ПЗ						Арк.
											14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Актуальність теми. Мета та задачі досліджень

На сьогодні проблемі підвищення ефективності технологічного процесу сушіння насіннєвих культур приділяється велика увага. Встановлено, що найбільш доцільним при проведенні вказаних робіт є створення киплячого шару. Однак, загальному застосуванню технологій з використанням такого середовища перешкоджає нерівномірне розподілення тепловіддачі по поверхні насіннєвого матеріалу та неможливість задавати і витримувати необхідну температуру нагріву (охолодження) у будь-якій зоні матеріалу. В значній мірі на сьогодні виявлено фізична суть явищ у киплячому шарі та встановлений взаємозв'язок різних параметрів і їх вплив на процес переносу теплоти та зняття вологи. Однак відсутність теоретичних пояснень стосовно структури киплячого середовища і його гідродинаміки ускладнює створення моделі цієї взаємодії, без чого неможливо розробити методи інтенсифікації тепло- та масопереносу. Таким чином одним із перспективних і актуальних напрямів зниження трудомісткості, енергоємності, підвищення якості та стійкості процесу сушіння насіння є розробка зерносушарок, які реалізують процес сушіння матеріалів у киплячому шарі з пульсуючою подачею агента сушіння.

На основі аналізу стану механізації процесу сушіння в псевдорозрідженому шарі сформульована **мета роботи**: підвищення ефективності процесу сушіння зернових культур в стані псевдорозрідження з пульсуючою подачею теплового агенту.

Об'єктом дослідження є процес сушіння насіння в киплячому шарі псевдорозрідження з імпульсною подачею теплового агенту.

Предметом дослідження є вплив параметрів зерносушарки псевдорозрідження з пульсуючою подачею теплового агенту на ефективність процесу сушіння насіння в киплячому шарі.

Для досягнення вказаної мети в даній роботі поставлені такі задачі досліджень:

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Проаналізувати способи і засоби сушіння насіння в псевдорозрідженому шарі, область їх раціонального використання.
2. Знайти конструктивне рішення зерносушарки для сушіння насіння в псевдорозрідженому шарі з пульсуючою подачею агента теплоносія.
3. Визначити основні закономірності роботи зерносушарки шляхом розробки та вирішення математичної моделі процесу сушіння в стані псевдорозрідження.
4. Встановити область раціональних значень конструктивних параметрів для ефективної роботи запропонованої зерносушарки з пульсуючою подачею агента теплоносія.

3.2. Теоретичні дослідження

3.2.1. Визначення частоти пульсації теплового агента

Частота пульсації теплового агента сушіння є одним з основних параметрів, що істотно впливає на якісні показники роботи зерносушарки ЗПА. Тому отримання аналітичної формули для її визначення було одним із завдань нашої роботи.

Для вирішення цієї задачі зробили наступні припущення:

- швидкість фільтрації представляємо як хвилю, що змінюється в часі, за М.А.Лаврентьєвим, рівнянням $\omega_{\phi} = A \cdot \sin(\omega_{\pi} \cdot t)$ [32];

- амплітуда змінюється за експоненціальним законом $A = e^{\omega_{\pi} \cdot t}$ [32] (рис. 3.1);

- для запобігання виникнення сплесків теплового агента сушіння по робочій довжині каналу L приймаємо умову $L = \lambda$ (λ - довжина хвилі).

Згідно рис. 3.1 період одного повного оберту однієї лопаті колеса пульсатора:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{\pi}}. \quad (3.1)$$

Якщо кількість лопатей дорівнює z , то

$$\omega_{\pi} = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot z, \quad (3.2)$$

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де T – представимо як час, за який хвиля теплового агента сушіння потоку з швидкістю V та довжиною λ пройде певний шлях в шарі насіння, тобто

$$T = \frac{\lambda}{V} . \quad (3.3)$$

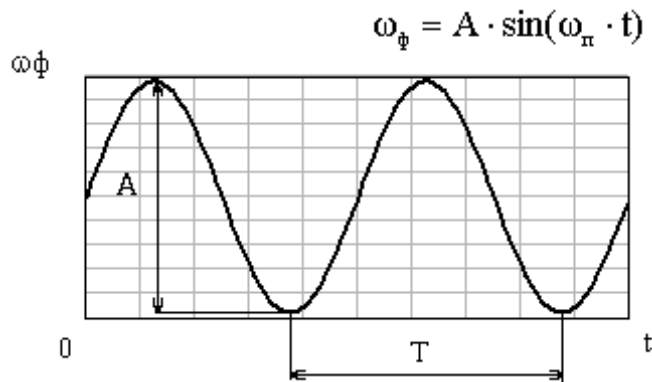


Рис. 3.1. Зміна швидкості фільтрації в часі:

A - амплітуда; T - період одного повного оберту лопатевого колеса пульсатора, с.

Для виникнення сплесків теплового агента сушіння по робочій довжині каналу L приймаємо умову $L = \lambda$. Швидкість теплового агента сушіння потоку V буде меншою за швидкість фільтрації і буде дорівнювати [38, 33]:

$$V = \omega_{\phi} \cdot \frac{\rho}{\rho_c + \rho} , \quad (3.4)$$

де ρ, ρ_c – густина частинки та середовища, кг/м^3 ;

ω_{ϕ} – табличне значення швидкості фільтрації (для сої $\omega_{\phi} = 1,2 - 1,6 \text{ м/с}$).

Підставимо значення V (4.4) та λ ($L = \lambda$) в рівняння (3.3) і отримаємо значення періоду:

$$T = \frac{L}{\omega_{\phi}} \cdot \left(\frac{\rho + \rho_c}{\rho} \right). \quad (3.5)$$

Після підстановки (3.5) в (3.2) отримаємо аналітичну формулу для визначення частоти теплового агента:

$$\omega_{\pi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_{\phi} \cdot z}{L} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho + \rho_c} \right), \quad (3.6)$$

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де z – кількість лопатей ($z = 1 - 3$).

Отримана формула (3.6) дозволить теоретично визначити частоту пульсації теплового агента (ω_n) в залежності від густини найважчої з частинок матеріалу та довжини перегородки (решета).

3.2.3. Дослідження опору пульсатора

В теплопроводі зерносушарки для утворення пульсуючого теплового агента встановлено пульсатор, що під час роботи створює опір, який будемо розглядати за наступною аналогією. Опір лопаті пульсатора дорівнює тиску теплового агента сушіння в каналі, який приходить на площу лопаті S_l . Тоді будемо вважати, що відношення між проекцією площі лопаті пульсатора S_n на площину ZOX (рис. 3.2) до вертикального перерізу каналу S_k і буде складовою коефіцієнту опору пульсатора (коефіцієнтом пропорційності k), а так як пульсатор обертається, то його опір буде змінним у часі. Наступне твердження про зміну коефіцієнту пропорційності випливає з того, що під час оберту змінюється значення проекції площі лопаті пульсатора S_n . Також зміна величини проекції площі лопаті пульсатора S_n буде підпорядкована закону синуса, який обрано з наступних міркувань: при вертикальному положенні лопатевого колеса пульсатора значення S_n буде максимальним, а при горизонтальному – найменше. Опір пульсатора в горизонтальному положенні не рівний нулю, бо лопать має свою товщину і форму, а тому чинить опір (коефіцієнт ξ).

Площа поперечного перетину теплопроводу в місці встановлення пульсатора:

$$S_k = a \cdot b. \quad (3.7)$$

Площа пульсатора:

$$S_n = a_n \cdot D_n. \quad (3.8)$$

Площа проекції S_n на поперечний перетин S_k у деякий момент часу t :

$$S_n = a_n \cdot D_n \cdot \sin|\omega_n \cdot t|, \quad (3.9)$$

де ω_n – кутова швидкість пульсатора, rad/c .

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

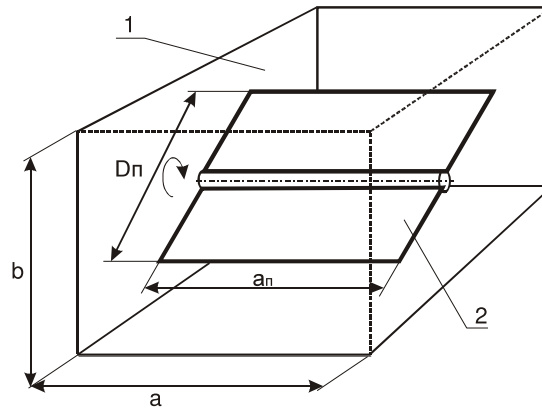


Рис. 3.2. Схема для визначення опору лопатевого колеса пульсатора:

1 – теплопровід; 2 – заслінка пульсатора;

a, b – відповідно, ширина та висота теплопроводу, м;

a_n, D_n - відповідно, ширина та висота заслінки пульсатора, м.

1.1.1.1.1.1.1

Тоді опір пульсатора:

$$P_{II} = (\xi + k) \cdot (P_2 + P_3), \quad (3.10)$$

Де ξ – коефіцієнт опору лопатевого колеса пульсатора в горизонтальному положенні за Ідельчиком І.Є [33 – 34];

P_2, P_3 – відповідно опір шару насіння та перегородки, $\kappa\text{Па}$;

k – коефіцієнт пропорційності.

Опір шару насіння визначаємо за відомою формулою [9]:

$$P_2 = g \cdot h \cdot (1 - \varepsilon) \cdot (\rho - \rho_c).$$

Блохін П.В. [9 – 10] запропонував наступну формулу для визначення опору перегородки в залежності від матеріалу та кількості шарів:

$$P_3 = f \cdot (\omega_{\phi}^T)^w,$$

де f і w – дослідні коефіцієнти з табл. 13 [8].

$$k = \frac{a_n \cdot D_n}{a \cdot b} \cdot |\sin(\omega_n \cdot t)|. \quad (3.11)$$

Теоретично отримали графік (рис. 3.3) опору пульсатора в часі скориставшись формулою (3.10) і підставивши в неї значення $\omega_n = 15,7 \text{ c}^{-1}$ (150 об/хв), $a = 0,13\text{м}$, $a_n = 0,12\text{м}$, $b = 0,14\text{м}$, $D_n = 0,12\text{м}$, $\xi = 0,01$, $P_g = 1,5 \text{ кПа}$.

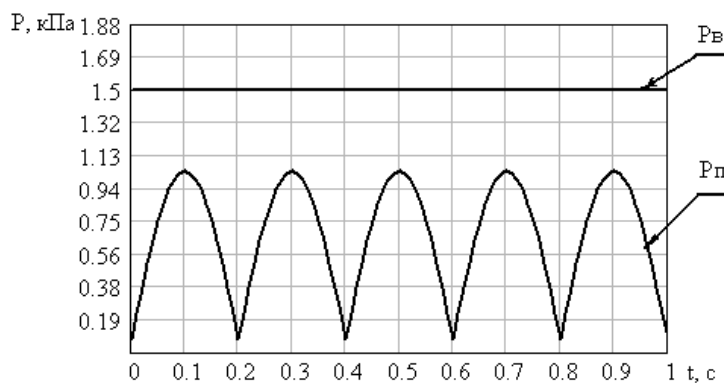


Рис. 3.4. Залежність опору пульсатора від часу

Найбільше значення опору пульсатора не перевищує тиск, що створює вентилятор.

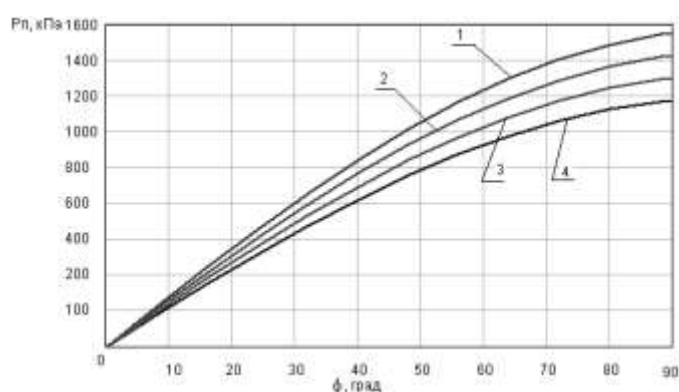


Рис. 3.4. Залежність опору пульсатора P_n від кута встановлення лопаті пульсатора φ в теплового агента сушіння повітряному каналі під час роботи машини:

1 – $P_v = 1,5 \text{ кПа}$; 2 – $P_v = 1,4 \text{ кПа}$; 3 – $P_v = 1,3 \text{ кПа}$; 4 – $P_v = 1,2 \text{ кПа}$.

Залежність (рис. 3.4) показує залежність опору пульсатора P_n від тиску вентилятора P_v і кута φ , під яким в даний момент часу встановлена лопать пульсатора по відношенню до вертикалі каналу. Можна зробити висновок, що при значеннях кута $\varphi = 90^\circ$ та 270° опір пульсатора матиме найбільше значення P_n і перекриватиме канал. Отримана аналітична формула (3.10) потребує подальшого експериментального підтвердження, а також вивчення впливу висоти пульсатора D_n на такі якісні показники роботи машини – продуктивність та технологічний ефект сепарації.

Дослідження швидкості фільтрації в залежності від параметрів машини. Швидкість фільтрації під час роботи буде змінюватись в залежності від кута

встановлення заслінки пульсатора ϕ , а це в свою чергу призведе до змінного впливу на шар насіння сили лобового тиску теплового агента, що суттєвий вплив на рух частинок під час сушіння. Тому встановлення залежності швидкості фільтрації від частоти пульсації теплового агента сушіння є наступним етапом дослідження.

Для визначення швидкості фільтрації необхідно встановити такі параметри:

- витрата теплового агента сушіння, площа перегородки, опір пульсатора, опір перегородки та тиск вентилятора (параметри зерносушарки *ЗПА*);
- критична швидкість псевдорозрідження, опір шару насіння (параметри псевдорозрідженого шару *ПШ*)

1.1.1.1.2

Швидкість фільтрації можна

визначити за формулою [9]:

$$\omega_{\phi} = \frac{Q}{a \cdot L}, \quad (3.12)$$

де L – довжина каналу, м; Q – витрати теплового агента сушіння, $\text{м}^3/\text{с}$.

