Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою СГМ
к.т.н., доцент
_____Сергій ЛЕЩЕНКО
“___“ _____2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему.

«Підвищення ефективності пневматичного зерносепаратора з обґрунтуванням його параметрів»

Виконав здобувач вищої освіти__II___курсу,
групи ГМ(СМ)-21(1.9)
ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
_____Шмельов Антон Анатолійович
«____»_____2023 р.

Керівник проекту
доцент, канд.техн.наук
_____Володимир ОНОПА
«_____»_____2023 р.

Рецензент _____
професор, докт.техн.наук
_____Микола МОРОЗ

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна програма Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

к.т.н., доцент
_____ Сергій ЛЕЩЕНКО
«___» _____ 2023 року

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

Шмельов Антон Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності пневматичного зерносепаратора з обґрунтуванням його параметрів

2. Керівник роботи Онопа Володимир Анатолійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 01 травня 2023 року

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності сепарації зернових сумішей із найменш можливими витратами енергетичних ресурсів.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-5	Онопа В.А.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	До 1.05.23 р.	
2	Інженерна частина	20.04.2023 р.	
3	Наукова частина	27.04.2023 р.	
4	Охорона праці	28.04.2023 р.	
5	Економічна частина	28.04.2023 р.	
6	Висновок	28.04.2023р.	
7	Виконання графічної частини роботи	Після виконання відповідних розділів	
8	Нормоконтроль	Згідно графіку захисту	
9	Захист роботи		

Дата видачі завдання
«____» _____2023 р.
Підпис керівника _____ Онопа В.А.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«____» _____2023 р.

Підпис здобувача _____ Шмельов А.А.
(прізвище та ініціали)

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				Документація загальна		
				Заново розроблена		
			ПСА 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка		
				Документація по інженерній		
				частині		
				Заново розроблена		
А1			ПСА 00.013.000 СБ	Варіатор	1	
А2			ПСА 00.040 СБ	Муфта обгінна	1	
А3			ПСА 08.013.050.601	Вал	1	
А3			ПСА 08.013.050.102	Маточина	1	
А1			ПСА 00.006 С2	Пневмоімпульсний сепаратор	1	
				Документація по науковій		
				частині		
А1			ПСА 00.004 НЧ	Наукова частина	1	

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ПСА 00.000 ВП			
Розроб.		Шмельов			Відомість магістерської кваліфікаційної роботи	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Онопа					1	1
						ЦНТУ. гр. ГМ(СМ)-21М(1.9)		
Н. контр.		Мачок						
Затв.		Лещенко						

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
А1			ПСА 00.001 НЧ	Класифікація технологічного		
				обладнання для сушіння		
				зернових культур	1	
А1			ПСА 00.002 НЧ	Огляд конструкцій зерносушарок	1	
А1			ПСА 00.006 НЧ	Експериментальні дослідження	1	
				Документація по охороні праці		
				Заново розроблена		
А1			ПСА 00.000. ОП	Охорона праці	1	
				Документація по економічній		
				частині		
				Заново розроблена		
А1			ПСА 00.000. ЕЧ	Техніко-економічні показники	1	

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ПСА 00.000 ВП	Аркуш 2

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				Документація по охороні праці		
				Заново розроблена		
А1			ПСА 00.000. ОП	Охорона праці	1	
				Документація по економічній		
				частині		
				Заново розроблена		
А1			ПСА 00.000. ЕЧ	Техніко-економічні показники	1	
А1						

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ПСА 00.000. ВП	Аркуш

ВСТУП

На сучасному етапі, в умовах ринкової економіки на Україні з виникненням фермерських і орендних підприємств, виникли нові вимоги до техніки, яка використовується для післязбиральної обробки, і зокрема, очищення зернових та олійних культур. Площа посівів складає більше трьох мільйонів гектарів. Врожайність зернових культур в багатьох випадках обумовлена технологіями їх посіву. Реалізація яких суттєво залежить як від якості виконання робіт, так і від якості посівного матеріалу. Разом з повним очищенням насіння від домішок одними з найважливіших ознак якості насіннєвого матеріалу є його густина та крупність. Доведено, що відбір насінин з найбільшою густиною є відбором найбільш фізіологічно зрілих. Густина впливає на схожість, силу росту, енергію проростання та життєздатність насінини, а також на кількість стебел та якість отриманих з них рослин. З насінин високої густини отримують більшу кількість рослин і вони швидше розвиваються, тобто дають кращі врожаї. Якщо проаналізувати біологічні та фізико-механічні властивості насінини, то густина є одним з пріоритетних показників за яким доцільно проводити сепарацію.

На сьогодні запропоновано багато технічних рішень устаткування для сепарації насіння за фізико-механічними властивостями які корелюють з густиною. Але слід відмітити, що більшість з них не забезпечують агротехнічні вимоги або економічно не ефективні.

Одним з перспективних напрямків зниження трудомісткості, енергоємності, підвищення якості та стійкості процесу сепарації насіння за густиною є переведення його в псевдозріджений стан, дослідження якого на сьогодні є назрілою проблемою.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є удосконалення конструкції сепаратора для зернових культур.

2. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

2.1. Пневматичний зерносепаратор

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування нашого університету розроблено конструкцію (рис. 2.1) обладнання для сепарації насіння за густиною (ЗС).

Для зменшення енерговитрат коливання деки замінено на пульсацію повітряного потоку. Для підвищення якості та стійкості сепарації повітряний канал має пористу перегородку, яка створює вирівняний висхідний потік повітря.

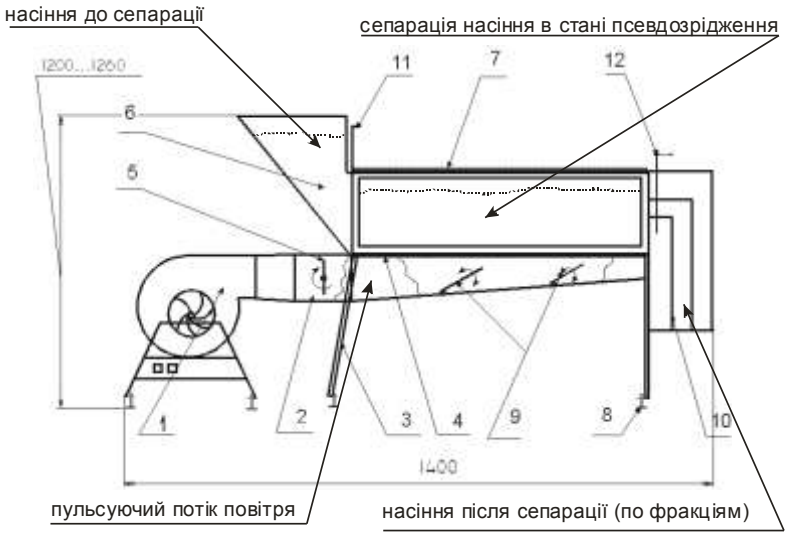


Рис. 2.1. Обладнання для сепарації насіння за густиною:

1 – вентилятор з приводом та блоком керування; 2 – повітряний канал; 3 – рама; 4 – пориста перегородка; 5 – пульсатор з приводом та лопаттю, яка має змінний діаметр; 6 – бункер; 7 – сітка для виходу повітря; 8 – регулятор кута нахилу повітряного каналу; 9 – регульовані заслінки; 10 – блок дільників; 11 –регулятор висоти шару насіння в каналі; 12 – регулятор висоти встановлення дільників

Процес сепарації відбувається таким чином: насіння завантажують в повітряний канал 2 (рис. 2.1) через бункер 6. Товщина шару насіння визначається регулятором 11. Вентилятор 1 нагнітає повітря у повітряний канал 2 через пористу перегородку 4. Пульсатор 5 створює змінний потік повітря, який, проходячи через перегородку 4 пронизує шар насіння. Відбувається сепарація в псевдозрідженому шарі насіння за густиною, тобто важкі насінини (з найбільшим значенням густини) опускаються на дно перегородки 4, легкі піднімаються вгору, а середні

займають місце між важкими та легкими. Далі класифікований за густиною шар насіння рухається до блоку дільників 10. Повітря виходить через сітку 7, яка сполучається з системою вентиляції або з циклоном. Для інтенсифікації процесу сепарації машина має пульсатор 5, що обертається з меншою кутовою швидкістю, ніж вентилятор, і призначений для зміни швидкості фільтрації $\omega_ф$ в межах, які не дозволяють перейти псевдозрідженому станові в киплячий – при якому неможлива сепарація, бо це є режим пневмотранспорту, тобто створює пульсуючий потік повітря.

2.2. Кінематичний розрахунок

2.2.1 Визначення основних параметрів вентилятора.

Визначаємо необхідну витрату повітря:

$$V = 36 \cdot \upsilon_a \cdot S,$$

де V – витрата повітря, м^3/год; υ_a – швидкість повітря в сушильній камері, *м/с* (υ_a = 14 м/с); S – площа поперечного перерізу короба сушильної камери, *дм*^{2} (S = 13 дм^2);

$$V = 36 \cdot 16 \cdot 13 = 7552 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Розраховуємо втрати повного тиску в сушильній камері [17]:

$$p_к = (0{,}1 + 0{,}00013 \cdot q_{кF}) \cdot \upsilon_a^2 + \Delta p_p,$$

де $p_к$ – втрати повного тиску, кгс/м2; $q_{кF}$ – завантаження одиниці площі перерізу короба, кг/(год·дм^2); Δp_p – втрати повного тиску, кгс/м^2, Δp_p = 20 кгс/м^2 [10];

$$p_к = (0{,}1 + 0{,}00013 \cdot 893) \cdot 15^2 = 325 \text{ кгс/м}^2.$$

По знайденим значенням витрати повітря і втрати повного тиску в сушильній камері приймаємо вентилятор серії ВРН №6, який згідно характеристики має такі параметри:

- к.к.д., що враховує втрати на перетікання повітря через зазор і втрати на тертя дисків і кілець колеса по повітрю $\eta_{пт}$ = 0,55;

- частота обертання вала вентилятора n = 1250 об/хв;
- витрата повітря вентилятора V=7356 м^3/год.

2.3. Силові розрахунки

Для вибору шківів клинопасової передачі приводу вентилятора пневмоімпульсного сепаратора, електродвигуна 4А100Lb при наступних вихідних даних:

Характеристика двигуна ГОСТ19523-81 тип двигуна 4А закритого виконання:

Потужність двигуна N=4.2 кВт;

Частота обертання валу двигуна n_1 =1430 об/хв;

Діаметр меншого шківа d_1=160мм;

Діаметр більшого шківа d_2=180мм;

Передаточне відношення i=1,125;

Частота обертання шківа вентилятора n_2=1250об/хв.

D_1, D_2 - діаметри ведучого і веденого шківів;

n_1, n_2 - оберти шківів.

Крутний момент на швидкохідному валу

$$T_б=9550\cdot\frac{N_1}{n_1}=9550\cdot\frac{4.2}{1430}=28{,}04 \quad кН\cdot м$$

де N_1-потужність на швидкоходному валу, кВт,

n - число обертів.

При данному крутному моменту з таблиці 212 [15] призначаємо переріз ремня “Б” з розмірами:

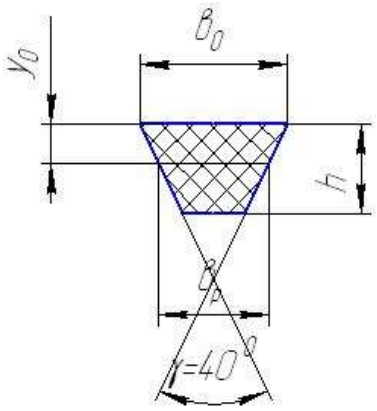


Рис. 2.2 Параметри пасу перерізу ‘‘Б’’.

$в_p$=14,0мм; q=0,1 кг/м; h=10,5мм; $в_0$=17;

y_0=4; F_1=1,38 см^2.

Діаметр меншого шківа в відповідності з таблицею 212 [15], d_{pmin} = 90мм, але так як в нашому випадку немає жорстких обмежень до габаритів передачі, то для підвищення довговічності пасової передачі приймаємо d_p=160 мм:

Діаметр більшого шківа визначаємо за формулою:

$$d_{p2}=d_{p1}\cdot U\cdot(1-\varepsilon);$$

де U- передаточне відношення;

ε- коефіцієнт ковзання гумового паса, ε=0,02

d_{p2}=160·1,125·(1-0,02)=176,4мм

Стандартний діаметр за ГОСТ 17383-73 d_{p2}=180мм.

Фактичне передаточне число визначаємо за формулою:

$$U_p=\frac{d_{p2}}{d_{p1}(1-\varepsilon)}=\frac{180}{160(1-0.02)}=1{,}147$$

Визначаємо швидкість паса за формулою:

$$v=\frac{\pi\cdot d_{p1}\cdot n_1}{60\cdot 1000};$$

де d_{p1}-діаметр ведучого шківа;

n_1-число обертів ведучого шківа.

$$v=\frac{3.14\cdot 160\cdot 1430}{60\cdot 1000}=11{,}97 \text{ м/с}^2$$

Дійсна частота обертання вентилятора визначається за формулою:

$$v=\frac{d_{p1}\cdot n_1\cdot(1-\varepsilon)}{d_{p2}}=\frac{160\cdot 1430\cdot(1-0.02)}{180}=1245{,}68$$

об/хв

2.4. Розрахунки деталей на міцність

2.4.1 Розрахунок валу на міцність

Вихідні дані.

Вал передає момент:

$$T_1 = \frac{T}{u} = \frac{14}{1{,}44} = 9{,}72 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

Ділильний діаметр зірочки в такому випадку буде:

$$d_\sigma = \frac{t}{\sin\frac{180}{t}} = \frac{38}{\sin\frac{180}{8}} = 100 \text{ мм};$$

Окружна сила:

$$F_u = \frac{2T}{d_\sigma} = \frac{2\cdot 9{,}72\cdot 10^3}{100} = 80 \text{ Н}$$

Радіальна сила:

$$F_u = F_t \cdot \frac{tg\alpha}{\cos\beta} = 80\cdot\frac{tg\,22^\circ}{\cos 0^\circ} = 32 \text{ Н},$$

де $\alpha=22^0$, $\beta=0^0$.

Опорні реакції в вертикальній площині:

$$\Sigma M_B = -R_{AY}\cdot l + F_r\cdot\frac{l}{2} = 0;$$

$$R_{AY} = \frac{F_r\cdot\frac{l}{2}}{l} = \frac{32\cdot 182}{364} = 16 \text{ Н}$$

$$\Sigma M_A = R_{BY}\cdot l - F_r\cdot\frac{l}{2} = 0;$$

$$R_{BY} = \frac{F_r\cdot\frac{l}{2}}{l} = \frac{32\cdot 182}{364} = 16 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$\Sigma Y = -R_{AY} + F_r - R_{BY} = -16 + 32 - 16 = 0 \text{ (Н)}$$

Опорні реакції в горизонтальній площині:

$$\Sigma M_B = S(l+b) + R_{AX}\cdot l + F_{t21}\cdot\frac{l}{2} = 0$$

де S-неврівноважена складова сили, яка передається пасовою передачею, S=0,3; $F_{t21}=0.3\cdot 80=24$ Н.

$$R_{AX} = \frac{24\cdot 486 + 80\cdot 182}{364} = 71.7 \text{ Н}$$

$$\Sigma M_B = S \cdot b + F_{t21} \cdot \frac{l}{2} - R_{BX} \cdot l = 0$$

$$R_{BX} = \frac{24 \cdot 122 + 80 \cdot 182}{364} = 48\,\text{Н}$$

Перевірка

$$\Sigma_K = S + R_{AX} - F_{t21} + R_{BX} = 0.3 + 71.7 - 24 + 48 = 0\,.$$

Згинаючі моменти в вертикальній площині:

$$M'_{1X} = -R_{AY} \cdot \frac{l}{2} = -16 \cdot 182 = -2912\ \text{Н·мм}$$

$$M''_{1X} = -R_{BY} \cdot \frac{l}{2} = -16 \cdot 182 = -2912\ \text{Н·мм}$$

Згинаючі моменти в вертикальній площині:

$$M_{AY} = S \cdot b = 24 \cdot 122 = 2928\,\text{Н·мм},$$

$$M_{AY} = R_{BX} \cdot \frac{l}{2} = 48 \cdot 122 = 8736\,\text{Н·мм}$$

Сумарний згинаючий момент:

$$M_u = \sqrt{(M_{1X})^2 + (M_{1Y})^2} = \sqrt{(2912)^2 + (8736)^2} = 9208\,\text{Н·мм}.$$

Визначаємо межі витривалості Сталі 45 ГОСТ 1050-74.

При вигині : σ_{-1}=0,43· $\sigma_в$=0,43·610=260 МПа,

При кручені: τ_{-1}=0,58·σ_{-1}=0,56·260=150 МПа.

Нормальні напруження

$$\sigma_a = \sigma_u = \frac{M}{W} = \frac{9208}{1533.2} = 6\,\text{МПа}.$$

де $W = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{3.14 \cdot 25^3}{32} = 1533\,\text{мм}^2$.

Дотичні напруження

$$W = \frac{\pi d^3}{16} = \frac{3.14 \cdot 25^3}{16} = 3066\ \text{мм}^2.$$

$$\tau_a = \frac{T}{2W_K} = \frac{4 \cdot 10^3}{2 \cdot 3066} = 6.5 \cdot 10^{-4}\,\text{МПа}.$$

Ефективні коефіцієнти концентрації напружень $K_б$=2,4, K_τ=1,8.

Масштабні фактори при d=25мм, $\varepsilon_б$=0,9, ε_τ=0,8;

Для середньовуглицевих сталей $\psi_б$=0,2, ψ_τ=0,1.

Коефіцієнти запасу міцності по нормальним напруженням

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{n_\sigma}{\varepsilon_\sigma} \cdot \sigma_a + \varphi_\sigma \cdot \sigma_\mu} = \frac{260}{\frac{2.4}{0.9} \cdot 6 + 0.2} = 16.25 \text{ МПа}$$

Коефіцієнти запасу міцності по дотичним напруженням

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{n_\tau}{\varepsilon_\tau} \cdot \tau_a + \varphi_\tau \cdot \tau_\mu} = \frac{150}{\frac{1{,}8}{0.8} \cdot 6 \cdot 10^3 + 0.1} = 1{,}35 \cdot 10^{-8} \text{ МПа}$$

Загальний коефіцієнт запасу міцності [S]=1,3…1,5

$$S = \frac{S_\sigma \cdot S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + \sigma_\tau^2}} \geq [S],$$

$$S = \frac{16.25 \cdot 1.35 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{16.25^2 + (1.35 \cdot 10^{-8})^2}} = 2.1 \geq [S] \ .$$

Міцність та жорсткість вала забезпечені.

