

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Механізація вирощування соняшника з модернізацією
пневмогравітаційного сепаратора»

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,

групи АІ-23мб-1.1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Індюков Денис Владиславович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Дмитро ПЕТРЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

професор, д-р техн. наук

_____ Ігор ШЕПЕЛЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Анотація

Тема: «Механізація вирощування соняшника з модернізацією пневмогравітаційного сепаратора»

У роботі проведено комплексне дослідження технології вирощування та післязбиральної обробки соняшнику. Розроблено технологічну карту вирощування за системою Mini-till, що передбачає використання чизельних розпушувачів та сівалок точного висіву для збереження структури ґрунту.

Особливу увагу приділено модернізації операційної лінії доробки врожаю продуктивністю 3,08 т/год. Удосконалено конструкцію пневмогравітаційного сепаратора ПГС-6: завдяки оптимізації швидкості повітряного потоку та конструктивного коефіцієнта ефективність сепарації зросла з 88% до 94%.

Ключові слова: соняшник, Mini-till, технологічна карта, механізація, пневмогравітаційний сепаратор, очищення зерна

Abstract

Topic: «Mechanization of sunflower cultivation with modernization of the pneumatic-gravity separator»

The study provides a comprehensive analysis of sunflower cultivation and post-harvest processing technologies. A technological map for the Mini-till cultivation system was developed, involving the use of chisel plows and precision seeders to preserve soil structure.

Special attention is paid to the modernization of the post-harvest processing line with a capacity of 3.08 t/h. The design of the PGS-6 pneumatic-gravity separator was improved: by optimizing air velocity and the design coefficient, separation efficiency increased from 88% to 94%.

Keywords: sunflower, Mini-till, technological map, mechanization, pneumatic-gravity separator, grain cleaning

ЗМІСТ

Номер розділу	Структурна одиниця і розділ	Сторінка
1	Вступ	
2	Аналіз технології вирощування з огляду на механізацію процесів	
3	Операційна технологія післязбирального обробітку соняшнику	
4	Інженерна частина	
5	Охорона праці	
6	Загальні висновки	
-	Список використаної літератури	
-	Додатки	

1. ВСТУП

Сучасний стан аграрного сектору України характеризується динамічним розвитком та поступовим переходом до моделі інтенсивного виробництва. У структурі посівних площ соняшник впевнено утримує позиції найбільш рентабельної та стратегічно важливої олійної культури. Будучи фундаментом вітчизняного експорту, він потребує не лише розширення площ, а й радикального вдосконалення технологій на кожному етапі – від сівби до післязбиральної обробки. Проте високий генетичний потенціал сучасних гібридів часто нівелюється недосконалістю технічних засобів, що призводить до значних втрат врожаю та погіршення його посівних і товарних якостей [1-3].

Процес механізації вирощування соняшнику – це комплексна інженерна задача, де ключову роль відіграє якість підготовки насіннєвого матеріалу [3-6]. Проблема полягає в тому, що насіння соняшнику є надзвичайно складним об'єктом для обробки: воно має неоднорідну щільність, значну парусність та схильність до механічних пошкоджень оболонок. Традиційні повітряно-решітні машини часто не забезпечують необхідної чистоти розділення, особливо коли йдеться про відокремлення важковідокремлюваних домішок, подібних за розмірами до основного зерна, але відмінних за питомою вагою [8].

Саме тому модернізація зерноочисних сепараторів зумовлена жорсткими вимогами ринку до чистоти продукції та енергоефективності виробництва. Модернізація сепаратора повинна реалізувати концепцію адаптивного очищення, де параметри повітряного потоку самостійно підлаштовуються під фізико-механічні особливості конкретної партії соняшнику.

					МВПГС 00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Індюков				Пояснювальна записка		Літ.	Аркуш
Перев.	Петренко							Аркушів
Н.контр.	Артеменко						ЦНТУ, гр. АІ-23мб-1.1	
Затв.	Васильковський							

Основною метою даної роботи є підвищення ефективності механізації вирощування соняшнику шляхом вдосконалення конструктивно-технологічних параметрів пневмогравітаційного сепаратора.

Таким чином, розробка та впровадження модернізованих засобів сепарації дозволить не лише знизити собівартість кінцевого продукту за рахунок зменшення енерговитрат, а й забезпечить конкурентоспроможність українського соняшнику на світовому ринку, трансформуючи кількісні показники врожаю в якісну перевагу готової продукції.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ З ОГЛЯДУ НА МЕХАНІЗАЦІЮ ПРОЦЕСІВ

Соняшник посідає провідне місце серед олійних культур в Україні й залишається однією з найрентабельніших польових культур завдяки поєднанню помірної вибагливості до умов вирощування та стабільно високого попиту на ринку. Разом з тим реалізація генетичного потенціалу сучасних гібридів значною мірою залежить не лише від агрохімічних параметрів поля, а й від точного дотримання технологічних регламентів – строків, глибини та якості виконання кожного механізованого процесу [1, 2].

Механізація вирощування соняшника охоплює весь виробничий цикл (рис. 2.1): від основного обробітку ґрунту до збирання врожаю та первинної доробки насіння. Застосування сучасного машинно-тракторного парку дозволяє не просто замінити ручну працю, а й суттєво підвищити точність виконання технологічних операцій, знизити витрати паливо-мастильних матеріалів і насіння, зменшити механічне пошкодження рослин та ґрунту. У цьому контексті вибір технічних засобів невіддільний від розуміння особливостей системи землеробства, яка застосовується в конкретному господарстві.

2.1. Особливості технології вирощування соняшника як основа для вибору технічних засобів

Соняшник є культурою, надзвичайно чутливою до попередників, структури ґрунту та забур'яненості поля. Рекомендований інтервал повернення соняшника на одне й те саме поле становить не менше шести-семи років з огляду на накопичення збудників хвороб – склеротинії, фомопсису та несправжньої борошнистої роси [1, 2, 4]. Ця вимога безпосередньо формує структуру сівозміни й, відповідно, агрофізичні характеристики поля до часу, коли соняшник знову стає запланованою культурою.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