З урахуванням досліджень Лева Макса [36], С.С.Забродського [41], П.В.Блохіна [8-9] та рекомендацій Б.Г.Турбіна [7] і після математичних перетворень, згідно умов та конструктивних особливостей машини, отримуємо наступну формулу для уточнення значення швидкості фільтрації в залежності від параметрів машини (тиск в каналі, частота пульсації, параметри пульсатора) отримано формулу:

$$\omega_{\phi} = \sqrt{\frac{P_b}{\left((1 - \varepsilon) \cdot (\rho_3 - \rho_c) \cdot \left(1 + \frac{a_n \cdot D_n}{a \cdot b} \cdot \sin(\omega_n \cdot t) \right) + \rho_c \cdot k_r \cdot L \cdot \frac{(a + b)}{a \cdot b} \right)}}. \quad (3.13)$$

З отриманої формули (3.13) видно, що на процес псевдорозрідження шару суттєво впливають такі параметри, як ширина та довжина каналу, розміри пульсатора, частота пульсації теплового агента, тиск в каналі та опори (шару насіння, пульсатора та перегородки).

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.5. Детермінована математична модель руху частинок під час сушіння

Вивчення руху частинки в сушильній камері під час сушіння потребує детального вивчення впливу всіх чинників. Знання про рух частинки дозволить визначити час опускання важкої частинки та спливання легкої, що дасть можливість визначити раціональні параметри сушильної камери (довжину, висоту та ширину). А це в свою чергу дозволять зменшити енергоємність процесу за рахунок зменшення площі поверхні на якій відбувається процес сепарації. Мета дослідження на даному етапі полягає у визначенні часу опускання важкої частинки (вертикальний рух) і шляху який вона пройде (горизонтальний рух). Тобто довжина сушильної камери L повинна бути такою щоб важка частинка пройшовши крізь шар насіння висотою h знаходилась як можна ближче до зони дільників, або знаходитись в межах $0,8L - L$. При меншому значенні довжини каналу є ймовірність, що важка частинка не встигне опуститися (зайняти своє місце згідно значення власної густини), а при збільшенні каналу зростатимуть енерговитрати.

Для подальших теоретичних досліджень сушіння з пульсуючою подачею теплового агента обґрунтуємо модель сипучого тіла (шару насіння, що піддається псевдозрідження на поверхні решета сушильної камери ЗПА). В основу даної роботи покладена узагальнена і розвинена модель сипучого тіла Л.В.Гячева [13, 35-37], що дозволяє розглядати процес руху сипучих матеріалів в сушильній камері.

Модель характеризується наступними припущеннями:

1. Сили внутрішнього тертя між частинками і сили тертя частинок об стінку каналу пропорційні відповідним нормальним зусиллям (закон Кулона).
2. Частинки, з яких складається сипуче тіло, являють собою однакові абсолютно тверді кулі з деяким постійним кутом укладання в об'ємі сушильної камери.
3. Розміри частинок малі в порівнянні з розмірами поперечних перерізів сушильної камери і висотою шару насіння.
4. Рух частинок у потоці відбувається по пересічним траєкторіях, що представляють собою, лінії ковзання сипучого тіла.

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. У процесі руху об'ємна маса сипучого тіла не змінюється (умова нестисливості).

6. Кут укладання частинок зберігається у процесі руху (умова ламінарного руху).

7. Через малість частинок сипуче тіло можна замінити еквівалентним в механічному змісті суцільним середовищем.

8. Кут природного укусу дорівнює приведеному куту внутрішнього тертя частинок сипучого тіла.

9. Тепловий агент сушіння пульсує в площині перпендикулярній до площини решета (перегородки).

Частіше на практиці зустрічаємо матеріали, тертя між частинками яких наближаються до граничного випадку сухого тертя. В зв'язку з цим у даному дослідженні приймаємо припущення про сухе тертя між частинками [13, 35-37].

Сипуче тіло в стані спокою не зберігає свою об'ємну масу. Коливальний рух оточуючого середовища передається частинкам сипучого тіла. Нормальні зусилля між частинками при вібраціях в окремі моменти циклу коливань зменшуються і стають меншими за сили, які намагаються змити частинки. В результаті відбувається взаємне переміщення частинок під дією їх маси, лобового пульсуючого тиску та тиску верхніх шарів. Під час руху частинок відбувається інше явище – перехід від ущільненого розташування частинок до більш рихлого. Об'ємна маса сипкого тіла швидко зменшується, наближаючись до другого критичного значення γ_{min} [13, 35-37].

Дане припущення щодо збереження об'ємної маси в стані спокою рівнозначне допущенню щодо нестисливості. Відомо, що сипке тіло чинить тиск на стінки та решето мери сушіння. Величина тиску залежить від укладки частинок сипкого матеріалу. Умовно приймаємо, що сипке тіло складається з нестисливих кульок, які укладено паралельними шарами. В силовому відношенні така модель має вигляд клинового механізму (рис. 3.5), в якому зусиллю P , яке діє вздовж вісі каналу OY , відповідає визначене бокове зусилля R_{yz} , яке діє в площині перпендикулярній вісі OY . Змінюючи укладку кульок в такій моделі (кут β), можна отримувати різні

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значення осьових та бокових зусиль, тобто різні їх співвідношення. Серед цих відношень можуть виявитися ті, які мають місце в безладному розташуванні частинок сипкого матеріалу в камері сушіння. В якості основного параметра, який характеризує укладку частинок в сушильній камері (каналі), приймаємо “кут тиску” кульок одна на одну, тобто кут між віссю Y каналу та нормаллю до кульок в точці контакту.

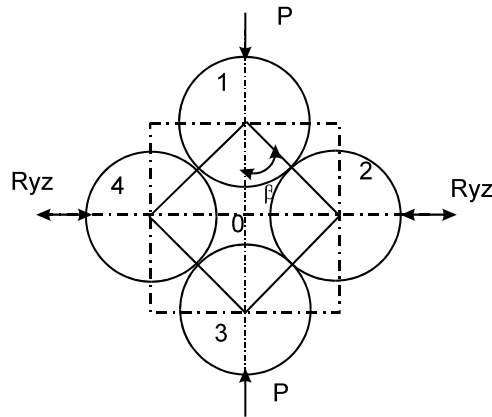


Рис. 3.5. Схема дії сил в середовищі.

В залежності від способу пошарової укладки однакових кульок кут β змінюється в межах: $0^0 \leq \beta \leq 60^0$. В дійсності, при безладній укладці кульок, у окремих пар дотичних кульок значення β можуть перевищувати 60^0 , так як всі можливі значення знаходяться в межах: $0^0 \leq \beta \leq 90^0$. Сипуче тіло з безладно розташованими кульками можна замінити механічно еквівалентним сипким тілом з укладкою кульок шарами. Кут тиску β для пар дотичних кульок суміжних шарів еквівалентного тіла буде мати деяке середнє значення $\beta = \beta_{сер} = const$, яке лежить в межах: $0^0 \leq \beta_{сер} \leq 60^0$.

Можливість заміни сипкого тіла з безладним розташуванням частинок в каналі еквівалентним йому, в механічному співвідношенні, сипким тілом з укладкою кульок шарами пояснюється наступним чином [13, 35-37]. Нехай в каналі (рис. 3.6) знаходиться сипуче тіло з безладно укладеними частинками. Виділимо в ньому об'єм двома паралельними площинами $a - a$ та $b - b$ елементарний об'єм, товщина якого дорівнює діаметру частинок. У виділеному елементарному об'ємі знаходяться частинки, які лежать між площинами $a - a$ та $b - b$. Так як всі частинки виділеного шару знаходяться в контакті з оточуючими частинками, то

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кожна пара дотичних частинок має свій “кут тиску” β , а отже, і визначене, що відповідає цьому куту, співвідношення осьового та бічного зусиль. Для елементарного об’єму це співвідношення є цілком визначеною величиною, але відповідною вже якомусь середньому, найбільш імовірному значенню кута β . Таким чином, найбільш імовірний кут β є по суті характеристикою механічної еквівалентності виділеного елементарного шару такому шару, частинки якого з оточуючими утворюють один і той же кут β , рівний найбільш імовірному “куту тиску”. Розглядаємо положення нормалі, загальної до кульок суміжних шарів. З віссю OX вона складає кут β (рис. 3.6, а). Відрізок, що з’єднує центри кульок (наприклад, 1 та 2), під час зміни упаковки сипкого тіла, а отже, і величини кута β , змінює своє положення, обертаючись навколо центру кульки 1, причому всі орієнтації цього відрізка однаково імовірні. Напрямок нормалі характеризуємо одиничним вектором r , положення якого в сферичній системі координат визначається кутами θ' та φ' (рис. 3.7). Кут θ' лежить в площині Q , перпендикулярній осі каналу, а кут φ' – в площині P , що проходить через вісь каналу. Враховуючи, що можливе значення кута нормалі в вертикальній площині P знаходяться в інтервалі $\left[\frac{\pi}{4}; \frac{3}{4}\pi \right]$, а в горизонтальній Q – $[0; 2\pi]$, розрахуємо

математичне очікування кута $\beta = \frac{\pi}{2} - \varphi'$

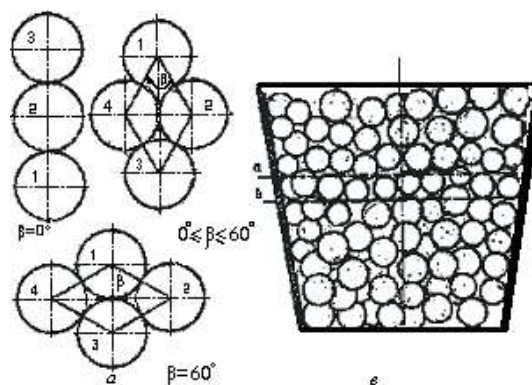


Рис. 3.6. Схеми розташування частинок в каналі:
а – можливі пошарові укладки; б – дійсна укладка.

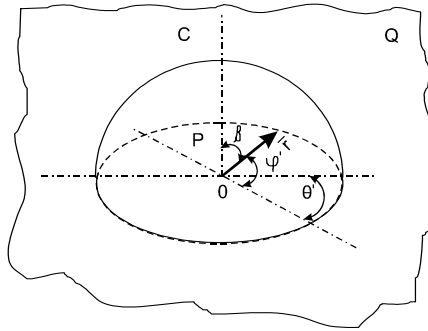


Рис. 3.7. Схема імовірного значення кута укладки

При рівній імовірності всіх напрямлень вектора r кожне можливе положення його кінця на поверхні сфери S одиничного вектора повинно мати однакову густину розподілу імовірності. Отже, елемент імовірності дорівнює $f(\Theta', \varphi') d\Theta' d\varphi'$; де $f(\Theta', \varphi')$ – густина розподілу кутів Θ' та φ' , і повинен бути пропорційним елементарній ділянці dS на поверхні сфери S . Так як ділянка $dS = d\Theta' \cdot d\varphi' \cdot \cos\varphi'$, то $f(\Theta', \varphi') \cdot d\Theta' \cdot d\varphi' = A \cdot d\Theta' \cdot d\varphi' \cos\varphi'$, звідки густина розподілу кутів Θ' та φ' , в розглянутих межах, виражається формулою:

$$f(\Theta', \varphi') = A \cdot \cos\varphi' = \frac{\cos\varphi'}{2\pi(2 - \sqrt{2})}. \quad (3.14)$$

Враховуючи, що кут β є функцією аргументів Θ' і φ' , та використовуючи прийом з теорії імовірності, отримаємо математичне чекання для кута β [11]:

$$M[\beta] = \frac{1}{\pi(2 - \sqrt{2})} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{4}} \cos\varphi' \left(\frac{\pi}{2} - \varphi' \right) \cdot d\Theta' \cdot d\varphi' \quad (3.15)$$

Після інтегрування правої частини (3.15) отримуємо середнє числове значення кута $M[\beta] \cong 0,513 = 29^\circ 40'$.

Числове значення цього кута отримано з припущення щільної укладки частинок в каналі, здійснити яку можна лише ручним способом, нехтуючи впливу граничних умов (стінок каналу). В дійсності укладка частинок в каналі є результат їх відносного мимовільного переміщення, яке залежить від коефіцієнта внутрішнього тертя та форми частинок. В роботі [13] в основу визначення ефективності значення кута β покладено експериментальні дослідження площин ковзання. З урахуванням викладеного в подальшому приймається, що сипке тіло

складається з однорідних кульок, покладених шарами. В усіх точках дотику кульок “кут тиску” $\beta = \beta_e = \text{const}$ і залишається постійним під час всіх можливих переміщень абсолютно твердих частинок сипкого тіла. Рух такої моделі сипкого тіла відповідає рухові реального сипкого тіла з безладним розташуванням частинок в об’ємі каналу.

Припущення про відсутність обертального руху частинок під час сепарації сипкого матеріалу в стані псевдозрідження пояснюється тим, що граничні частинки потоку мають, як правило, одну точку дотику з стінкою каналу (гідравлічне витікання) або з поверхнею ковзання (нормальне витікання) та декілька точок дотику з довколишніми частинками. Обертання окремих кулькових частинок можливе за рахунок випадкових обставин але, як показують дослідження [13], – малоймовірний. Отже, припущення про відсутність обертання частинок та про пропорційність тертя нормальним силам (припущення перше) є цілком прийнятним.

Рух частинок в потоці відбувається по пересічних траєкторіях, які представляють собою лінії ковзання сипкого тіла (припущення четверте). Відомо, що перед початком руйнування металевих зразків при досягненні напружень “критичної точки” на полірованій поверхні зразка з’являються лінії, направлені до осі випробовуваного зразка. Вони отримали назву Людерса-Чернова. На підставі численних теоретичних та експериментальних досліджень цей кут для дуже твердих та дуже зв’язаних сипких тіл визначається залежністю [37]:

$$\alpha_i = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}.$$

Для сипучих тіл, які підпорядковуються закону сухого тертя, формулу (3.15) потрібно перетворити з урахуванням параметрів укладки дискретних частинок, а також їх коефіцієнта внутрішнього тертя.