Епюри крутних моментів валу.

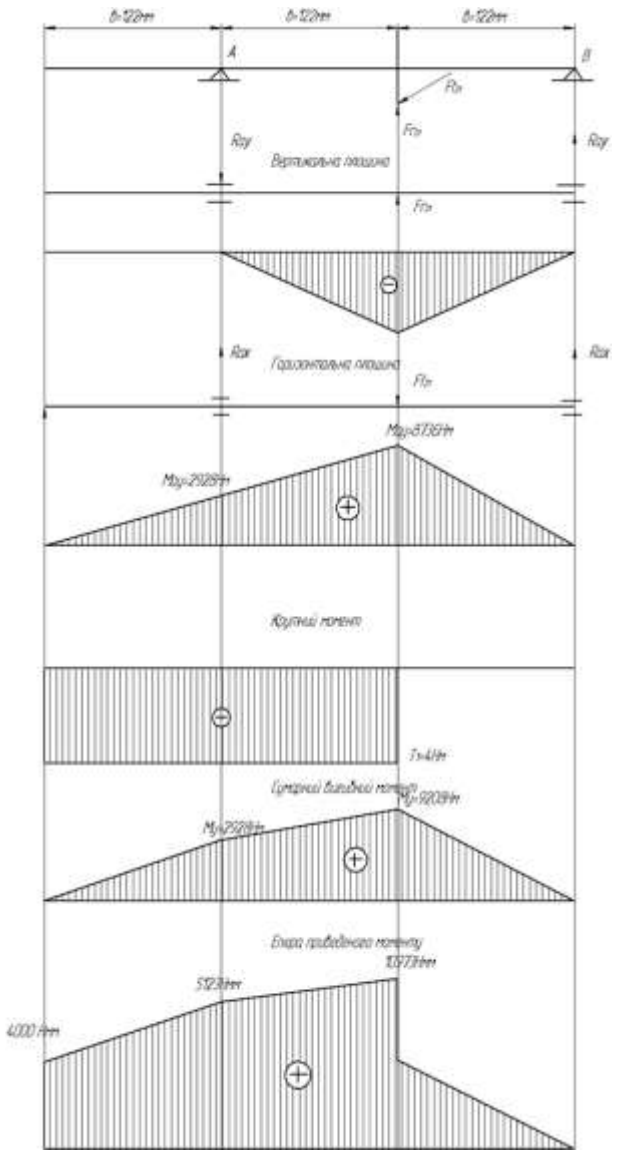


Рис. 2.3. Епюри на валу.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

На основі аналізу стану механізації процесу сепарації насіння за густиною сформульована наступна **мета роботи**: підвищення ефективності та продуктивності процесу сепарації насіння за густиною в стані псевдозрідженя, при зниженні енергоємності за рахунок використання пульсуючого потоку повітря.

Для досягнення вказаної мети необхідно розв'язати наступні задачі досліджень:

1. Визначити основні закономірності роботи обладнання на основі математичного моделювання процесу сепарації.

2. Обґрунтувати і встановити область раціональних значень конструктивних параметрів і режимів ефективної роботи пневмоімпульсної установки.

3. Провести виробничу перевірку, оцінити техніко-економічну ефективність і розробити рекомендації для промислового використання запропонованого сепаратора насіння.

3.1. Стохастична математична модель процесу сепарації насіння

Розвиваючи ідею Є.А. Нєпомнящего з урахуванням технологічних особливостей пневмоімпульсної сепарації насіння розглянемо рух часток в пневматичному каналі як випадковий марківський процес.

Прослідкуємо за рухом частки, яка має деяку сукупність властивостей, наприклад, частки певної густини. Її місцезнаходження в шарі визначається координатою z(t) (рис. 3.1), відлік якої починаємо від поверхні пористої перегородки. Зміна координати відбувається за рахунок ефективної сили тяжіння, силами опору, інерції, а також деякою силою випадкової дії. В умовах стиснутого руху частки в псевдозрідженому шарі, який пронизує пульсуючий потік повітря, випадкова дія обумовлена взаємодією між собою часток з випадково змінними властивостями при хаотичній структурі шару, а також зіткнення їх в випадкові моменти часу. Тоді розвиваючи рівняння Є.А. Нєпомнящего, з урахуванням сили $P_0(t)$ рівняння руху частки ожна записати в такому вигляді:

$$m_1 \frac{dV_z}{dt} = -m_c \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_c} - 1 \right) \cdot g - \eta_{еф} \cdot V_z + P_o(t) \text{ , (3.21)}$$

де m_1– ефективна маса частки, яка складається з маси частки та приєднаної маси, що пов’язано з нестаціонарністю її руху

m_c –загальна маса часток;

$\eta_{еф}$ – коефіцієнт ефективної в'язкості;

ρ, ρ_c – густина частки та середовища;

$P_o(t)$ – сила лобового тиску повітря, яка є випадковою функцією часу.

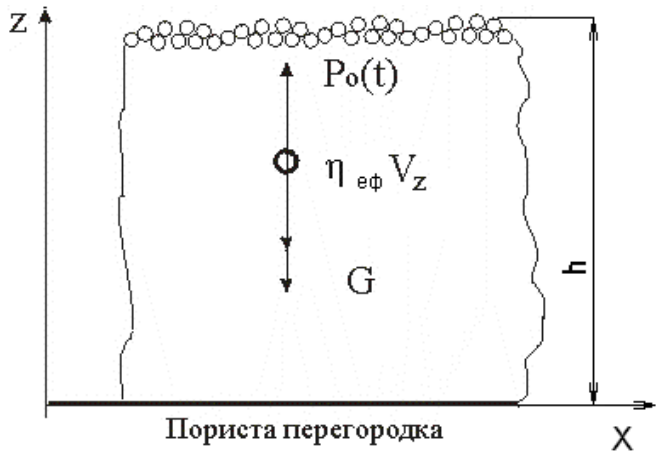


Рис. 3.1. Схема сил, що діють на частку в псевдозрідженому шарі, який пронизує пульсуючий потік повітря:

$\eta_{еф} \cdot V_z$ – сила опору руху частки в шарі насіння;

G –сила тяжіння, $G = m_c \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_c} - 1 \right) \cdot g$.

Під час складання рівняння відносного руху частки прийнято до уваги можливість заміни сил сухого тертя між частками при наявності пульсації повітря (тобто випадкової дії) силами в'язкого опору. При наявності випадкової функції сили лобового тиску $P_o(t)$ рух частки не є детермінованим.

Твердження про випадковість дії сили $P_o(t)$ пояснюється формулою (лобового тиску пульсуючого повітряного потоку

$$P_0 = k \cdot f_m \cdot \rho_c \cdot \left(\frac{\omega_ф}{\varepsilon} \right)^2, \quad (3.21)$$

де k – сумарний коефіцієнт опору середовища;

f_m – міделевий перетин частки, м^2;) – в момент часу $t + \Delta t$ сила $P_o(t)$ буде мати деяке значення, яке буде залежати від частоти пульсації повітряного потоку $\omega_п$ та міделевого перетину частки f_m, так як в процесі руху частка може обертатися в невідомому напрямку у просторі з невідомою кутовою швидкістю. Тобто, під час опускання або спливання, частка обертається та змінює f_m . Тому положення частки відносно осі 0Z в момент часу $t + \Delta t$ визначити практично неможливо, тому і

приймаємо твердження про те, що сила лобового тиску $P_o(t)$ є випадковою функцією часу, вплив якої на вертикальний рух частки можна вважати випадковою дією. Завдяки наявності випадкової сили $P_o(t)$ процес зміни координати z(t) розглядатимемо як випадковий марківський процес. Припущення про марковість приймається у вигляді гіпотези, яка відповідає характеру руху частки в умовах псевдозрідженого шару, що пронизується пульсуючим потоком повітря. Досліджуваний процес характеризується щільністю розподілу ймовірності $p(t, z, V_z)$, яка за суттю така, що $\int_0^t [p \cdot dV_z] \cdot dz$ визначає для частки в момент $t + \Delta t$ ймовірність знаходження в області $(z_1,\ z + \Delta z)$ і має швидкість в інтервалі значень $(V_0,\ V_z+\Delta V)$. Можна також визначити відносну кількість часток (E), яка знаходиться в даній області, по відношенню до їх кількості в початковому матеріалі.

Для щільності імовірності $p(t, z, V_z)$ у відповідності з рівнянням (3.21) отримаємо наступне рівняння:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \cdot (V_z \cdot p) + \frac{\partial}{\partial V_z} \cdot \left(\frac{\left[m_c \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_c} - 1 \right) + \eta_{еф} \cdot V_z \right]}{m_1} \right) + \frac{1}{2} \cdot m_1^2 \cdot b' \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial V_z^2}, \quad (3.22)$$

де b` – інтенсивність випадкової дії, яку приймає “білий шум”, в нашому випадку $b`=\omega_п$ [24-25].

Під час переходу до одномірної щільності розподілу ймовірності p(t, z), з метою спрощення методів розрахунків кінетики сепарації за густиною, вплив інерційності частки на процес перемішування та сепарації внаслідок її малості не враховано. В зв'язку з цим рівняння руху частки буде мати такий вигляд:

$$\eta_{еф} \cdot z' = -m_c \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_c} \right) \cdot g + P_o(t). \quad (3.23)$$

Тоді для одномірної щільності імовірності p(t, z), отримуємо рівняння:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \cdot (c \cdot p) + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 (b \cdot p)}{\partial z^2}, \quad (3.24)$$

де c – коефіцієнт, який враховує середню швидкість вимушеного переносу часток під дією гравітаційного поля. $c = m_c \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_c} - 1 \right) \cdot g \cdot \eta_{еф}^{-1}$,

b – коефіцієнт, який характеризує рухливість часток в шарі насіння під час сепарації. $b = b' \cdot \eta_{еф}^{-2}$;

Граничними умовами рішення будуть:

$$-c \cdot p + \frac{b}{2} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} = k_1 \cdot p \text{ (при z=0);}$$

$$+c \cdot p - \frac{b}{2} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} = k_2 \cdot p \text{ (при z=h).}$$

Початкова умова: $p = p(0, z)$ (при t=0).

Коефіцієнти c та b є залежні від ефективної в'язкості середовища, тобто від частоти пульсації повітряного потоку та швидкості фільтрації повітря, а також від фізико-механічних властивостей часток матеріалу. При значенні коефіцієнта c=0 сепарація відсутня, а буде відбуватися лише перемішування часток згідно рівняння (2.34), без першого члена рівняння. Що може статися завдяки тому, що частки в шарі не будуть відрізнятися за густиною. Це буде відбуватися, якщо в зоні дільників шару насіння при збільшенні робочої довжини перегородки без узгодження з значенням частоти пульсації повітряного потоку. Граничні умови відповідають припущенню в тому, що проходження часток крізь межі шарів пропорційне їх концентраціям біля цих меж. Це припущення відповідає експериментальним даним [8-10, 21] для процесів повітряної сепарації під час виносу часток в надшаровий простір. Коефіцієнти (k_1, k_2) визначають швидкість виносу часток з шару, при наближенні їх значень до нескінченності – винос часток не ускладнений. Початкова умова відповідає розподілу часток за вистою в початковий момент часу і залежить від конкретних умов завантаження машини.

З рівняння (3.24) отримаємо нижченаведену формулу, за допомогою якої можна теоретично визначити відносну кількість часток, які до настання часу t пройшли крізь шар насіння, по відношенню до їх кількості в початковому матеріалі, тобто ефективність сепарації по одній фракції (E), шляхом вирішення інтегралу:

$$E = \int_0^t \left[-c \cdot p + \frac{1}{2} \cdot b \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \right] \cdot dt \text{ (при z=0).}$$

При пневмоімпульсній сепарації часток, які відрізняються за густиною ($c \neq 0$) та вільному виносу часток крізь верхню межу шару ($k_{1,2}=0$) методом власних функцій, після відповідних перетворень отримаємо аналітичну формулу для визначення ефективності сепарації по одній фракції (для часток певної густини):

$$E = \frac{m_c \cdot g \cdot (\rho - \rho_c)}{\eta_{еф} \cdot \rho_c} \cdot \left(1 - e^{\omega_п \cdot t}\right) \cdot 100\% . \quad (3.25)$$

Відповідно технологічний ефект сепарації (ТЕС) можна характеризуватися сумою:

$$ТЕС = \sum_{i=1}^{3} E_i \cdot 100\% = \sum_{i=1}^{3} \frac{m_c \cdot g \cdot (\rho_i - \rho_c)}{\eta_{еф} \cdot \rho_c} \cdot \left(1 - e^{\omega_п \cdot t}\right) \cdot 100\% . \quad (3.26)$$

За допомогою пакету прикладних програм на ПК було створено імітаційну модель для визначення ефекту сепарації часток (кількість часток відповідної густини, що пройшли шар насіння висотою h) в залежності від значення густини, параметрів і режимів роботи обладнання.

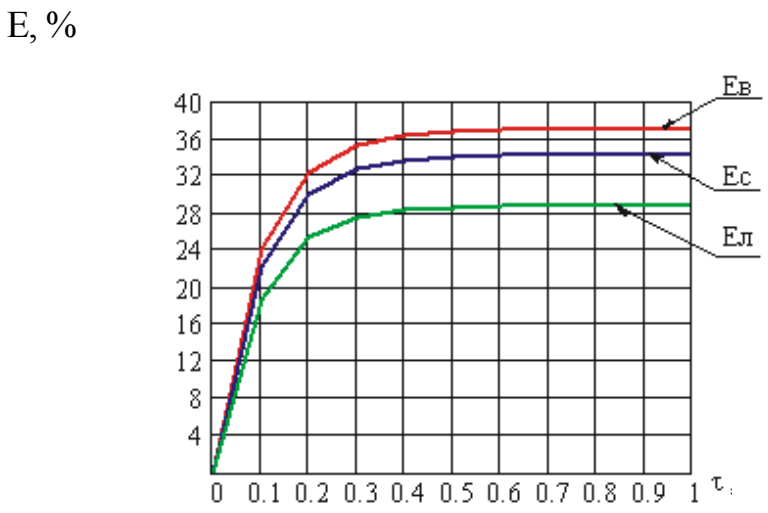


Рис. 3.2. Залежність ефективності сепарації по фракціям від часу:

Ев, Ес, Ел – відповідно кількість важких (ρ=1335 кг/м^3), середніх (ρ=1200 кг/м^3), та легких часток (ρ=1000 кг/м^3), %.

«Залежність ефективності сепарації по фракціям показана на рис. 3.2. Як видно з отриманих даних кількість важких часток (з найбільшим значенням густини), які опустилися за проміжок часу по відношенню до загальної кількості всіх часток в початковому матеріалі становить 37% А це означає, що практично всі важкі частки опустились, так як згідно досліджень середня кількість часток в початковому матеріалі становить 28-41%» [17]. Підраховане теоретичне значення технологічного ефекту сепарації становить 99,6 %.

Отримана формула (3.26) є наближеною, тому що не враховує вплив заслінки для зміни епюр тисків у повздовжньому та поперечному перерізі каналу, а також висоту встановлення дільників. У пневматичному каналі обладнання (рис. 3.7) під пористою перегородкою встановлено заслінки для зміни епюр тисків у повздовжньому перерізі з метою інтенсифікації процесу сепарації. Як вказано раніше, основним недоліком є те, що тільки на 1/3 площі відбувається процес сепарації, а на інший – транспортування матеріалу.

Тому розділимо пневматичний канал довжиною L на три частини з відстанню між заслінками L/3. При піднятті першої або другої заслінки під час роботи машини буде змінюватися епюра тисків в повздовжньому перерізі каналу.

«Зробимо припущення, що значення тиску $P_в$ по довжині каналу розподіляється за нормальним законом. Дане припущення ґрунтується на головній теоремі теорії імовірності» [24-25].

Величиною, що характеризуватиме зміну епюри тиску повітряного потоку, буде коефіцієнт асиметрії S_k. Коли піднята перша заслінка, коефіцієнт асиметрії буде мати значення S_k>1, а при піднятій другій – S_k<1. Якщо обидві заслінки опущено, то коефіцієнт асиметрії матиме значення S_k=1. При значенні S_k>1 епюра буде зміщена ближче до початку повітряного каналу (бункера), при S_k<1 епюра буде зміщена до краю каналу (до блоку дільників). Можна зробити припущення, що при значенні S_k>1 відбудеться інтенсифікації процесу сепарації на початку каналу, з метою зменшення довжини каналу, а відповідно витрат повітря та зменшення енерговитрат.

$P_в$, кПа

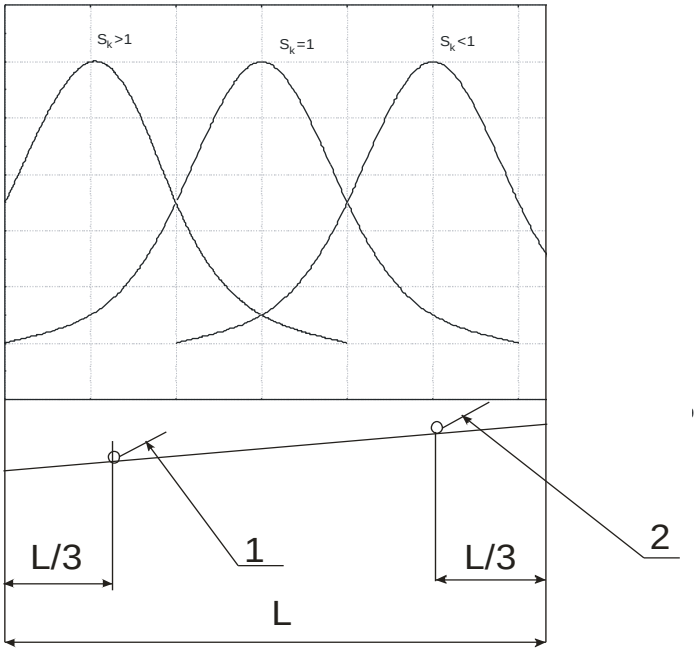


Рис. 3.3. Коефіцієнт асиметрії епюр тиску повітряного потоку в повздовжній площині каналу:

1, 2 – перша та друга заслінки.

Тоді коефіцієнт асиметрії можна визначити:

$$S_k = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \quad (3.27)$$

де μ_3 – додатковий момент третього порядку;

σ – квадратичне відхилення.

