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:

«Обґрунтування параметрів гравітаційного сепаратора з дослідженням системи аспірації»

Виконав здобувач вищої освіти__II___курсу,
групи ГМ(СМ)-21М(1,9)
ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
_____ Дідківський Назар Сергійович
«____»_____2023 р.

Керівник проекту
доцент, канд. техн. наук
_____Дмитро ПЕТРЕНКО
«_____»_____2023 р.
Рецензент
доцент, канд. техн. наук
_____Іван СКРИННІК
«_____»_____2023 р.

м. Кропивницький

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				Загальна документація		
				Заново розроблена		
А4			ПГС 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка		
А1			ПГС 00.000 С2	Сепаратор ПГС-12	1	
				Документація		
				по складальних одиницях		
А1			ПГС 00.020 СБ	Аеродинамічний модуль	1	
А2			ПГС 00.010.070 СБ	Колосове решето	1	
А3			ПГС 02.010 СБ	Розподільник	1	
				Документація по деталях		
А3			ПГС 02.010.415	Конус	1	
А4			ПГС 00.010.070.601	Вісь	1	
А4			ПГС 00.010.070.604	Пруток	1	
А4			ПГС 02.030.825	Стакан	1	
А4			ПГС 02.010.613	Стояк	1	
				Документація з		
				наукової частини		
А1			ПГС 00.001 НЧ	Дослідження ефективності	1	
				розділення зернового матеріалу		
				на фракції в аспіраційному модулі		
А1			ПГС 00.002 НЧ	Результати теоретичних	1	
				досліджень		

					ПГС 00.000 ВР	
Зм.	*Арк*	*№ докум.*	*Підпис*	*Дата*		
Розробив		Дідківський			*Відомість роботи*	*Літера* / *Аркуш* / *Аркушів*: 1
Перевірив		Петренко				
Н. контр.		Мачок				ЦНТУ гр. ГМ(СМ)-21М(1,9)
Затвердив		Лещенко				

Зміст

Номер розділу	Структурна одиниця і розділ	Сторінка
1	ВСТУП	
2	НАУКОВА ЧАСТИНА	
3	ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА	
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	
5	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	
6	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	
-	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	
-	ДОДАТКИ	

1. ВСТУП

Події останнього часу в котрий раз підтвердили, що економічна безпека нашої держави нерозривно пов’язана з сільськогосподарським виробництвом, яке багато в чому є визначальним і для розвитку інших галузей, в тому числі і машинобудування. Реформування аграрного сектору економіки дозволило збільшити темпи росту виробництва сільськогосподарської продукції, що пов’язано, в тому числі, і з переорієнтацією фермерів на впровадження у виробництво інтенсивних, енергоощадних і екологічно безпечних технологій вирощування, застосування якісного посівного матеріалу. Адже, як відомо, якість посівного матеріалу є визначальною як для отримання гарантованої високої врожайності, так і сприяє зменшенню застосування хімічних способів боротьби з бур’янами і шкідниками.

Серед агротехнічних засобів, що забезпечують отримання якісного посівного матеріалу, виділимо післязбиральну обробку зібраного врожаю, зокрема очищення зернового матеріалу від органічних і мінеральних домішок, зерен інших культур, а також сортування на фракції відповідно до фізико-механічних властивостей.

Світові тенденції спрямовані на підвищення вимог до якості продукції, зменшення енергетичних і матеріальних витрат при виробництві агропродукції. Саме тому актуальним є подальше дослідження і модернізація технологічного обладнання для очищення і сортування зернових матеріалів, спрямовані на виявлення можливості підвищення якості роботи зерноочисних машин, зниження енергоємності і металомісткості їх конструкції.

В роботі буде виконано аналіз сучасного стану питання очищення зернових сумішей, визначено напрямки і можливості вдосконалення сепаруючих систем, проведено дослідження і надано рекомендації стосовно підвищення ефективності роботи зерноочисних машин.

2. НАУКОВА ЧАСТИНА

2.1. Загальні вимоги до очищення зернових сумішей

Завданнями очищення є виділення з зернової маси максимальної кількості смітних домішок, в тому числі органічних і мінеральних, зерна інших культур, а також пошкодженого та подрібненого зерна основної культури. Оскільки домішки мають різну природу та фізико-механічні властивості, повністю очистити зернову суміш за один прохід однією машиною неможливо, тому відповідно до призначення зерна розрізняють очищення: попереднє, первинне та вторинне [1].

З метою зниження в зерновій суміші вмісту найбільш крупних і дрібних домішок, виділення частини надлишкової вологи, збільшення його сипкості, полегшення наступних процесів обробки, зокрема сушіння, підвищення стійкості зерна до самозігрівання при тимчасовому зберіганні насипом застосовують попереднє очищення. Агротехнічними вимогами передбачається виконувати попереднє очищення для свіжозібраного зернового матеріалу вологістю до 35% в максимально короткі терміни (не пізніше, ніж через добу після збирання), при цьому після обробки засміченість крупними і дрібними домішками повинна знизитись з 15...20% до 3 %, тобто ефективність відділення домішок дрібної і крупної фракції становить 50% і вище з мінімізацією втрат зерна основної культури [1].