Твердження про те, що кут природного нахилу Θ дорівнює куту внутрішнього тертя між частинками легкого сипкого матеріалу ψ , є не зовсім справедливим. Це підтверджується дослідженнями Л.В.Гячева [35 – 37], а також даними

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

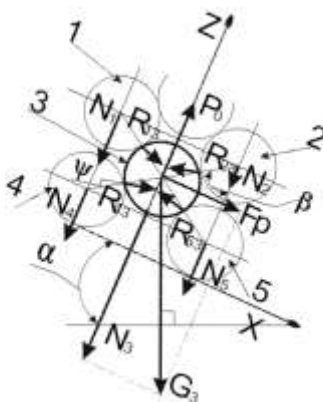
досліджень В.А.Богомягкіх [13]. Відповідно до яких кут природного нахилу Θ є кутом відхилення сили ваги від нормалі до поверхні нахилу.

$$\Theta = \varphi_{\text{pr}} > \psi.$$

Твердження про те, що тепловий агент сушіння пульсує в площині перпендикулярній до площини каналу дозволяє визначити напрямок дії сили лобового тиску теплового, а його використання дозволить спростити модель сипучого тіла, що піддається псевдозрідженню за допомогою пульсуючого потоку. Як видно з аналізу допущень, вибрана модель достатньо повно відображає реальні властивості сипучого тіла і відрізняється від моделі сипучого тіла Л.В.Гячева [13, 35-37] наступним:

- використовується для процесу сушіння з пульсуючою подачею теплового агента в стані псевдозрідження;
- припущенням про пульсацію теплового агента сушіння в площині перпендикулярній площині сушильної камери.

Згідно моделі розглянемо рух найважчої частинки під час сушіння з пульсуючою подачею теплового агента в той момент часу, коли шар насіння з цією частинкою потрапляє на поверхню решета сушильної камери і піддається дії пульсуючого теплового агента. Частинка 3 є “ведучою”, а частинки 1, 2, 4 та 5 є проміжним шаром. Під час переміщення псевдозрідженого сипкого матеріалу по поверхні пористої перегородки, яку пронизує пульсуючий потік теплового агента сушіння, частинки проміжного шару “вклинюються” між “ведучим” та “веденим” шарами і розсовують їх (рис. 3.8).



					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рис. 3.8. Схема сил, які діють на частинку 3, яка знаходиться в псевдозрідженому шарі насінин на решеті сушильної камери зерносушарки ЗПА.

В момент вклинювання частинки 3 між частинками 1, 2, 4, 5 сили реакцій R_{13} R_{23} R_{43} R_{53} відхиляються від нормалі на кут внутрішнього тертя ψ у бік збільшення кута укладки β . В результаті чого, сили реакцій складають з нормаллю кут $\gamma = \alpha + \beta + \psi$, де α – кут нахилу пористої перегородки до горизонту. Умовно приймаємо, що частинка 3 має найбільше значення густини ρ_3 і на неї діють такі сили:

- ваги

$$G_3 = m_3 \cdot k_w \cdot \left(\frac{\rho_3}{\rho_c} - 1 \right) \cdot g = \rho_3 \cdot k_w \cdot \left(\frac{\rho_3}{\rho_c} - 1 \right) \cdot g \cdot V' \quad (3.16)$$

де m_3 – маса частинки 3, кг; V' – об'єм частинки, m^3 ; ρ_3 – густина частинки, $кг/м^3$; k_w – коефіцієнт що враховує вплив вологості матеріалу $k_w = (w - w_{табл}) + 1$; $w, w_{табл}$ – дійсне та табличне значення вологості, %.

- лобового тиску пульсуючого теплового агента сушіння

$$P_0 = k \cdot f_m \cdot \rho_c \cdot \left(\frac{\omega_\phi}{\varepsilon} \right)^2, \quad (3.17)$$

де k – сумарний коефіцієнт опору середовища [14];

f_m – міделевий перетин частинки, m^2 ;

- нормального тиску

$$N_3 = \rho_3 \cdot k_w \cdot \left(\frac{\rho_3}{\rho_c} - 1 \right) g \cdot V' \cdot \cos \alpha; \quad (3.18)$$

- тангенційна [9] $F_p = \rho_3 \cdot k_w \cdot \left(\frac{\rho_3}{\rho_c} - 1 \right) \cdot g \cdot V' \cdot \sin \alpha; \quad (3.19)$

- взаємодії між частинками (сили реакцій)

$$R_{13} = \frac{N_1}{\cos \gamma}, \quad R_{23} = -\frac{N_2}{\cos \gamma}, \quad R_{43} = \frac{P_0 - N_4}{\cos \gamma}, \quad R_{53} = -\frac{P_0 - N_5}{\cos \gamma}. \quad (3.20)$$

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Складаємо рівняння рівноваги частинки 3 під дією прикладених до неї сил, відносно осей координат XOZ :

$$\begin{aligned}\sum X &= 0; \quad F_p + (R_{43} - R_{23}) \cdot \cos \gamma - (R_{13} - R_{53}) \cdot \cos \gamma = 0; \\ \sum Z &= 0; \quad P - N_3 + (R_{43} - R_{23}) \cdot \sin \gamma - (R_{13} - R_{53}) \cdot \cos \gamma = 0.\end{aligned}\quad (3.21)$$

Підставивши значення сил реакцій та зробивши потрібні математичні перетворення, отримуємо:

$$\begin{aligned}\sum X &= 0; \quad F_p = -((P_0 - N_4 + N_2) - (N_1 - P_0 + N_5)); \\ \sum Z &= 0; \quad P_0 - N_3 = -((P_0 - N_4 + N_2) - (N_1 - P_0 + N_5)) \cdot \operatorname{tg} \gamma\end{aligned}\quad (3.22)$$

Значення густин частинок 1, 2, 4 та 5 невідоме, то підставляємо значення F_p в рівняння руху по осі OZ і отримуємо:

$$P_0 - N_3 = F_p \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (3.23)$$

Підставивши вираз (4.23) в рівняння руху (4.22) знаходимо прискорення по осях:

$$a_x = \frac{(P_0 - N_3) \cdot \operatorname{ctg} \gamma + F_p}{\rho_3 \cdot k_w \cdot \left(\frac{\rho_3}{\rho_c} - 1\right) \cdot V'}, \quad a_z = \frac{(P_0 - N_3) - F_p \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\rho_3 \cdot k_w \cdot \left(\frac{\rho_3}{\rho_c} - 1\right) \cdot V'}. \quad (3.24)$$

Пульсуючий потік теплового агента коливається в площині OZ . Тому для визначення початкової швидкості руху скористаємося твердженням Ландау Л.Д. [33] про те, що рух тіла в коливальній рідині мало змінюється протягом відстаней порядку лінійних розмірів тіла. Під час невстановленого руху та миттєвої швидкості тіла в рідині його опір буде більшим за опір при тому ж самому значенні швидкості при встановленому русі. Збільшення опору при нерівномірному русі обумовлено, по-перше, інерційністю самого тіла, по-друге, кінетичної енергії оточуючої рідини.

$$\rho_c \cdot V_{об} \cdot \frac{du}{dt} - m_i \cdot \frac{d(V_0 - u)}{dt}. \quad (3.25)$$

Після перетворень отримуємо початкову швидкість руху частинки в пульсуючому потоці теплового агента, яка визначається за формулою [33]:

$$V_0 = \frac{4 \cdot \rho_c}{\rho_3 + \rho_c} \cdot \omega_\phi. \quad (3.26)$$

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно проєкції V_0 на осі координат: $V_{0z} = V_0 \cdot \sin \alpha$, $V_{0x} = V_0 \cdot \cos \alpha$.

Складаємо рівняння руху частинки по осях:

$$\begin{aligned} z &= \left[4 \cdot \rho_c \cdot \omega_\phi / (\rho_3 + \rho_c) \cdot \sin \alpha \right] \cdot t + \frac{(P_0 - N_3) - F_p \cdot \operatorname{tg} \gamma}{2 \cdot \rho_3 \cdot k_w \cdot \left(\frac{\rho_3}{\rho_c} - 1 \right) \cdot V'} \cdot t^2, \\ x &= \left[4 \cdot \rho_c \cdot \omega_\phi / (\rho_3 + \rho_c) \cdot \cos \alpha \right] \cdot t - \frac{(P_0 - N_3) \cdot \operatorname{ctg} \gamma + F_p}{2 \cdot \rho_3 \cdot k_w \cdot \left(\frac{\rho_3}{\rho_c} - 1 \right) \cdot V'} \cdot t^2. \end{aligned} \quad (3.27)$$

Після підстановки значень параметрів у вищенаведені формули та обробки їх на ПК були теоретично отримані графіки руху частинки (рис. 3.9-3.10).

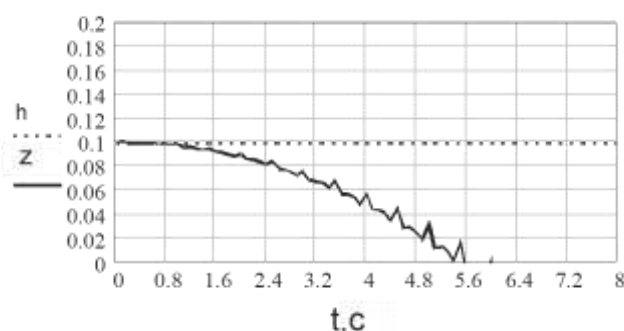


Рис. 3.9. Залежність переміщення частинки по осі OZ від часу знаходження в псевдорозрідженому шарі насіння t , с:

z – координата частинки в момент часу t , м; h – висота шару насіння $h = 0.1$ м.

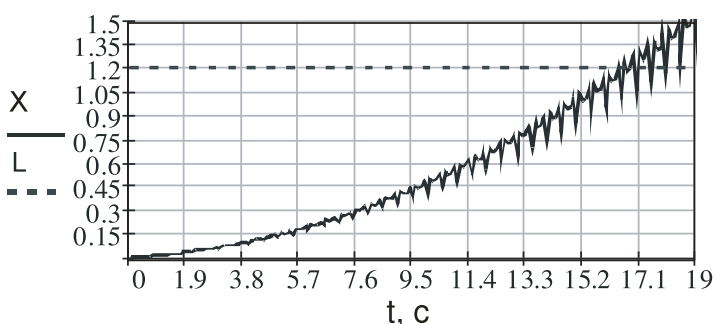


Рис. 3.10. Залежність переміщення частинки по осі OX від часу знаходження в псевдорозрідженому шарі насіння t , с:

x – координата частинки в момент часу t , м; L – довжина решета, м.

Після підстановки значень параметрів у вищенаведені формули та обробки їх на ПК, були теоретично отримані графіки руху частинки (рис. 4.9-4.10). Залежності

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(3.27) дозволяють визначити шлях L який проходить частинка за певний проміжок часу та найбільшу допустиму висоту шару h насіння в залежності від його параметрів (значення густини частинок) та технологічних параметрів (тиск в каналі, частота пульсації).

3.3. Методика проведення експериментальних досліджень

Програма досліджень. Програмою експериментальних досліджень передбачається перевірка отриманих у п.п. 3.2 закономірностей впливу геометричних та режимних параметрів на критерії якості виконання технологічного процесу сушіння. При цьому використовуються відомі методи досліджень та оцінки результатів експериментів, а також виявляється необхідність розробки оригінальних методик. Експериментально визначаються раціональні конструктивні та режимні параметри зерносушарки. Використовуються спроектовані і розроблені лабораторні та експериментальні установки, які забезпечують адекватність відтворення процесів і необхідну точність отриманих даних.

Програма експериментальних досліджень передбачає:

1. Визначення характеру руху насіння і процесу формування киплячого шару в зерносушарці з пульсуючою подачею теплового агента.
2. Визначення діючих сил на частинки насіння та особливостей руху шару по решету в зерносушарці з пульсуючою подачею теплового агента.
3. Дослідження вологознімання у режимах сушіння з пульсацією або без неї, з попереднім прогрівом насіння і без нього, а також визначення продуктивності залежно від параметрів та режимів сушіння.

Значне розмаїття фізико-механічних властивостей і велика кількість різновидів насіння, яке можна сушити в зерносушарці з киплячим шаром, призводить до необхідності проведення великої кількості дослідів, що практично здійснити дуже важко. Тому для отримання достовірних результатів необхідно правильно спланувати процес проведення експериментальних досліджень та обґрунтувати

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідний мінімум кількості дослідів і числа їх повторень. Відповідно до зазначеного із загальної різноманітності насіння визначається кілька окремих груп, котрі відрізняються сипкістю, густиною, розмірами, вологістю. Кожна група характеризується певними коефіцієнтами внутрішнього тертя. Чинниками, що суттєво впливають на технологічний процес сушіння насіння в киплячому шарі міні зерносушарки каскадного типу, є: температура сушильного агента – t , $^{\circ}\text{C}$; тиск у міні-зерносушарці – P , кПа ; кут нахилу каскадів – α , $^{\circ}$; товщина шару матеріалу на каскадах – h , м.

Інтервали варіювання для кожного фактора визначаються під час планування факторних експериментів. Кількість повторень для кожного дослідів передбачається залежно від поставлених вимог експерименту, обладнання та потрібної достовірності результату. Відповідно до розробленої програми для дослідження впливу окремих чинників на показники роботи міні-зерносушарки та визначення їх оптимальних значень розробляється необхідне лабораторне та експериментальне устаткування (рис. 3.11).

Установка (рис. 3.11) складається з трьох основних частин:

- бункера попереднього прогріву;
- сушильної камери з решетами;
- дифузором з трубою для виходу висушеного матеріалу.

Для дослідження робочих характеристик, вивчення параметрів та визначення характеру руху вологого матеріалу по решету (згідно з прийнятими основними рівнями та інтервалами варіювання) в конструкції лабораторної зерносушарки ЗПА передбачено такі можливості регулювання для зміни чинників:

1. Для зміни тиску вентилятора P у тиску в нагнітальній частині встановлено на привід вентилятора шків з різними діаметрами, що забезпечують такі передаточні відношення 1:1, 1.5:1, 2:1, а також заслінку на входному отворі вентилятора, що дозволяє отримати наступні значення тиску 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 кПа . Також в теплопроводі попереднього нагріву встановлено заслінки.

2. Для зміни висоти шару насіння h на каскадах у бункері для сирого насіння встановлено дозувальний пристрій.

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Зміна швидкості руху насіння досягається зміною кутів нахилу решета α . Для цієї мети використовували регулятори кута нахилу решета (4 шт.), поперечний рівень встановлювали за допомогою рівня моделі *УС2 – II ГОСТ 9416 – 88*, який закріплено на рамі.

4. Зміна аеродинамічного опору каскаду здійснюється шляхом установа решета з іншим діаметром отворів.