Центральний момент s-го порядку:

$$\mu_s = \sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \overline{x}\right)^s \cdot p_i \text{ , } (3.28)$$

де x_i – значення тиску $P_в$ в і-тій точці заміру, кПа;

n – кількість точок заміру;

s – порядок плеча, (S=1,2,3);

p_i – частота появи величини;

m_x – математичне очікування значення тиску $P_в$.

Додатковий момент s-го порядку:

$$\alpha_s = \sum_{i=1}^{n} x_s^{\ s} \cdot p_i \ . \quad (3.29)$$

Математичне очікування:

$$m_x = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot p_i \ . \quad (3.30)$$

Квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\alpha_2 - m_x} \quad (3.31)$$

Якщо $\sum p_i = 0$, то коефіцієнт асиметрії повітряного потоку лежатиме в межах $[-1; 1]$.

Суттєве значення має вигляд епюри тиску у поперечному перерізі пневматичного каналу. Введемо наступні припущення:

- значення тиску в поперечних перерізах пневматичного каналу мають нормальний закон розподілу;
- коефіцієнт асиметрії епюр тиску повітряного потоку в повздовжніх перетинах пневматичного каналу рівний S_k=1.

Які ґрунтуються на тому, що перепад тиску в поперечному перерізі пневматичного каналу повинен бути як можна більшим інакше процес сепарації насіння за густиною перейде у процес змішування. Приймаємо нормальний закон розподілу значень тиску в поперечних перерізах пневматичного каналу з ексцесом E_x, який буде характеризувати перепад тиску (рис. 3.4).

$P_в$, кПа

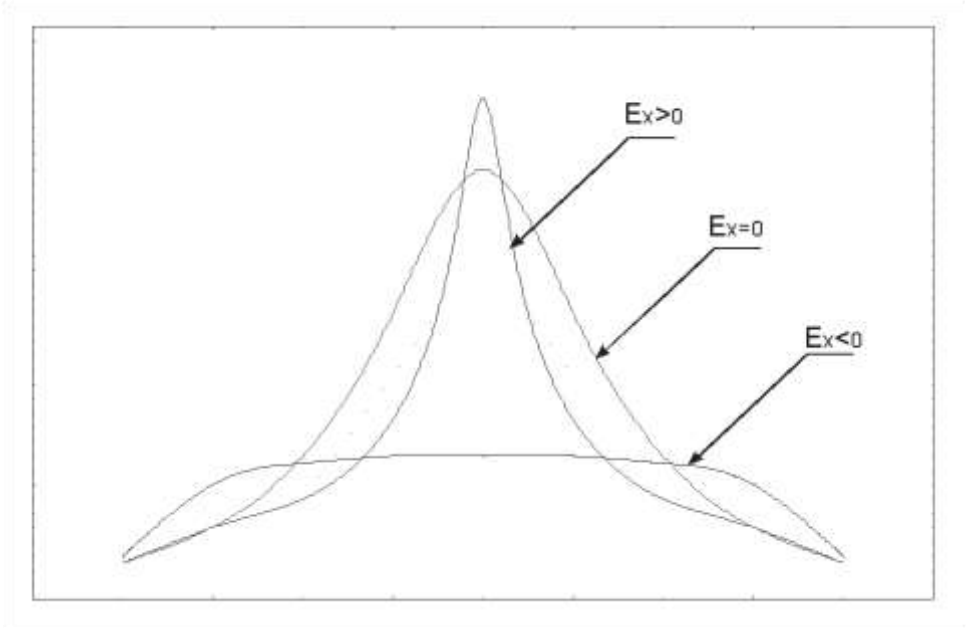


Рис. 3.4. Залежність епюри тиску в поперечному перерізі пневматичного каналу від ексцесу

При значенні $E_x>0$ відбувається процес перемішування, який може негативно вплинути на технологічний ефект сепарації та продуктивність. Найбільш сприятливі умови виникають при значенні ексцесу $E_x=0$.

Величину ексцесу E_x можна визначити за формулою:

$$E_x = \frac{\mu_4}{\sigma_4} - 3 \text{ . (3.32)}$$

Сепаратор має дільники шару (рис. 3.5) насіння задача яких розділити класифікований в пневматичному каналі шар насіння на три фракції. Висота встановлення дільників $h_д$ прямопрорційна кількості насіння з певним діапазоном густин (легкі, середні та важкі) в матеріалі і може бути визначена за формулою:

$$h_д = \frac{k_д \cdot h_0 \cdot \eta_j}{100\%}, \text{ (3.33)}$$

де h_0 – початкова висота шару насіння в пневматичному каналі, м;

η_j – кількість насінин (j-ої фракції), %;

$k_д$ – коефіцієнт встановлення дільників, який враховує розширення шару під час пневмоімпульсної сепарації насіння за густиною.

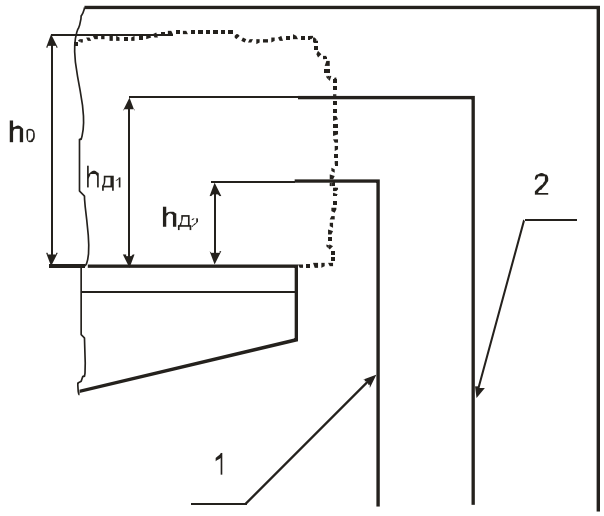


Рис. 3.5. Розрахункова схема для визначення висоти встановлення дільників:

1 – дільник для відокремлення шару важких насінин від середніх;

2 – дільник для відокремлення шару середніх насінин від легких.

Шар насіння містить три фракції (легкі, середні та важкі) з деякою кількістю η_j в кожній. Виразивши її у %, а також знаючи початкову висоту шару насіння h_0 можна визначити за допомогою пропорції висоту встановлення дільників для шарів з важкими та середніми насінинами. Процес пневмоімпульсної сепарації насіння відбувається в стані псевдозрідженя, де пульсуючий потік повітря змінює висоту шару насіння шляхом розпушення. Тому для врахування зміни висоти шару під час процесу сепарації введений коефіцієнт встановлення дільників $k_д$, який суттєво залежатиме від ступеня розширення шару h/h_0 .

Як видно з аналізу висота встановлення дільників $h_д$ суттєво впливатиме на технологічний ефект сепарації, а вплив значення коефіцієнта встановлення дільників $k_д$ потребує подальшого експериментального вивчення.

Для уточнення формули (3.26) введено додаткові коефіцієнти які враховують умови сепарації:

$$ТЕС = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \sum_{i=1}^{3} E_i,$$

або :

$$ТЕС = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \sum_{i=1}^{3} \frac{m_c \cdot g \cdot (\rho_i - \rho_c)}{\eta_{еф} \cdot \rho_c \cdot \omega_ф} \cdot \left(1 - e^{\omega_п \cdot t}\right) \cdot 100\%, \quad (3.34)$$

де k_1 – коефіцієнт, який враховує вплив коефіцієнта асиметрії епюр тиску повітряного потоку в повздовжньому перерізі пневматичного каналу S_k;

k_2 – коефіцієнт, який враховує вплив ексцесу епюр тиску повітряного потоку в поперечному перерізі пневматичного каналу E_x;

k_3 – коефіцієнт, який враховує вплив коефіцієнта встановлення дільників $k_д$.

Також слід ввести коефіцієнти для формули (3.1), що дозволяє теоретично визначити продуктивність:

$$Q = k_1 \cdot k_2 \cdot (1-\varepsilon) \cdot \rho \cdot h_o \cdot V_{0x} \cdot a \,. \quad (3.35)$$

Вплив ексцесу E_x, коефіцієнтів асиметрії S_k та встановлення дільників $k_д$ на якісні показники роботи машини, потребує подальшого експериментального вивчення.

Побудована стохастична математична модель процесу пневмоімпульсної сепарації насіння за густиною потребувала подальшого експериментального підтвердження з визначенням та уточненням основних конструктивних та режимних параметрів.

3.2. Методика проведення експериментальних досліджень

У відповідності з поставленими задачами досліджень та отриманими теоретичними результатами, розроблено програму експериментальних досліджень. Передбачалося перевірити отримані в другому розділі результати впливу геометричних та режимних факторів на критерії якості за допомогою математичних моделей. Для перевірки адекватності використаних моделей необхідно визначити експериментальним шляхом вплив конструктивних та режимних параметрів обладнання на критерії якості. Теоретично отримані оптимальні значення параметрів та режимів роботи обладнання за допомогою оптимізаційної моделі, яку побудовано на основі імітаційної моделі. Тому наступною задачею є визначення раціональних конструктивних та режимних параметрів обладнання на основі експериментальних оптимальних значень параметрів. Виходячи з вищесказаного складено наступний план проведення експериментальних досліджень:

1. Визначення основних характеристик початкового матеріалу

1.1. Відбір проб початкового матеріалу для проведення дослідження.

1.2. Визначення густини насіння початкового матеріалу.

1.3. Визначення вологості насіння початкового матеріалу.

1.4. Визначення порозності шару насіння початкового матеріалу.

1.5. Визначення аеродинамічного опору шару насіння в залежності від його висоти.

2. Визначення аеродинамічних характеристик обладнання.

3. Визначення складових швидкості руху частки в псевдозрідженому шарі насіння.

4. Визначення продуктивності і технологічного ефекту сепарації машини в залежності від параметрів та режимів роботи машини.

5. Визначення посівних властивостей обробленого матеріалу.

5.1. Визначення схожості та енергії проростання.

5.2. Визначення життєздатності насіння.

5.3. Визначення сили росту насіння.

3.2.1. Методика визначення раціональних параметрів обладнання

Параметрами, що впливають на цільові функції є:

- геометричні параметри: довжина робочої частини перегородки L, діаметр лопаті пульсатора $D_п$, кут нахилу перегородки α, коефіцієнту асиметрії епюр тиску повітряного потоку в повздовжньому перерізі повітряного каналу S_k, коефіцієнт встановлення дільників $k_д$, довжина робочої частини сітки для виходу повітря L_c;

- кінематичні параметри: частота пульсації повітряного потоку (кутова швидкість пульсатора) $ω_п$;

- аеродинамічні параметри: тиск який створює вентилятор $P_в$, опір пористої перегородки $ΔP_п$, опір шару насіння $ΔP_ш$.

Теоретично визначені параметричні обмеження, які являють собою рівні варіювання факторів, наведено в таблиці 3.6.

Для дослідження впливу окремих факторів на цільові функції та знаходження оптимальних їх значень факторів необхідно шляхом

експериментальних досліджень встановити функціональний зв'язок між цільовими функціями та факторами, що на них впливають, тобто побудувати математичну модель. Залежність критеріїв оптимізації від керованих факторів експерименту побудуємо шляхом апроксимації.

Таблиця 3.6.

Рівні варіювання факторів

№ п.п	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
	Найменування	Позначення	Верхній (+)	Нижній (-)	
1	Тиск вентилятора, P_B, кПа	x_1	1,5	1,1	0,2
2	Частота пульсації повітряного потоку $\omega_п$, c^{-1}	x_2	14,65	6,28	4,185
3	Довжина робочої ча-стини перегородки L, м	x_3	1,2	0,6	0,3
4	Діаметр лопаті пульсатора $D_п$, м	x_4	0,12	0,08	0,02
5	Кут нахилу перегородки α, град	x_5	3	1	1
6	Коефіцієнт асиметрії, S_k	x_6	+1	-1	1
7	Висота шару насіння, h м	x_7	0,12	0,04	0,04
8	Коефіцієнт висоти встановлення дільників $k_д$	x_8	1,2	0,8	0,4
9	Довжина робочої частини сітки L_c, м	x_9	0,6	0	0,3

Параметр оптимізації, який характеризує ефективність процесу сепарації, повинен задовольняти наступним вимогам [5]:

- описувати ефект процесу з позиції кінцевої мети;
- виражатися кількісно та одночасно оцінюватися числом;
- мати певну універсальність для групи однорідних процесів;
- бути статично ефективним, тобто бути нечутливим до незначних коливань;
- бути простим та мати чіткий фізичний зміст.

У даній роботі параметрами оптимізації вибрано наступні:

- продуктивність машини (Q), кг/год (Y_1=Q);

- технологічний ефект сепарації (ТЕС), % (Y_2=ТЕС).

«Для того щоб скористатися стандартною матрицею, значення факторів кодували (x_1-x_9). Потім за відомими методиками» [21-23] знаходили коефіцієнти, що визначають ступінь впливу факторів на параметр оптимізації.

Для перевірки статистичної значимості коефіцієнтів регресії знаходили величину довірчого інтервалу Δb_i в залежно від критерію Стьюдента, який обирали за таблицями [10, додаток 2] в залежності від рівня значимості $\alpha = 0{,}05$, та ступеня вільності $f_t = N$. Коефіцієнт регресії визнавали статистично значимим величині довірчого інтервалу, якщо його абсолютне значення дорівнювало або перевищувало її. Якщо виконувалась нерівність $|b_i| < |\Delta b_i|$, відповідний фактор аналізували щодо вибору іншого інтервалу варіювання, якщо це можливо. При цьому всі необхідні досліди повторювали і, якщо після аналізу відповідний коефіцієнт знову відповідав умові $|b_i| < |\Delta b_i|$, тоді робили висновок про незначимість впливу фактора x_i на параметр оптимізації $У_i$.

Можливість відтворюваності даних експериментів визначали за допомогою критерію Кохрена (G). У випадку коли $G^P > G^T$, досліди не відтворювані, а це значить, що необхідно переглянути досліджувану технічну систему на предмет ефективності її регулювання і проаналізувати апаратні засоби для здійснення вимірювань.

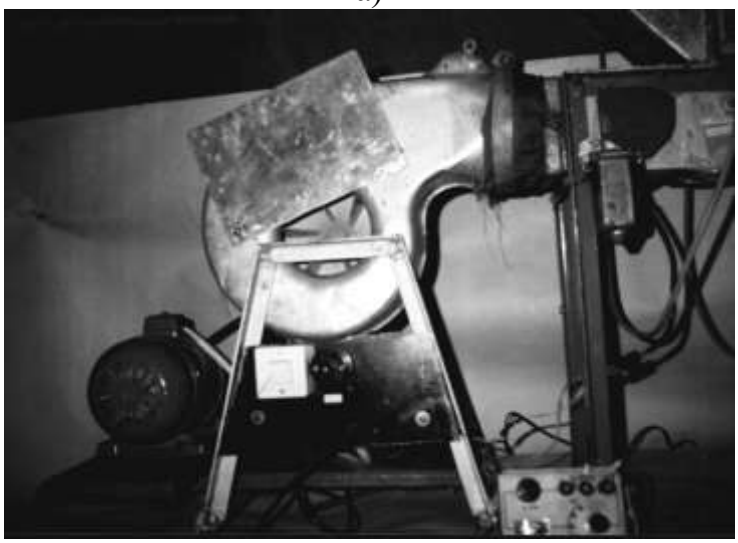
Отриману модель перевіряли на адекватність за допомогою критерію Фішера (F). Якщо гіпотеза про адекватність моделі підтверджувалася, то нею можна було скористатися для наступних етапів дослідження.

Інтерпретація лінійної моделі проводилася з метою встановлення впливу відповідних факторів на параметр оптимізації. Чим більша величина $|b_i|$, тим сильніший вплив фактора x_i. Знак плюс перед b_i показує, що збільшення відповідного фактору призводить до росту параметра оптимізації, знак мінус свідчить про зменшення Y_i при збільшенні x_i.

3.2.2. Експериментальна установка

Для дослідження впливу окремих факторів на цільові функції та знаходження оптимальних значень факторів було виготовлено експериментальну установку (рис. 3.13-3.12), яка складається з нагнітальної та робочої частин. Нагнітальна частина містить раму, на яку встановлено вентилятор з приводом та блоком керування 1. Вентилятор сполучається з повітряним каналом 2 через брезентовий кожух. Робоча частина складається з рами 3, на яку встановлено повітряний канал 2 та регулятори 8 кута нахилу повітряного каналу (4 шт.). Повітряний канал містить: пористу перегородку 4; пульсатор 5 з приводом та лопаттю, яка має змінний діаметр; бункер 6; сітку для виходу повітря 7; регульовані заслінки 9 (2 шт.); блок дільників 10 з регулятором висоти встановлення дільників 12; регулятор висоти шару насіння в каналі 11. Привід вентилятора здійснюється за допомогою електродвигуна типу А0ЛБ-22-2 ГОСТ 183-96 (n_{max}=2840 об/хв) через клинопасову передачу. Номінальна потужність електродвигуна складає 2,2 кВт (рис. 3.1, б). Для того, щоб, під час проведення експериментальних досліджень вібрація від приводу вентилятора не впливала на результат, було прийнято рішення про розділення установки на дві частини: робочу та нагнітальну і встановлення кожної на окремі рами. Пульсатор приводиться в дію через блок живлення (рис. 3.12, б) ВУ-71 ТУ 108-80, який забезпечує постійний струм 12 В, що потрібен для роботи електродвигуна. Електродвигун пульсатора в зборі з черв’ячним редуктором.

а)



б)

Рис. 3.12. Загальний вигляд експериментальної установки:
а) експериментальна установка; б) нагнітальна частина.

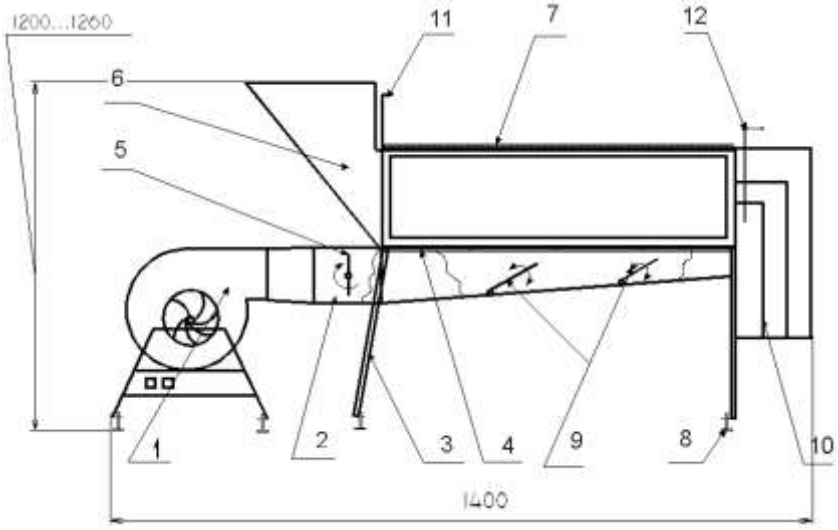


Рис. 3.13. Схема експериментальної установки:

1 – вентилятор з приводом та блоком керування; 2 – повітряний канал; 3 – рама; 4 – пориста перегородка; 5 – пульсатор з приводом та лопаттю, яка має

змінну висоту; 6 – бункер; 7 – сітка для виходу повітря; 8 – регулятор кута нахилу повітряного каналу; 9 – регульовані заслінки; 10 – блок дільників; 11 – регулятор висоти шару насіння в каналі; 12 – регулятор висоти встановлення дільників.