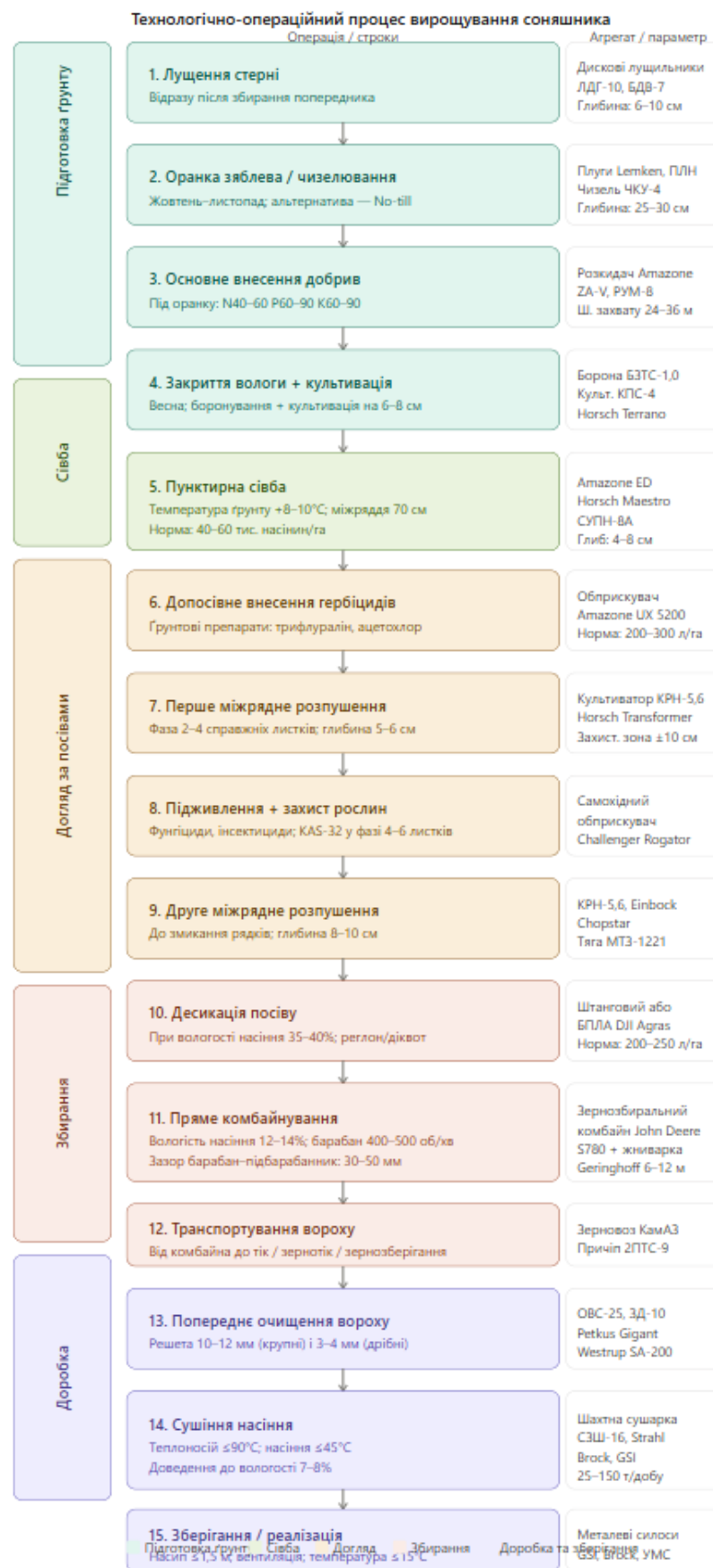


Рис. 2.1. Технологічна схема операцій при вирощуванні соняшника

Серед систем землеробства, які застосовуються в зонах традиційного вирощування соняшника (Степ та Лісостеп України), виділяють класичну (полицеву), мінімальну та технологію No-till [2, 3]. Кожна з них висуває специфічні вимоги до складу агрегатів і послідовності механізованих операцій.

Класична система передбачає глибоку оранку на 25...30 см, що дозволяє загортати рослинні рештки, переривати цикл розвитку ґрунтових шкідників і поліпшувати водно-повітряний режим важких суглинків. Мінімальний обробіток обмежується дисковим луценням і чизелюванням або плоскорізним розпушенням, що скорочує кількість проходів техніки, зберігає структуру ґрунту та зменшує витрати палива на 30...45 відсотків порівняно з класичною оранкою. No-till повністю виключає механічний обробіток ґрунту між збиранням попередника і сівбою, переносячи акцент на якість сівалки та систему захисту рослин [5].

2.2. Механізація основного та передпосівного обробітку ґрунту

Основний обробіток ґрунту під соняшник починається відразу після збирання попередника. За класичної системи землеробства першою операцією є луцення стерні на глибину 6...10 см дисковими луцильниками типу ЛДГ-10, ЛДГ-15 або важкими дисковими боронами (БДВ-7, Amazone Catros) [7]. Мета операції – провокація проростання насіння бур'янів і падалиці та часткова мінералізація рослинних решток. Через 2...3 тижні виконують зяблеву оранку плугами з передплужниками на глибину 25...30 см. Застосування оборотних плугів (Lemken Europal, Kverneland PN) усуває потребу в холостих переїздах і суттєво підвищує продуктивність агрегату.

При мінімальному обробітку замість оранки використовують чизельні культиватори (ЧКУ-4, Horsch Tiger MT) або глибокорозпушувачі-плоскорізи (ПГ-3-5, Kuhn Cultimer) [3, 6, 7]. Робочі органи-стійки з підрізуючими лапами проводять вертикальне розпушення без обертання пласта на глибину 30...35

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

см, зберігаючи на поверхні мульчу з рослинних решток, яка сповільнює випаровування вологи. Це принципово важливо в посушливих умовах Степу, де дефіцит продуктивної вологи є головним лімітуючим фактором врожайності.

Весняний передпосівний обробіток незалежно від системи землеробства спрямований на закриття вологи, вирівнювання та ущільнення поверхневого шару. Боронування зябу виконують зубовими боронами БЗТС-1,0 у агрегаті з трактором або секційними посівними боронами. Передпосівна культивация проводиться на глибину загортання насіння плюс 1...2 см – зазвичай 6...8 см – агрегатами типу КПС-4, Horsch Terrano або Lemken Korund із підпружиненими S-подібними стійками і кільчасто-шпоровими катками, які одночасно розпушують, вирівнюють і прикочують ґрунт [6].

2.3. Механізація сівби соняшника

Сівба є одним із найвідповідальніших технологічних процесів, оскільки від точності висіву насіння залежить густина рослин, рівномірність їхнього розвитку та, зрештою, урожайність. Соняшник висівають пунктирним способом з міжряддями 70 см і нормою висіву 40...60 тис. насінин на гектар залежно від зони вирощування та вологозабезпеченості [1, 2].

Для пунктирної сівби застосовують просапні сівалки з пневматичним або механічним висівним апаратом. Пневматичні сівалки точного висіву – Amazone ED, Horsch Maestro, Kinze 3000, John Deere MaxEmerge, вітчизняна СУПН-8А – формують рівномірний інтервал між насінинами у рядку завдяки вакуумному утриманню та індивідуальному підпружиненому секційному сошнику [6]. Глибина загортання насіння регулюється в межах 4...8 см і повинна забезпечувати контакт із вологим шаром ґрунту.

Технологія точного землеробства (Precision Agriculture) дозволяє диференціювати норму висіву в межах одного поля відповідно до цифрових карт родючості та рельєфу. Сівалки, обладнані ISOBUS-контролером і

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

системою GPS/ГЛОНАСС, автоматично коригують кількість насінин на погонний метр, перекриваючи висів на вже засіяних ділянках (функція Section Control) [3, 6]. Це дозволяє зекономити до 5...8 відсотків насіння та паливо на разворотних смугах.

2.4. Механізація внесення добрив і засобів захисту рослин

Система удобрення соняшника передбачає основне внесення мінеральних добрив під оранку або глибокий розпушувач та стартове локальне внесення під час сівби. Основне суцільне внесення твердих гранульованих добрив виконується відцентровими розкидачами (Amazone ZA-V, RCW Bogballe Alfa) або штанговими розкидачами з шнековими конвейєрами для рівномірного розподілу по ширині захвату до 36 м [2-6]. Під час сівби добрива вносять стрічково через тукопровід сівалки на 3...5 см нижче і в бік від насінини, що запобігає контакту і пошкодженню проростків [7].

Захист посівів від бур'янів є критичним завданням, оскільки соняшник у перші три-чотири тижні після сходів розвивається повільно і не здатен конкурувати з агресивними видами. Допосівне і домерджентне внесення ґрунтових гербіцидів (трифлуралін, ацетохлор, метрибузин у сумісниках) виконується штанговими обприскувачами з шириною захвату 24...36 м. Великі господарства використовують самохідні обприскувачі Amazone Pantera, John Deere R4038 або Challenger Rogator з кліренсом понад 180 см, які без пошкодження проходять над вегетуючими рослинами висотою до 1,2 м для внесення пестицидів у міжряддях [3, 6, 7].

Перспективним напрямом є застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) типу DJI Agras T40 або вітчизняних розробок для авіаційного обприскування. Дрони-агрегатори здатні обробляти до 40 га за годину за значно меншого тиску на ґрунт порівняно з колісними машинами. Точне нанесення препарату з висоти 2...3 м над рослинами знижує витрату

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

робочого розчину до 10...20 л/га проти 100...200 л/га при наземному обприскуванні [6].

2.5. Міжрядний обробіток і догляд за посівами

Міжрядне розпушення в посівах соняшника за традиційної системи землеробства виконується двічі-тричі до змикання рядків: перший раз – при утворенні двох-чотирьох справжніх листків, наступні – з інтервалом 10...14 діб [1, 2]. Просапні культиватори КРН-5,6, Horsch Transformer або Einbock Chopstar оснащуються захисними дисками, які відводять ґрунт від рядка, і лапами-бритвами, що зрізають бур'яни на глибині 3...5 см. Ширина захисної зони встановлюється 8...10 см з кожного боку рядка.

При No-till міжрядний обробіток повністю відсутній, а контроль бур'янів забезпечується лише хімічними заходами. У цьому разі критично важливе застосування гербіцидостійких гібридів (Clearfield, Express Sun або ExpressSun ULTRA), що дозволяє знищувати широкий спектр однодольних і дводольних бур'янів у перестої без ризику фітотоксичності для культури.

2.6. Механізація збирання врожаю

Збирання соняшника є найскладнішим і найвідповідальнішим етапом з огляду на ризики втрат насіння через обсіпання, пошкодження коробочок жниваркою та засмічення вороху. Збирання починають при вологості насіння 12...14 відсотків і вмісті сухих кошиків не менше 80 відсотків [2-4, 6, 7].