4. Для зміни температури в сушильній камері відключається один із двох водяних тенів, котрі встановлені в теплогенераторі.

6. Для зміни частоти пульсації повітряного потоку змінювали значення кутової швидкості пульсатора ω_n використовувався блок живлення з фіксованим значенням вихідної потужності, що забезпечував такі значення для кутової швидкості 6,28; 8,37; 10,46; 12,55; 16,64 рад/с.

Для вивчення процесу роботи зерносушарки застосовується візуальне спостереження руху потоків частинок через прозору бічну стінку. Це дає можливість фотографувати, знімати процес сушіння на кіноплівку або відеокамеру. Лабораторна установка з одного боку (спереду) має прозору площину, виготовлену з органічного скла, для здійснення візуального контролю за процесом сушіння в киплячому шарі і рухом шару насіння по решету у корпусі зерносушарки. Зі зворотного боку зерносушарки розміщені контрольно-вимірювальні прилади (КВП), термометри опору (термопары ТСМ), підключені з 8-канальним цифровим перетворювачем (УКТ – 38 У), та - U-подібні рідинні манометри з трубкою Піто. Усі датчики приєднані до 8-канального електричного вимірювача, де на цифровому індикаторі висвітлюються показники температури в кожній точці з інтервалом 5 с. Температуру сушильного агента задавали за допомогою водяного теплогенератора, що зображений на рис. 3.11 г.

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а)



б)



в)



г)

Рис. 3.11. Експериментальна установка:

а – загальний вигляд експериментальної установки; б – загальний вигляд вимірювальних приладів температури (датчики термоперетворювачів опору ТСМ – 1038 та 8 – каналного електричного вимірювального приладу типу УКТ – 38У; в – вимірювальний прилад УКТ – 38У; г) – теплогенератор; 1 – значення температури; 2 – номер вимірюваної точки температури; 3 – прилад УКТ – 38У; 4 – ТСМ – 1038.

Методика експериментальних досліджень. Проби насіння відбираються у момент, коли установка працює у стабільному режимі. Вага відібраного середнього

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зразка дорівнює 1000 г. Під час виділення середнього зразка з початкового насіння насипається на стіл та ретельно переміщується, потім лінійкою насіння вирівнюється у вигляді квадрату товщиною не більше 0.015 м [59]. Вирівняний квадрат ділиться навхрест на чотири частини. Після цього з двох протилежних трикутників насіння видаляється, а інше знову переміщується, після утворення квадрату насіння знову ділиться на чотири частини. Такий розподіл виконується до тих пір, поки не залишиться необхідна кількість насіння для отримання двох середніх зразків масою по 50 г кожен. Тоді, востаннє поділивши навхрест квадрат на чотири частини, насіння з протилежних трикутників висипається в одну ємність (отримуємо перший середній зразок), інше насіння – у другу ємність (другий середній зразок).

Визначення вологості насіння. Для визначення вологості використовується прилад *Wille* – 55, який вимірює вміст води у відсотках з точністю до десятих. Внаслідок порівняння отриманих значень води досліджуваного матеріалу з'ясувалося, що похибка різниці між показаннями експрес-вологоміра *Wille* – 55 і сушильної шафи СЭШ – 3М становить менше 1%.

Визначення аеродинамічного опору шару насіння. Для визначення аеродинамічного опору насіннєвого шару користуються методикою П.В. Блохіна [17]. Тиск у шарі насіння замірюється в десяти точках згідно зі схемою розташування точок заміру під час роботи установки. Величина тиску визначається за допомогою U-подібного манометра, до якого приєднано пневматичний шуп, який занурюється в шар насіння. Пневматичний шуп має шкалу, що показує, на яку глибину відносно рівня висоти шару насіння h його занурюють (рис. 3.12). Під час заміру використовується лінійка з міліметровою шкалою, яку встановлюють над перерізом точок заміру.

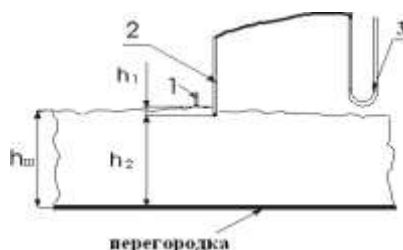


Рис. 3.12. Схема проведення заміру опору шару насіння:

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 – лінійка з міліметровою шкалою; 2 – пневматичний шуп; 3 – □-подібний манометр; $h_{ш}$ – висота шару насіння; h_1 – відстань від точки заміру до перегородки; h_2 – відстань від точки заміру до вільної поверхні шару

Визначення горизонтальної швидкості руху насіння. Для встановлення горизонтальної швидкості руху насіння необхідно визначити час проходження нею робочої довжини каскадів. Для цього в шар насіння поміщаються зафарбовані насіння, вмикається теплогенератор, відкриваються шибери на бункері, і насіння під дією власної ваги висипається з бункера на каскади. Насіння проходить по решету певний шлях – від завантажуючого бункера до труби для сухого насіння. При цьому час проходження зафарбованих частинок фіксується секундоміром. Вимірювання повторюються 5 разів і потім визначається середній час проходження шляху частинками. Швидкість проходження (горизонтальну складову) знаходимо за формулою:

$$U_{\text{гор}} = \frac{L}{t_c},$$

де L – довжина всіх каскадів, м; t_c – середній час проходження насіння, с.

Визначення впливу попереднього прогріву насіння на інтенсивність процесу його сушіння. Досліди проводяться на сої, по чергові з попереднім прогрівом і без попереднього прогріву. Для визначення впливу попереднього прогріву насіння перед сушінням користуються методикою В.І. Жидко [54]. До початку досліду вмикається теплогенератор, після чого установка виводиться на заданий режим за температурою, витратою повітря та тиску. Готуються дві партії дослідного насіння з однаковою вологістю при звичайній температурі. Перший дослід проводиться з попереднім прогрівом насіння, другий без – прогріву насіння. У бункер засипається партія дослідного насіння. На трубі попереднього прогріву необхідно відкрити заслінку. При цьому агент сушіння з температурою 70 – 130°C поступає в бункер із насінням. У бункері під кутом встановлена сітка, котра відділяє бункер і трубу попереднього прогріву й одним кінцем заведена в дифузор (нижня частина), а у верхній частині вона з'єднана з бункером. Для проведення досліджень установка обладнується вимірювальними приладами, а саме манометрами та термоопорами. При попередньому прогріві насіння в бункері

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сушильним агентом фіксується час прогріву насіння, знімаються дані тиску повітря та температури агента сушіння і беруться проби насіння на вологість. Після прогріву насіння до температури 25⁰С відкривається шибер бункера, пропускається насіння в робочу частину установки на каскади, заслінка на трубі для попереднього підігріву залишається відкритою, а час сушіння (проходження насіння по каскадах) фіксується секундоміром. На решеті установки знімаються відповідні показання тиску й температури. Після виходу насіння із зерносушарки визначається час сушіння та вологість насіння. Досліди проводилися у трикратній повторюваності та визначалися середні значення вологості насіння, температури агента сушіння і тиск у камері сушіння. Другий дослід, без попереднього прогріву, проводився за аналогічною методикою при тих же параметрах.

Визначення впливу товщини шару насіння на інтенсивність процесу сушіння. Перед проведенням дослідів насіння зволожується до потрібної вологості. З підготовленої партії насіння беруться наважки і визначається вологість даної партії за допомогою мікропроцесорного електронного приладу *Wille* – 54. Партію насіння засипається в бункер. Умикається теплогенератор, відкривається подача агента сушіння в робочу камеру через дифузор. Після запуску теплогенератора виставляються відповідні параметри – температури агента сушіння, тиску та витрат повітря. Відкриваючи шибер на бункері, регулюється товщина шару насіння на каскадах. Досліди проводяться з товщиною шару насіння 0.010 – 0.020 м.

Визначення продуктивності зерносушарки. При сушінні насіння попередньо зважена його партія засипається і пропускається через дослідну лабораторну установку. Обов'язково фіксується час сушіння та проходження даної партії насіння через установку. Продуктивність експериментальної установки визначається за формулою:

$$G_{np} = \frac{m}{t},$$

де m – вага партії зерна, в кг; t – час сушіння партії зерна, в секундах.

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експериментальні дослідження проводились за таких умов: тиск вентилятора $P = 500 - 600$ Па; кут нахилу каскадів $\alpha = 3 - 12^0$; температура агента сушіння $t = 70 - 130^0$ С; початкова вологість $w_n = 18 - 20\%$.

Порядок проведення експерименту визначається послідовністю:

1. Установлення кута нахилу решета α за допомогою шарнірного кріплення.
2. Вмикання ЗПА.
3. Установлення тиску вентилятора P .
4. Установлення температури агента сушіння 0C .
4. Замір тиску в точках контролю.
6. Замір температур у точках контролю.

7. Проведення експерименту з попереднім прогрівом, з пульсацією теплового агента сушіння без неї, із заміром температури й тиску в камері попереднього прогріву, а також з визначенням вологості насіння після відбору проб даної культури з решета.

8. Проведення експерименту без попереднього прогріву, з пульсацією теплового агента сушіння без неї.

9. Повторення за пп. 1– 8 зі зміною кута α .
10. Повторення за пп. 1– 8 зі зміною тиску вентилятора P .
11. Повторення за пп. 1– 8 зі зміною температури агента сушіння t .

Визначення впливу температури агента сушіння та швидкості повітря на процес сушіння насіння. Досліди проводяться в такій послідовності. Вологість дослідної партії насіння визначається до та після висушування. Температура нагріву насіння, атмосферного повітря, гарячого та відпрацьованого агента сушіння вимірюється після встановленого режиму сушіння датчиками термоперетворювачів опорів ТСМ – 1038 із восьмиканальним електричним вимірювачем типу УКТ – 38У з виходом даної інформації на індикаторне цифрове табло. Відносна вологість відпрацьованого агента сушіння визначається за показниками психрометрів t_2^c, t_2^m . Швидкість повітря в шарі насіння визначається, виходячи з кількості повітря, яке поступає в робочу частину

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лабораторної зерносушарки каскадного типу. Всі параметри процесу сушіння заміряються і відбираються проби насіння для визначення його вологості після проходження всього шляху. Всього проведено 5 дослідів при різних температурах сушильного агента (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5).

Методика визначення раціональних параметрів зерносушарки ЗПА

Чинники (табл. 3.4), які впливають на вихідні параметри зерносушарки:

1) геометричні: довжина L та ширина b решета; діаметр отвору решета $d_{\square o}$; кут нахилу решета α ; товщина шару матеріалу h .

2) термодинамічні: температура в зерносушарці t_1 і температура у теплопроводі попереднього прогріву насіння t_2 ; тиск у зерносушарці P_1 , частота пульсації агента сушіння ω_n .

Можливість відтворюваності даних експериментів визначається за допомогою критерія Кохрена (K). Отримана модель перевіряється на адекватність за допомогою критерія Фішера (F). Інтерпретація лінійної моделі проводиться з метою встановлення впливу відповідних факторів на параметр оптимізації. Чим більша величина $|b_i|$, тим сильніший вплив фактора x_i . Знак "плюс" перед x_i показує, що збільшення відповідного фактора призводить до зростання параметра оптимізації, знак "мінус" свідчить про зменшення Y_i при збільшенні x_i . Для визначення взаємозв'язку між конструктивними і технологічними параметрами, визначення їх оптимального варіанту в роботі проводиться математичне планування експерименту з використанням ПК. Математичне планування експерименту передбачає використання центрального композиційного плану і моделі другого порядку. При оптимізації конструктивних та технологічних параметрів зерносушарки з пульсуючою подачею теплового агента розглядається як закритий об'єкт із сукупністю вхідних параметрів (факторів), які впливають на якість сушіння. Методика визначення посівних властивостей матеріалу після сушіння

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівні варіювання факторів

Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
Найменування	Позначення	Верхній (+)	Нижній (–)	
1. Тиск у сушильній камері P , кПа.	x_1	1,5	1,1	0,2
2. Температура агента сушіння в сушильній камері t_1 , $^{\circ}\text{C}$	x_2	130	70	30
3. Температура агента сушіння у трубопроводі попереднього прогріву t_2 , $^{\circ}\text{C}$	x_3	130	70	30
4. Товщина шару матеріалу h , м.	x_4	0.020	0.010	0.005
4. Кут нахилу каскадів α , град	x_5	12	3	4.5
6. Частота пульсації, $\omega_{\text{п}}$, с^{-1}	x_6	14,65	6,28	4,185

Визначення схожості та енергії проростання. Для визначення схожості використовується метод М.К. Фірсової [59].

Визначення життєздатності насіння після сушіння. Життєздатність насіння після сушіння визначається за методом В.І. Іванова [31].

Визначення сили росту насіння після сушіння. Сила росту насіння визначається шляхом пророщування рослини в посудині з піском протягом 10 діб починаючи з дня посіву за методом О.Й.Майсурия [31].

3.4. Результати експериментальних досліджень

Згідно з плануванням експерименту передбачено, щоб кожен чинник мав п'ять фіксованих значень. На параметри оптимізації вологоз'єм W та продуктивність Q впливають:

- тиск у сушильній камері (дифузори) – $x_1 = P_1 = 1,5 - 1,1$ кПа;
- температура у теплопроводі для попереднього прогріву – $x_2 = t_2 = 70 - 130^{\circ}\text{C}$
- температура в сушильній камері – $x_3 = t_1 = 70 - 130^{\circ}\text{C}$;
- товщина шару матеріалу – $x_4 = h = 0,010 - 0,020$ м;
- кут нахилу робочих каскадів – $x_5 = \alpha = 3 - 12^{\circ}$;

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– частота пульсації – $x_6 = x_6 = \omega_n = 14.65 - 10.62c^{-1}$.

Досліди проводилися на: насінні сої. Результати перевірки отриманих математичних моделей на адекватність представлено в табл. 3.5, а поверхні відгуку – в табл. 3.6.

Метою серій дослідів стала реалізація матриці центрального композиційного плану $2^6 +$ зіркові точки, яка дозволяє шляхом проведення експериментальних досліджень визначити раціональні параметри ($P_1, t_1, t_2, h, \alpha, \omega_n$) для ефекту сушіння (W) та для продуктивності (Q), при яких і відбувається процес сушіння. Для обробки експериментальних даних використовувався пакет прикладних програм для ПК. У результаті побудовано нелінійні статистичні моделі (для (W), та (Q)) для ненатурального значення факторів. Унаслідок проведення експериментальних досліджень та при аналізі отриманих поверхонь відгуку отримано раціональні значення параметрів зерносушарки, при яких підвищується ефективність сушіння (W), продуктивність (Q) і зменшуються енергетичні витрати (E) (таблиці 3.5 – 3.8).