Такий механізм було обрано тому, що по-перше, черв'ячний редуктор не дасть повітряному потокові прокрутити лопать пульсатора, а по-друге, разом з блоком живлення ВУ-7 можна змінити кутову швидкість оберту пульсатора.

В повітряному каналі 2 під і за пористою перегородкою 4 встановлено прилади для визначення повного та статичного тисків (рис. 3.12). Для зміни факторів впливу на цільові функції (згідно прийнятих основних рівнів та інтервалів варіювання) експериментальна установка має такі регулювання:

1. Для зміни тиску вентилятора, $P_в$, (x_1) в нагнітальній частині встановлено на привід вентилятора шківи з різними діаметрами, що забезпечують такі передаточні відношення 1:1, 1.5:1, 2:1, а також заслінку на вхідному отворі вентилятора, що дозволяє отримати наступні значення тиску 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 кПа.

2. Для зміни частоти пульсації повітряного потоку змінювали значення кутової швидкості пульсатора $\omega_п$ (x_2) 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.

3. Для зміни довжини робочої частини перегородки L (x_3) її частково перекривали 0,1; 0,3; 0,4; 0,6 м.

4. Для зміни висоти встановлення дільників $h_д$ користувалися регулятором висоти встановлення, в дослідженнях користувалися таким коефіцієнтом висоти встановлення дільників – $k_д$ (x_4) 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2. Суть коефіцієнту полягає в наступному: висота встановлення кожного з дільників залежить від кількості насінин кожного з значень густини (легкі, середні та важкі) в початковому матеріалі згідно пропорції. Він визначався як відношення кількості насінин кожного значень густини до всієї кількості насіння в пробі.

5. Для зміни висоти $D_п$ (x_5) передбачено модель пульсатора з розрізною лопаттю, тобто вона складається з двох частин, одна з яких закріплена на валу приводу пульсатора, а друга – прикріплюється до першої за допомогою гвинтів, що встановлені в прорізі.

6. Для зміни кута нахилу перегородки α (x_6) використовували регулятори 8 кута нахилу повітряного каналу (4 шт.), поперечний рівень встановлювали за допомогою рівня моделі УС2-ll ГОСТ 9416-88, який закріплено на рамі.

7. Для зміни висоти шару насіння h (x_7) використовували регулятор висоти шару насіння в каналі.

8. Для зміни довжини робочої частини сітки 7 для виходу повітря L_c її частково перекривали (x_8) 0,1; 0,3; 0,4; 0,6 м.

9. Для зміни коефіцієнта асиметрії S_k (x_6) використовували заслінки 9.

3.2.3. Прилади та методика вимірювання статичного, динамічного та повного тиску повітряного потоку.

Вимірювання тиску виконували за допомогою зонду повного тиску та штуцера статичного тиску, які приєднували до U-подібного манометра ГОСТ 9933–73 з похибкою вимірювання 1 мм вод. ст., оскільки тиск в машині буде перевищувати 50 мм вод. ст.

Коліно зонду повного тиску розташовували таким чином, щоб його кінець був направлений проти повітряного потоку. Цим зондом вимірювали повний тиск, а за допомогою штуцера – статичний, динамічний тиск вимірювали шляхом приєднання останніх до одного манометру за допомогою гумових шланг. Кінці трубок манометра, до яких приєднували гумові шланги умовно позначали, так: для зонду статичного тиску – знаком «-», кінець для приєднання зонду повного тиску – «+». Точки виміру місцевих тисків у повітропроводі вибирали за наступним принципом. Поперечний та повздовжній перетини повітряного потоку розбивали на п’ять рівновеликих площадок.

Кожна трубка приєднана до U-подібного манометра, за допомогою якого визначали значення повного, статичного та динамічного тисків в кожному

повздовжньому перетині робочої частини каналу. Всі U-подібні манометри встановлені на одному окремому щиті, що дозволяє бачити одночасно значення вимірюваного параметру в кожній точці.

Поперечний переріз каналу в точках виміру тисків умовно розділяли на п’ять рівновеликих площадок. Під час проведення експерименту зонд для виміру повного тиску переміщували у поперечному напрямку на однакову відстань, щоб виміряти тиск в кожній з п’яти точок кожного поперечного перерізу.

За допомогою отриманих вимірювань будували епюру швидкостей повітряного потоку в кожному з п’яти повздовжніх перерізів

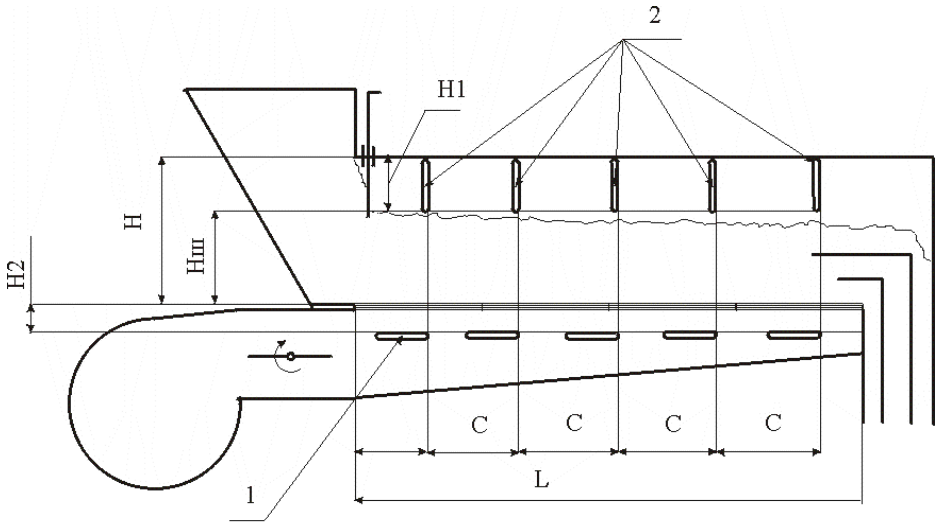


Рис. 3.16. Розташування точок заміру пневматичних характеристик машини:

1, 2 – датчики (зонд та штуцер) для виміру повного, статичного тисків в пневматичному каналі до і після перегородки (вище шару насіння); C – відстань між трубками; L – робоча довжина каналу (перегородки); H – висота коробу (відстань між перегородкою та верхньої частиною пневматичного каналу); H1, H2 – висота встановлення трубок в пневматичному каналі, відповідно, до перегородки та за нею; Hш – висота шару насіння.

Рис. 3.17. Експериментальна установка з датчиками і приладами.

3.2.4. Методика визначення швидкості руху частки

Методика визначення горизонтальної складової швидкості руху частки

Для визначення горизонтальної складової швидкості руху частки в псевдозрідженому шарі насіння потрібно було визначити час проходження часткою робочої довжини пористої перегородки. Для цього повітряний канал обладнання ділили на рівновеликі ділянки по довжині розміром 100х100 мм. В шар насіння поміщали пофарбовану насінину і вмикали експериментальну установку. За допомогою секундоміра фіксували час проходження насіниною кожної ділянки. Дослід повторювали п'ять разів. Знаходили середній час проходження. Швидкість проходження (горизонтальну складову) знаходили за формулою:

$$V_{гор}^{досл} = \frac{L}{t_c}, \quad (3.44)$$

де L – робоча довжина перегородки, м;

t_c – середній час проходження, с.

Методика пошуку параметрів машини, при яких відбувається процес псевдозрідженя

Умови проведення експерименту:

1) діапазон значень тиску, що створює вентилятор (x_1) $P_v = 110; 120; 130; 140; 150$ мм. в. ст.;

2) діапазон частот обертів пульсатора (x_2) $n_п = 60; 80; 100; 120; 140$ об/хв;

3) робоча довжина перегородки (x_3) $L = 0{,}6$ м $= const$;

4) висота пульсатора (x_5) $D_п = 0{,}12$ м $= const$;

5) кут нахилу перегородки до горизонту (x_6) $\alpha = 0^0 = const$;

6) діапазон значень висоти шару (x_7) $h = 0{,}04; 0{,}06; 0{,}08; 0{,}10; 0{,}12$ м;

7) опір перегородки (x_{11}) $P_{пер} = 4; 10; 15$ мм.в.ст.

Порядок проведення експерименту:

1. Установлення перемикача на приводі пульсатора у відповідне положення з діапазону значень.

2. Встановлення початкової висоти шару насіння.

3. Встановлення заслінки на вхідному отворі вентилятора у потрібне положення, щоб змінювати тиск вентилятора.

4. Вмикання ЗС.

5. Знімання показання манометрів та встановлювали висоту шару насіння під час псевдозрідженя в кожному з перерізів і в точці заміру. Вмикання ЗС. Визначення технологічного ефекту сепарації (ТЕС) та продуктивності.

6. Повторення п. п. 3-5, змінюючи тільки тиск вентилятора шляхом зміни положення заслінки.

7. Зміна початкової висоти шару і повтор за п.п. 3-6.

8. Зміна частоти пульсації повітряного потоку за допомогою зміни кутової швидкості оберту пульсатора і повтор за п.п. 2-7.

9. Зміна пористої перегородки і повтор за п.п. 1-7.

Кількість замірів в кожній точці – 5.

Відповідність процесу псевдозрідженя до умов сепарації ґрунтували за такими чинниками [40]:

1. Відсутність бурного кипіння та фонтанів; кількість фонтанів не повинна перевищувати 2 штуки, при умові, що площа одного не буде меншою за 4% від площі перегородки.

2. Ступінь розширення шару насіння під час псевдозрідженя не повинна перевищувати межі $1{,}3\ldots1{,}4 \pm 10\%$.

Після проведеного пошуку параметрів ЗС переходили до визначення якісних показників сепарації в тих режимах, де процес псевдозрідження не переходить в киплячий стан.

3.2.5. Методика визначення продуктивності та технологічного ефекту сепарації машини

Через ЗС пропускали попередньо зважену партію насіння. Фіксували час подачі партії насіння в машину і час її.

Продуктивність установки визначали за формулою:

$$Q = \frac{m}{t}, \quad (3.46)$$

де m – маса партії насіння, кг;

t – час сепарації цієї партії, с.

Після проведення дослідження вимикали експериментальну установку і визначали ефективність сепарації наступним чином:

1. Оброблений матеріал, який знаходився в ємностях з позначеннями “легке насіння”, “середнє насіння”, “важке насіння” піддавали аналізу на густину (в кожній ємності відбирали п'ять проб по 100 насінин, де визначали кількість насіння відповідного значення густини).

2. Визначали середню кількість насіння відповідного значення густини в штуках по кожній фракції.

3. Визначали ефективність сепарації по фракціям (в ємностях) за формулою:

- для легкого насіння

$$\eta_л = \frac{K_л}{K} \cdot 100\%, \quad (3.47)$$

де $K_л$, $K_с$, $K_в$, – відповідно, кількість легких, середніх, важких насінин, шт;

К – кількість насінин в пробі.

- для середнього насіння

$$\eta_с = \frac{K_с}{K} \cdot 100\%. \quad (3.48)$$

- для важкого насіння

$$\eta_в = \frac{K_в}{K} \cdot 100\%. \quad (3.49)$$

4. Визначаємо технологічної ефективності сепарації машини:

$$ТЕС = \frac{\sum_{i=1}^{f} \eta_i}{f} \cdot 100\% \quad (3.50)$$

де η_i – ефективності сепарації по фракції;

f – кількість фракцій.

Для нашого випадку формула 3.18 буде мати вигляд

$$ТЕС = \frac{\eta_Л + \eta_С + \eta_В}{3} \cdot 100\% \quad (3.51)$$

Порядок визначення продуктивності ЗС та технологічного ефекту сепарації

Умови проведення експерименту:

1) діаметр лопатевого колеса пульсатора (x_5) $D_п$ 0,08;0,09;0,10;0,11;0,12 м;

2) кут нахилу перегородки до горизонту (x_6) $\alpha = 0^0; 1^0; 2^0; 3^0; 4^0$;

3) коефіцієнт встановлення дільників (x_4) $k_Д = 0,8; 0,9; 1,0; 1,2$;

4) робоча довжина сітки для виходу повітря (x_8) $L_с = 0,1; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6$ м

5) значення кутової швидкості пульсатора (числа обертів), тиск вентилятора встановлювали у відповідності до початкової висоти встановлення з урахуванням попередніх експериментальних досліджень.

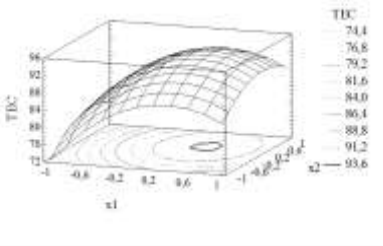
Порядок проведення експерименту:

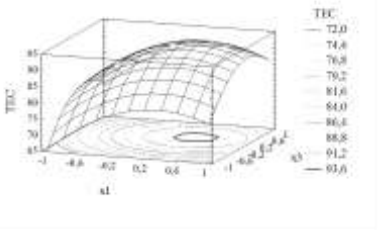
1. Встановлення кута нахилу перегородки α за допомогою регуляторів рівня.
2. Встановлення висоти лопаті пульсатора $D_п$;
3. Встановлення довжини сітки для виходу повітря L_c;
4. Встановлення дільника на висоту відповідну до значення коефіцієнта $k_д$;
5. Встановлення початкової висоти шару h і, відповідно до неї, отримані експериментально значення тиску вентилятора P_v та частоти пульсації $\omega_п$;
6. Вмикання ЗС;
7. Замір тиску в точках та перетинах;
8. Встановлення рукавів від дільників в окремі ємності з відповідними позначеннями (“легке”, “важке”, “середнє”) через 10 хвилин;
9. Через 30 хвилин рукава від дільників знову подавали в одну окрему ємність і вимикали ЗС;
10. Визначення технологічного ефекту сепарації (ТЕС) та продуктивності (Q);
11. Повтор за п.п. 3, 5 – 10 при незмінному значенні початкової висоти, діаметру лопатевого колеса пульсатора $D_п$ та кута встановлення α, зміна лише довжини сітки L_c;
12. Зміна $D_п$ і повтор за п.п. 2-11;
13. Зміна α і повтор за п.п. 1-13;

3.3. Результати експериментальних досліджень

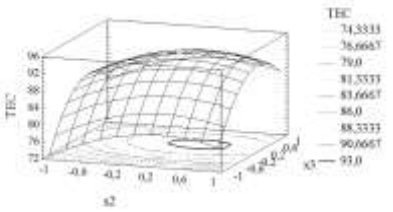
Під час проектування експериментальної установки було закладено можливість регулювання кожного параметру, тобто кожен чинник має п'ять фіксованих значень, які було отримані з теоретичних досліджень. На параметри оптимізації впливають дев'ять чинників. Якщо створити матрицю

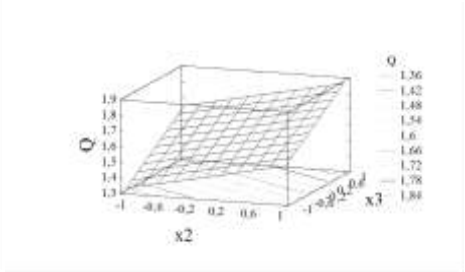
повнофакторного експерименту (ПЕФ), то кількість дослідів буде складати 5^9=1953125. При п'ятикратній повторюваності буде перевищувати 9 мільйонів. З метою спрощення проведено три серії дослідів з використанням дробових реплік від ПЕФ виду 2^9+зіркові точки. Метою першої серії дослідів була реалізація матриці центрального композиційного плану 2^3+зіркові точки, яка дозволила шляхом проведення експериментальних досліджень визначити раціональні параметри (тиск в каналі $x_1(P_в)$, частоту пульсації повітря $x_2(\omega_п)$ та початкову висоту шару насіння $x_3(h_0)$) при яких відбувається процес сепарації. Значення всіх інших чинників брали на нульовому рівні. Параметрами оптимізації всіх серій дослідів прийняті технологічний ефект сепарації (ТЕС) та продуктивність (Q). Поверхні відгуку та контурний графік для ТЕС (рис. 3.20, а-в) показують, що найкращий ефект досягається при наступних значеннях чинників: $x_1(P_в)$=(1,2…1,4) кПа, $x_2(\omega_п)$=(8,37…12,56) c^{-1}, $x_3(h_0)$=(0,08…0,12) м. А це означає, що отримані значення цих параметрів з теоретичних досліджень які знаходяться на верхівці гіперплощини (рис. 6, а-в) є найбільш сприятливими для протікання процесу. Поверхня відгуку та контурний графік для Q показують, що при збільшенні значення тиску вентилятора (x_1), частоти пульсації повітряного потоку (x_2) зростає продуктивність але відбувається перехід з процесу псевдозрідженя без кипіння в зону пневмотранспорту, що дуже негативно вплине на ТЕС, тому і форма гіперповерхні (рис. 3.20, г) наближається до площини і вказує на прямопропорційну залежність продуктивності від чинників.





а) б)





в) г)

Рис. 3.20. Поверхні відгуку для технологічного ефекту сепарації (ТЕС) та продуктивності (Q) репліки 2^3+зіркові точки:

а) – ТЕС=f(x_1,x_2); б) – ТЕС=f(x_2,x_3); в) – ТЕС=f(x_1,x_3); г) – Q=f(x_2,x_3).