Для свіжозібраного зернового матеріалу вологістю до 22% або для попередньо обробленого та висушеного зерна вологістю до 18 % проводять первинне очищення, задачею якого є виділення великих, легких та дрібних домішок, подрібненого та щуплого зерна. Відповідно до агровимог – вміст домішок у зерновій масі повинен знизитись з 8...10% до 1...3% [1, 3], при цьому вихідними фракціями є очищене зерно, фуражні відходи та домішки (крупні, дрібні та легкі). Зерноочисні машини при первинному очищенні повинні забезпечити ефективність виділення домішок не менше 60%.

Посівний матеріал отримують шляхом проведення вторинного очищення, яке дозволяє виділити із зерна основної культури близьких до нього за розмірами домішок. За підсумками обробки вихідна зернова суміш поділяється на фракції: насіннєва, зерно другого сорту, легкі, дрібні та великі домішки [1, 3]. Критерієм вторинного очищення є чистота матеріалу, яка регламентується відповідним Стандартом (ДСТУ, ТУ, регламентом тощо) на відповідну культуру.

2.2. Найпоширеніші способи очищення зерноматеріалів

Зернову суміш розділити на фракції можливо завдяки відмінності фізико-механічних властивостей окремих частинок зернової суміші, зокрема: аеродинамічних, розмірних, форми, щільності, станом поверхні, пружності, кольором, електрофізичними та ін. Відповідно спосіб очищення та сортування зернового матеріалу визначаються фізико-механічними властивостями складових вихідного матеріалу [1-3].

На практиці набули поширення такі способи очищення та сортування [1-3]:

а) розділення за аеродинамічними властивостями в полі дії повітряного потоку аеросепараторів;

б) поділ за розмірами на решітних системах;

в) розділення по довжині на коміркових поверхнях (трієри);

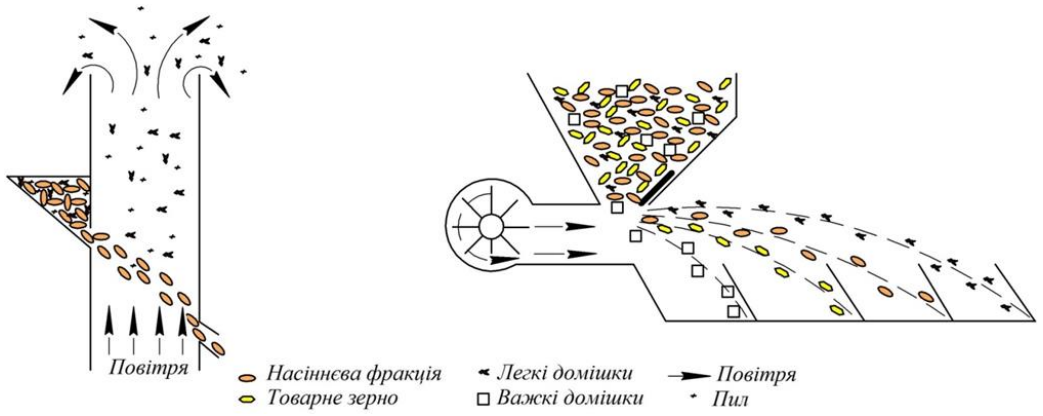
г) поділ зерносуміші за формою та властивостями поверхні на гірках, трансортерах тощо;

д) сортування за щільністю на пневмо-, вібростолах.

Серед наведених способів найбільшого застосування на практиці отримали розділення за аеродинамічними властивостями та розмірними характеристиками.

Залежно від напряму дії повітряного потоку на зернову суміш розділення на фракції можливе за двома методами [3, 4] – «зважування» (рис. 2.1, а) та «відхилення» (рис. 2.1, б).

При взаємодії повітряного потоку відповідної швидкості з зерновим матеріалом у вертикальний площині відповідно різниці аеродинамічних властивостей фракцій, відбудеться розділення на дві складові: легка буде винесена повітряним потоком догори, а важка падатиме донизу (рис. 2.1, а). Якщо ж повітряний потік взаємодіє з зерновим матеріалом у горизонтальній площині (рис. 2.1, б), то відбудеться відхилення фракцій повітряним потоком від лінії вільного падіння на різну величину відповідно аеродинамічним властивостям компонентів.