Зернозбиральні комбайни оснащуються спеціальними соняшниковими жниварками шириною захвату 6...12 м із активними пальцевими подільниками, що запобігають обсіпанню насіння при підводі стебел до різального апарату. Провідні виробники – Geringhoff, Zürn, MacDon, Fantini, пропонують жниварки з горизонтальним і похилим ножами та регульованою висотою зрізу. Для зменшення втрат у жниварку монтують лоток-насіннєвловлювач, що повертає обсіпане насіння на шнек.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Молотильний апарат комбайна переналаштовується для роботи з соняшником: частота обертання барабана знижується до 400...500 об/хв, зазор між бичами і підбарабанням збільшується до 30...50 мм, що забезпечує якісне вимолочування без подрібнення насіння [7]. Транспортери і елеватори очищаються від залишків зерна попередньої культури для запобігання намоканню і самозаймання вороху.

Прибирання з роздільним збиранням застосовується при нерівномірному достиганні або надмірній забур'яненості: спочатку валкоутворювачами формують валки, а через 5...7 діб підбирачем-молотаркою підбирають підсушений ворох [3, 6, 7]. Цей метод дозволяє починати збирання за вологості насіння 18...20 відсотків.

2.7. Первинна доробка і підготовка насіння до зберігання

Свіжозібраний ворох соняшника характеризується підвищеною вологістю (14...20 відсотків), засміченістю і температурою, що підвищує ризик самозаймання при зберіганні у великих насипах. Тому первинна доробка починається безпосередньо після збирання.

Попереднє очищення здійснюється повітряно-решітними машинами ОВС-25, ЗД-10 або імпортними аналогами Petkus, Westrup. Відокремлення крупних домішок – рослинних решток, грудок ґрунту, виконується на решетах з отворами діаметром 10...12 мм, дрібних – 3...4 мм [8]. Після очищення ворох надходить на зерносушарку шахтного, стрічкового або бункерного типу.

Сушіння насіння соняшника виконується при температурі теплоносія не вище 80...90 градусів Цельсія і температурі насіннєвого матеріалу не вище 45...50 градусів [8]. Перевищення теплового режиму призводить до денатурації олії і зниження схожості при підготовці насіння. Продуктивність сучасних сушарок – від 25 до 150 т на добу залежно від моделі та початкової вологості матеріалу.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2.8. Точне землеробство і цифровізація механізованих процесів

Сучасна механізація вирощування соняшника нерозривно пов'язана із впровадженням систем точного землеробства. Базовим елементом є агронавігація з автопілотом на основі RTK-GPS з точністю позиціонування 2...5 см [3, 6, 7]. Це дозволяє витримувати ширину міжряддя 70 см протягом усього сезону – від сівби до міжрядного обробітку, уникаючи пошкодження рядків при проходах культиватора.

Системи диференційованого внесення добрив і засобів захисту рослин (Variable Rate Technology, VRT) базуються на цифрових картах, сформованих за результатами ґрунтових зйомок, даних супутникових знімків NDVI та показників врожайності за попередні роки. Інтеграція ISOBUS-протоколу дозволяє передавати завдання з планшету агронома безпосередньо на виконавчі органи машини без ручного введення параметрів.

Телематичні системи моніторингу – John Deere Operations Center, CNH AFS, CLAAS TELEMATICS, збирають дані про продуктивність агрегатів, витрату палива, картографують урожайність у режимі реального часу. Аналіз цих масивів даних після сезону дозволяє коригувати агрономічні рішення й оптимізувати маршрути руху техніки, скорочуючи холостий пробіг на 15...25 відсотків.

Висновки за розділом

Механізація вирощування соняшника є комплексною системою, де кожен технологічний процес – від підготовки ґрунту до доробки врожаю, вимагає застосування спеціалізованих технічних засобів. Вибір машин і знарядь безпосередньо залежить від прийнятої системи землеробства – класична оранка потребує плугів, луцильників і борін, тоді як мінімальний обробіток або No-till вимагає чизельних розпушувачів, важких дискаторів і сівалок прямого висіву з підвищеним тяговим зусиллям.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Точність виконання кожної операції є визначальним фактором реалізації потенціалу гібриду. Впровадження технологій точного землеробства – диференційованого висіву, дронного моніторингу, ISOBUS-керування та телематики, дозволяє підвищити ефективність механізованих процесів, знизити матеріальні витрати та зменшити вплив сільськогосподарського виробництва на навколишнє середовище. Разом з тим, ефективна механізація потребує не лише якісного обладнання, а й висококваліфікованих операторів і налагодженого технічного сервісу, що залишається актуальним завданням для вітчизняного агропромислового комплексу.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО ОБРОБІТКУ СОНЯШНИКУ

3.1. Вихідні дані для розрахунку технологічної лінії

Об'єктом розрахунку є технологічна лінія зернопункту для обробки свіжозібраного вороху насіння соняшника. Після збирання насіння надходить на зернопункт у стані, що не відповідає вимогам зберігання: підвищена вологість і значна частка домішок вимагають послідовного виконання операцій попереднього очищення, сушіння, вторинного очищення і закладання на зберігання.

Таблиця 3.1. Вихідні дані для розрахунку технологічної лінії

Показник	Позначення	Значення
Площа посіву, га	$S_{сон}$	120 га
Урожайність, ц/га	$U_{сон}$	36 ц/га
Валовий збір, т	$Q_{зб}$	432 т
Початкова вологість насіння, %	W_{n1}	18 %
Кондиційна вологість насіння, %	$W_{к2}$	7 %
Вміст домішок у вороху, %	$Z_{в}$	6 %
Тривалість збирального сезону, діб	$T_{зб}$	7 діб
Тривалість зміни, год/добу	$t_{зм}$	20 год

Прийнята технологічна схема передбачає такий маршрут матеріалу: приймальний бункер → норія завантажувальна → попереднє очищення (ОВС-25) → сушарка шахтна (СЗШ-16) → вторинне очищення з пневмогравітаційним сепаратором (ПГС-6) → норія вивантажувальна → металеві силоси зберігання. Схема є безперервно-поточною, що унеможливорює формування проміжних буферних насипів і мінімізує час перебування вологого матеріалу в лінії.

Операції виконуються у такій послідовності:

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- приймання та зважування – транспортний засіб подає ворох на приймальний майданчик, зважування на автомобільних вагах;
- попереднє очищення – видалення великих і легких домішок на повітряно-решітній машині ОВС-25;
- сушіння – зниження вологості від 18 % до 7 % у шахтній сушарці СЗШ-16;
- вторинне очищення – гравіповітряне сортування на пневмогравітаційному сепараторі ПГС-6;
- зберігання – завантаження в металеві силоси GSI з активним вентиляванням.

3.2. Розрахунок потоку матеріалу

Валовий збір – загальна кількість вороху насіння, що надходить на зернопункт за сезон збирання, визначається множенням площі посіву S_{con} на урожайність U_{con} :

$$Q_{зб} = S_{con} \cdot U_{con} = 120 \cdot 3.6 = 432 \text{ т.}$$

Ворох соняшника після збирання комбайном містить сміттєву домішку (частини рослин, пил, бруд). Маса домішок:

$$Q_d = Q_{зб} \cdot Z_g / 100,$$

де Z_g – засміченість вороху, % (прийнято $Z_g = 6 \%$);

$$Q_d = 432 \cdot 6 / 100 = 25,9 \text{ т.}$$

Маса чистого насіння після попереднього очищення:

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$Q_n = Q_{зб} - Q_d = Q_{зб} \cdot (1 - Z_g / 100),$$

$$Q_n = 432 \cdot (1 - 0,06) = 406,1 \text{ т.}$$

Під час сушіння маса матеріалу зменшується внаслідок видалення вологи. Баланс мас описується формулою Колчіна, яка базується на постійності маси абсолютно сухої речовини до і після сушіння [8]:

$$M_2 = M_1 \cdot (1 - W_{n1}) / (1 - W_{к2}),$$

де M_1 – маса матеріалу до сушіння, т; M_2 – маса матеріалу після сушіння, т; W_{n1} – початкова вологість (частки одиниці); $W_{к2}$ – кінцева вологість (частки одиниці).