Таблиця 3.5

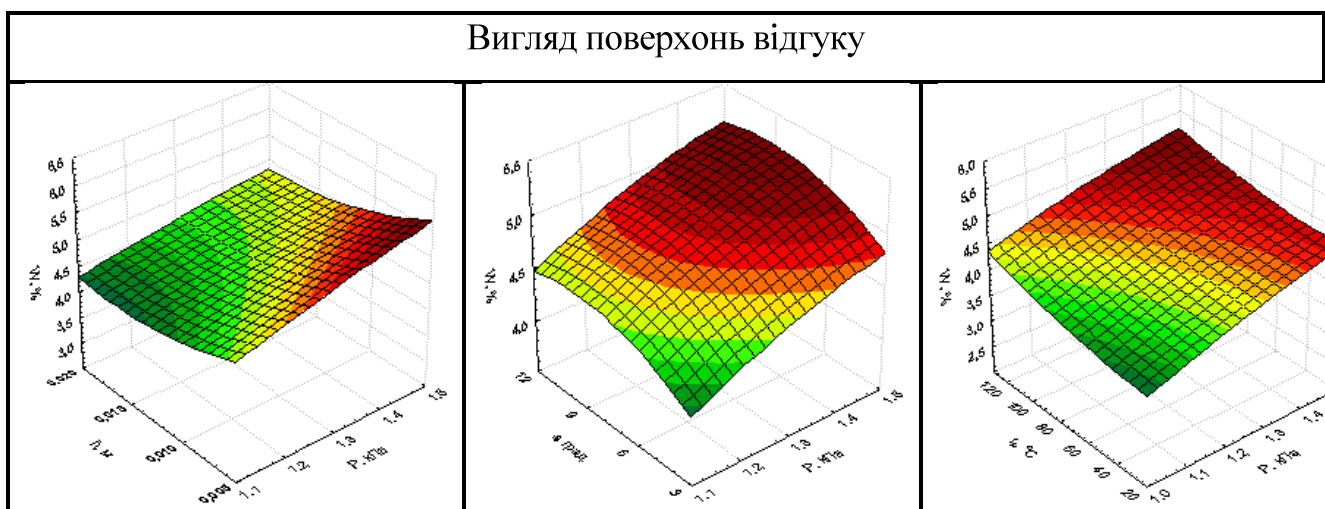
Статистична оцінка нелінійних моделей

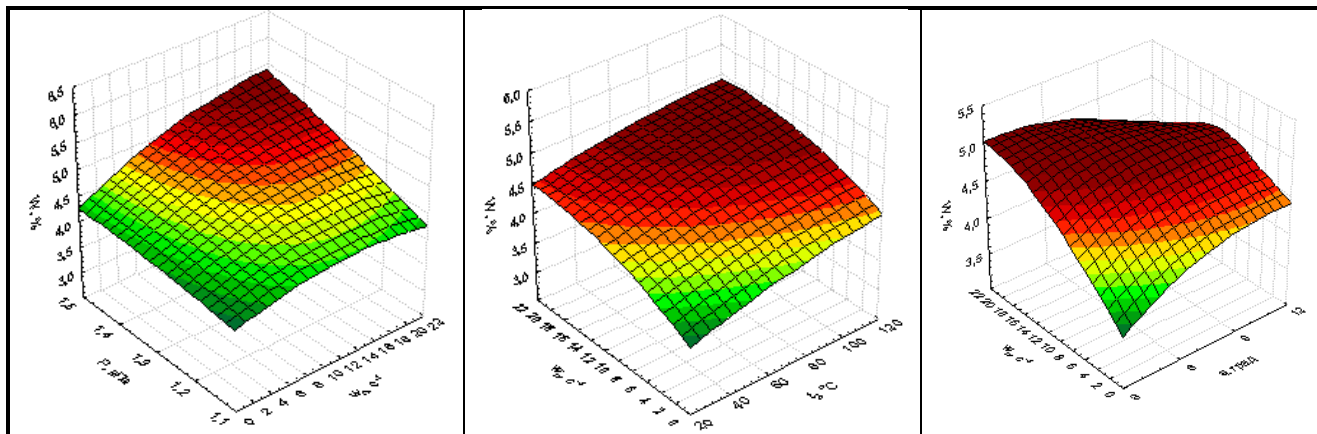
№ п/п	Параметр оптимізації	Рівняння регресії	Критерій Кохрена		Критерій Фішера	
			G^P	G^T	F^P	T
1	Ефективність сушіння (W)	$W = 5,09602 + 0,583P + 0,42t_1 + 0,12t_2 - 0,28h + 0,3\alpha + 0,12\omega_n - 0,1P^2 - 0,025P t_1 + 0,24Ph - 0,28P\alpha + 0,087P \omega_n - 0,024 t_1^2 - 0,029 t_1 t_2 - 0,012 t_1h + 0,075t_2\alpha + 0,032t_1 \omega_n - 0,08t_2^2 - 0,0875 t_2h + 0,1 t_2\alpha + 0,4 t_2 \omega_n + 0,032h^2 + 0,44h\alpha + 0,125h \omega_n - 0,217\alpha^2 - 0,137\alpha \omega_n - 0,08 \omega_n^2$	0,112	0,191	1,05	2,7

2	Продуктивність (Q)	$Q = 0,5 + 0,018P_1 + 0,0321 \omega_n - 0,008t_1 + 0,01h + 0,008\alpha + 0,005P_1 \omega_n - 0,004P_1t_1 + 0,014P_1h + 0,005P_1\alpha + 0,01 \omega_n^2 - 0,0008 \omega_n t_1 + 0,005 \omega_n h + 0,008 \omega_n \alpha - 0,003t_1^2 - 0,0014t_1h - 0,01t_1\alpha + 0,03h^2 + 0,001h\alpha + 0,003\alpha^2$	0,073	0,191	1,98	2,7
---	--------------------	--	-------	-------	------	-----

Таблиця 3.5

Поверхні відгуку для ефективності сушіння (W)





Таблиця 3.6

Рациональні значення параметрів зерносушарки з пульсуючою подачею теплового агента ($\omega_{\text{п}}=10,24 \text{ с}^{-1}$) ЗПА для ефективності сушіння ($W, \%$)

Тиск агента у сушильній камері P_1 , кПа	Температура агента в сушильній камері t_1 , °C	Температура агента у трубі попереднього прогріву t_2 , °C	Товщина шару матеріалу h , м	Кут нахилу решета α , °
Соя ($W = 6,0 - 7,3\%$)				
1,3 – 1,5	118 – 124	35 – 50	0.010 – 0.012	9

Проаналізувавши графіки зміни вологості (рис. 3.13) для сої при режимах з попереднім прогрівом і пульсацією, без попереднього прогріву але з пульсацією, також без пульсації але з прогрівом та без пульсації і прогріва прийшли до висновку, що крива вологознімання при сушінні з попереднім прогрівом більш стрімкіша, а це пояснюється тим, що вологий матеріал за час, протягом якого він знаходиться в завантажуючому бункері, підігрівається і потрапляє безпосередньо в сушильну камеру вже нагрітим, тому час на нагрівання не затрачається і, практично, зразу ж таки вологий матеріал починає віддавати вологу.

Таблиця 3.7

Рациональні значення параметрів зерносушарки з пульсуючою подачею теплового агента ($\omega_{\text{п}}=10,24 \text{ с}^{-1}$) ЗПА для продуктивності (Q , т/год)

Тиск агента у сушильній камері P_1 , кПа	Тиск агента у трубі попереднього прогріву P_2 , кПа	Температура агента в сушильній камері t_1 , °C	Товщина шару матеріалу h , м	Кут нахилу решета α , °
Соя ($Q = 2 \text{ т/год}$)				

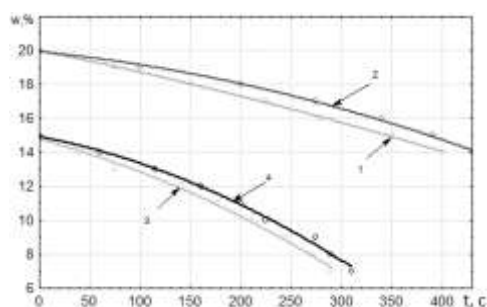
1,3 – 1,5	0 – 0,50	118 – 124	0.010 – 0.015	9
-----------	----------	-----------	---------------	---

Таблиця 3.8

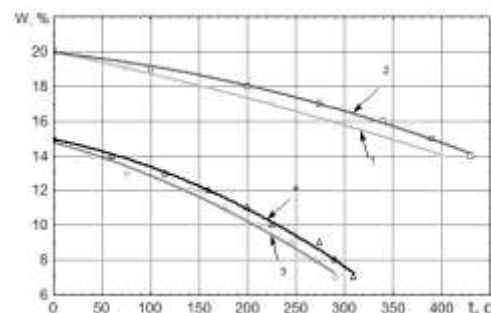
Рациональні значення параметрів зерносушарки з пульсуючою подачею теплового агента ($\omega_{\text{п}} = 10,24 \text{ с}^{-1}$) ЗПА для питомих енергетичних витрат (E , кДж/кг)

Тиск агента у сушильній камері P_1 , Па	Тиск агента у трубі попереднього прогріву P_2 , Па	Температура агента в сушильній камері t_1 , °C	Температура у трубі попереднього прогріву t_2 , °C	Товщина шару матеріалу h , м
Соєа ($E = 84 - 84,4$ кДж/кг)				
1,3 – 1,5	0 – 50	118–126	70 – 130	0.014 – 0.016

Швидкість сушіння в режимі з попереднім прогрівом більша, а ніж у режимі без попереднього прогріву.



а



б

Рис. 3.13. Залежність зниження вологості сої від часу перебування в зерносушарці ЗПА при наступних температурах агента сушіння (а – 70 °C); б – 100 °C): 1 – з пульсацією та з попереднім прогрівом; 2 – з пульсацією і без попереднього прогріву; 3 – з попереднім прогрівом без пульсації; 4 – без попереднього прогріву і без пульсації;

————— – теоретичні криві; —○—○—○— – експериментальні криві

Порівнюючи графіки зміни вологості (рис. 4.13) при різних температурних режимах, можна зробити висновок, що при сушінні зерна в режимі з пульсацією експозиція сушіння на 20% менша, аніж при сушінні без застосування пульсації. Якісні і кількісні показники висушеного насіння при вказаних режимах, практично, не відрізняються, а іноді й покращуються. Очевидно, що зменшення експозиції сушіння обумовить зменшення енергетичних витрат на сушіння. При збільшенні температури агента сушіння швидкість зняття вологи за одиницю часу

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

збільшується, адже відбувається інтенсифікація процесу сушіння. В цілому соя втрачає 6 – 7,3%. При сушінні насіннєвого матеріалу з попереднім прогрівом вологість матеріалу зменшується значно суттєвіше, ніж без попереднього прогріву, і в даному випадку на вологознімання впливає тиск агента сушіння, який для сої – 1,3 – 1,5 кПа. Аналіз експериментальних даних показує, що під час руху насіннєвого матеріалу із завантажувального бункера по решету до труби розвантаження він поступово віддає вологу агенту сушіння, і оптимальним кутом нахилу решета для сої є 9 градусів. Із таблиць 3.6-3.8 видно, що раціональна температура для становить сої –118 – 124 °С). Температура на решеті неоднакова, і при русі насіннєвого матеріалу зверху вниз температура збільшується, а вологознімання із насіннєвих культур інтенсивно зменшується. Аналізуючи поверхні відгуків, експериментальні дані та графіки залежності вологознімання від часу сушіння, можна зробити висновки, що сушіння з попереднім прогрівом ефективніше, ніж без попереднього прогріву але найбільша інтенсифікація процесу досягається при використанні пульсуючого потоку теплового агента. Під час сушіння і проходження насіннєвого матеріалу по решету видно, що волога із насіннєвого матеріалу випаровується краще і вологознімання проходить більш інтенсивніше. Оптимальний час сушіння з попереднім прогрівом та пульсацією для насіння сої становить – 390 с.

Енергії проростання та схожості насіння. Експериментальні дослідження для енергії (Е) проростання та схожості (С) показали такі результати для насіння сої $E = 81 \%$, $C = 78 \%$ – це означає, що сушіння з використанням ЗПА відповідає вимогам ДСТУ 2240 – 93 “Насіння с/г культур. Сортові та посівні якості”

Життєздатність насіння. Експериментальні дослідження показали, що середнє значення життєздатності насіння після обробки на ЗПА для сої становить 89 %. Отримані дані показують, що оброблений матеріал є придатним для подальшого використання згідно з існуючими агротехнічними вимогами.

Сила росту насіння. Силу росту характеризувалися за двома показниками:

1. За середньою кількістю числа сходів, що пройшли через пісок (у відсотках), до числа всіх насінин по всіх пробах: для насіння сої $C_p = 82 \%$.

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. За вагою сходів (у грамах, з перерахунком на 100 рослин): для сої $M = 1,2$.

Паростки насінин з обробленого матеріалу більш придатні для посіву, бо мають більший опір стосовно переборення середовища, в якому проростають.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть виникнути при експлуатації зерносушарки.

Згідно ГОСТ 120.0.003 до потенційних небезпечних факторів, що виникають при роботі зерносушильної машини відносяться:

- рухомі механізми та частини машини: завантажувальний та вивантажувальний транспортери, приймальної камери, клинописові та ланцюгові передачі, решітні стани;
- механізми машин, що обертаються: механізми приводів скребкових транспортерів, редукторів, вентилятора;
- підвищений рівень шуму: транспортери, вентилятор;
- підвищений рівень запилення: в зоні роботи оператора, біля відстійної камери, шнеку фуражних відходів, пневмотранспортеру легких домішок, вивантажувального транспортеру;
- враження електричним струмом: від напруги в електромережах, електричного та магнітного полів, статичного струму;
- пожежонебезпека: внаслідок короткого замикання дротів електричного струму.

4.2. Розробка заходів по покращенню умов праці.