а) б)

Рис. 2.1 – Технологічні схеми методів розділення матеріалу повітряним потоком [5]

Ефективність повітряного очищення прийнято оцінювати двома показниками [5]:

якість сепарації, що характеризує виділення домішок

$$\varepsilon = \frac{A-B}{Б} \cdot 100\%,$$ та

чіткість сепарації, що визначає втрати зерна основної культури у відносах

$$z = \frac{B}{A} \cdot 100\%,$$

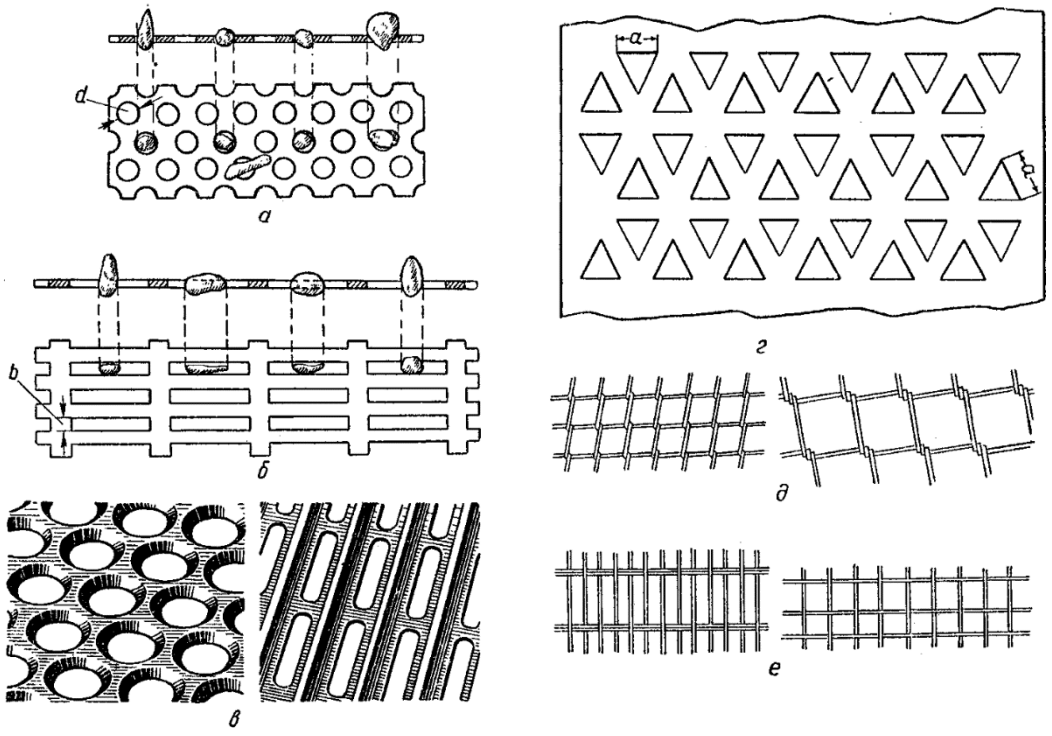
де A – масова доля виділеного легкого компоненту (домішки), кг;

$Б$ – засміченість легкими домішками зернової суміші до обробки, кг;

B – вміст зерна основної культури у виділеній повітряним потоком фракції домішок, кг.

За розмірними характеристиками (по товщині і ширині) зернову суміш поділяють на решетах різноманітного конструктивного виконання.

Поділ насіння по ширині відбувається на решетах з круглими отворами (рис. 2.2, а), а по товщині – з прямокутними (рис. 2.2, б).



а – з отворами круглого перерізу; б – з отворами прямокутного перерізу; в – з лунко-подібними та гофрованими отворами; г – з трикутними отворами; д – плетені; е – ткані.

Рис. 2.2 – Найпоширеніші види решіт для розділення зернової суміші за розмірами [3]

Основним принципом подільності на решетах з круглими отвори є можливість пройти крізь отвір тільки тим зернинам та домішкам, ширина яких є меншою за діаметр *d* отвору решета [2, 3]. При цьому інші розмірні характеристики частки – товщина та довжина, не впливають на процес поділу. Натомість при поділі на фракції на решетах з отвори прямокутного перерізу (форми) використовують принцип подільності за товщиною частки – крізь отвір пройдуть тільки ті зернини та домішки, товщина яких менша за ширину отвору [2, 3]. При цьому ширина та довжина часток не впливатимуть на процес поділу.

2.3. Аналіз конструкцій зерноочисних машин загального призначення

Серед зерноочисних машин загального призначення виділяють клас машин, що поєднують розділення зернової суміші за розмірами на плоских решетах та виділення легких домішок за допомогою аспіраційної системи.

Однією з найбільш поширених у господарствах України зерноочисних машин загального призначення вітчизняного виробництва є очисник вороху ОВС-25 (рис. 2.3) та його модифікації, який конструктивно має два однакових решітних стана з чотирма решетами кожний [1, 6]. Решітні стани розміщуються один під одним та функціонально працюють паралельно і для гасіння інерційних моментів здійснюють коливання в протилежні сторони.