В результаті аналізу реплік побудовані нелінійні статистичні моделі для ненатурального значення факторів:

$$\boldsymbol{Q} = 1{,}6 + 0{,}137x_1 + 0{,}107x_2 + 0{,}161x_3,$$

$$\boldsymbol{TEC} = 92{,}47 + 5{,}66412x_1 + 2{,}4989x_2 + 4{,}93x_3 - 7{,}952x_1^2 - 0{,}025x_1x_3 - 4{,}063x_2^2 - 8{,}589x_3^2$$

Мета другої серії досліджень - отримання найбільшого значення продуктивності шляхом збільшення робочої довжини каналу при збереженні значення технологічного ефекту сепарації. Так як раціональні значення x_1-x_3 вже визначені, і їх зміна призведе до переходу процесу псевдозрідженя в режим пнемотранспорту, то визначали оптимальну довжину каналу. Для проведення експерименту складена матриця 2^4+зіркові точки і побудовані наступні нелінійні статистичні моделі для ненатурального значення факторів:

$$\boldsymbol{Q}=1{,}9 + 0{,}05x_1 + 0{,}05x_2 + 0{,}05x_3 + 0{,}0084x_4 - 0{,}0312x_1^2 - 0{,}0312_2^2 - 0{,}0312x_3^2 – - 0{,}0937x_4^2,$$

$$\boldsymbol{TEC}= 94 + 1{,}916x_1 + 0{,}25x_2 + 0{,}25x_3 + 1{,}416x_4 -3{,}604x_1^2 - 0{,}125x_1x_4 – 1{,}979x_2^2 –- 0{,}125x_2x_3 - 1{,}729x_3^2 - 3{,}604x_4^2.$$

Графіки поверхонь відгуку та ліній рівного виходу показують (рис. 3.21), що оптимальне значення робочої довжини каналу лежить в межах L=0,55-0,75 м, в наступній серії досліджень значення зафіксовано на рівні L=0,6 м.

Мета третьої серії досліджень – вивчення впливу всіх параметрів машини на якісні показники роботи. Попередніми серіями дослідів визначено діапазон раціональних значеннь тиску ($P_в$), частоти пульсації ($\omega_п$), висоти шару насіння (h_0) та робочої довжини каналу (L).

а) б)

Рис. 3.21. Поверхні відгуку для технологічного ефекту сепарації (а) та продуктивності (б) репліки 2^4+зіркові точки.

Складено матрицю центрального композиційного плану 2^{8-2}+зіркові точки і побудовані нелінійні статистичні моделі (для ТЕС та Q) для ненатурального значення факторів.

$$\boldsymbol{TEC} = 94{,}0 + 0{,}075x_1 - 0{,}095x_2 + 0{,}1543x_3 + 0{,}0043x_4 - 0{,}175x_5 + 0{,}1854x_6 + 0{,}075x_7 +$$

$$+ 0{,}156x_8 - 0{,}4093x_1^2 - 0{,}2187x_1x_2 - 0{,}1562x_1x_3 - 0{,}21875x_1x_4 + 0{,}03125x_1x_5 - 0{,}0625x_1x_6 -$$

$$- 0{,}593x_1x_7 - 0{,}625x_1x_8 - 0{,}409x_2^2 - 0{,}156x_2x_3 - 0{,}218x_2x_4 + 0{,}0312x_2x_5 - 0{,}0625x_2x_6 +$$

$$+0{,}0312x_2x_7 - 0{,}4094x_3^2 + 0{,}0937x_3x_4 + 0{,}0312x_3x_5 - 0{,}0625x_3x_6 - 0{,}2812x_3x_7 - 0{,}0625x_3x_8 -$$

$$+0{,}409x_4^2 + 0{,}0312x_4x_5 - 0{,}0625x_4x_6 - 0{,}3437x_4x_7 + 0{,}125x_4x_8 - 0{,}659x_5^2 + 0{,}0625x_5x_6 +$$

$$+0{,}0312x_5x_7 - 0{,}0625x_5x_8 - 0{,}3468x_6^2 - 0{,}0625x_6x_7 + 0{,}0312x_6x_8 - 0{,}409x_7^2 - 0{,}5968x_8^2$$

$$\boldsymbol{Q} = 1{,}85 - 0{,}0235x_1 - 0{,}0135x_2 + 0{,}006x_3 + 0{,}0165x_4 + 0{,}014x_5\ 0{,}0164x_6 - 0{,}0135x_7 - 0{,}006x_8$$

$$-0{,}0012x_1^2 - 0{,}025x_1x_2 + 0{,}0125x_1x_4 - 0{,}0031x_1x_5 + 0{,}025x_1x_7 + 0{,}0218x_1x_8 - 0{,}001x_2^2 -$$

$$-0{,}012x_2x_3 - 0{,}0031x_2x_5 - 0{,}012x_2x_7 - 0{,}0031x_2x_8 - 0{,}0012x_3^2 - 0{,}0031x_3x_5 + 0{,}012x_3x_7 -$$

$-0{,}0031x_3x_8 - 0{,}0012x_4^2 - 0{,}0031x_4x_5 - 0{,}0031x_4x_8 - 0{,}0012x_5^2 - 0{,}0031x_5x_6 - 0{,}0031x_5x_7 -$

$-0{,}0012x_6^2 - 0{,}0031x_6x_8 - 0{,}0012x_7^2 - - 0{,}0031x_7x_8 - 0{,}0012x_8^2$

Статистична оцінка отриманих результатів дозволила зробити наступні висновки щодо рівноточності та адекватності отриманих моделей для рівня надійності $P_н$=0,95 наведена у табл. 3.8.

Таблиця 3.8.

Статистична оцінка нелінійних моделей.

Репліка	Параметр оптимізації	Критерій Кохрена		Критерій Фішера	
		розрахункове	табличне	розрахункове	табличне
		G^P	G^T	F^P	F^T
2^3+зіркові точки	Q	0,068	0,242	0,066	3,0
	ТЕС	0,235		0,066	
2^4+зіркові точки	Q	0,068	0,192	0,297	2,8
	ТЕС	0,108		0,04	
2^{8-2}+зіркові точки	Q	0,0399	0,042	0,008	2,5
	ТЕС	0,036		0,068	

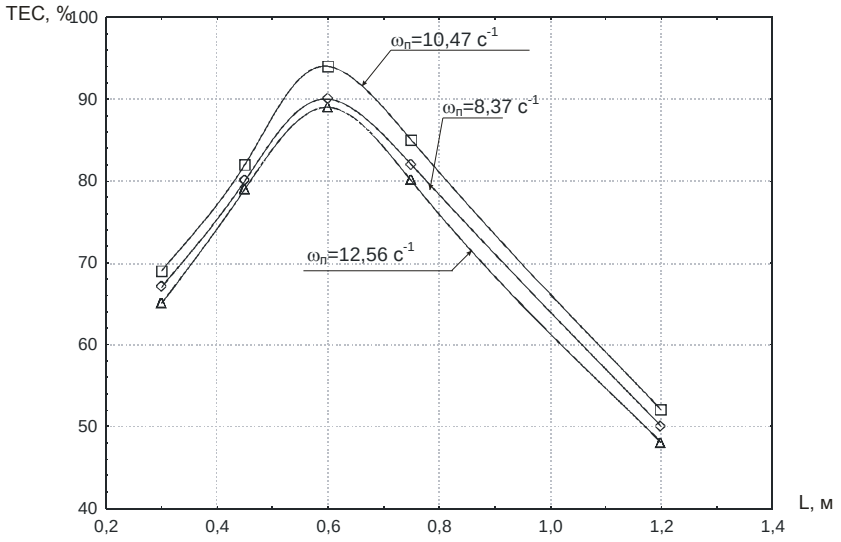
З аналізу проведених серії дослідів зроблено наступні висновки:

1. Збільшення тиску в пневматичному каналі $P_в$ призводить до підвищення продуктивності (Q) та до зменшення значення технологічного ефекту сепарації (ТЕС), оптимальне значення $P_в$=1,3 кПа.

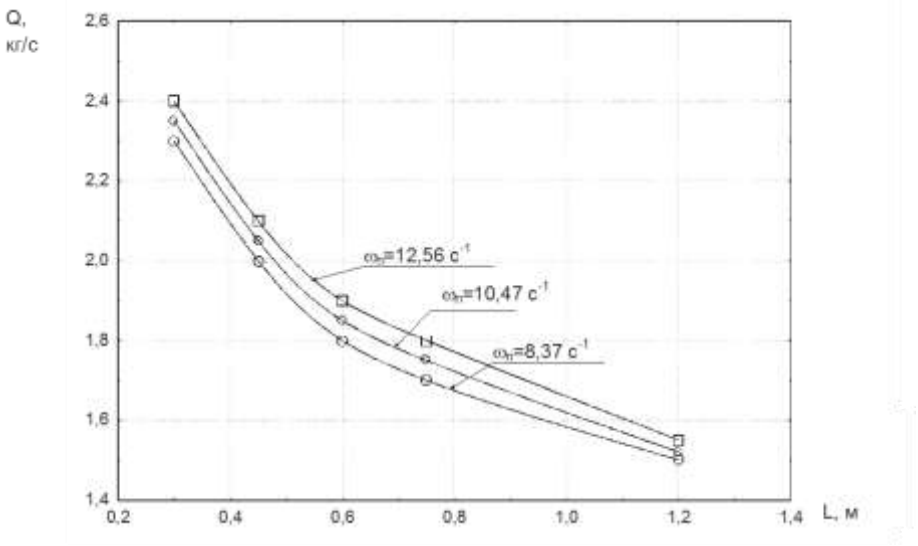
2. Експериментально встановлено раціональне коефіцієнта встановлення дільників $k_д$=1,2. Зменшення значення коефіцієнту призводить до появи часток з вищим значенням густини в наступній фракції, а також до втрат насіння по фракціях. Збільшення коефіцієнту призводить до забору дільниками насінин верхніх шарів, що теж негативно впливає на якість сепарації.

3. Довжина заслінки пульсатора $D_п$ істотно впливає як на продуктивність (Q), так і на технологічний ефект сепарації (ТЕС) наступним чином: зменшення призводить до збільшення Q і погіршення ТЕС. Експериментально отримали підтвердження обраного шляху щодо використання пульсуючого повітряного потоку з повним перекриттям пульсатором повітряного каналу, що призводить до покращення показника ТЕС до 90-93%.

4. Частота пульсації повітряного потоку $\omega_п$ істотно впливає на ТЕС (рис. 3.22), отримані раціональні значення лежать в межах 8,37-12,57 $с^{-1}$. Зменшення або вихід за встановлені межі призводить до зниження ТЕС, що пояснюється збільшенням часу дії на часток сили лобового тиску повітряного потоку.



а)



б)

Рис. 3.22. Залежності впливу робочої довжини перегородки на технологічний ефект (а) та на продуктивність сепарації (б).

5. Встановлено раціональний кут нахилу пневматичного каналу до горизонту $\alpha=2^0$, що дозволяє поєднати найкращі значення продуктивності (Q) та технологічного ефекту сепарації (ТЕС). При куті $0^0 \leq \alpha \leq 2^0$ процес псевдозрідженя відбувається без сплесків та фонтанів, що позитивно впливає на Q та значення

ТЕС. Збільшення значення кута призводить до збільшення горизонтальної швидкості руху часток в повітряному каналі та виникнення фонтанів біля блоку дільників, що призводить до перемішування часток і зниження значення ТЕС (на 23-35 %) при значному збільшенні Q (до 2,2 кг/с).

6. Початкова висота шару насіння h_0 при даних значеннях конструктивних та режимних параметрів складає h_0=0,1-0,12 м. Зменшення висоти сприяє зменшенню опору шару насіння, що призводить до його кипіння, а збільшення – до відсутності процесу псевдозрідженя.

7. Довжина сітки для виходу повітря L_c впливає на режим процесу псевдозрідженя. При повному перекритті сепаратор працює в режимі пневмотранспорту, спостерігається підвищення продуктивності Q до 2,4 кг/с і зменшення технологічного ефекту сепарації ТЕС до 62%. Для найкращого поєднання показників якості сепарації експериментально встановлено залежність: L_c=0,5L. Перекриття частини каналу слід робити перед блоком дільників, щоб збільшити швидкість проходження матеріалу.

8. Коефіцієнт асиметрії S_k показує зміну епюри тисків по довжині каналу в залежності від того, яка з двох заслінок піднята. Якщо S_k=0 – підвищується продуктивність (Q), а технологічний ефект сепарації (ТЕС) падає. При S_k<0 – створюються найбільш сприятливі умови для сепарації, а при S_k>0 - перемішування матеріалу в зоні перед блоком дільників.

9. Ексцес епюри тиску в поперечних перерізах каналу повинен завжди бути E_x<0 інакше процес сепарації переходить у процес змішування.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникнути при експлуатації сепаратора:

- частини і механізми, які рухаються;
- частини і механізми, які обертаються (механізм приводу);
- високій рівень шуму і вібрації внаслідок роботи двигуна;
- пожежо- і вибухонебезпека;

- електронебезпека може виникнути при пошкоджені ізоляції, порушення правил ТБ і ПУЕ;

- не відповідність параметрів мікроклімату вимогам санітарних норм;

- наявність гострих кромок елементів конструкції машини і шорстких та нагрітих поверхонь;

Розробка заходів по покращенню умов праці і усуненню небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

В результаті модернізації сепаратора, для зменшення дії небезпечних та шкідливих факторів вібрації і шуму на оператора, виконані наступні заходи:

- в приміщенні розміщення встановлена припливно-витяжна вентиляція.

- розроблені рекомендації по ефективній організації робочого місця оператора;

- пульт управління дозволяє працювати в автоматичному режимі, датчики дозволяють контролювати виконання технологічного процесу з пульту управління оператора;

- для захисту від враження електричним струмом передбачене заземлення;

- вибухонебезпечність забезпечується вибухорозрядним клапаном;

- установка обладнана трубопроводами виносу продуктів вибуху за межі приміщення з поперечним розрізом 500 мм^2 у відповідності з вимогами “Інструкції по встановленню і експлуатації вибухорозрядників технологічного обладнання комбікормових підприємств“;

- зусилля на органах управління і ручного регулювання не перевищують вимог ДСТУ 2189-93;

- небезпечні зони огороджені у відповідності з ГОСТ 12.4.042.

Для захисту людини від ураження електричним струмом відповідно з ПУЕ застосовано:

– ізоляцію струмоведучих частин, проводів за допомогою діелектричних матеріалів;

– недоступність проводів електричних мереж;

– блокувальне устаткування, яке автоматично відключає напругу з
– малі напруги (не більше 42 В);
– попереджувальну сигналізацію;
– засоби індивідуального захисту. [27]

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для поліпшення експлуатації зерноочисного агрегату ЗАВ-40 і спрощення його управління в технологічну схему його роботи зроблено наступні зміни. Замінено решітний сепаратор ЗАВ на розроблений сепаратор. Розрахунок економічної ефективності наведено у додатку 1.

Таблиця 5.1.

Вихідні дані: модернізація ЗАВ-40

№	Показник	Одиниця вимірювання	Базова технологія	Проектна
1.	Обсяг робіт	т	25840	25840
2.	Продуктивність змінна	т/год	4,6	5,0
3.	Витрати електроенергії	кВт год/т	6,5	5,65
4.	Кількість сепараторів	шт.	2	2
5.	Маса сепаратора	кг	1670	1420
6.	Ціна	грн.	24710	-

Таблиця 5.2

Техніко-економічні показники

№	Показники	Одиниці	Машина	Відхилення

п\п		виміру	Проектна	Базова	+ -	%
1.	Продуктивність	т/год	5	4,6	+0,4	+8,7
2.	Спживання електроенергії	кВт	120156	167960	-47804	-28,5
3.	Обсяги виробництва	т	25840	25840	-	-
4.	Собівартість операції	грн.	270781,6	330605,1	-59823,5	-
5.	Питома собівартість	грн./т	10,5	12,8	-2,3	18
6.	Річна економія	грн.	59823,5	-	-	-
7.	Річний економічний ефект	грн.	60541,7	-	-	-

Запропонована технологія дозволяє отримати річний економічний ефект в розмірі 60541,7 грн., що свідчить про ефективність запропонованих заходів.

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу переваг та недоліків відомих конструкцій машин для сепарації насіння за густиною, обґрунтовано схему нового пневмоімпульсного сепаратора, що має раму на яку встановлено електродвигун з вентилятором, дозатор, дільники шару, ємкості для насіння, яка відрізняється тим, що в пневматичному каналі встановлено пористу перегородку, сітку для виходу повітря та пульсатор, причому канал має регулятор кута нахилу, а пульсатор – привід. Пульсація повітряного потоку в пневматичному каналі призводить до зменшення значення коефіцієнту внутрішнього тертя між частками, що в свою чергу – зменшення часу на псевдозрідження шару.

2. Стохастичну математичну модель процесу пневмоімпульсної сепарації насіння за густиною представлено як випадковий марківський процес. Розроблена модель враховує взаємозв’язок властивостей псевдозрідженого шару і окремої частки з конструктивними, кінематичними та аеродинамічними параметрами обладнання, а також раніше не враховані фактори: випадковість дії сили лобового тиску; наявність пульсації повітряного потоку; ексцесу та асиметрії епюр тисків, відповідно, в поперечному та повздовжньому перетині пневматичного каналу; висоти встановлення дільників шару. Аналіз отриманої

математичної моделі дозволив встановити значний вплив наступних параметрів: тиску повітря в пневматичному каналі $P_в$; початкової висоти шару насіння h_0; частоти пульсації повітряного потоку $\omega_п$; довжини пневматичного каналу L; кута нахилу пневматичного каналу α; коефіцієнт встановлення дільників $k_д$; коефіцієнта асиметрії епюр тиску в повздовжньому перетині повітряного каналу S_k. Теоретично встановлено, що значення технологічного ефекту сепарації становитиме (89-100%) в залежності від значень конструктивних (L=0,5-1,2 м; kд=0,8-1,2; h_0=0,08-0,12 м; α=0-3^0), кінематичних ($\omega_п$=8,37-15,56 $с^{-1}$) та аеродинамічних ($P_в$=1,2-1,5 кПа) параметрів обладнання.

3. Експериментально встановлено область раціональних значень параметрів пневмоімпульсного сепаратора, при яких спостерігається підвищення якісних показників роботи (технологічний ефект сепарації до значення ТЕС=89-94% та продуктивності – до Q=1,6-1,9 кг/с): тиск повітряного потоку в каналі $P_в$=(1,3-1,4) кПа; частота пульсації повітряного потоку $\omega_п$=(10,47-12,56) $с^{-1}$; довжина каналу L=0,6 м; довжина сітки для виходу повітря $L_с$=0,5·L=0,3 м; коефіцієнт встановлення дільників $k_д$=1,2; початкова висота шару насіння h_0=(0,1-0,12) м; кут нахилу каналу α=2^0; довжина лопаті пульсатора $D_п$=0,145 м.