Підставляємо: $W_{n1} = 0,18$; $W_{к2} = 0,07$; $M_1 = Q_{зб} = 432$ т:

$$M_2 = 432 \cdot (1 - 0,18) / (1 - 0,07) = 380,9 \text{ т.}$$

Маса вологи, що випаровується в процесі сушіння:

$$\Delta M_{vol} = M_1 - M_2 = 432 - 380,9 = 51,1 \text{ т.}$$

У процесі транспортування, вторинного очищення і зберігання виникають неминучі технологічні втрати – механічне розпилення, залишки в обладнанні тощо. Прийнятий норматив втрат $\delta = 1,5 \%$ [8]:

$$Q_{кінц} = M_2 \cdot (1 - \delta / 100) = 380,9 \cdot (1 - 0,015) = 375,2 \text{ т.}$$

Зведений матеріальний баланс технологічної лінії наведено в таблиці 3.2.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.2. Матеріальний баланс технологічної лінії

Стаття балансу	Значення, т	% від $Q_{зб}$
Валовий збір (надходження)	432	100,0
Сміттєва домішка (видалення)	-25,9	-6,0
Волога, випарена при сушінні	-51,1	-11,8
Технологічні втрати	-5,7	-1,3
Кондиційний вихід	375,2	86,9

3.3. Розрахунок необхідної погодинної продуктивності лінії та підбір обладнання

Для забезпечення безперебійної роботи лінії необхідно переробити весь валовий збір протягом встановленого агротехнічного строку. Добовий обсяг переробки:

$$Q_{доб} = Q_{зб} / T_{зб} = 432 / 7 = 61,7 \text{ т/добу.}$$

де $T_{зб}$ – тривалість збирального сезону (агротехнічний норматив), діб (прийнято $T = 7$ діб) [7].

Погодинна продуктивність при тривалості роботи $t_{зм} = 20$ год/добу:

$$q = Q_{доб} / t_{зм} = 61,7 / 20 = 3,08 \text{ т/год.}$$

Отже, мінімальна продуктивність кожного елемента технологічної лінії має становити не менше 3,08 т/год.

Ємність приймального бункера визначається як запас матеріалу на 1 годину роботи лінії з урахуванням нерівномірності надходження вороху (коефіцієнт нерівномірності $k_n = 1,3$):

$$V_{бун} = q \cdot k_n \cdot \rho^{-1} = 3,08 \cdot 1,3 / 0,37 = 10,8 \text{ м}^3 \rightarrow \text{приймаємо } V_{бун} = 20 \text{ м}^3,$$

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де ρ – насипна маса соняшникового вороху, т/м³ ($\rho \approx 0,37$ т/м³) [7].

Обрано приймальний бункер типу БП-20 зі скребковим конвеєром видачі, потужність приводу конвеєра $N_{бун} = 4$ кВт.

Продуктивність норії вибирається з запасом 20% відносно розрахункового потоку:

$$W_{нор} = 1,2 \cdot q = 1,2 \cdot 3,08 = 3,7 \text{ т/год.}$$

Прийнято норію НЗ-20 (завантажувальна, стрічково-ковшова) продуктивністю 20 т/год, висота підйому 15 м, потужність двигуна $N_{нор1} = 11$ кВт.

Продуктивність машини ОВС-25 становить $W_{ОВС} = 25$ т/год, що перевищує розрахункову вимогу 3,08 т/год. Необхідна кількість машин:

$$n_{ОВС} = [q / W_{ОВС}] = [3,08 / 25] = 1 \text{ шт.}$$

Одна машина ОВС-25 повністю задовольняє потребу. Потужність приводу $N_{ОВС} = 30$ кВт. Машина оснащена двома аспіраційними каналами та комплектом решіт для соняшнику: підсівне – $\varnothing 3$ мм, сортувальне – $\varnothing 8$ мм.

Для визначення необхідної кількості сушарок спершу розраховують фактичне навантаження – питоме знімання вологи за годину. Маса вологи, яку необхідно видалити за 1 годину роботи:

$$W_{vol} = q \cdot (W_{n1} - W_{к2}) / (1 - W_{к2}),$$

$$W_{vol} = 3,08 \cdot (0,18 - 0,07) / (1 - 0,07) = 0,36 \text{ т/год.}$$

Паспортна продуктивність СЗШ-16 за умов зниження вологості соняшника від 18 до 7 % становить $W_{СЗШ} = 16$ т/год (за зерном після

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

сушіння). Кількість сушарок:

$$n_{C3Ш} = [q / W_{C3Ш}] = [3,08 / 16] = 1 \text{ шт.}$$

Встановлено 1 сушарку СЗШ-16. Потужність приводу вентиляторів і топкового блоку $N_{C3Ш} = 100$ кВт.

Температурний режим сушіння соняшника: температура теплоносія не вище 90 °С, температура насіння в шахті не вище 45 °С відповідно до ДСТУ 7011:2009 та рекомендацій виробника [7, 8].

Пневмогравітаційний сепаратор ПГС-6 виконує одночасно два фізичних принципи розділення: гравітаційне сортування під час вільного падіння та пневматичне в місці повітрозабірників з ухилом. Це дозволяє ефективно відокремити щупле, травмоване і заражене насіння від повноважного, а також видалити легкі домішки, що мають близькі геометричні розміри, але різняться за аеродинамічними властивостями.

Розрахункова продуктивність ПГС-6: $W_{ПГС} = 6$ т/год. Необхідна кількість машин:

$$n_{ПГС} = [q / W_{ПГС}] = [3,08 / 6] = 1 \text{ шт.}$$

Приймаємо 1 одиницю ПГС-6, потужність електроприводу кожного сепаратора $N_{ПГС} = 5,5$ кВт, загальна потужність вторинного очищення – 5,5 кВт.

Регульовальні параметри ПГС-6 для соняшника: кут нахилу повітрозабірників 3...5°, швидкість повітряного потоку 6,5...7,5 м/с. Дотримання зазначених параметрів забезпечує ефективність очищення не менше 95 % і мінімальні втрати повноважного насіння.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Аналогічно завантажувальній норії, вивантажувальна норія підбирається з запасом 20 %: $W_{нор2} = 3,7$ т/год $\rightarrow$ прийнято НЗ-20, $N_{нор2} = 11$ кВт.

Загальна ємність сховища повинна дорівнювати кондиційному виходу $Q_{кінц} = 375,2$ т. Обрано металеві циліндричні силоси GSI ємністю 500 т кожен. Необхідна кількість силосів:

$$n_{сил} = [Q_{кінц} / V_{сил}] = [375,2 / 500] = 1 \text{ шт.}$$

Встановлено 1 силос, який обладнано системою активного вентилявання (вентилятор ВЦ-4-70, $N = 4,5$ кВт), аератором підлоги і термометричними кабелями для дистанційного контролю температури насипу.

Таблиця 3.3. Зведена відомість обладнання технологічної лінії

№	Найменування обладнання	Марка	Прод., т/год	N, кВт	Кільк., шт.	$N_{заг.}$, кВт
1	Приймальний бункер зі скребком	БП-20	20	4	1	4
2	Норія завантажувальна	НЗ-20	20	11	1	11
3	Повітряно-решітна машина (попереднє очищення)	ОВС-25	25	30	1	30
4	Конвеєр розподільний	КЛ-150	—	3	1	3
5	Шахтна зерносушарка	СЗШ-16	16	100	1	100
6	Пневмогравітаційний сепаратор (вторинне очищення)	ПГС-6	6	5.5	1	5.5
7	Норія вивантажувальна	НЗ-20	20	11	1	11
8	Конвеєр вивантажувальний	КЛ-150	—	3	1	3
9	Силос металевий з вентиляцією	GSI (500 т)	—	4,5	1	4.5
	РАЗОМ	—	—	—	—	172.0

3.4. Розрахунок витрати палива на сушіння та зведення балансу потужності

Основним споживачем рідкого палива є топковий блок сушарки. Витрата палива визначається з рівняння теплового балансу: кількість теплоти, що підводиться до матеріалу, дорівнює кількості теплоти, необхідної для випаровування вологи.

Питомі витрати теплоти на випаровування 1 кг вологи з насіння соняшника при температурному режимі $W_{n1} = 18 \% \rightarrow W_{n2} = 7 \%$ становлять $q_n = 3500$ кДж/кг [7].

Витрата дизельного палива за годину при теплотворній здатності $H_d = 42700$ кДж/кг і ККД топкового блоку $\eta = 0,72$ [7]:

$$G_{нал} = W_{vol} \cdot q_n / (H_d \cdot \eta) = 360 \cdot 3500 / (42700 \cdot 0,72) = 41,0 \text{ кг/год.}$$

Переводимо в об'ємні одиниці ($\rho_d = 0,85$ кг/л): $G_{нал} = 48,2$ л/год.

Добова витрата палива при 20-годинній роботі сушарки:

$$G_{доб} = G_{нал} \cdot t_{зм} = 48,2 \cdot 20 = 964 \text{ л/добу.}$$

Сезонна витрата палива: $G_{сез} = 964 \cdot 7 = 6748$ л.