Технологічний процес машини наступний. Після ввімкнення механізму переміщення завантажувальний транспортер підіймає зернову суміш з бунта (рис. 2.3, 1) і подає її до приймальної камери. Тут розміщено шнек (рис. 2.3, 2), призначений для рівномірного розподілення зернової маси по ширині камери. Далі суміш, розподілена на два потоки, надходить до аспіраційних каналів, де взаємодіє з вертикальним повітряним потоком.

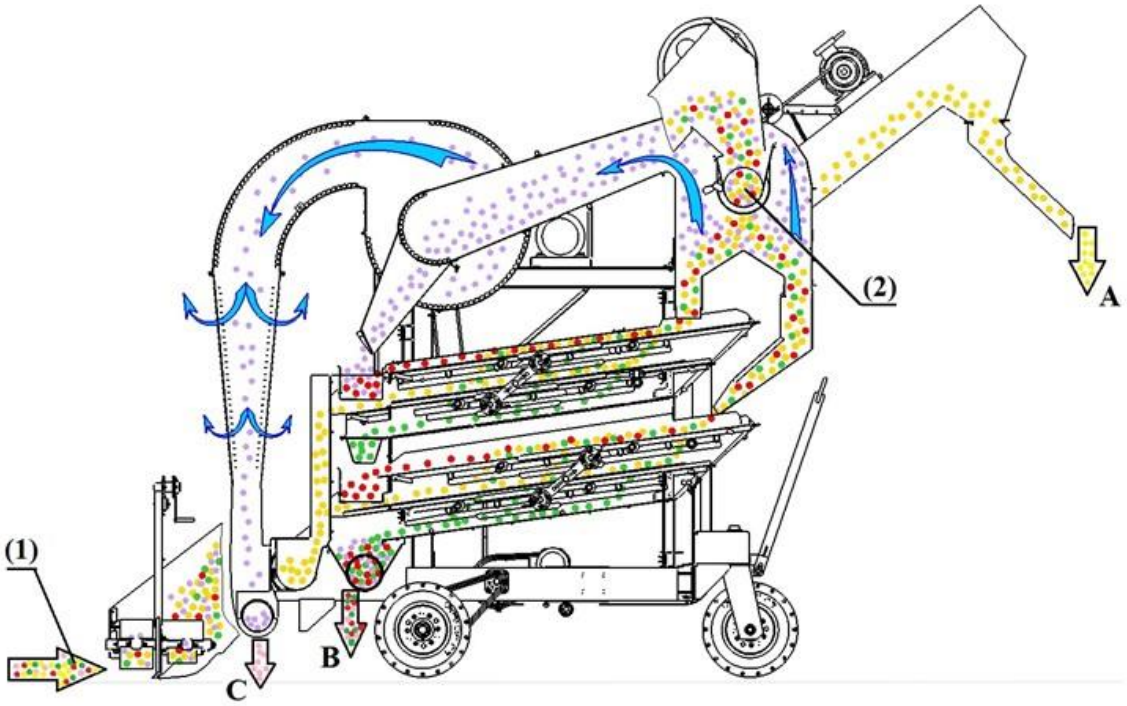


Рис. 2.3 – Технологічна схема очисника вороху ОВС-25 [1, 6]

Відбувається виділення легких домішок, що надходять до осадової камери і там затримуються, а пилові частки повітряним потоком відносяться далі через вентилятор до жалюзійного інерційного пилоочисника, де відбувається очищення повітря від них. Очищена від легких домішок зерносуміш надходить на решітні стани, де відбувається фракціонування за розмірами. В машині ОВС при підборі решіт в кожному стані користуються фракційною схемою: верхні решета – ділильні та колосові, нижні – підсівні.

Отримані в процесі очищення фракції розподіляються за наступними потоками. Легкі, дрібні і крупні домішки за допомогою шнека фуражних відходів вивантажуються в бік від машини (рис. 2.3, виходи С і В), а очищене зерно скребковим транспортером вивантажується позаду машини, при цьому або з утворенням нового бунту чистого зерна, або у транспортні засоби (рис. 2.3, вихід А).

Серед зерноочисних машин, які мають систему плоских коливальних решіт і подвійну систему аспірації можна виділити універсальний

зерноочищувальний сепаратор моделі БСХ-200 (рис. 2.4) виробництва Хорольського механічного заводу [7].