З ряду заходів, що проводилися, по поліпшенню умов праці, зниженню виробничого травматизму, захворювань можна виділити: законодавчі, організаційні, технічні, медико-профілактичні та економічні. Проведення законодавчих заходів визначає права та обов'язки працівників в області охорони праці, режим їх праці та відпочинку, санітарні норми на граничний вміст в робочій зоні шкідливих речовин, відшкодування збитків потерпілим при будь-якій шкоді здоров'я, їх пенсійне забезпечення, пільги за роботу в

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шкідливих умовах. Організаційні заходи передбачали: впровадження системи управління охороною праці в господарстві, своєчасне навчання працюючих та розробку для них інструкцій по охороні праці, створення кабінетів та куточків з охорони праці, організацію триступеневого виду контролю за виконанням вимог охорони праці на всіх робочих місцях, поширення позитивного досвіду дільниць, які досягли повної ліквідації травматизму, профзахворювань; розслідування та облік нещасних випадків та захворювань на виробництві, організацію контролю за рівнем та концентрацією небезпечних і шкідливих виробничих факторів на робочих місцях, атестацію і паспортизацію умов праці на робочих місцях, розробку і здійснення інших планів по поліпшенню умов праці. Проведення технічних заходів передбачає розробку і впровадження комплексної механізації та автоматизації в тяжкі, шкідливі та одноманітні роботи; створення безпечної техніки та технологій; установку запобіжних, сигнальних, блокувальних пристроїв на сільськогосподарську техніку; проведення технічних рішень по нормалізації повітряного середовища, попередження утворення та видалення з робочої зони шкідливих речовин, зниження шуму, вібрацій, створення ізолюючих кабін для операторів; розробку та виготовлення різноманітних засобів колективного та індивідуального захисту. Виконання медико-профілактичних заходів включає попередній та періодичний медичний огляд працюючих на предмет можливості використання їх на роботах з важкими, шкідливими або небезпечними умовами праці, а також для своєчасного виявлення профзахворювань. При роботі на зерносушарці є можливість виникнення нещасних випадків:

Для забезпечення безпечних умов праці при роботі на машині передбачено:

- передаточні механізми обладнані захисними кожухами у відповідності з ГОСТ 12 – 4.042;
- вентилятор закритий кожухом;

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– конструкція машини забезпечує безпечне проведення технічного обслуговування при умовах їх відповідного виконання, а саме: при її зупинені і виключені від електромережі;

– для означення функціонального призначення органів керування їх вказують символами у відповідності з передбачено заземлення;

– оператора забезпечено респіратором та захисними окулярами, надписи розташовані в безпосередній близькості від органів керування, концентрація пилу не перевищує норм ГОСТ 12.2019;

– зниження параметрів вібрації досягається встановленням віброізоляторів, граничні значення вібрації знаходиться в межах ГОСТ 12.2.019.

Розміри важелів та інших ручних органів керування зерносушаркою відповідають вимогам стандартів, зусилля не перевищують встановлених норм.

Під час експлуатації зерносушарки необхідно дотримуватись наступних вимог:

– підключати машину до електромережі та усувати несправності електричної частини дозволяється тільки електромонтеру;

– вмикати та вимикати машину, а також усувати пошкодження дозволяється тільки машиністу;

– кабель електропостачання не повинен мати механічних пошкоджень ізоляції;

– після завершення роботи забороняється залишати машину підключену до електромережі;

– змащування, підтягування болтових з'єднань, надівання пасів виконувати тільки під час повної зупинки машини;

– не допускати до працюючої зерносушарки сторонніх людей;

– при наявності великої запиленості на робочому місці працювати необхідно в захисних окулярах, респіраторах;

– кришка щита управління повинна бути завжди зачиненою;

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– всі роботи по ремонту та налагодженню електрообладнання виконувати тільки при повному знятті напруги.

Для цього при непрацюючій зерносушарці необхідно:

- відключити головний рубильник на ввідному розподільному пристрої;
- встановити попереджувальний плакат;
- перевірити відсутність напруги на вході щита управління.

Виробничі та складські приміщення відповідають вимогам СНиП 2.09.02

– 85, СНиП 2.11.01 – 85, ДНАОП 0.03 – 3.15 – 86 (СН №4088

– 86), СНиП 2.01.02 – 85, СНиП II – 4

– 79. Уміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони розташування зерносушарки – 3.20

– 90 “Орієнтовно безпечні рівні впливу (ОБРВ) шкідливих речовин у повітрі робочої зони

– 90 та ГОСТ 12.1.005 – 88.

4.3. Розробка заходів по пожежній профілактиці.

Керівництво господарства організовує навчання і виконання всіма працівниками типових правил пожежної безпеки, контроль виконання протипожежного режиму.

На кожному виробничому відділенні розміщують інструкції про заходи пожежної безпеки. Їх розробляють інженерно-технічні працівники та затверджує керівник господарства. Всі працівники періодично проходять протипожежний інструктаж та заняття по типовим програмам. Проводять їх головні спеціалісти господарства та реєструють в спеціальному журналі.

Пожежні водойми, траншеї тощо, що влаштовуються для виробничих цілей, закриті і огорожені, а у темну пору доби забезпечено їх освітлення. Використання пожежних водойм для купання та інших цілей забороняється. Огородження пожежної водойми не заважає заїзду пожежних автомобілів та доступу до неї особового складу пожежної охорони. Робоче місце оператора зерносушальної машини обладнують первинними засобами пожежогасіння. При щозмінному технічному огляді особливу увагу приділяють стану

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електрообладнання так як несправності або неправильна експлуатація призводить до пожеж. Зерносушильний майданчик у відповідності з ГОСТ 12.2.019 комплектується первинними засобами пожежогасіння: вогнегасник марки ОП – 5 – 2шт, санітарна лопата - 2шт, пожежні відра - 2шт, ящик з піском, резервуар з водою. Складські приміщення обладнано автоматичною пожежною сигналізацією включаючи звукову сигналізацію.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

На основі досліджень впливу пульсуючої подачі теплового агента на якість та продуктивність роботи сушарки нами були внесені такі зміни до конструкції базової машини сушарки Т – 662:

- розроблена конструкція пульсатора;
- змінена конструкція бункера прогріву матеріалу;
- розроблена система використання підігрітого теплового агента;
- розроблений механізм нахилу решета.

Вказані зміни дозволяють підвищити продуктивність з 2 до 4,7 т/год зменшити вологість матеріалу на 12% по зрівнянню з базовою машиною, зменшити масу машини на 332 кг та витрати часу на технічне обслуговування машини на 8 хвилин й витрати часу на усунення поломок та деформацій на 6 хвилин у робочу зміну (таблиця 5.1)

Таблиця 5.1

Техніко-економічні показники використання модернізованої зерносушарки

№ п/п	Показники	Одиниці виміру	Сушарка		Відхилення	
			Базова	Проектна	+ -	%
1.	Обсяг робіт	т	3450	3450	–	–
2.	Продуктивність	т/год	2,0	4,7	+2,7	+135
3.	Витрати електроенергії	кг/т	4,0	2,63	-1,37	--34
4.	Ціна сушарки	грн.	108300	181525,69	+73225,7	+68
5.	Собівартість сушіння	грн.	887445,55	296413,59	-591031,9	-67
6.	Питома собівартість	грн./т	257,23	85,92	-171,31	-67

					СП 00.000 ПЗ		Арк.
							51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

	сушіння					
7.	Річна економія	грн.	—	591090,5	-	-
8.	Річний економічний ефект	грн.	—	580035,65	—	—

Спроектована машина є більш ефективною. Запропонована технологія дозволяє отримати річний економічний ефект у розмірі 580035,65 грн., порівняно з базовою технологією, підвищити продуктивність сушарки на 44%, знизити питому собівартість сушіння на 33%.

ВИСНОВКИ

1. Найдоцільніше при проведенні зазначених технологічних процесів використовувати у ролі проміжного теплоносія киплячі та віброгравітаційні циркуляційні середовища. Проте масовому впровадженню технологій з використанням цих середовищ перешкоджає нерівномірний розподіл локальних коефіцієнтів тепловіддачі по поверхні насінин і неможливість існуючими способами задавати та витримувати необхідний темп нагріву (охолодження) в будь-якій зоні шару.

2. Аналіз накопичених експериментальних даних показує, що запропоновані різні моделі механізмів перенесення теплоти у киплячих шарах побудовані на дуже спрощених схемах взаємодії між поверхнею тіла і киплячим середовищем. Тому для впровадження більш досконалих процесів сушіння необхідне проведення додаткових досліджень та вивчення киплячого шару з метою інтенсифікації зовнішнього тепло-масообміну.

5. Поки що не розроблені ефективні способи інтенсифікації теплопереносу в неоднорідних киплячих середовищах на основі адекватної моделі зовнішнього теплообміну, яка відображає реальну картину структурно-гідродинамічних ефектів, що виникають при контакті поверхні з шаром насіння сільськогосподарських культур, і ступеня їх дії на процеси. З урахуванням світових тенденцій щодо ефективного використання енергетичних ресурсів конструкції сучасних сушарок повинні забезпечити скорочення тривалості технологічних процесів сушіння, зниження питомої витрати енергії, підвищення якості готових виробів і

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продуктивності праці та поліпшення санітарно-гігієнічних умов роботи саме тому, на наш погляд, найкращим шляхом вирішення даної задачі може бути ефективне використання зерносушарки з пульсуючою подачею агента сушіння із застосуванням киплячого шару в даному технологічному процесі.

6. Детермінована математична модель руху важкої частинки в псевдозрідженому шарі, який пронизує пульсуючий потік повітря, дозволяє врахувати взаємозв'язок властивостей матеріалу (опір та шпаруватість шару, швидкість фільтрації повітря) та окремої частинки (густина) з параметрами сушарки (поперечний перетин, тиск повітря в сушильній камері, опір пульсатора та решета) і теоретично визначити час опускання цієї частки ($t = 5 - 6 \text{ с}$), а також наступні параметри: довжину каналу ($L = 0,5 - 1,2 \text{ м}$); частоту пульсації повітряного потоку ($\omega_{\text{п}} = 8,37 - 15,56 \text{ с}^{-1}$) та максимально допустиму висоту шару насіння ($h_0 = 0,08 - 0,12 \text{ м}$).

7. Для визначення опору пульсатора, швидкості фільтрації та частоти пульсації повітряного потоку отримано аналітичні формули, які враховують взаємозв'язок між параметрами псевдозрідженого шару (критична швидкість псевдозрідження, шпаруватість та початкова висота шару, густина найважчих часток) насіння та зерносушарки (висота, ширина, довжина решета; розміри пульсатора).

8. Проаналізувавши графіки зміни вологості (рис. 3.13) для сої при режимах з попереднім прогрівом і пульсацією, без попереднього прогріву але з пульсацією, також без пульсації але з прогрівом та без пульсації і прогріву прийшли до висновку, що крива вологознімання при сушінні з попереднім прогрівом більш стрімкіша, а це пояснюється тим, що вологий матеріал за час, протягом якого він знаходиться в завантажуючому бункері, підігрівається і потрапляє безпосередньо в сушильну камеру вже нагрітим, тому час на нагрівання не затрачається і, практично, зразу ж таки вологий матеріал починає віддавати вологу. Швидкість сушіння в режимі з попереднім прогрівом більша, а ніж у режимі без попереднього прогріву.

9. Експериментально доведено, що попередній прогрів насіння разом із пульсуючою подачею теплового агента сприяє рівномірності просушування і підвищує показники процесу на 10 – 12 % (для сої). Посівні властивості

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробленого матеріалу показали підвищення показників по всіх параметрам в середньому на 5 – 7%

10. Експериментально встановлено область раціональних значень параметрів зерносушарки з пульсуючою подачею теплового агента, при яких спостерігається підвищення якісних показників роботи (ефект сушіння для олійних культур $W = 74 - 92\%$, продуктивність $Q = 2$ т/год, енергетичні витрати E на 1 т. сушіння матеріалу – 12,5 кВт):

- тиск у сушильній камері – $P_1 = 1,3 - 1,5$ кПа;
- температура в сушильній камері – $t_1 = 70 - 130^\circ\text{C}$;
- температура у трубі попереднього прогріву – $t_2 = 70 - 130^\circ\text{C}$;
- товщина шару матеріалу – $h = 0.010 - 0.020$ м;
- кут нахилу робочих каскадів – $\alpha = 3 - 12^\circ$;
- частота пульсації теплового агента $\omega_{\Pi} = 14,65-10,62$ с⁻¹

11. Спроектована машина є більш ефективною. Запропонована технологія дозволяє отримати річний економічний ефект у розмірі 580035,65 грн., порівняно з базовою технологією, підвищити продуктивність сушарки на 44%, знизити питому собівартість сушіння на 33%.

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Атаназевич В. И. Сушка зерна / Атаназевич В. И. - К.: Вища школа; 2007.— 489 С.
2. Блохин П.В. Аэрогравитационный транспорт / Блохин П.В. - К. : Колос, 1979. - 120 С.
3. Богатирьов Д.В. Науково-технологічні основи очисного та сушильного зернового обладнання, що працює в стані псевдозрідження // [Монографія] Петренко М.М., Сало В.М., Лузан П.Г., Скриннік І.О. – Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2013 – 212 с.
4. Бородуля В.А. Исследование движения и массообмена пузырей в псевдооживленном слое / Бородуля В.А. // Инженерно-физический журнал. – К.: 1981. т. 41, № 4. - С. 678 - 689.
5. Бувечич Ю.А. Струйное псевдооживление/Бувечич Ю.А. - К.: Вища школа, 1984.- 132с.
6. Васильев, А.Н. Оптимизация сушки зерна активным вентилированием [Текст] /А.Н. Васильев // Хліб України – 2008; №6, С. 30-31.
7. Вахрушев И.А. Развитие двухфазной теории неоднородного псевдооживления / Вахрушев И.А. //Теоретические основы химической технологии. - 1974. т. 8, №4. - С. 563 - 571.
8. Гальперин Н. И., Айнштейн В. Г., Тимохова Л. Л. Гидродинамические особенности псевдооживления зернистых материалов в конических аппаратах / Н. И Гальперин., В. Г. Айнштейн, Л. Л. Тимохова „, Хим. Машиностроение”, 1965 г., № 4. – С. 12 – 15
9. Горячкин В. Зерносушилки. / Горячкин В. Москва. 1907.
10. Гержой А. П., Самочетов. В. Д. Зерносушение / Гержой А. П., Самочетов. В. Д. – К.: Вища школа, 1951.
11. Глебов Л. А., Демский А.Б. Технологическое оборудование предприятий отрасли (зерноперерабатывающие предприятия) / Глебов Л. А., Демский А.Б. - К.: Вища школа, 2006. – 816 С.
12. Глинский В.А. Экспериментальное исследование скорости подъема и скорости увеличения размеров пузыря в псевдооживленном слое с помощью метода рентгено съемки / Глинский В.А. //Журнал прикладной химии. - 1981. т. 54, №3. - С. 183 - 184.
13. Гупало Ю.П. Рост пузырей во взвешенном слое при нелинейном межфазном взаимодействии / Гупало Ю.П. // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. - 1977. № 6. - с. 66 - 73.