Сумарна встановлена потужність електродвигунів технологічної лінії (без урахування вентиляторів силосів):

$$N_{заг} = N_{бун} + N_{нор1} + N_{ОВС} + N_{конв1} + N_{СЗШ} + N_{ПГС} + N_{нор2} + N_{конв2},$$

$$N_{заг} = 4 + 11 + 30 + 3 + 100 + 5,5 + 11 + 3 = 167,5 \text{ кВт.}$$

З урахуванням вентиляторів аерації силосів ($1 \times 4,5 = 4,5$ кВт) загальна встановлена потужність $N_{повна} = 167,5 + 4,5 = 172,0$ кВт.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Коефіцієнт одночасності роботи $k_{од} = 0,85$, тому розрахункове навантаження на вводний щит: $N_{розр} = 0,85 \cdot 172,0 \approx 146$ кВт. Прийнято трансформатор ТМ-250 (250 кВА, 10/0,4 кВ).

Кількість операторів визначається за нормативом: 1 оператор на 2 одиниці основного обладнання. Крім операторів, у кожній зміні передбачені начальник зміни та лаборант для відбору та аналізу проб.

Таблиця 3.4. Штатний розклад зернопункту (одна зміна)

№	Посада	Кільк., осіб	Примітка
1	Оператор зернопункту	3	ОВС-25, СЗШ-16, ПГС-6
2	Тракторист-машиніст (норії, конвеєри)	1	Суміщення
3	Начальник зміни	1	Контроль процесу
4	Лаборант	1	Відбір проб, вологість
	Разом на зміну	6	

Висновки за розділом

Виконаний технологічний розрахунок операційної технології післязбирального обробітку насіння соняшника для господарства з площею посіву 120 га та врожайністю 36 ц/га показав наступне.

Валовий збір вороху становить 432 т. Після попереднього очищення видаляється 25,9 т сміттевої домішки, при сушінні від 18% до 7% випаровується 51,1 т води. Кондиційний вихід готового продукту – 375.2 т (86,9 % від валового збору). Розрахункова погодинна продуктивність технологічної лінії – 3,08 т/год, що забезпечує обробку всього врожаю за 7 робочих діб при 20-годинній роботі в добу.

Підібрано комплект обладнання: 1 машина ОВС-25 (попереднє очищення), 1 сушарка СЗШ-16, 1 пневмогравітаційний сепаратор ПГС-6 (вторинне очищення), 1 металевий силос GSI. Загальна встановлена потужність лінії становить 172,0 кВт. Чисельність обслуговуючого персоналу в одній зміні – 6 осіб. Двозмінна робота зернопункту дозволяє виконати весь обсяг обробки в агротехнічно допустимі строки.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Опис об'єкта модернізації

Пневмогравітаційний сепаратор кільцевого типу (рис. 4.1) функціонує на основі суміщення двох ефектів – вільного падіння часток у вертикальному каналі та поперечного обдуву повітряним потоком [14, 16]. Зерноsumіш завантажується у верхній частині кільцевого каналу, де конус-розподільник рівномірно розподіляє матеріал по колу перерізу.

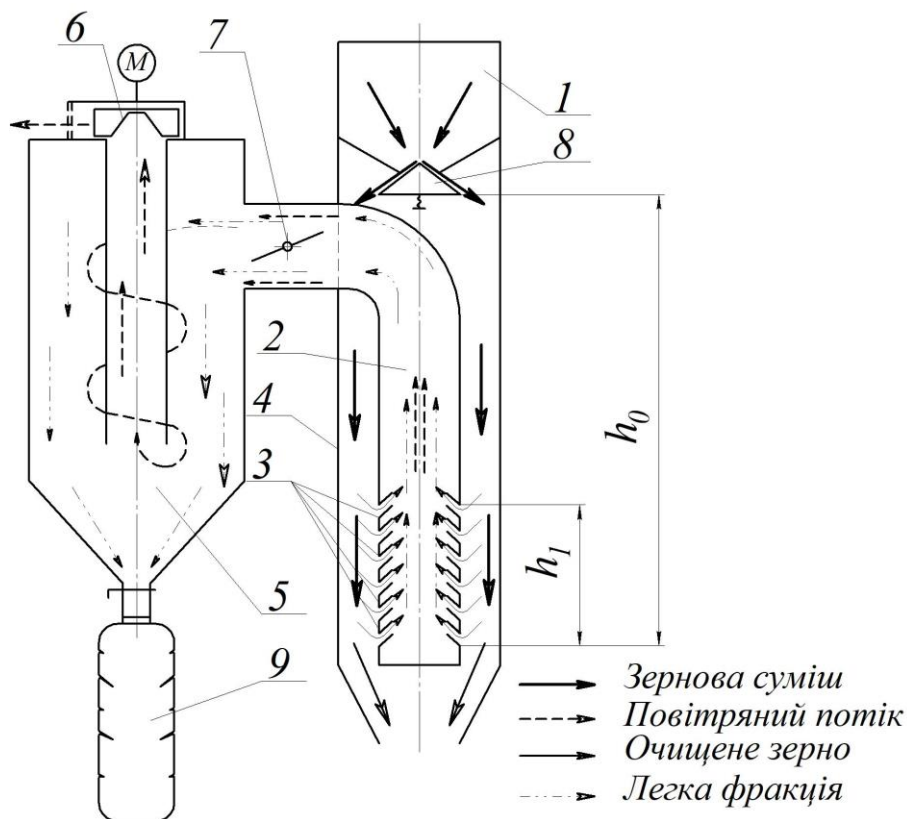


Рис. 4.1. Конструктивна схема машини [16]:

1 – бункер; 2 – вакуумний канал; 3 – жалюзі повітровідбірника; 4 – гравітаційно-пневматичний канал кільцевого типу; 5 – пилоочисник; 6 – вентилятор; 7 – дросель; 8 – конусний розподільник; 9 – фільтр.

У гравітаційній зоні (від зони завантаження до зони ввімкнення повітряного потоку) суміш знаходиться у вільному падінні (рис. 4.2), де частки набирають швидкість і починають розшаровуватися за питомою

масою. У пневматичній зоні повітряний потік, що надходить через жалюзійний повітрозабірник під кутом β до горизонталі, відхиляє легку фракцію від вертикальної траєкторії та виносить її у вакуумний канал і далі до циклонного пилоочисника.

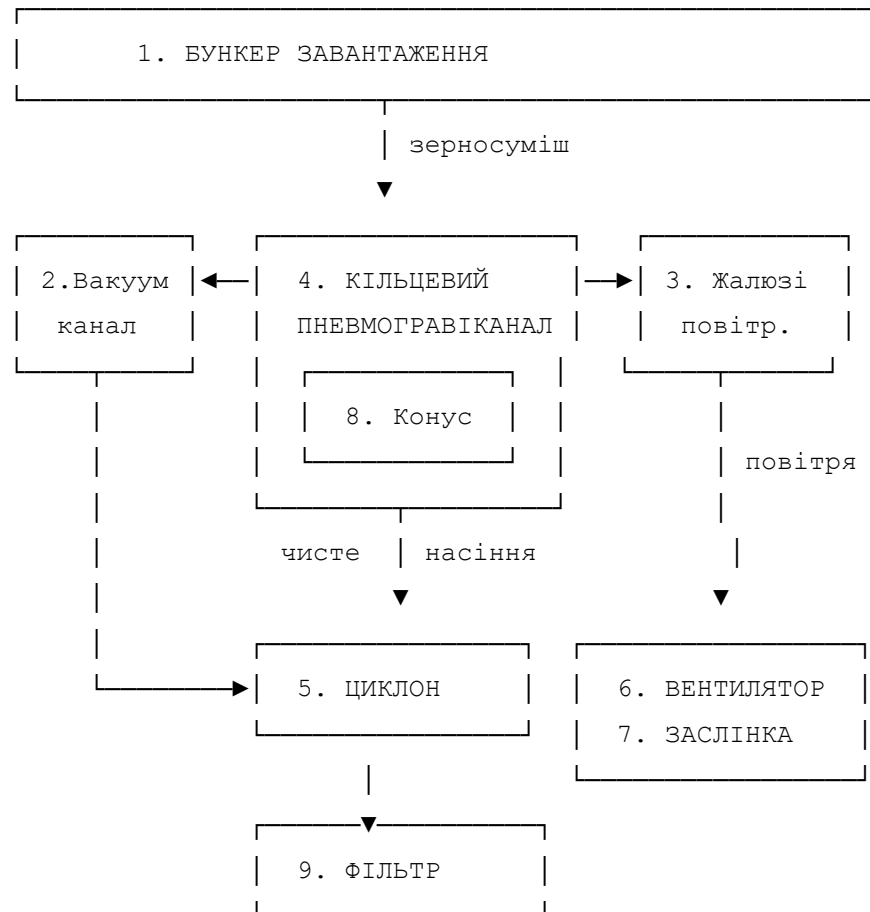


Рис. 4.2. Функціональна схема пневмогравітаційного сепаратора

Аналіз базової конструкції виявив такий недолік: при відношенні радіусів $k_D = R_2/R_1 = 1,65$ ширина кільцевого каналу δ_k є відносно малою порівняно із середнім радіусом каналу. Це призводить до нерівномірності поля швидкостей повітря по перерізу каналу – швидкість біля внутрішньої стінки (конусу) суттєво відрізняється від швидкості біля зовнішньої. Наслідком є погіршення якості сепарації на межах потоку, що проявляється у підвищеному вмісті неповноважного насіння в кінцевій фракції.