4. Розроблено необхідні заходи щодо забезпечення необхідних умов праці.

5. Запропонована технологія дозволяє отримати річний економічний ефект в розмірі 60541,7 грн., що свідчить про ефективність запропонованих заходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богатирьов Д.В. Теоретичне визначення якісних показників роботи обладнання для сепарації насіння за густиною // Збірник наукових праць КНТУ (техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація). Випуск 16. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – С.35-41.
2. Бредихін В.В. Механіко-математична модель руху зернових сумішей у вібропневмоцентрифугах // Механізація та електрифікація сільського

господарства. Вип. 85. – Глеваха: ННЦ ІМЕСГ, 2001. – С. 116-119.

3. Бредихін В.В. Обґрунтування параметрів процесу вібропневмоцентрового розділення насіннєвих сумішей за густиною насіння: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11. – Харків, 2003 – 17 с.
4. Василенко П.М. Погорелый П.В. Основы научных исследований. Механизация сельского хозяйства. – К.: Вища школа, 1985. – 266 с.
5. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. – К.: УСХА, 1960. – 263 с.
6. Васильковський О.М., Васильковський М.І., Осипов І.М. Обгрунтування конструктивних параметрів інерційного прямоточного сепаратора зерна. - Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 29, 1999. с. 234-238.
7. Гевко Б.М., Рогатынский Р.М. Винтовые и подающие механизмы сельскохозяйственных машин. – Львов: Вища школа, 1989. – 176 с.
8. Гячев Л.В. Исследование сил, необходимых для перемещения сыпучего тела в трубе. // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства – № 5 – 1964 – С. 17-20.
9. Єрмак В.П. Обґрунтування способу сепарування насіння соняшника у повітряних потоках: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11. – Луганськ, 2003 – 17 с.
10. Єрмак В.П. Шляхи збільшення ефективності сепарування насінин у горизонтальному повітряному потоці // Збірник наукових праць ЛНАУ Серія: Технічні науки. Випуск 42 (54). – Луганськ: ЛНАУ, 2004. – С.66-72.
11. Зінченко О.І., Самітенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво – К.: Агросвіт, 2001. – С. 12-47.
12. Коваль В.Я., Ермак В.П. Теоретический аналіз процесса сепарирования семян подсолнечника в вертикально-горизонтальном воздушном потоке // // Збірник наукових праць ЛДАУ Серія: Технічні

науки. Випуск 10 (22). – Луганськ: ЛДАУ, 2001. – С.78-81.

13. Коваль В.Я., Єрмак В.П. Новий спосіб сепарування насінин у повітряних потоках. // Збірник наукових праць КДТУ (техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація). Випуск 10. – Кіровоград: КДТУ, 2005. – С.74-77.
14. Ковшов В.Н. Постановка инженерного эксперимента. – Киев-Донецк: Вища школа. Головное издательство, 1982. – 120 с.
15. Козлов Л.Ф., Бабенко В.В. Экспериментальные исследования пограничного слоя. – К.: Наукова думка, 1978. – 183 с.
16. Комаристов В.Ю., Петренко М.М. Довідник з механізації післязбиральної обробки зерна. – К.: Урожай, 1990. –194 с.
17. Кондратюк П.І. Зерноочисні і сортувальні машини. – К.: Держтехвидав., 1953 – С.12-69.
18. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання. Курсове проектування з використанням ПК: Навчальний посібник з грифом МОН України / Ф.І. Василенко, І.Ф. Василенко. Кіровоград : ІМЕКС ЛТД, 2005. 314 с.
19. Ярош Ю.М., Трусов Б.А. Технологія виробництва сільськогосподарської продукції. К.: Український Центр духовної культури, 2005. 524 с.
20. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В.Ю. Ільченко, П.І. Карасьов, А.С. Лімот та ін.; За ред. В.Ю. Ільченка. К.: Урожай, 1993. 288 с.
21. Сільськогосподарські машини. Кн. 3. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння. / П.В. Сисолін, М.М. Петренко, М.О. Свірень. К. : Фенікс, 2007. 432 с.
22. Хайлис Г. А. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин / Г. А. Хайлис. К.: Изд-во УСХА, 1992. 235 с.
23. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва / Л.Ф.

Скалецька, Т.М. Духовська, А.М. Сеньков. К.: Вища шк., 1991. 335 с.

24. Камінський В.Д., Бабіч М.Б. Переробка та зберігання сільськогосподарської продукції. Одеса: Аспект, 2000 .

25. Сиротюк С.В. Механізація переробки та зберігання продукції рослинництва: Курс лекцій . 2-е вид. Львів: ЛДАУ, 2000 . 249с.

26. Лесик Б.В., Трисвятський Л.О., Сніжко В.Л. Зберігання і технологія сільськогосподарських продуктів. К.: Вища шк., 1980.

27. Процеси і апарати харчових виробництв / Під ред. І.Ф. Малежика. Мін. освіти України, К., 1997. 276с

ДОДАТКИ

Допущено до захисту

Зав. кафедрою СГМ

_____ Сергій ЛЕЩЕНКО

«____» _____ 2023 р.

Графічна частина

магістерської кваліфікаційної роботи

на тему «Підвищення ефективності пневматичного зерносепаратора з обґрунтуванням його параметрів»

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

Студент

гр. ГМ(СМ)-21М(1.9) _____ А.А. Шмельов

Керівник _____ В.А. Онопа

Нормоконтроль _____ Ю.В. Мачок

Кропивницький 2023

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				Документація		
A2			ПСА 00.040 СБ	Складальне креслення	1	
				Складальні одиниці		
		1	ПСА 00.040.001	Палець	8	
		2	ПСА 00.040.002	Колодка з гвинтом	8	
		3	ПСА 00.040.003	Хрестовина	1	
				Деталі		
		4	ПСА 00.040.070.201	Барабан	1	
		5	ПСА 00.040.070.203	Втулка	1	
		6	ПСА 00.040.070.605	Гвинт	4	
		7	ПСА 00.040.070.606	Пружина	4	
		8	ПСА 00.040.070.607	Гвинт регулювальний	4	

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ПСА 00.040		
Розроб.		Монашок			Муфта відцентрова	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Богатирьов					1	1
						КНТУ. гр. ПМ11М	
Н. контр.		Осипов					
Затв.		Свірень					

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				Документація		
A1			ПСА 00.013.000	Складальне креслення		
				Деталі		
		1	ПСА 00.013.401	Шків	1	
		2	ПСА 00.013.402	Шків	1	
		3	ПСА 00.013.403	Шків	2	
		4	ПСА 00.013.604	Вал	1	
		5	ПСА 00.013.605	Вал	1	
		6	ПСА 00.013.306	Корпус	1	
		7	ПСА 00.013.607	Корпус	1	
		8	ПСА 00.013.608	Корпус	1	
		9	ПСА 00.013.009	Втулка	1	
		10	ПСА 00.013.310	Ричаг	1	
		11	ПСА 00.013.311	Корпус	1	
		12	ПСА 00.013.612	Кільце	1	
		13	ПСА 00.013.613	Пластина	2	
		14	ПСА 00.013.814	Втулка	1	
		15	ПСА 00.013.615	Пружина	2	

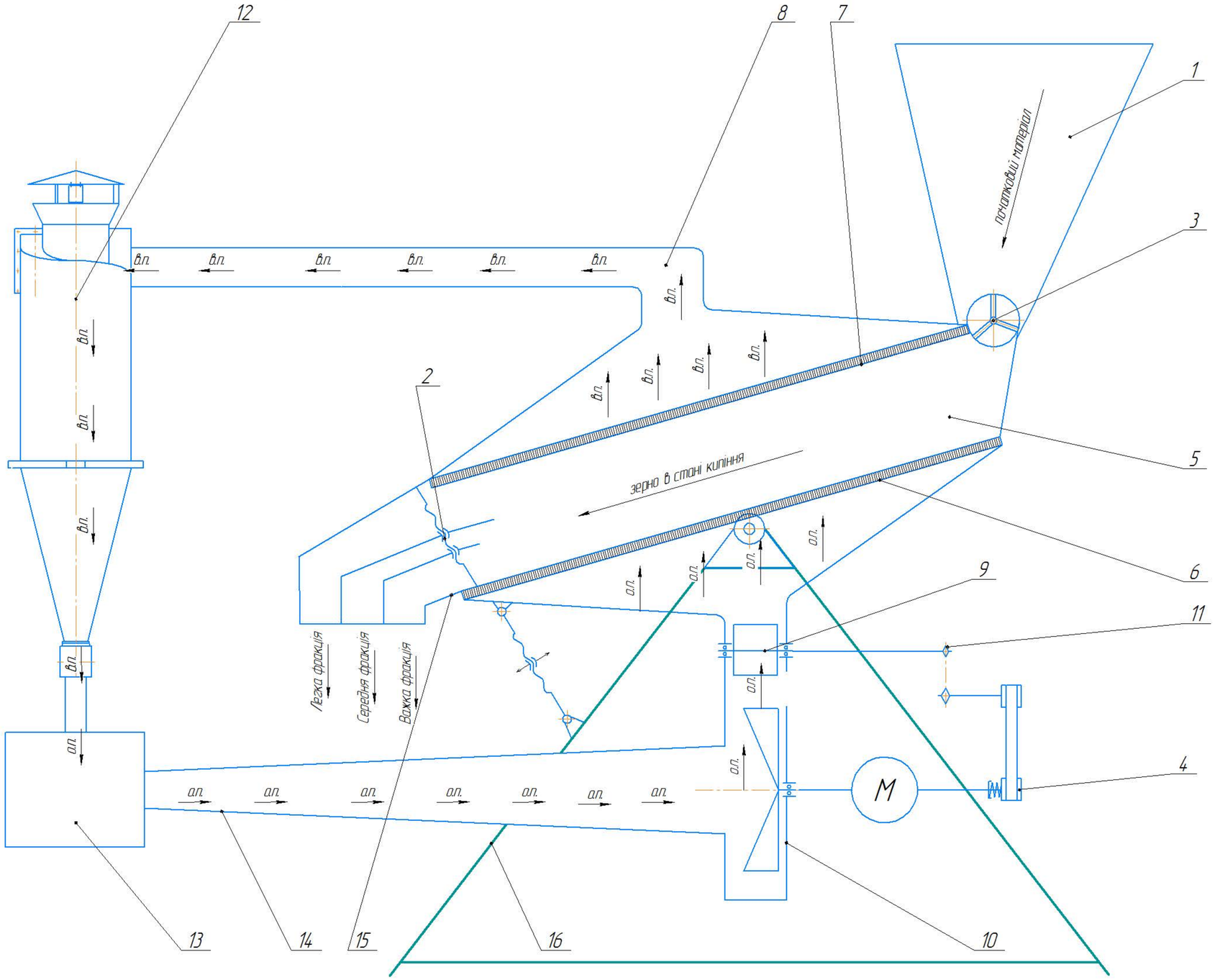
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ПСА 00.013.000		
Розробив		Монашок			Варіатор	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Богатирьов					1	2
						КНТУ. гр. ПМ11М	
Н. контр.		Осипов					
Затв.		Свірень					

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				Стандартні вироби		
		16		Болт М16-6дх28.66.019	8	
				Гайки ГОСТ 5927-70		
		17		М16-7Н.019	8	
		18		М20-7Н.019	2	
		19		М22-7Н.019	2	
				Шайби ГОСТ 6402-70		
		20		16.65Г.019	8	
		22		22.65Г.018	1	
		23		Пас варіаторний СВ-38-1500Ш	1	
				Підшипники ГОСТ 7242-84		
		24		8104	2	
		25		8110	2	
				Шплінти ГОСТ 397-79		
		26		4х35.019	3	
		27		3х30.019	1	

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки

ПСА 00.006 С2

Зерновий сепаратор



1 – бункер;
2 – механізм регулювання;
3 – шлюзовий затвор;
4 – пасовий варіатор
5 – пневматичний канал;
6, 7 – решета;
8 – повітроопровід для виходу відпрацьованого повітря (в.п.) ;
10 – пульсатор з приводом 11;
12 – циклон для очищення відпрацьованого повітря;
13 – система аспірації;
14 – повітропровід для очищеного повітря (а.п.);
15 – блок дільників;
16 – рама з механізмом регулювання кута нахилу решет.

					ПСА 00.006 С2			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Зерновий сепаратор	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Шмельов					–	–
Пров.		Онопа				Лист	Листов 1	
Т.контр.					–	ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-21М(1.9)		
Н.контр.		Мачок						
Утв.		Лещенко						

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Копировал | Формат А1

ПСА 08.013.050.601

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

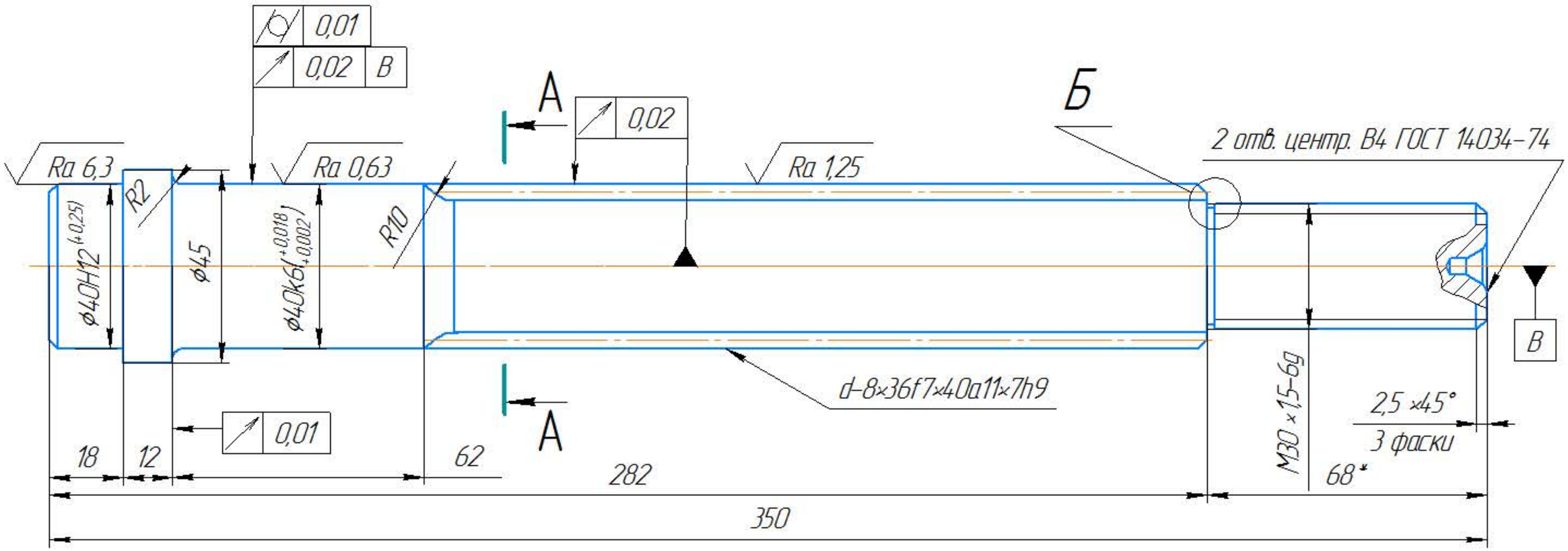
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

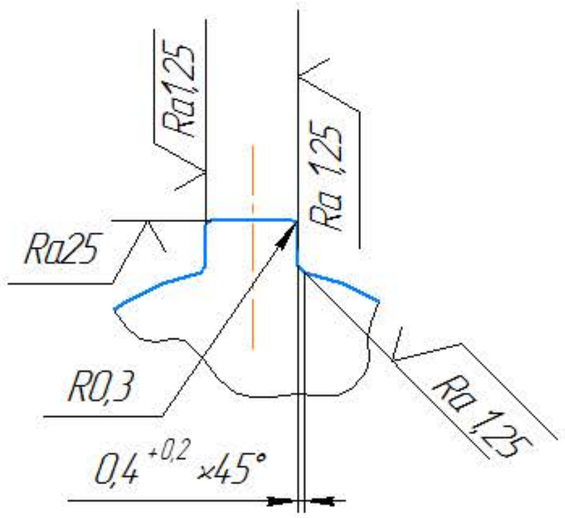
Подп. и дата

Инв. № подл.