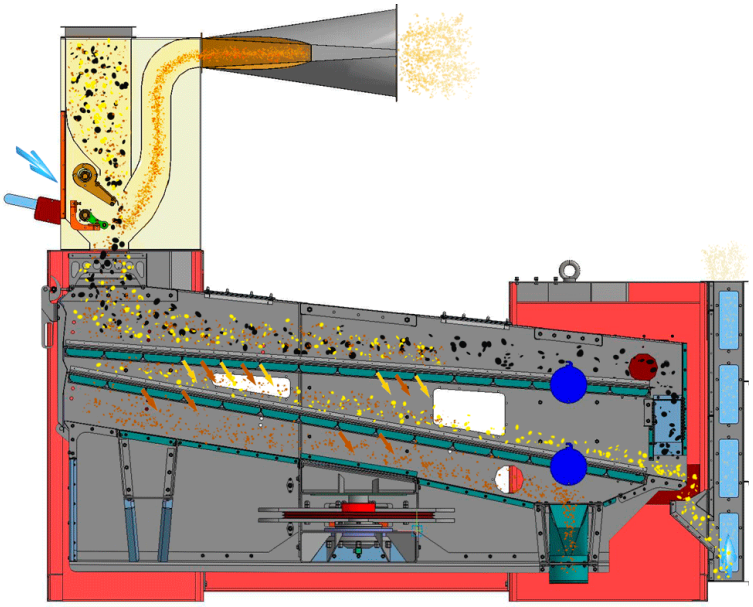


Рис. 2.4 – Схема технологічного процесу зерноочищувального сепаратора моделі БСХ-200 [7]

Конструктивно зерноочисний сепаратор БСХ-200 містить станину, до якої монтуються кузов з решітними рамками, живильника та двох пневмоканалів. Решітний кузов закріплюється до станини за допомогою гнучких підвісів.

Конструкцією зерноочисної машини передбачається можливість регулювання кутів нахилу решіт: верхнього від 4° до 7° , нижнього від 8° до 10°, залежно від необхідної продуктивності і якості, а також виду культури, що очищається. Для очищення решіт від застряглих частинок передбачені гумові кульки, розміщені у комірках, утворених поздовжніми і поперечними перегородками решітних рамок.

Технологічний процес наступний. Зернова суміш самопливом надходить з живильника до пневмоканалу, де відбувається попереднє очищення від легких домішок повітряним потоком. Далі зерновий матеріал потрапляє на решета, кузову яких надаються кругові рухи, що сприяють переміщенню матеріалу по решету і дозволяють активізувати сортування.

Решета сепаратора функціонують за класичною схемою: верхнє – колосове для відбору крупних домішок, нижнє – підсівне, для відбору дрібних домішок.

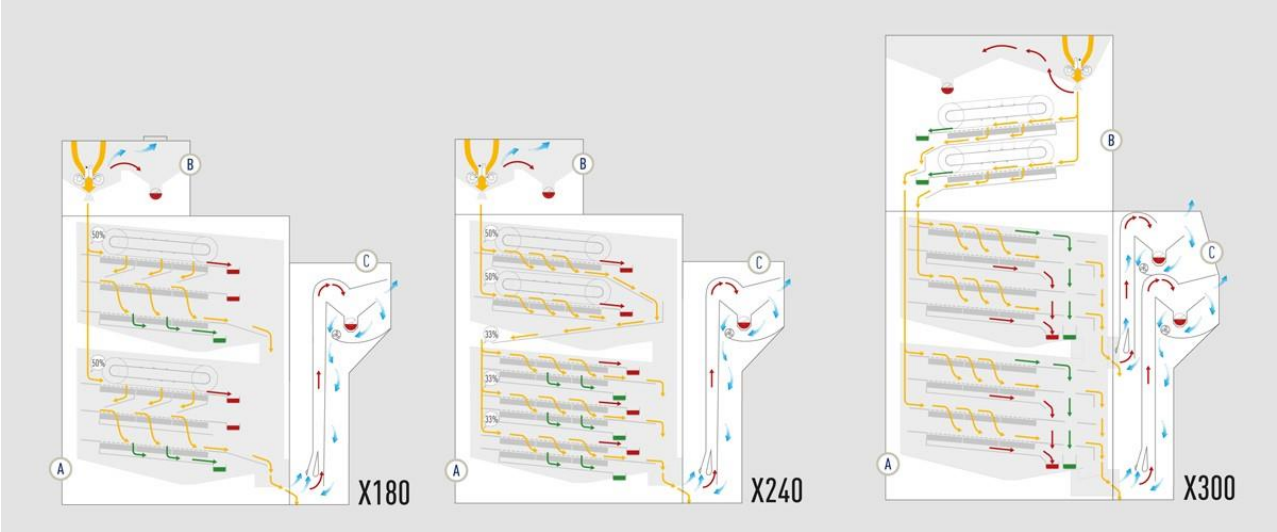
Очищена від крупних і дрібних домішок зерносуміш після решіт надходить до основного вертикального пневмоканала, де відбувається доочищення від легких домішок.

Серед найбільш відомих закордонних виробників зерноочисної техніки можемо виділити фірму PETKUS, яка пропонує декілька серій зерноочисних машин загального призначення.