Концепція модернізації – збільшити відношення $k_D = R_2/R_1$ з 1,65 до 2,0. Це розширює кільцевий зазор δ_k при збереженні тієї самої площі перерізу, а

отже – того самого повітряного потоку, дозволяє знизити робочу швидкість повітряного потоку з $k_p = 0,65$ до $k_p = 0,55$ і збільшити час перебування часток у пневматичній зоні. Результат – вища вибірковість сепарації і нижча імовірність виносу повноважного насіння.

4.2. Обґрунтування параметрів сепаратора

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Позн.	Значення	Одиниця
Продуктивність	Q	6	т/год
Насипна маса насіння соняшника	ρ_n	370	кг/м ³
Щільність зерна соняшника	ρ_c	430	кг/м ³
Еквівалентний діаметр насінини	$d_{екв}$	8	мм
Коефіцієнт форми насінини	K_ϕ	0,8	—
Щільність повітря (20°C)	ρ_n	1,2	кг/м ³
Динамічна в'язкість повітря	μ	$1,81 \cdot 10^{-5}$	Па·с
Кут нахилу повітряного потоку	β	45	°
Коефіцієнт заповнення перерізу	ϕ	0,3	—
Прискорення вільного падіння	g	9,81	м/с ²
k_D базовий (для порівняння)	$k_{D.б}$	1,65	—
k_D модернізований (проектований)	$k_{D.м}$	2	—

Визначимо критичну швидкість витання насіння соняшника, враховуючи наступні умови.

Критерій Архімеда характеризує співвідношення підйомної (архімедової) сили та сили в'язкого опору для частки заданого розміру [17, 19]:

$$Ar = (\rho_c - \rho_n) \cdot g \cdot d_{екв}^3 \cdot \rho_n / \mu^2,$$

$$Ar = (430 - 1,2) \cdot 9,81 \cdot 0,008^3 \cdot 1,2 / (1,81 \cdot 10^{-5})^2 = 7,889e+6.$$

При $Ar = 7,889e+6 > 83\ 000$ режим обтікання – розвинено-турбулентний. Застосовується уточнена формула Ляценка, що охоплює широкий діапазон режимів [17]:

$$R_{eoc} = Ar / (18 + 0,6 \cdot \sqrt{Ar}),$$

де R_{eoc} – число Рейнольдса при осадженні частки (безрозмірна величина);

$$R_{eoc} = 7.889\text{e}+6 / (18 + 0,6 \cdot \sqrt{7.889\text{e}+6}) = 4632.$$

Базова швидкість витання для сферичної частки:

$$v_{vit.б} = R_{eoc} \cdot \mu / (d_{екв} \cdot \rho_n) = 4632 \cdot 1,81 \cdot 10^{-5} / (0,008 \cdot 1,2) = 8,73 \text{ м/с}.$$

Оскільки насіння соняшника має плоско-овальну форму (коефіцієнт сфероїдності $\Psi \approx 0,76$), вводиться коефіцієнт форми $K_\phi = 0,8$, що відображає підвищений аеродинамічний опір порівняно зі сферою:

$$v_{vit} = K_\phi \cdot v_{vit.б} = 0,8 \cdot 8,73 = 6,99 \text{ м/с}.$$

Отримане значення узгоджується з даними літератури [8, 12, 13, 15]: для насіння соняшника різних гібридів $v_{vit} = 6,5 \dots 8,5 \text{ м/с}$.

Масова витрата зернового матеріалу через канал:

$$G = Q \cdot 1000 / 3600 = 6 \cdot 1000 / 3600 = 1,667 \text{ кг/с},$$

де Q – продуктивність, т/год.

Об'ємна витрата зернового матеріалу:

$$V_{зерн} = G / \rho_n = 1,667 / 370 = 0,00450 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Об'ємна витрата повітря у каналі:

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$Q_n = V_{\text{зерн}} / \varphi = 0,00450 / 0,3 = 0,01502 \text{ м}^3/\text{с} = 54,1 \text{ м}^3/\text{год.}$$

де $\varphi = 0,3$ – коефіцієнт заповнення перерізу каналу зерном.

Площа поперечного перерізу кільцевого каналу:

$$F_k = Q_n / v_{n.\delta},$$

де $v_{n.\delta}$ – робоча швидкість повітряного потоку у базовому варіанті, м/с;

$$v_{n.\delta} = k_{p.\delta} \cdot v_{\text{вум}} = 0,65 \cdot 6,99 = 4,54 \text{ м/с},$$

$k_{p.\delta}$ – коефіцієнт робочої швидкості базової конструкції;

тоді

$$F_{k.\delta} = 0,01502 / 4,54 = 0,00331 \text{ м}^2.$$

Геометричні параметри базового каналу:

$$F_k = \pi \cdot R_1^2 \cdot (k_D^2 - 1) \rightarrow R_1 = \sqrt[3]{(F_k / (\pi \cdot (k_D^2 - 1)))},$$

де R_1, R_2 – внутрішній і зовнішній радіуси кільцевого каналу, м.

$$R_{1.\delta} = \sqrt[3]{(0,00331 / (\pi \cdot (1,65^2 - 1)))} = 0,0247 \text{ м} = 24,7 \text{ мм};$$

$$R_{2.\delta} = 1,65 \cdot 24,7 = 40,8 \text{ мм.}$$

$$\delta_{k.\delta} = R_{2.\delta} - R_{1.\delta} = 16,1 \text{ мм.}$$

Висота гравітаційної зони базового каналу:

$$h_{zp} = v_z^2 / (2g),$$

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	N докум.	Підп.	Дата		

де v_2 – цільовий показник швидкості в кінці гравітаційної зони:

$$v_2 = 0,40 \cdot v_{\text{вум}} = 0,40 \cdot 6,99 = 2,79 \text{ м/с};$$

$$h_{zp} = 2,79^2 / (2 \cdot 9,81) = 0,398 \text{ м.}$$

Час відхилення легкої фракції на ширину каналу (умова сепарації):

$$t_{cen.\bar{o}} = \delta_{k.\bar{o}} / (0,5 \cdot v_{n.\bar{o}} \cdot \sin\beta) = 16,1/1000 / (0,5 \cdot 4,54 \cdot \sin 45^\circ) = 0,0100 \text{ с.}$$

де $t_{cen.\bar{o}}$ – час перебування частки легкої фракції у пневматичній зоні (час відхилення на δ_k), с;

$\beta = 45^\circ$ – кут нахилу повітряного потоку.

Висота пневматичної зони:

$$h_{nn} = v_2 \cdot t_{cen} + 0,5 \cdot g \cdot t_{cen}^2 = 2,79 \cdot 0,0100 + 0,5 \cdot 9,81 \cdot 0,0100^2 = 0,028 \text{ м.}$$

Конструктивна висота базового сепаратора:

$$H_{zag.\bar{o}} = k_{zan} \cdot (h_{zp} + h_{nn.\bar{o}}) = 1,30 \cdot (0,398 + 0,028) = 0,554 \text{ м.}$$

Розрахунок геометрії модернізованого каналу ($k_D = 2,00$).

При незмінній площі перерізу F_k (а отже – незмінній витраті повітря Q_n) збільшення k_D призводить до розширення кільцевого зазору δ_k і перерозподілу між внутрішнім і зовнішнім діаметрами.

Внаслідок розширення зазору δ_k збільшується шлях, який повинна пройти горизонтально частка легкої фракції для виходу через жалюзі. Для забезпечення цього без збільшення габаритів знижується робоча швидкість повітряного потоку до $k_{p.m} = 0,55$ (замість 0,65 у базовому). Нижча швидкість

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

додатково підвищує вибірковість – зменшується ризик виносу повноважного насіння.