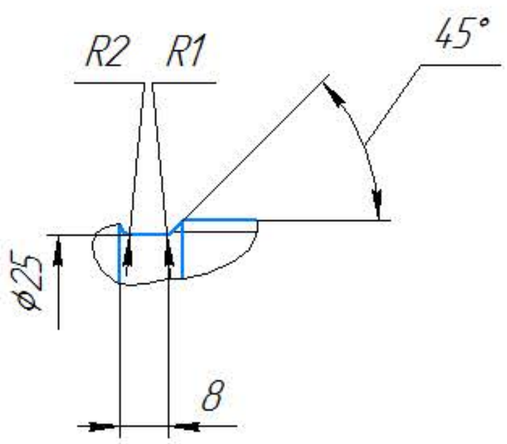
Ra 12,5 (√)



А–А



Б (1:1)

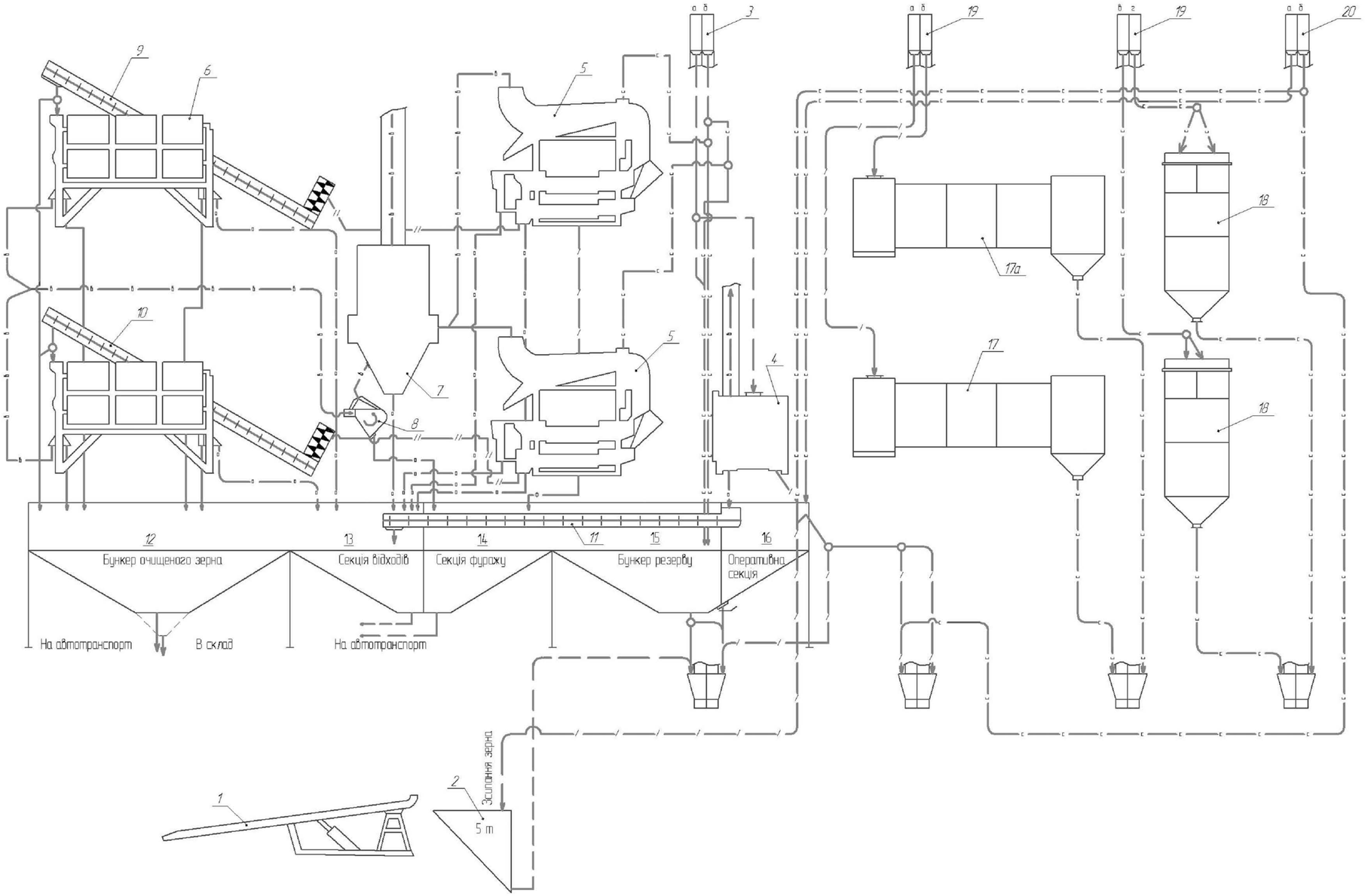


1. Твердість HRC 50...52.
2. Невказані граничні відхилення розмірів за ОСТ 23.2456-76
3. * Розмір для довідок.

					ПСА 08.013.050.601			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Вал	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Шмельов					1,2	1:1
Пров.		Онопа				Лист	Листов 1	
Т.контр.					Круг 45-В ГОСТ 2590-88 / 45-Б ГОСТ 1050-88	ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-21М(1.9)		
Н.контр.		Мачок						
Утв.		Лещенко						

Копировал

Формат А3



1 – автомобілепідйомник ГАП-2Ц;
2 – завальна яма;
3 – норія 2Н3-20;
4 – машина попередньої очистки ЗД-10;
5– пневмоімпульсний сепаратор;
6– блок трієрний ЗАВ-10;
7 – централізована повітряна система ЗАВ-20.60.000;
8 – пневмотранспортер ЗАВ-20.60.000;
9 – транспортер передавальний ЗАВ-10.50.000А;
10 – транспортер передавальний ЗАВ-10.50.000Б;
11 – транспортер для відходів ЗИ-40;
12 – бункер чистого зерна;
13 – секція відходів;
14 – секція фуражу;
15 – бункер резерву;
16 – оперативна секція;
17 – зерносушильний агрегат СЗСБ-8;
18 – охолоджувальна колонка СЗСБ-8;
19,20 норія 2ТКН-10

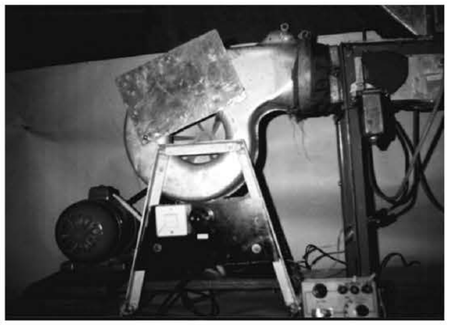
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПСА 00.005 С2		
Разраб.		Шмельов			Схема післязбиральної обробки зерна пшениці	Лит.	Масса	Масштаб
Пров.		Онопа					–	–
Т.контр.						Лист	Листов 1
Н.контр.		Мочак			–	ЦНТУ гр. ГМ(СМ)-21М(19)	
Утв.		Лещенко					

Копировал Формат А1

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Уточнюючі коефіцієнти впливу параметрів сепаратора на якісні показники роботи

Параметр	Значення	Позначення уточнюючого коефіцієнта	Уточнюючі коефіцієнти для	
			продуктивності	технологічного ефекту сепарації
Коефіцієнт асиметрії епюри тиску в повздовжньому перетині каналу	$S_k<0$	k_1	0,96	0,94
	$S_k=0$		0,99	0,97
	$S_k>0$		1	1
Ексцес епюри тиску в поперечному перетині каналу	$E_x<0$	k_2	1	1
	$E_x=0$		0,96	0,90
	$E_x>0$		0,93	0,85
Коефіцієнт встановлення дільників	$k_д=0,8$	k_3	–	0,95
	$k_д=1$		–	0,98
	$k_д=1,2$		–	1



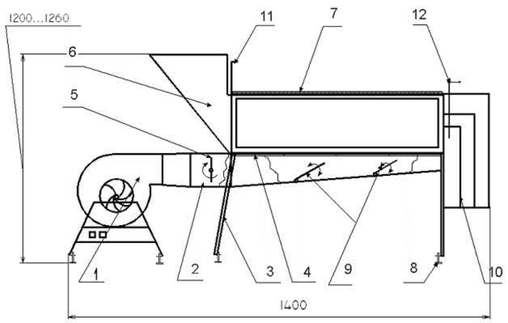
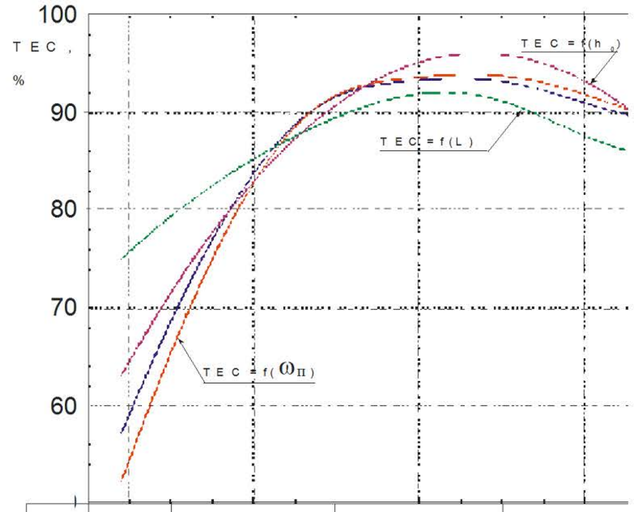


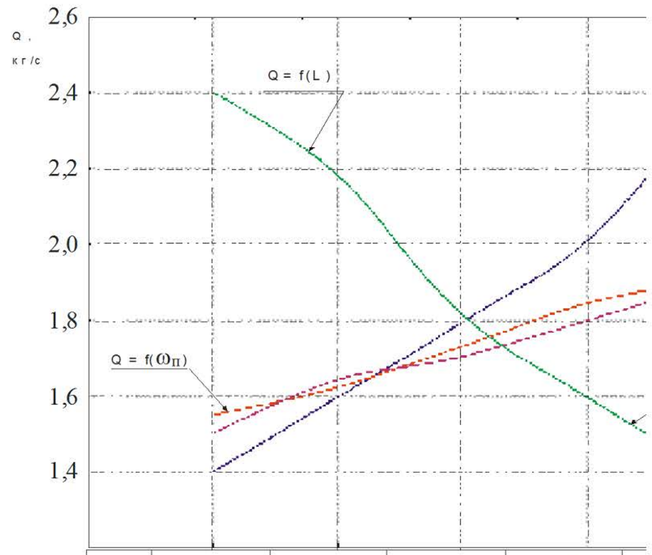
Рис. 1. Схема експериментальної установки:

1– вентилятор з приводом та блоком керування; 2 – повітряний канал; 3 – рама; 4 – пориста перегородка; 5 – пульсатор з приводом та лопаттю, яка має змінну висоту; 6 – бункер; 7– сітка для виходу повітря; 8 – регулятор кута нахилу повітряного каналу; 9 – регульовані заслінки; 10 – блок дільників; 11– регулятор висоти шару насіння в каналі; 12– регулятор висоти встановлення дільників.



Рв	1,1	1,2	1,3	1,4
$\omega_п$	6,28	8,37	10,47	12,56
L	0,1	0,3	0,6	0,9
h_0	0,04	0,06	0,08	0,1

Рис. 2. Номограма для визначення технологічного ефект



$P_в$	1.1	1.2	1.3	1.4
$\omega_п$	6,28	8,37	10,47	12,56
L	0,1	0,3	0,6	0,9
h_0	0,04	0,06	0,08	0,10

Рис. 3. Номограма для визначення продуктивності Q.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПСА 00.006 ТЧ		
Разраб.		Шмельов			Наукова частина	Лит. / Масса / Масштаб 1:1	
Пров.		Онопа				Лист / Листов 1	
Т.контр.					–	ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-21М(1.9)	
Н.контр.		Манок					
Утв.		Лещенко					

Копировал Формат А1

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

ПСА 08.013.050.601

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

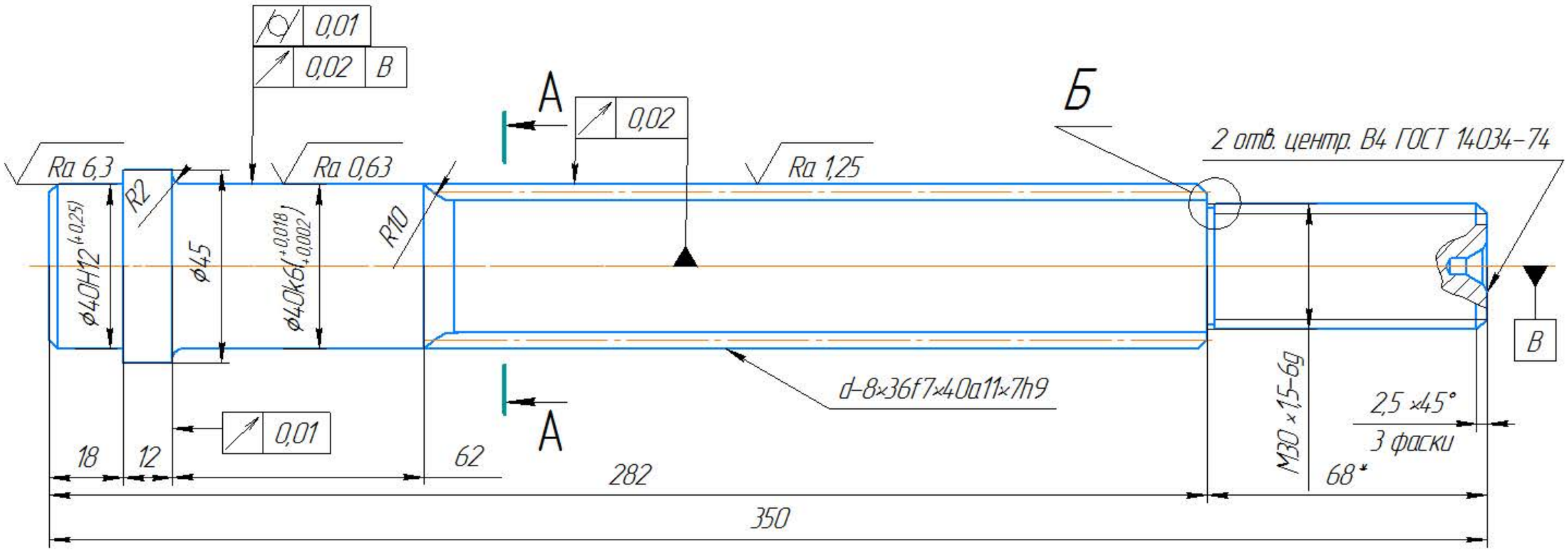
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

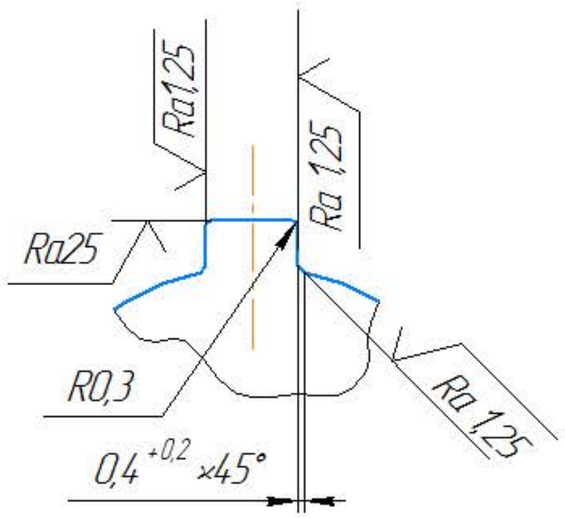
Подп. и дата

Инв. № подл.

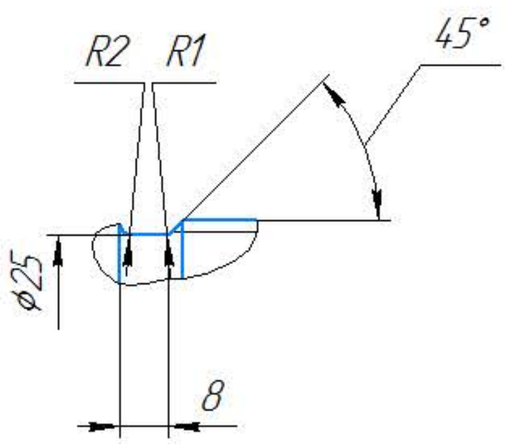
Ra 12,5 (√)



А–А



Б (1:1)

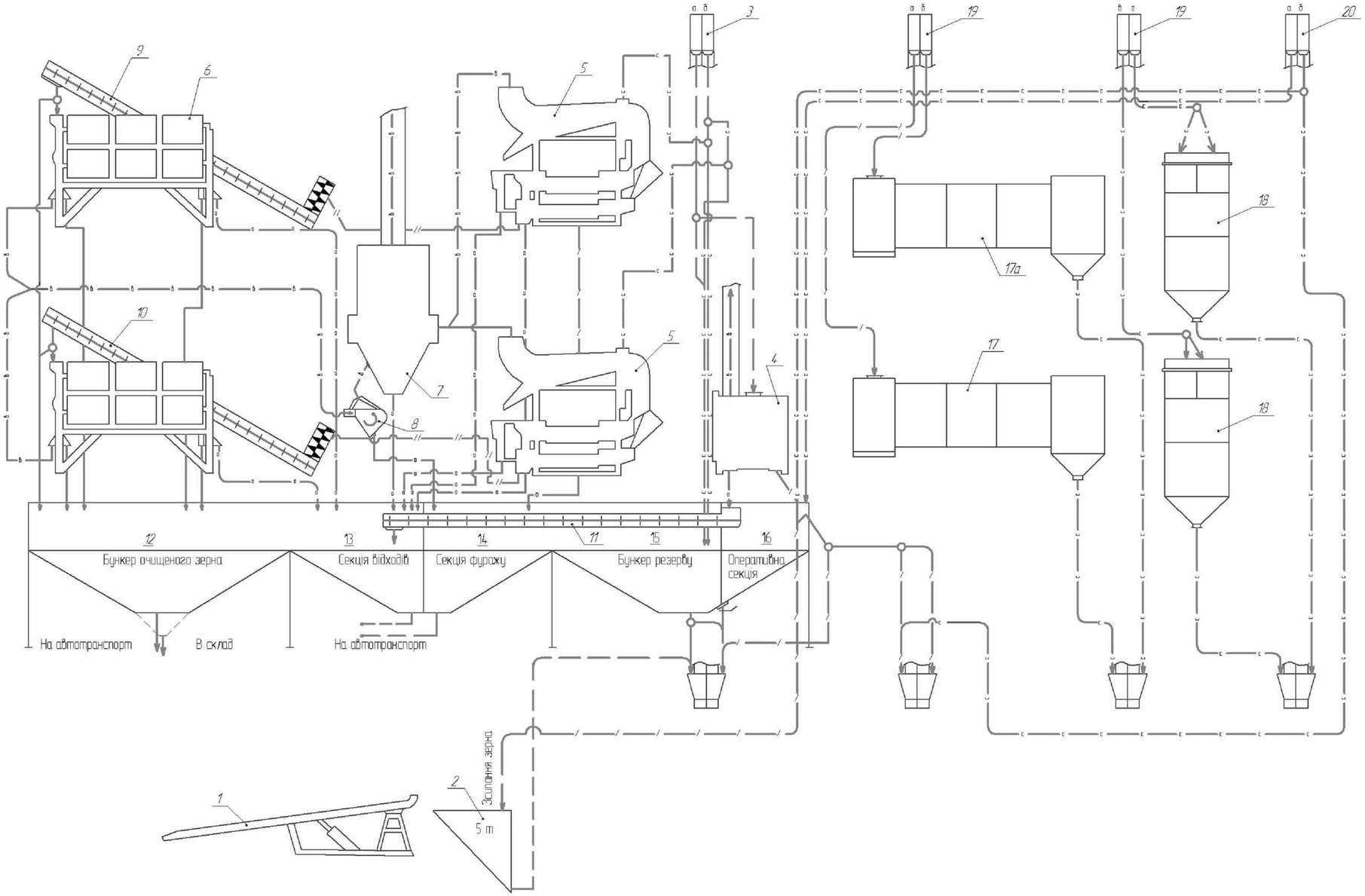


1. Твердість HRC 50...52.
2. Невказані граничні відхилення розмірів за ОСТ 23.2456-76
3. * Розмір для довідок.