Зерноочисні машини PETKUS серії X [8] мають модульну конструкцію (рис. 2.5). У верхньому модулі B завдяки скребковим ланцюгам забезпечується рівномірний розподіл зерносуміші по всій довжині решета та її безперервна подача. При цьому перед потраплянням до решіт, зернова суміш проходить попереднє очищення від легких домішок повітряним потоком.

Основний модуль A складається з двох решітних станів та чотирьох рівнів решіт, на яких видаляються крупні і дрібні домішки. Конструкція очищувачів серії X дозволяє одночасне паралельне очищення двох різних культур без їх змішування.

Після решітного очищення зерновий матеріал переміщується до модуля C, де відбувається основне очищення від легких домішок в пневмосепараторі з вертикальним пневмоканалом. В зерноочисній машині PETKUS серії X застосовується замкнена система циркуляції повітря, що дозволяє економити енергію та повітря.



A – основний решітний модуль очищення;

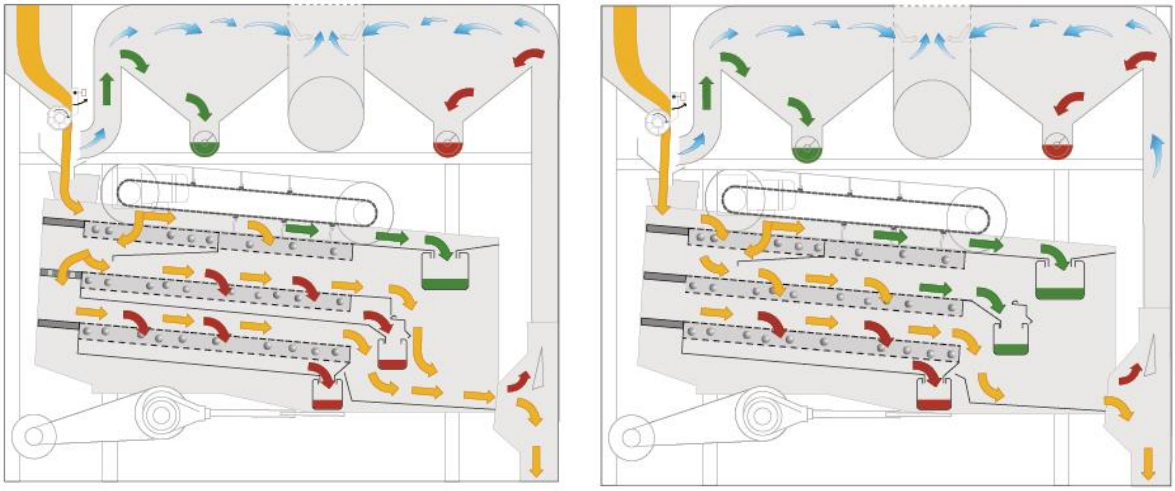
B – живильний модуль зі скребковими транспортерами та системою попереднього повітряного очищення

C – пневмосепаратор із замкненою системою циркуляції повітря

Рис. 2.5 – Функціональні схеми PETKUS серії X [8]

Зерноочисні машини PETKUS серії A (рис. 2.6) позиціонуються як універсальні очисні машини середнього класу продуктивності, призначені для первинного та вторинного очищення [8]. Висока якість очищення забезпечується шляхом поєднання решітної та аспіраційної систем сепарації.

Конструктивно PETKUS серії A (рис. 2.6) мають живильник з регульованим дозатором барабанного типу або з вібролотком, первинну і вторинну пневмосистеми з осадовою камерою, а також решітний стан з трьома решітними площинами. Привід різних вузлів (живильник, решітний стан, вентилятор і т.ін.) здійснюється за допомогою мотор-редукторів. Очищення решіт від забивання реалізовано шляхом застосування кульок і ланцюгового скребка.



а) б)

а – схема очищення насіння: крупне зерно;

б – схема очищення насіння: дрібне зерно

Рис. 2.6 – Схеми роботи зерноочисної машини PETKUS A12 [8]

Серед особливостей зерноочисних машин PETKUS серії S (рис. 2.7) те, що конструкція може складатися від двох до десяти решітних поверхонь на двох протилежно рухомих станах [8]. Зернова суміш подається до ЗОМ через віброживильник з електроприводом, що дозволяє забезпечити точність подачі та оптимізувати розподілення для різних зернових сумішей по всій робочій поверхні. Також застосовується технологія Airmax, що передбачає наявність третього аспіраційного каналу (рис. 2.8). Серії очищувачів S AIO та S Airmax можна оснащувати додатковими цифровими опціями контролю процесу очищення.