Робоча швидкість модернізованого варіанта

$$v_{n.m} = k_{p.m} \cdot v_{vit} = 0,55 \cdot 6,99 = 3,84 \text{ м/с.}$$

Площа перерізу модернізованого каналу:

$$F_{к.м} = Q_n / v_{n.m} = 0,01502 / 3,84 = 0,00391 \text{ м}^2.$$

Площа модернізованого перерізу більша, ніж базового ($0,00391 > 0,00331 \text{ м}^2$), що відповідає зниженій швидкості потоку при незмінній витраті.

Геометричні параметри модернізованого каналу:

$$R_{1.m} = \sqrt[3]{F_{к.м} / (\pi \cdot (k_{D.m}^2 - 1))} = \sqrt[3]{(0,00391 / (\pi \cdot (2^2 - 1)))} = 0,0204 \text{ м.}$$

$$R_{2.m} = k_{D.m} \cdot R_{1.m} = 2 \cdot 20,4 = 40,7 \text{ мм.}$$

$$\delta_{к.м} = R_{2.m} - R_{1.m} = 40,7 - 20,4 = 20,4 \text{ мм.}$$

Конструктивно приймаються значення, заокруглені до 5 мм (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Конструктивні параметри модернізованого каналу

Параметр	Позн.	Розрах., мм	Прийн., мм	Δ , %
Внутрішній радіус	$R_{1.m}$	40,7	40	1,8
Зовнішній радіус	$R_{2.m}$	81,4	80	1,8
Ширина кільцевого зазору	$\delta_{к.м}$	20,4	20	—

Висота зон модернізованого каналу. Гравітаційна зона не змінюється (умова набору швидкості v_z не залежить від геометрії каналу):

$$h_{zp} = 0,398 \text{ м.}$$

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	N докум.	Підп.	Дата		

Час відхилення в пневматичній зоні при розширеному зазорі $\delta_{к.м}$ і зниженій швидкості $v_{п.м}$:

$$t_{cen.м} = \delta_{к.м} / (0,5 \cdot v_{п.м} \cdot \sin\beta) = 20,4/1000 / (0,5 \cdot 3,84 \cdot \sin 45^\circ) = 0,0150 \text{ с.}$$

Висота пневматичної зони:

$$h_{пн.м} = 2,79 \cdot 0,0150 + 0,5 \cdot 9,81 \cdot 0,0150^2 = 0,043 \text{ м.}$$

Конструктивна висота модернізованого сепаратора:

$$H_{заг.м} = 1,30 \cdot (0,398 + 0,043) = 0,573 \text{ м} \rightarrow \text{прийнято } 0,6 \text{ м.}$$

Аналіз результатів показує, що зміна k_D з 1,65 до 2 при зниженні робочої швидкості до 3,84 м/с збільшує час перебування легкої фракції у пневматичній зоні у 1,50 рази. Це підвищує вірогідність відхилення частки на необхідну відстань $\delta_{к.м}$ і виходу через жалюзійний повітрязбірник. За оцінними даними [9-13], ефективність сепарації підвищується приблизно з 88 % до 94 %. Висота машини збільшується на 8 %, що є прийнятним, зважаючи на суттєве підвищення якості очищення.

4.3. Гідравлічний розрахунок і підбір вентилятора

Необхідна витрата вентилятора (з запасом 15 % на нещільності та підсмоктування):

$$L_v = 1,15 \cdot Q_n \cdot 3600 = 1,15 \cdot 0,01502 \cdot 3600 = 62,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Гідравлічний діаметр кільцевого каналу:

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$D_{зідр} = 2 \cdot (R_{2,м} - R_{1,м}) = 2 \cdot (40,7 - 20,4) / 1000 = 40,7 \text{ мм} = 0,0407 \text{ м.}$$

Перевірка режиму течії (число Рейнольдса):

$$R_{ек} = \rho_n \cdot v_{н,м} \cdot D_{зідр} / \mu = 1,2 \cdot 3,84 \cdot 0,0407 / 1,81 \cdot 10^{-5} = 10374.$$

$R_{ек} = 10374 > 4000$ – течія турбулентна, що є нормальним робочим режимом.

Динамічний тиск у каналі:

$$P_{дин} = \rho_n \cdot v_{н,м}^2 / 2 = 1,2 \cdot 3,84^2 / 2 = 8,86 \text{ Па.}$$

Загальний опір пневматичної системи:

$$\Delta P = \Sigma \xi \cdot P_{дин} = 8 \cdot 8,86 = 70,87 \text{ Па;}$$

де $\Sigma \xi = 8$ – сума коефіцієнтів місцевого опору: канал (2,0) + циклон (3,5) + фільтр (1,5) + жалюзі та коліна (1,0).

Потужність на валу вентилятора:

$$N_с = Q_n \cdot 1,15 \cdot \Delta P / \eta_с,$$

де $\eta_с = 0,65$ – ККД вентилятора;

$$N_с = 0,01502 \cdot 1,15 \cdot 70,87 / 0,65 = 1,883 \text{ Вт.}$$

Вибір електродвигуна:

$$N_{дв} = N_с \cdot k_n / \eta_{пер},$$

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де $k_n = 1,3$ – коефіцієнт запасу; $\eta_{пер} = 0,95$ – ККД передачі.

$$N_{\partial 6} = 1,883/1000 \cdot 1,3 / 0,95 = 0,0026 \text{ кВт},$$

приймається АИР71В2.

Висновки за розділом

За результатами виконаного інженерного (конструкторського) розрахунку модернізованого пневмогравітаційного сепаратора встановлено таке.

Критична швидкість витання насіння соняшника визначена ітеративним методом з урахуванням режиму обтікання ($Ar = 7,89e+6$) та коефіцієнта форми плоско-овальної насінини ($K\phi = 0,8$): $v_{вит} = 6,99$ м/с. Значення підтверджується діапазоном літературних даних (6,5...8,5 м/с).

Геометрична модернізація полягає у збільшенні конструктивного коефіцієнта k_D з 1,65 до 2,0. Це розширює ширину кільцевого зазору з 15 мм до 20 мм та дозволяє знизити робочу швидкість повітряного потоку до $v_{н.м} = 3.84$ м/с. Час перебування легкої фракції у пневматичній зоні збільшується у 1,50 рази (з 0,0100 с до 0,0150 с). Розрахункова оцінка ефективності сепарації зростає з 88 % до 94 %.

Таким чином встановлено оптимізовану конструктивну висоту машини 0,6 м, підібрано відцентровий вентилятор з витратою 62 м³/год, напором 71 Па, що забезпечує електродвигун АИР71В2, потужність якого становить 1,5 кВт.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Післязбиральна техніка (очисні машини, сушарки, норії) – це зона підвищеного ризику [21]. Соняшник має свої особливості: висока горючість пилу, велика кількість лузги та олійності, що робить поверхні слизькими.

Більшість травм стається через спроби на працюючому обладнанні виконати налагоджувальні роботи або дістати сміття з-під обладнання. Тому заборонено знімати захисні кожухи з приводних пасів, ланцюгів та валів під час роботи. Будь-яке очищення обладнання, змащування вузлів або усунення заторів проводиться тільки після повної зупинки обладнання та вивішування таблички: "Не вмикати! Працюють люди".

Працівникам потрібно використовувати виключно прилягаючий спецодяг, оскільки звисаючі кінці шарфів, розстебнуті манжети або довге волосся є небезпекою поряд з рухомими частинами обладнання, що може призвести до затягування і намотування.

Пил від соняшнику (дрібні частинки лузги та залишків пестицидів) може викликати алергію або хронічні бронхіти, тому робота без респіратора та захисних окулярів у зоні сепарації заборонена.

Ворох соняшника, зокрема і його складові спричиняють швидкісне займання. Тому не можна перевищувати встановлені режими сушіння, оскільки перегрів насіння призводить до самозаймання олії всередині зерна. Регулярно необхідно очищувати стінки сушарки та повітроводи від осілого пилу. Накопичений пил може детонувати. Кожен працівник повинен знати, де знаходиться найближчий вогнегасник (порошковий або вуглекислотний) і як ним користуватися.

Бункери та норійні вежі вимагають особливої обережності. Категорично заборонено спускатися в бункер з насінням без страхувального пояса та напарника зверху, оскільки насіння соняшнику має низьку щільність і людина «тоне» в ньому за лічені секунди. Необхідним є використання лише

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

справних драбин з нековзними наконечниками внаслідок підвищеної олійності культури.