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Гухман А.А. О движении твердой фазы в псевдооживленном слое / Гухман А.А. // Теоретические основы химической технологии. 1973. т. 7, №3. - с. 401 - 406.
15. Демский А.Б. Комплектные зерноперерабатывающие установки малой мощности / Демский А. Б. - К.: Вища школа; 2004. - 264 С
16. Дідух В.Ф. Переваги сушіння насіннєвих матеріалів методом протитечії // Сільськогосподарські машини. Зб . наук. Праць. Вип . 6. –Луцьк : РВВ ЛДТУ .- 2000.- с. 59-63.
17. Иванютенко В.Н. Расширение и порозность неоднородного псевдооживленного слоя / Иванютенко В.Н. // Инженерно-физический журнал. - 1981. т. 1, № 3. - С. 470 - 475.
18. Калягин А.Д. Исследование распределения концентрации частиц в псевдооживленном слое методом внешней фильтрации / Калягин А.Д. // Химия и химическая технология. - 1968. № 44. - С. 141 – 145.
19. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. енергозбереження в аграрному комплексі . – Тернопіль : Підручники і посібники , 2001. – 984 с.
20. Котов Б.І. Технологічні та теплотехнічні основи підвищення ефективності сушіння рослин. Автореф. дис. докт.техн.наук: 05.20.01. – Г., 1994. – 40 с.
21. Кремнев О. М., Боровський В. Р., Долинський А. А. Скоростная сушка / Кремнев О. М., Боровський В. Р., Долинський А. А.. - Киев , “ДТВУ”, 1963. - 382с.
22. Лыков А. В. Теория сушки / Лыков А. В. – К.: Вища школа, 1968. – 471 с.
23. Богатирьов Д.В., Петренко М.М. Експериментальні дослідження пневмоімпульсної сепарації за густиною. Вісник ТДТУ. Випуск 1. 2005, С. 23-34.
24. Петренко М.М., Сало В.М., Богатирьов Д. В., Скриннік І. О. Науковотехнологічні основи очисного та сушильного зернового обладнання, що працює в стані псевдозрідження / . Кіровоград: СПД ФОП Лисенко В.Ф., 2013. 212 с. – (ISBN 978-966-2570-66-3).
25. Нестеренко А.В., Лещенко С.Н., Петренко Д.И., Богатырев Д.В., Кислун О.А. Теоретическое обоснование качественных показателей процесса пневмосепарации для многоуровневого введения зерна. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture* . 2013, Vol.15, No. 2, С.93–98.
26. Нестеренко О. В., Лещенко С. М., Петренко Д. І. Дослідження нерівномірності повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі при багаторівневому введенні зерна. Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства імені Петра Василенка «Механізація сільськогосподарського виробництва». 2015, Вип. 156, С. 35-42.

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. Nesterenko O. V., Leshchenko S. M., Vasylovskyi O. M., Petrenko D. I. Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2017, Vol. 53, No.3, С. 65-70.
28. Котов Б.І., Степаненко С.П. Закономірності руху частинок в пневмогравітаційному сепараторі при змінній швидкості горизонтального повітряного потоку. *Сільськогосподарські машини*. 2016, Вип. 35, С. 40-45.

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

	стор
Вступ	6
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	7
3. НАУКОВА ЧАСТИНА	15
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	49
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	51
ВИСНОВКИ	52

					СП 00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 2

Економічна частина

Розраховуємо собівартість обробки насіння сої

$$C = M + Z_{nl} + D_{kl} + D_{nl} + B_{соц} + B_{ам} + B_p + H,$$

де M – матеріальні затрати;

Z_{nl} – основна заробітна плата робітників;

D_{nl} – додаткова заробітна плата;

D_{kl} – доплата за класність;

$B_{соц}$ – відрахування на соціальні заходи;

$B_{ам}$ – амортизаційні відрахування на техніку;

B_p – витрати на ремонт і технічний догляд;

H – накладні витрати (сума загальновиробничих і загальногосподарських витрат).

Визначаємо суму витрат на енергоносії.

$$\sum B_c = W_m \cdot V \cdot C_{кВт} + W_n \cdot V \cdot C_{д.п.},$$

де W_m , W_n – відповідно, витрати електроенергії на одиницю роботи, (кВт год/т) та дизельного палива (кг/т);

V – обсяг робіт, т;

$C_{кВт}$ – ціна 1 кВт електроенергії, грн.;

$C_{д.п.}$ – ціна 1 кг пального.

Знаходимо витрати на електроенергію та паливо при виконанні сушіння

базова сушарка

$$\sum B_c = \frac{3450}{2} \cdot 4 \cdot 2.06 + \frac{16 \cdot 3450}{2} \cdot 23,0 = 649014,0 \text{ грн}$$

проектна сушарка

$$\sum B_c = \frac{3450}{4,7} \cdot 2.63 \cdot 2.06 + \frac{11 \cdot 3450}{4.7} \cdot 23,0 = 189689,65 \text{ грн}$$

Розраховуємо оплату праці робітників.

Визначаємо основну заробітну плату по тарифу за формулою

$$З_{пл} = l_{год} \cdot t,$$

де $l_{год}$ – годинна тарифна ставка, грн.;

t – відпрацьований час, год.;

$$t = \frac{V}{H_{\epsilon}} \cdot t_{зм}$$

де $t_{зм}$ – тривалість зміни, приймаємо ($t_{зм} = 7$ год);

H_{ϵ} – виробіток за зміну, т/зм.

Розраховуємо відпрацьований час для операції сушіння сої
базова машина

$$t_B = \frac{3450}{2} = 1725 \text{ год.}$$

проектна машина

$$t_{II} = \frac{3450}{4,7} = 734 \text{ год.}$$

Розраховуємо основну заробітну плату:

базова машина

$$З_{пл} = 32.63 \cdot 1725 = 56286,75 \text{ грн.}$$

проектна машина

$$З_{пл} = 32.63 \cdot 734 = 23950.42 \text{ грн.}$$

Розраховуємо додаткову заробітну плату.

$$Д_{зн} = \left(\frac{K_{Дзн}}{100} \right) \cdot З_{пл},$$

де $K_{Дзн}$ – відсоток додаткової заробітної плати, $K_{Дзн}=20\%$.

- базова машина

$$Д_{зн} = \left(\frac{20}{100}\right) \cdot 56286,75 = 11257,35 \text{ грн.}$$

- проектна машина

$$Д_{зн} = \left(\frac{20}{100}\right) \cdot 23950,42 = 4790,08.$$

Розраховуємо доплату за якість робіт

$$Д_{кл} = \left(\frac{K_{Дкл}}{100}\right) \cdot З_{пл},$$

де $K_{Дкл}$ – відсоток доплати за якість, 10%.

- базова сушарка

$$Д_{кл} = \left(\frac{10}{100}\right) \cdot (56286,75 + 11257,35) = 6754,41 \text{ грн.}$$

- проектна сушарка

$$Д_{кл} = \left(\frac{10}{100}\right) \cdot (23950,42 + 4790,08) = 2874,05 \text{ грн.}$$

Фонд заробітної плати

- базова сушарка

$$56286,75 + 11257,35 + 6754,41 = 74298,51 \text{ грн.}$$

- проектна сушарка

$$23950,42 + 4790,08 + 2874,05 = 31614,55 \text{ грн.}$$

Розраховуємо відрахування на соціальні заходи.

$$В_{соц} = \left(\frac{K_{соц}}{100}\right) \cdot З_{пл}$$

де $K_{соц}$ – встановлений державою відсоток відрахувань на соціальні заходи, $K_{соц}=22\%$.

- базова сушарка

$$В_{соц} = \left(\frac{22}{100}\right) \cdot 74298,51 = 16345,67 \text{ грн.}$$

- проектна сушарка

$$B_{соц} = \left(\frac{22}{100}\right) \cdot 31614.55 = 6955.21 \text{ грн.}$$

Розраховуємо витрати на утримання основних засобів. Визначаємо амортизаційні відрахування за формулою:

$$B_{ам} = \frac{K_n \cdot \Pi_{он} \cdot H_a \cdot t}{100 \cdot P_з}$$

де K_n – коефіцієнт перевозу оптової ціни у балансову вартість ($K_n = 1,3-1,5$);

$\Pi_{он}$ – оптова ціна зерносушарки, грн.;

H_a – норма амортизаційних відрахувань, $H_a = 15\%$;

$P_з$ – річне середнє завантаження сушарки, год.

– базова

$$B_{ам} = \frac{1,5 \cdot 108300 \cdot 15 \cdot 1135}{100 \cdot 2600} = 10637,35 \text{ грн}$$

– проектна

$$\Pi_{онт} = \frac{\Pi_{б}}{M_{б}} \cdot M_{пр} = \frac{108300}{1600} \cdot 1268 \cdot \frac{4.7}{2} \cdot 0.9 = 181525,69 \text{ грн}$$

$$B_{ам} = \frac{1,5 \cdot 181525,69 \cdot 15 \cdot 984}{100 \cdot 2600} = 15457.61 \text{ грн}$$

Визначаємо витрати на ремонт і технічний догляд за формулою:

$$B_p = \frac{K_n \cdot \Pi_{он} \cdot H_p \cdot t}{100 \cdot P_з}$$

де H_p – норма відрахувань на ремонт і технічний огляд, $H_p = 7\%$.

базова

$$B_p = \frac{1,5 \cdot 108300 \cdot 7 \cdot 1135}{100 \cdot 2600} = 4964,1 \text{ грн}$$

проектна

$$B_p = \frac{1,3 \cdot 181525,69 \cdot 7 \cdot 987}{100 \cdot 2600} = 6270,80 \text{ грн}$$

Розраховуємо загальновиробничі та загальногосподарські витрати

Визначаємо загальновиробничі витрати за формулою:

$$З_{вир} = \frac{K_{вир}}{100} \cdot (З + B_{ам}),$$

де $K_{вир}$ – коефіцієнт загально-виробничих витрат, приймаємо 30 %;

$З$ – заробітна плата працівників, яка включає основну і додаткову заробітну плату, а також доплату за якість роботи

– базова

$$З_{вир} = \frac{30}{100} \cdot (74298,51 + 31614,55) = 31773,92$$

– проектна

$$З_{вир} = \frac{30}{100} \cdot (31614,55 + 15457,61) = 11121,65$$

Визначаємо загальногосподарські витрати за формулою:

$$З_{зос} = \frac{K_{зос}}{100} \cdot (З + B_{ам}),$$

де $K_{зос}$ – коефіцієнт загальногосподарських витрат, приймаємо $K_{зос}=75\%$

– базова

$$З_{зос} = \frac{75}{100} \cdot (74298,51 + 31614,55) = 79434,80 \text{ грн}$$

– проектна

$$З_{зос} = \frac{75}{100} \cdot (31614,55 + 15457,61) = 35304,12 \text{ грн}$$

Визначаємо накладні витрати.

$$H = З_{зос} + З_{вир}$$

– базова

$$H=31773,92+79434,8=111208,72 \text{ грн.}$$

– проектна

$$H=11121,65+35304,12=46425,77 \text{ грн.}$$

Визначаємо собівартість обробки насіння сої

Підставляємо знайдені значення в формулу:

базова

$$C_6 = 649014,0 + 74298,51 + 16345,67 + 31614,55 + 4964,1 + 111208,72 = 887445,55 \text{ грн.}$$

проектна

$$C_n = 189689,65 + 31614,55 + 6955,21 + 15457,61 + 6270,8 + 46425,77 = 296413,59 \text{ грн.}$$

Визначаємо питому собівартість обробки насіння сої

$$C_1 = \frac{C}{V}.$$

базова машина

$$C_1 = \frac{887445,55}{3450} = 257,23 \text{ грн./т}$$

проектна машина

$$C_1 = \frac{296413,59}{3450} = 85,92 \text{ грн./т}$$

Визначаємо економію витрат в наслідок заміни базової машини на проектну

$$E = (C_o - C_n) \cdot V$$

C_o – собівартість сушіння однієї тони на базовій сушарці;

C_n – собівартість сушіння однієї тони на проектній сушарці.

$$E = (257,23 - 85,92) \cdot 3450 = 591019,5 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект

$$E_{\phi} = E - E_n \cdot \Delta K$$

де E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності, $E_n = 0,15$;

ΔK – додаткові капіталовкладення в модернізацію сушарки.

$$E_{\phi} = 591019,5 - 0,15 \cdot (181525,69 - 108300) = 580035,65 \text{ грн.}$$

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2024 року

Графічна частина

дипломної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему «Механізація переробки насіння соняшнику з удосконаленням
сушильного агрегату»

на _____ аркушах формату А1 (змаштабованих на аркушах формату А4)

Здобувач вищої освіти __ІІ__ курсу, групи АІ-23М-2
ОПП «Агроінженерія» спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ А.В. Гурко

Керівник

_____ Д.В. Богатирьов

Нормоконтроль

_____ Ю.В. Мачок

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				<u>Документація</u>		
A1			СП 045.000	Складальне креслення	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	СП 045.001	Лопатеве колесо	1	
				<u>Деталі</u>		
		1	СП 045.301	Корпус	1	
		2	СП 045.302	Боковина	2	
		3	СП 045.303	Кришка	2	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		5		Болт М6-6gx36.66.019		
				ГОСТ 7796-70	14	
		6		Шайба 6.65Г.019		
				ГОСТ 6402-70	14	
		7		Гайка М6-7Н.019 ГОСТ 5927-70	14	
				СП 045.000		
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		
Розроб.	Гурко				Шлюзовий затвор	
Перевір.	Богатирьов					
Н. контр.	Мачок					
Затв.	Васильковський				ЦНТУ, гр. АІ-24М-2	
					Літ.	Арк.
						1