В третьому аспіраційному каналі (рис. 2.8) відбувається наступний технологічний процес: 1 – розшарування зернової суміші: легкі частки зміщуються доверху за рахунок вібрації та нахилу лотка; 2 – аспірація легких домішок: легкі частки видаляються через перший канал пневмосепарації; 3 – аспірація пошкодженого зерна: за рахунок збільшення подачі повітря і його швидкості подрібнене зерно виноситься у другому каналі пневмосепарації; 4 – поперечна пневмосепарація: проходження

повітря поперек потоку насіння дозволяє виділити щупле і поїдене зерно, за розмірами подібне до основної фракції.



1 – живильний пристрій: a – вібраційний; b – випускний валець; c – голчастий валець; 2– скребковий транспортер; 3 – система фіксації решіт: a – автоматична; b – вручну; 4 – системи контролю з сенсорною панеллю: a – фірми SIEMENS; b – фірми Rockwell Automation; 5 – візуальний контроль з пакетом освітлення; 6 – випускна воронка: a – автоматичне керування; b – вручну; 7 – система випуску.

Рис. 2.7 – Зерноочисна машина PETKUS серії S та варіанти виконання робочих органів [8]

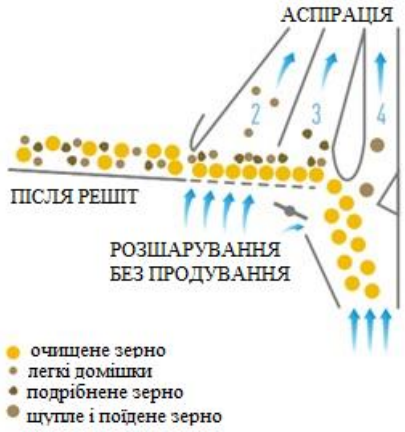


Рис. 2.8 – Схема третього аспіраційного каналу за технологією Airmax зерноочисної машини PETKUS серії S [8]

Серед зерноочисних машин загального призначення останнім часом спостерігається використання сепараторів, що дозволяють виконати сепарацію за розмірами за допомогою циліндричних решіт.

Розглянемо принцип роботи зерноочисної машини барабанного типу на прикладі сепаратора вітчизняного виробництва "ЛУЧ" ЗСО, що має блок циліндричних решіт, розміщених в горизонтальній площині під певним кутом (рис. 2.9).

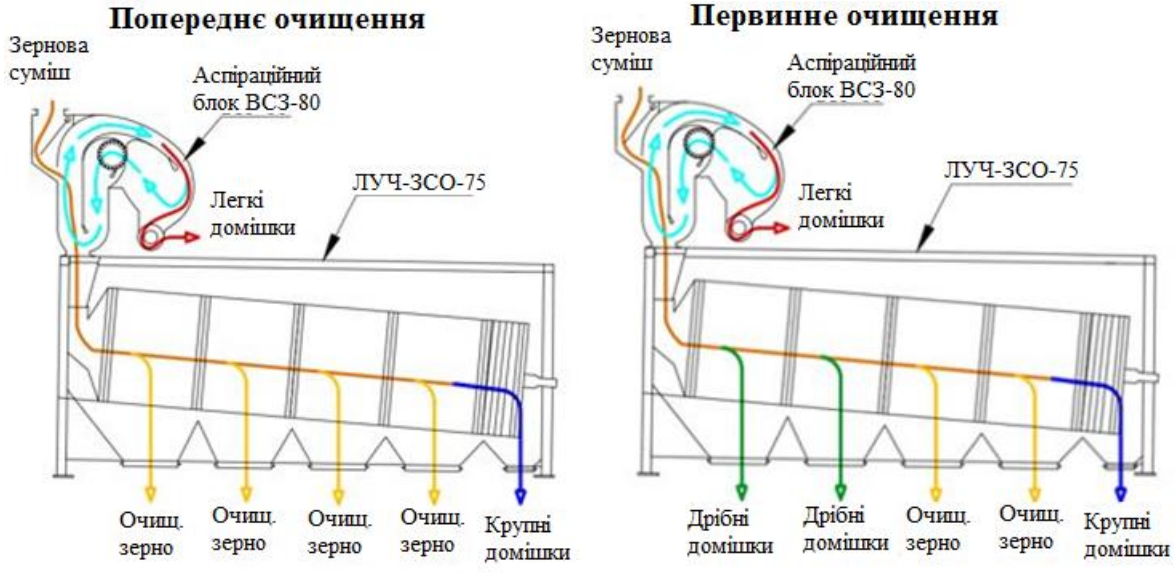
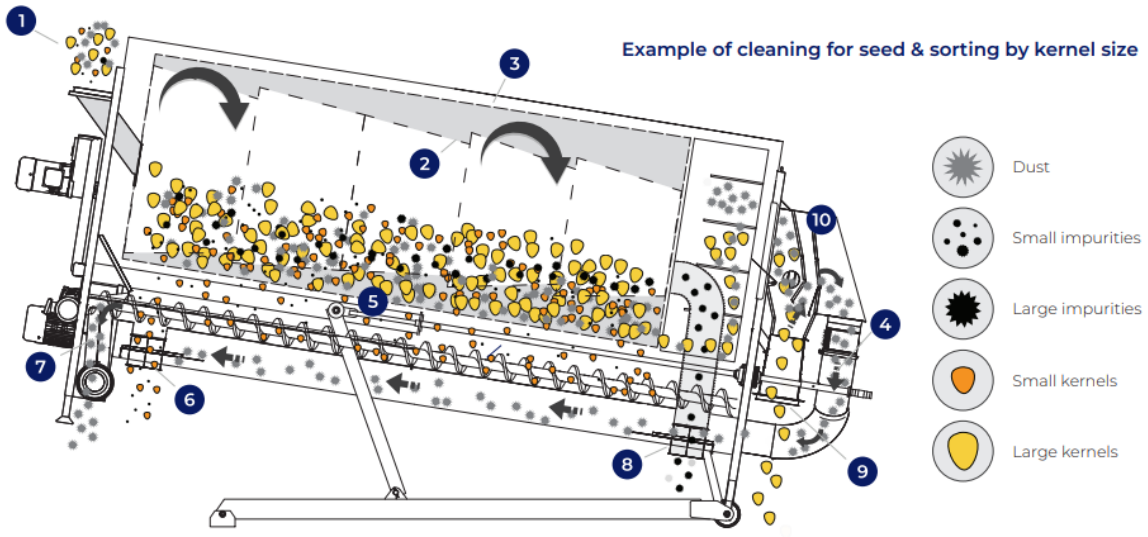