Вологість насіння та металеві конструкції току створюють ідеальні умови для ураження струмом, тому заборонено торкатися вологими руками до вимикачів та щитків. При виявленні запаху горілої ізоляції або іскріння – негайно знеструмити лінію.

Зерноочисні машини – це особливий тип техніки з точки зору небезпек, який поєднує вібрації, високі швидкості обертання та гострі краї решіт. Тому щозміни потребує перевірки затяжка болтових з'єднань. Постійний низькочастотний гул призводить до втрати концентрації, тому є потреба використання активних навушників. При заміні решіт завжди необхідно працювати у рукавицях з нітриловим покриттям, оскільки краї перфорованого металу можуть спричинити глибокі порізи, які довго гояться через контакт з пилом.

Зерноочисні машини використовують потужні потоки повітря для відсіювання легких домішок, тому необхідно регулярно перевіряти герметичність повітроводів. Витік повітря в цех створює «пилову завісу», яка зменшує видимість робочих зон та підвищує ризик вибуху пилу.

Тертя сухого насіння об металеві стінки аспіраційних каналів накопичує статичу, тому потрібно перевіряти, чи корпус машини має надійне заземлення, щоб уникнути іскри в запиленому середовищі.

Навіть після вимкнення двигунів обертів елементи конструкції обладнання продовжують обертатися за інерцією до 1-2 хвилин – заборонено зупиняти їх руками або сторонніми предметами.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи було проведено комплексне дослідження та модернізацію технологічного процесу післязбиральної обробки соняшнику, що дозволило сформулювати наступні результати.

Аналіз сучасного стану агросектору підтвердив статус соняшнику як стратегічної культури України. Встановлено, що ключовим бар'єром у реалізації генетичного потенціалу сучасних гібридів є недосконалість технічних засобів сепарації. Специфічні фізико-механічні властивості насіння (висока парусність, неоднорідна щільність) потребують переходу від традиційних повітряно-решітних машин до адаптивних пневмогравітаційних систем.

Для господарства з площею 120 га та врожайністю 36 ц/га розраховано операційну лінію з погодинною продуктивністю 3,08 т/год. Запропонована схема, що включає машини ОВС-25, СЗШ-16 та модернізований сепаратор ПГС-6, забезпечує отримання 86,9% кондиційного зерна (375,2 т) від початкового вороху. Визначено, що двозмінний режим роботи дозволяє завершити повний цикл обробки всього за 7 діб, що є критично важливим для збереження якості олійної сировини.

На основі ітераційних розрахунків було вдосконалено конструкцію пневмогравітаційного сепаратора. Визначено оптимальну швидкість витання насіння на рівні 6,99 м/с при числі Архімеда $Ar = 7,89 \cdot 10^6$. Збільшення конструктивного коефіцієнта k_D до 2,0 дозволило розширити робочий зазор до 20 мм. Це забезпечило зниження швидкості повітряного потоку до 3,84 м/с, що в 1,5 рази збільшило час експозиції насіння у зоні очищення.

Розрахунки підтвердили підвищення ефективності сепарації з 88% до 94%. Оптимізація конструкції дозволила встановити енергоефективний привід потужністю 1,5 кВт (двигун АИР71В2). Впровадження запропонованих змін забезпечує не лише зниження питомих енерговитрат, а й підвищує конкурентоспроможність продукції завдяки глибшому ступеню очищення та збереженню цілісності оболонок насіння.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вирощування насіння гібридів соняшнику (Методичні рекомендації)/ В. В. Кириченко, В. І Сивенко та ін. За редакцією В. В. Кириченка. Харків, 2014. 28 с.
2. Науково-методичне забезпечення інноваційного розвитку агровиробництва в Степу України : колект. монографія / [І. М. Семеняка, О. М. Гайденко, Ю. В. Мащенко та ін.] ; за ред. Семеняки І. М., Гайденка О. М., Іщенка В. А. ; Нац. акад. аграр. наук України, Ін-т сіл. госп-ва Степу. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2021. 279 с.
3. Гречкосій В., Щука В. Комплексна механізація вирощування та збирання соняшнику. Агробізнес сьогодні. 2011. 22 берез. URL: <https://agrobusiness.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/852-kompleksna-mekhanizatsiia-vyroshchuvannia-ta-zbyrannia-soniashnyku.html> (дата звернення: 29.04.2024).
4. Гамаюнова В.В., Коваленко О.А., Хоненко Л.Г. Сучасні підходи до ведення землеробської галузі на засадах біологізації та ресурсо-збереження : колективна монографія / за редакцією П.В. Писаренка, Т.О. Чайки, І.О. Яснолоб. Полтава: ПДАА, 2018. 324 с.
5. Дорожко Г.Р. Прямий посів польових культур – один із напрямків біологізованого землеробства. Вісник АПК. 2019. № 2. С.7-11.
6. Мельник І., Гречкосій В., Марченко В. Комплексна механізація виробництва соняшнику. *Пропозиція : головний журнал з питань агробізнесу*. 2008. 5 черв. URL: <https://propozitsiya.com/articles/kompleksna-mekhanizatsiya-vyrobnyststva-sonyashnyku> (дата звернення: 29.04.2024).
7. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіашко В.М. та ін. К.: Аграрна освіта, 2010. 617 с.
8. Моделювання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (очищення, сепарація, сушіння, активне вентильовання, охолодження) : колект. монографія / Котов Б. І. та ін.; Нац.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- акад. аграр. наук України, Нац. наук. центр "Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва". Київ; Ніжин : Лисенко М. М. [вид.], 2017. 551 с.
9. Modeling of aerodynamic separation of preliminarily stratified grain mixture in vertical pneumatic separation duct / S. Kharchenko et al. Applied Sciences. 2021. Vol. 11, no. 10. P. 4383. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11104383>.
 10. Обґрунтування конструктивної схеми пневморешітного сепаратора зерна / Васильковський О.М. та ін. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 51. 2021. С. 104-110. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.104-110>.
 11. Areas of improvement of feeding devices for pneumatic separation channels / O. Nesterenko, O. Vasylovskyi, R. Kisilov. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. 2023. Col.7(38), Part II – S. 90-97. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.90-97](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.90-97).
 12. Аналіз одношарового руху зернового матеріалу у вертикальному пневмосепараційному каналі / О. В. Нестеренко, О. М. Васильковський, Р. В. Кісільов, В. М. Сало. Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник: технічні науки». Кропивницький : ЦНТУ, 2024. Вип. 9(40). Ч. 2. С. 31-40. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.31-40](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.31-40)
 13. Nesterenko, A.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. No.53(3). Pp. 65-70.
 14. Мехатронний аналіз роботи пневмогравітаційного сепаратора зернових сумішей / Д. С. Недельський, Д. І. Петренко, С. М. Лещенко, О. М. Васильковський. Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник: технічні науки». 2025. Вип. 12(43). Ч. I С. 245-252. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.245-252](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.245-252).

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

15. Нестеренко О.В., Лещенко С.М., Васильковський О.М., Петренко Д.І. Оцінка рівномірності розподілу та засміченості зерна при його багаторівневому введенні в пневмосепаруючий канал. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кропивницький : ЦНТУ. Вип. 51. 2021. С. 111-116. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.111-116>.
16. Пневмогравітаційний сепаратор : пат. 153219 Україна : МПК В07В 4/02 (2006.01), В07В 7/01 (2006.01). № у 202203732 ; заявл. 05.10.2022 ; опубл. 07.06.2023, Бюл. № 23/2023.
17. Яхно О.М., Узунов О.В., Луговський О.Ф. та ін. Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка: підручник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 711 с.
18. Теорія і розрахунки параметрів процесів і робочих органів сільськогосподарських машин: Практикум. Морозов І.В., Бакум М.В., Пастухов В.І., Горбатовський О.М., Кириченко Р.В., Козій О.Б., Леонов В.П., Нікітін С.П.; за редакцією проф. І.В. Морозова. Харків: ХНТУСГ, 2011.
19. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. // Суми. Університетська книга. 2008. 450 с.
20. Деталі машин. Розрахунок та конструювання [Текст] : підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, В. С. Гапонов [та ін.]. Київ : Талком, 2014. 684 с.
21. Охорона праці у сільському господарстві. – ТОВ «ТЕХ МЕДІА ГРУП», 2019 р. URL: https://techmedia.com.ua/sites/default/files/online_version/ECO_SX/files/assets/basic-html/toc.html.

					МВПГС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		