[illegible]

ДИПЛОМНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

Механізація переробки насіння
соняшнику з удосконаленням
сушильного агрегату

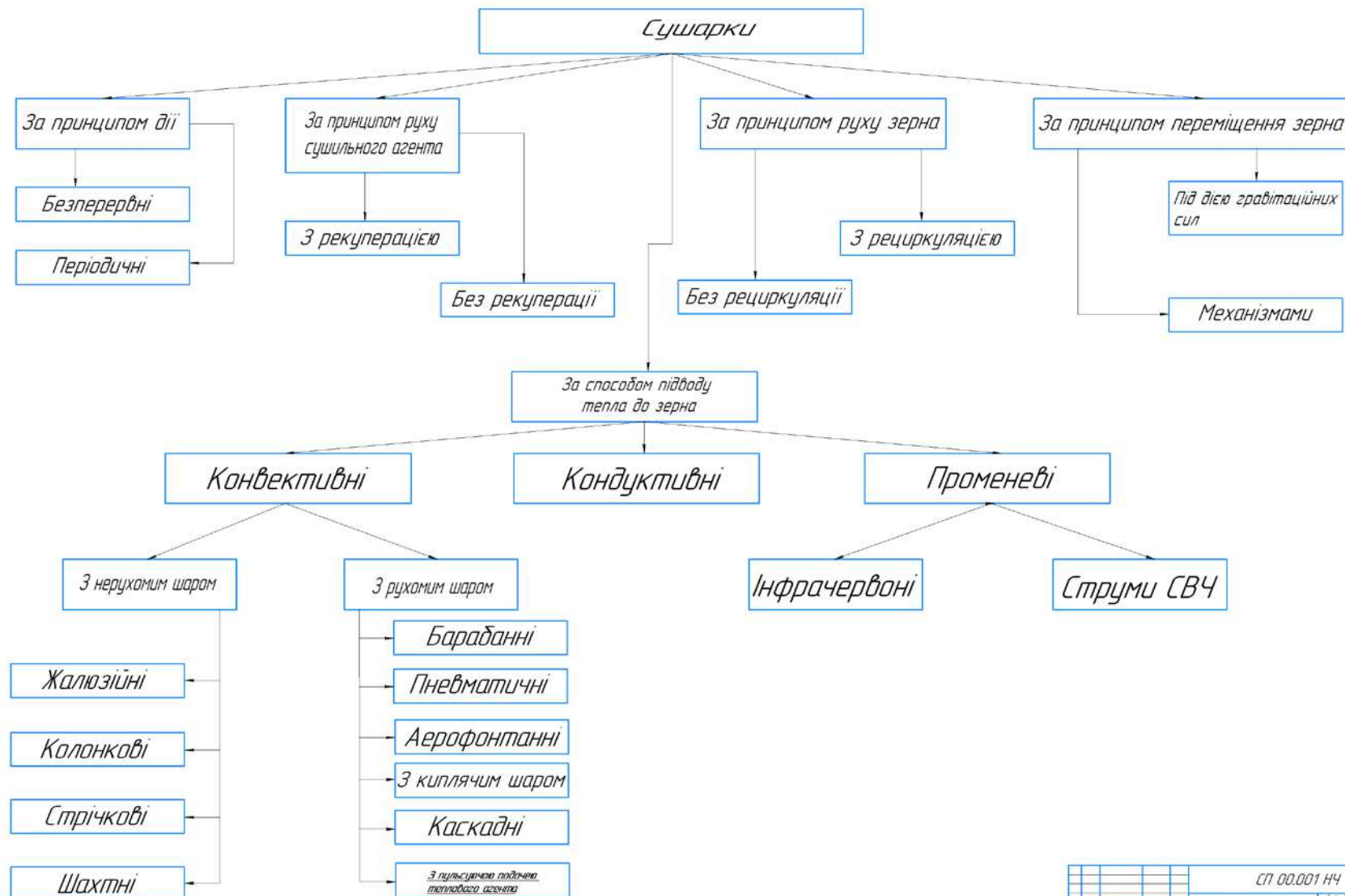
Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи AI-23M-2

ОПП «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Гурко Андрій Васильович

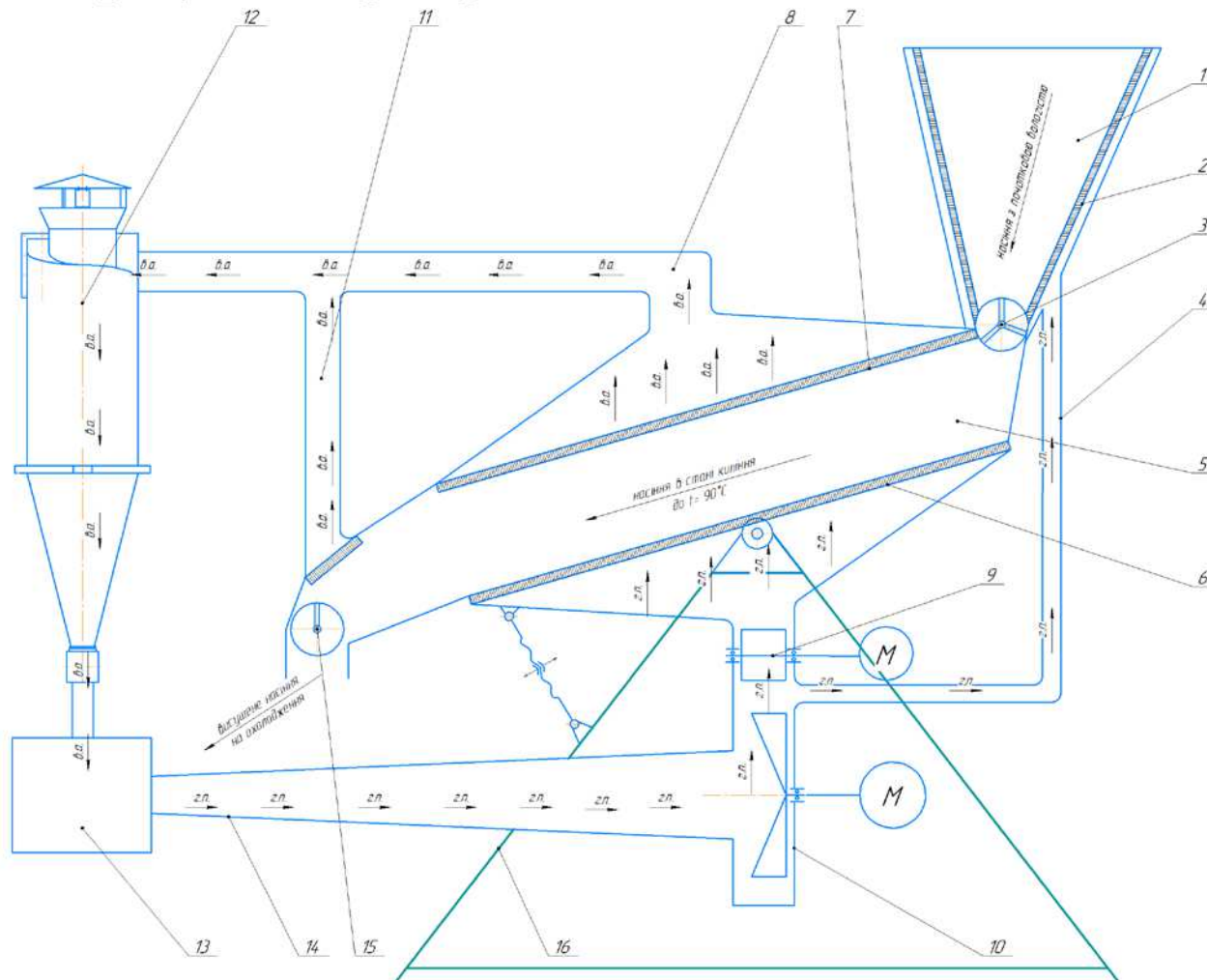
						СП 00.003 Т4				
						Технологічна карта вищороблення соняшника				
Роз. деп.	№ докум.	Дата	Вісн.			Лист	Маса	Можливість		
Розроб.	Лист	Відомості	Рис.				-	-		
Голов.						Лист	Листів	1		
Інженер	Лист	-				ЦНТУ зр. АІ-20М-2				
ЗМ	Відомості									

Класифікація технологічного обладнання для сушіння агрокультур



СП 00.001 НЧ									
Розроблено	В. М. Діброва	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила
Використано	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила
Використано	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила
Використано	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила	Людмила
Класифікація технологічного обладнання для сушіння агрокультур									
—									
ЦНТУ, зр. АІ-23М-2									

Сушарка з пульсуючою подачею теплового агента



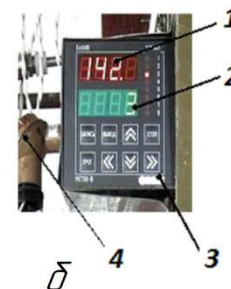
- 1 – корпус бункера;
- 2 – внутрішній бункер (бункер для підгріву насіння);
- 3 – шлюзовий затвор;
- 4 – теплопровід для виходу відпрацьованого агента сушіння (д.а.) $t=30-57^{\circ}\text{C}$;
- 5 – сушильна камера;
- 6, 7 – решета;

- 8, 11 – теплопровід для виходу відпрацьованого агента сушіння (д.а.);
- 10 – пульсатор з приводом;
- 12 – циклон для очищення відпрацьованого агента сушіння;
- 13 – теплогенератор;
- 14 – теплопровід для агента сушіння (т.п.) $t=90^{\circ}\text{C}$;
- 15 – шнек;
- 16 – рама з механізмом регулювання кута нахилу решет.

СЗ 00.003 С2					
Сушарка з пульсуючою подачею теплового агента					
Розробник	М.В.В.	Л.В.В.	Л.В.В.	Л.В.В.	Л.В.В.
Виконав	М.В.В.	Л.В.В.	Л.В.В.	Л.В.В.	Л.В.В.
Перевірив	М.В.В.	Л.В.В.	Л.В.В.	Л.В.В.	Л.В.В.
Затвердив	М.В.В.	Л.В.В.	Л.В.В.	Л.В.В.	Л.В.В.
ЦНТУ, зр. АІ-23М-2				Лист	Листів 1



Run 1	
Patrol	
Spot	
Time	
Height	
Width	

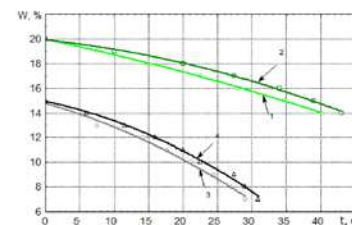


Run 1	
Patrol	
Spot	
Time	
Height	
Width	

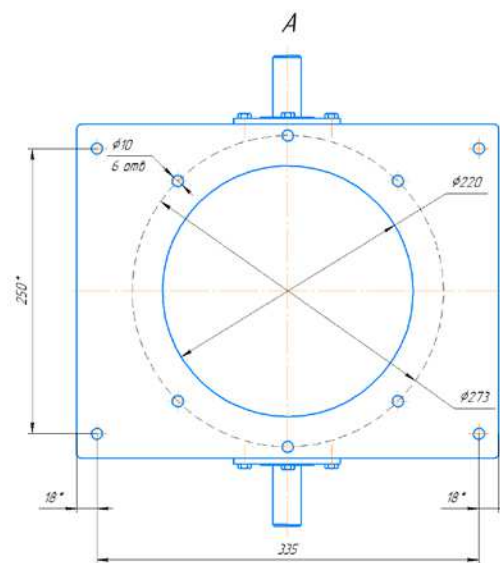
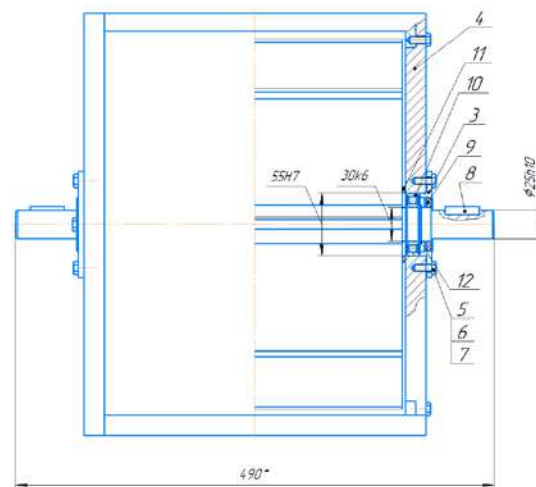
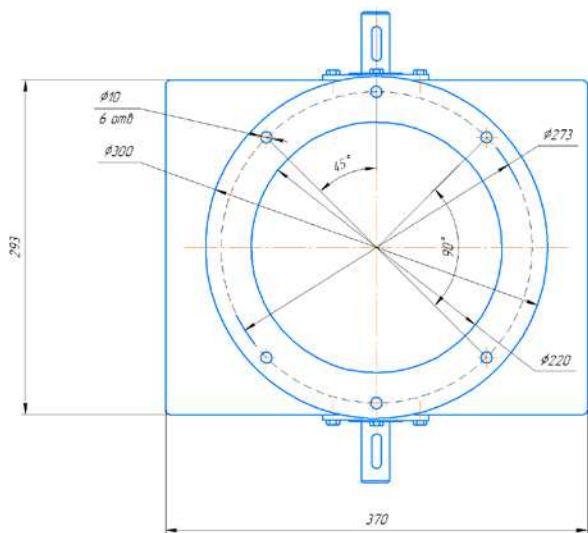


Run 1	
Patrol	
Spot	
Time	
Height	
Width	

					СП 00.004 НЧ			
Фирма	№ документа	Датум	Страна	Экспериментальная установка та вымеряемый прибор	Лист	Листов	Масштаб	
Материал	Содержание							
Классификация	Масштаб							
Масштаб	Масштаб			-	ЧНТЗ, зр. А1-238			

 δ

4 – вологознімання з соняшника з цільсоцією та попереднім підігрівом,



1. Після збирання лопатею колесо повинно обертатись без заклинювання
2. Змащення підшипників через кожні 48000 годин роботи
3. * Розмір для відвідів

[illegible]