					ПСА 08.013.050.601			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Вал	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Шмельов					1,2	1:1
Пров.		Онопа				Лист	Листов 1	
Т.контр.					Круг 45-В ГОСТ 2590-88 / 45-Б ГОСТ 1050-88	ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-21М(1.9)		
Н.контр.		Мачок						
Утв.		Лещенко						

Копировал

Формат А3



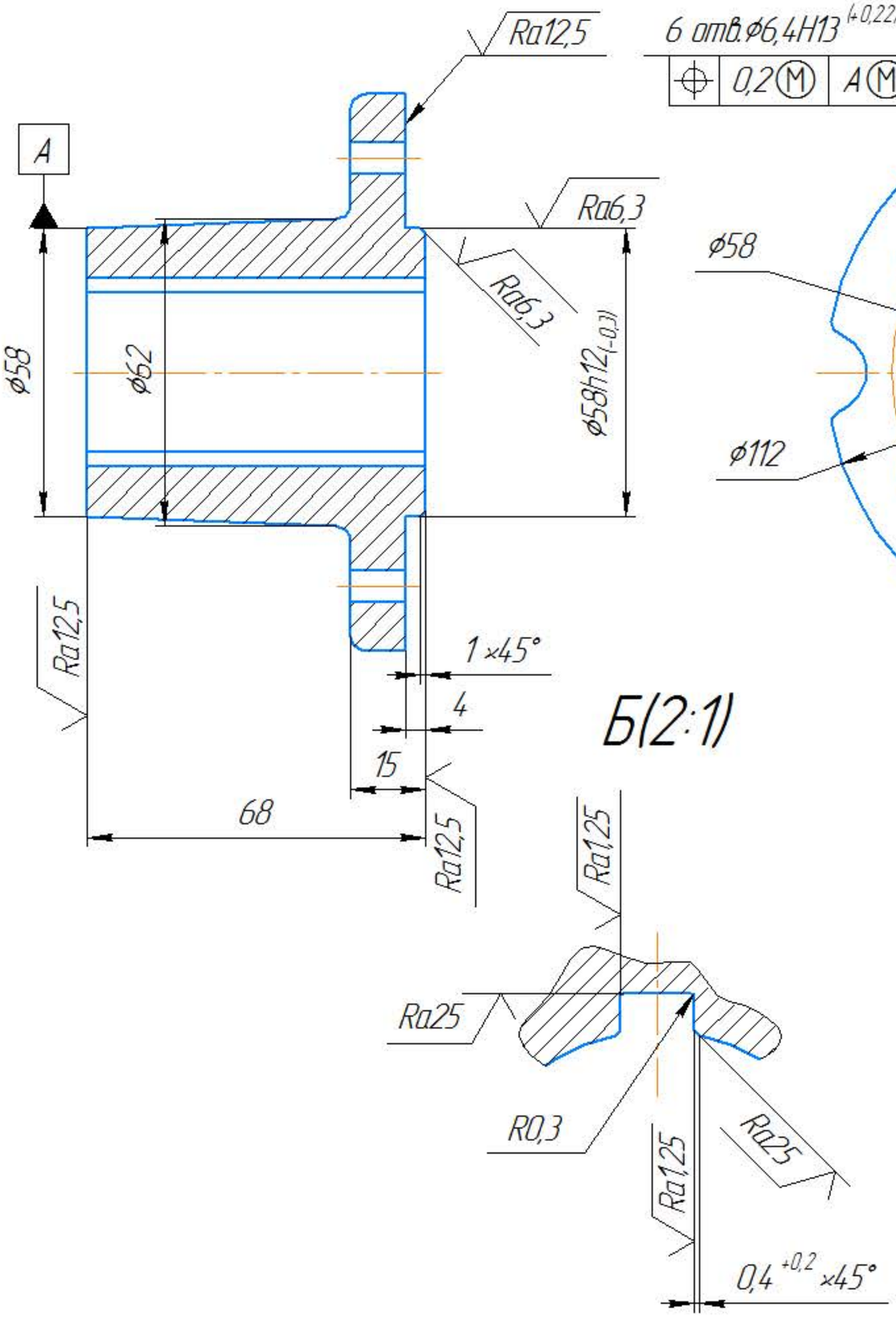
1 – автомобілепідйомник ГАП-2Ц;
2 – завальна яма;
3 – норія 2Н3-20;
4 – машина попередньої очистки ЗД-10;
5– пневмоімпульсний сепаратор;
6– блок трієрний ЗАВ-10;
7 – централізована повітряна система ЗАВ-20.60.000;
8 – пневмотранспортер ЗАВ-20.60.000;
9 – транспортер передавальний ЗАВ-10.50.000А;
10 – транспортер передавальний ЗАВ-10.50.000Б;
11 – транспортер для відходів ЗИ-40;
12 – бункер чистого зерна;
13 – секція відходів;
14 – секція фуражу;
15 – бункер резерву;
16 – оперативна секція;
17 – зерносушильний агрегат СЗСБ-8;
18 – охолоджувальна колонка СЗСБ-8;
19,20 норія 2ТКН-10

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПСА 00.005 С2		
Разраб.		Шмельов			Схема післязбиральної обробки зерна пшениці	Лит.	Масса	Масштаб
Пров.		Онопа					–	–
Т.контр.						Лист	Листов 1
Н.контр.		Мочак			–	ЦНТУ гр. ГМ(СМ)-21М(19)	
Утв.		Лещенко					

Копировал Формат А1

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

ПСА 08.013.020.101



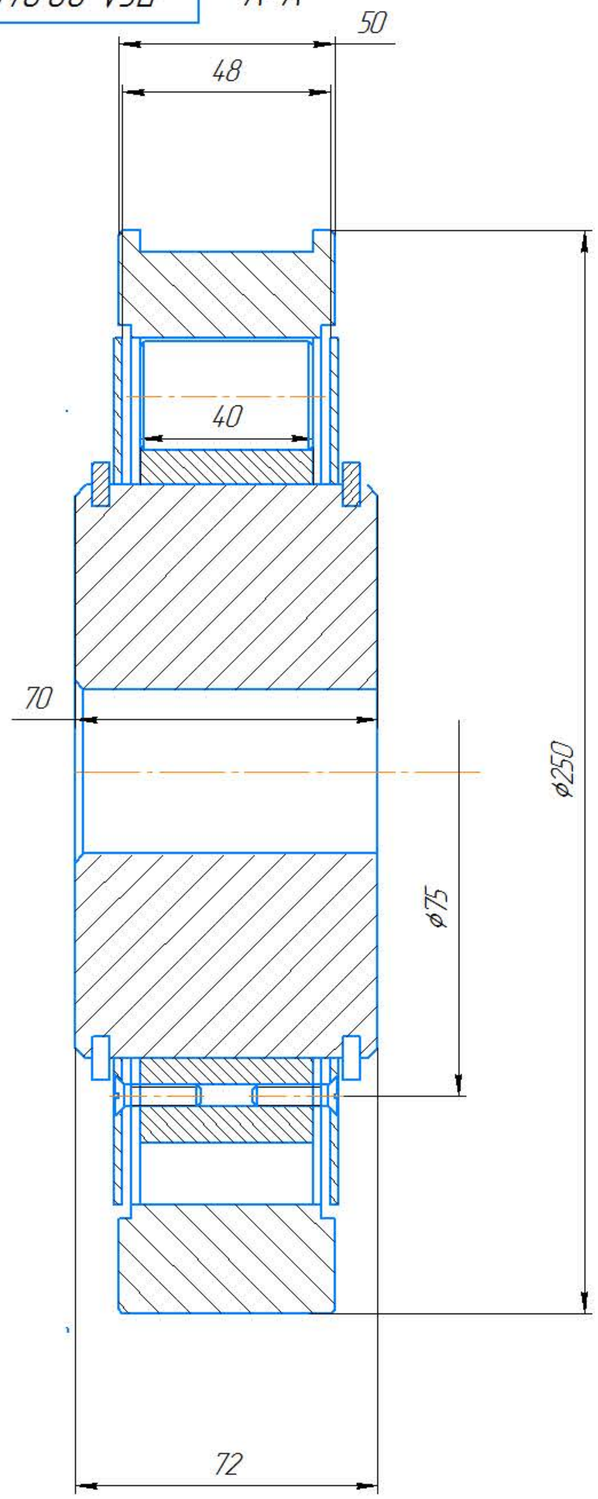
1. Точність відливки 10-0-0-10 ГОСТ 26645-85.
2. Невказані граничні відхилення розмірів згідно ОСТ 23.4.209-82.
3. Невказані радіуси 3 мм.
4. Ливарні схили згідно ГОСТ 3212-80.
5. На кожній механічно обробленій поверхні допускаються одинокі раковини ф3 мм глибиною 1,5 мм в кількості до 5 шт на 1 $дм^2$ або більш мілкі раковини в більшій кількості на тій же площі.
6. Інші технічні вимоги до відливки згідно ОСТ 23.4.258-86

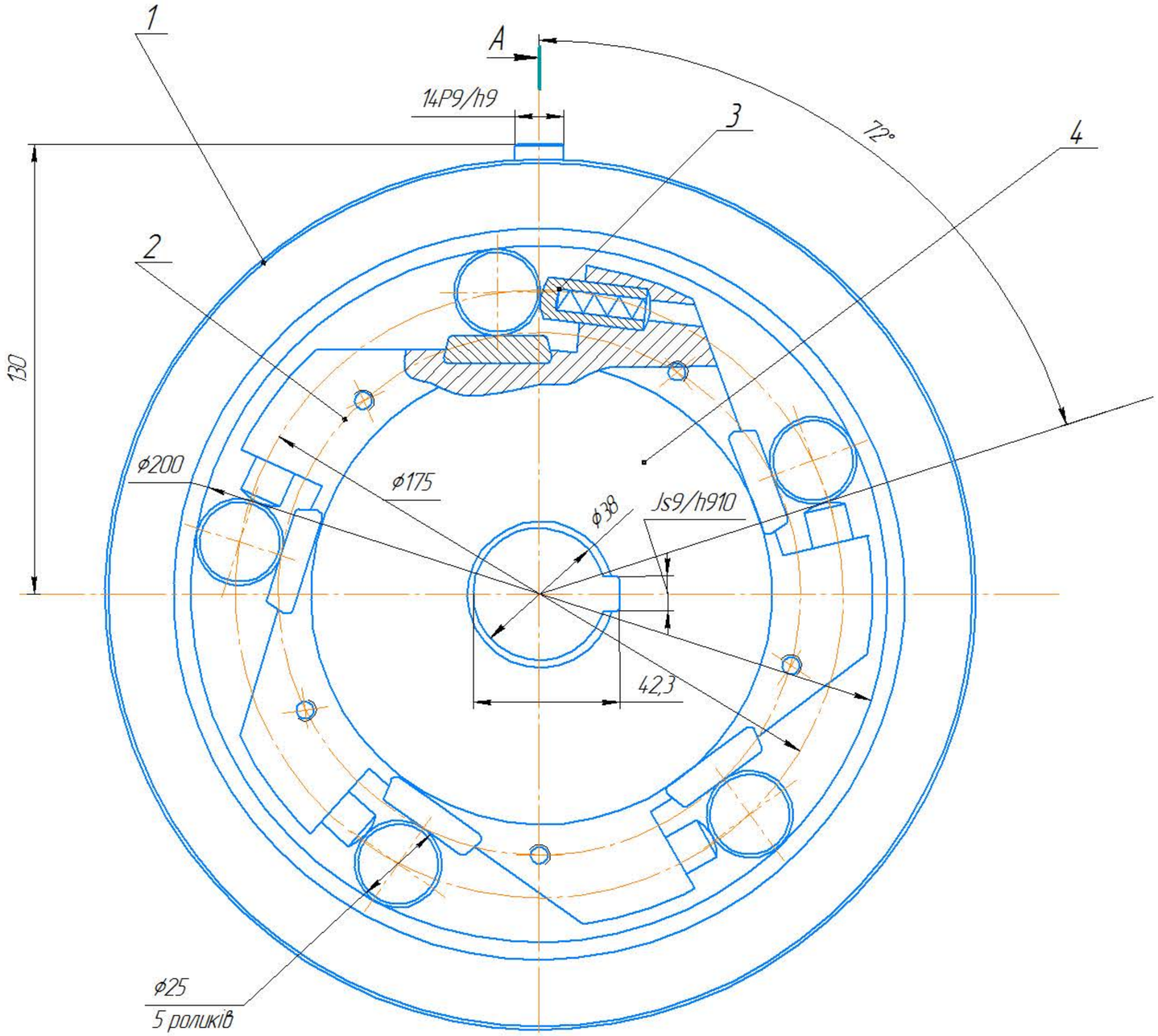
					ПСА 08.013.020.101			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Шмельов			Маточина	Лит.	Масса	Масштаб
Пров.		Онопа					0,9	1:1
Т.контр.						Лист	Листов 1	
Н.контр.		Мачок			СЧ-20 ГОСТ 1412-85	ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-21М(1.9)		
Утв.		Лещенко						

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Копировал | Формат А3

ПСА 00.040 СБ





1. Зовнішні поверхні муфти фарбувати червоню емаллю ПФ-115 ГОСТ 6465-86.
2. У складенному вигляді хрестовина поз. 2 повинна вільна обертатись в барабані поз. 4.
3. * Розміри для довідок

A

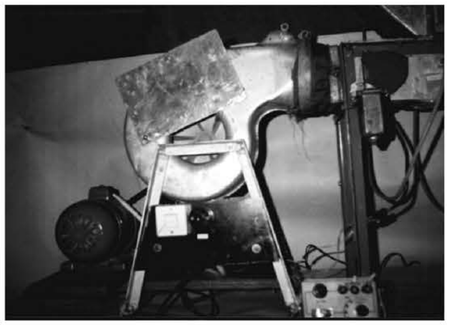
					ПСА 00.040 СБ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Муфта обгінна	Лит. / Масса / Масштаб	2,3 / 1:1
Разраб.		Шмельов				Лист / Листов	
Пров.		Онопа					
Т.контр.					--	ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-21М(19)	
Н.контр.		Мочок					
Утв.		Лещенко					

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Копировал | Формат А2

Уточнюючі коефіцієнти впливу параметрів сепаратора на якісні показники роботи

Параметр	Значення	Позначення уточнюючого коефіцієнта	Уточнюючі коефіцієнти для	
			продуктивності	технологічного ефекту сепарації
Коефіцієнт асиметрії епюри тиску в повздовжньому перетині каналу	$S_k<0$	k_1	0,96	0,94
	$S_k=0$		0,99	0,97
	$S_k>0$		1	1
Ексцес епюри тиску в поперечному перетині каналу	$E_x<0$	k_2	1	1
	$E_x=0$		0,96	0,90
	$E_x>0$		0,93	0,85
Коефіцієнт встановлення дільників	$k_д=0,8$	k_3	–	0,95
	$k_д=1$		–	0,98
	$k_д=1,2$		–	1



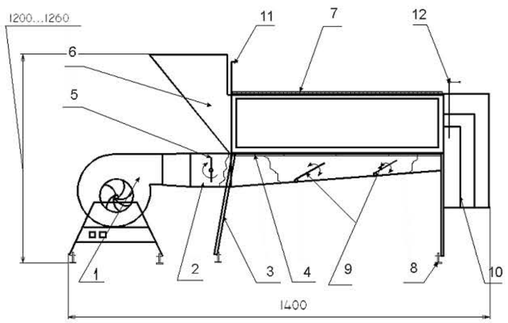
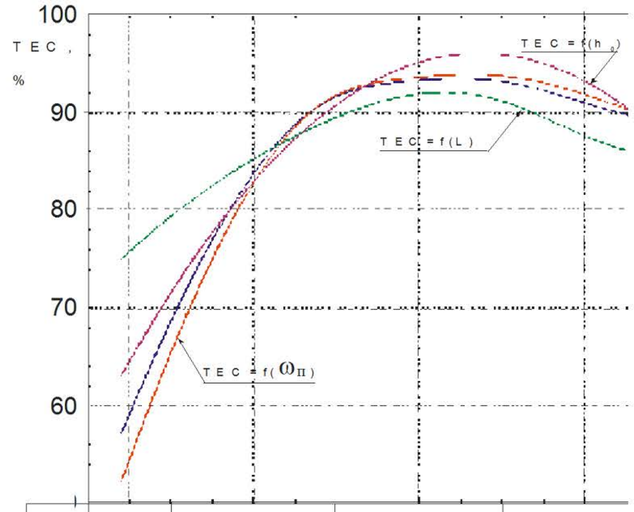


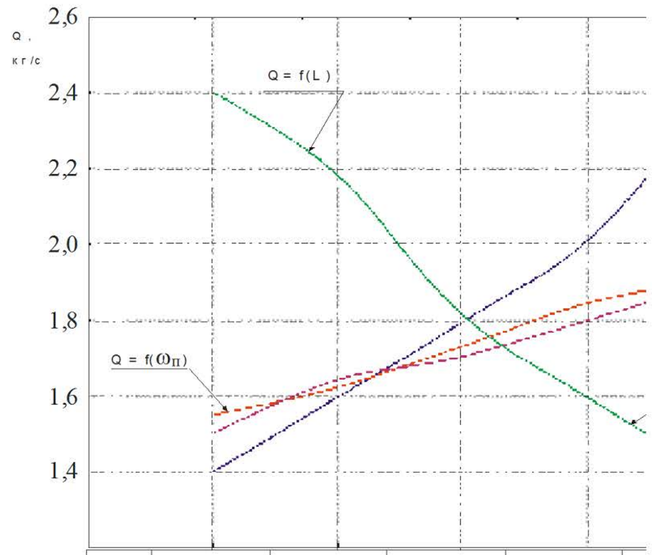
Рис. 1. Схема експериментальної установки:

1– вентилятор з приводом та блоком керування; 2 – повітряний канал; 3 – рама; 4 – пориста перегородка; 5 – пульсатор з приводом та лопаттю, яка має змінну висоту; 6 – бункер; 7– сітка для виходу повітря; 8 – регулятор кута нахилу повітряного каналу; 9 – регульовані заслінки; 10 – блок дільників; 11– регулятор висоти шару насіння в каналі; 12– регулятор висоти встановлення дільників.



Рв	1,1	1,2	1,3	1,4
$\omega_п$	6,28	8,37	10,47	12,56
L	0,1	0,3	0,6	0,9
h_0	0,04	0,06	0,08	0,1

Рис. 2. Номограма для визначення технологічного ефект



$P_в$	1.1	1.2	1.3	1.4
$\omega_п$	6,28	8,37	10,47	12,56
L	0,1	0,3	0,6	0,9
h_0	0,04	0,06	0,08	0,10

Рис. 3. Номограма для визначення продуктивності Q.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПСА 00.006 ТЧ		
Разраб.		Шмельов			Наукова частина	Лит. / Масса / Масштаб 1:1	
Пров.		Онопа				Лист / Листов 1	
Т.контр.					–	ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-21М(1.9)	
Н.контр.		Манок					
Утв.		Лещенко					

Копировал Формат А1

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.