Рис. 2.9 – Схеми роботи зернового барабанного сепаратора "ЛУЧ" ЗСО [9]

Складається ЗОМ з решітного і повітряного блоків [9]. Очищення зернової суміші починається з повітряної сепарації. Зерновий матеріал надходить через приймальний патрубок до аспіраційного блоку, де взаємодіє із зустрічним повітряним потоком у вертикальному пневмоканалі, при цьому відбувається видалення легких домішок (рис. 2.9). Після аеросепарації зернова суміш надходить до внутрішньої частини решітного барабана, де відбувається її фракціонування за розмірами залежно від призначення обробітку. Виділені фракції виводяться з машини роздільно через випускні патрубки. З метою очищення отворів решіт від застряглих часток застосовують блоки рухливих щіток і катків.

Зерноочисні машини барабанного типу серії KDC від Kongskilde [10] містить подвійну решітну частину і аспіраційну (рис. 2.10). Решета сортують зернову суміш за розмірами, а аспіратор виділяє легкі домішки і пил за допомогою повітряного потоку.



1 – вхід зерна; 2 – внутрішнє змінне решето; 3 – зовнішнє змінне решето; 4 – система контролю потоку повітря в аспіраторі; 5 – шнек для транспортування відсіву; 6 – вихідний патрубок зовнішнього решета з заслінкою для вивантаження відсіву/дрібного зерна; 7 – вентилятор для аспіратора; 8 – вихідний патрубок внутрішнього решета з заслінкою; 9 – вихідний патрубок очищеного зерна; 10 – аспіраційна камера для видалення пилу.

Рис. 2.10 – Схема роботи зерноочисної машини KDC від Kongskilde [10]

Внутрішнє решето у вигляді усіченого конусу функціонує як скальператор і призначене для видалення всіх великих часток, зовнішнє циліндричне решето дозволяє видалити дрібні домішки (відсів).

Як показав наведений аналіз конструкцій та принципових схем зерноочисних машин загального призначення найбільш ефективним є застосування при очищенні зернових матеріалів комплексної решітної та повітряної сепарації з застосування інтенсифікуючих систем.

На основі проведеного аналізу можемо зробити наступні припущення:

1. Решітно-пневматичні сепаратори можуть виконувати очищення зернових матеріалів з продуктивністю більше 15-20 т/год., виділяючи при цьому смітні домішки до 10% і вище;

2. Для виконання якісного очищення необхідно використовувати якомога більшу кількість фізико-механічних властивостей компонентів зернової суміші, за якими можливо розділити їх на фракції;

3. При проектуванні зерноочисних машин загального призначення необхідно передбачати відповідні інтенсифікуючі системи, що дозволить покращити ефективність роботи основних систем без збільшення масо-габаритних характеристик всієї машини.

2.4. Обґрунтування конструкції зерноочисної машини гравітаційного типу

Як показав наведений аналіз конструкцій зерноочисних машин загального призначення найбільш широкого використання набули решітні робочі органи, що мають активний привод. Це вимагає значних енерговитрат та ускладнює процес очищення, крім того знижується надійність системи, підвищуються експлуатаційні витрати.

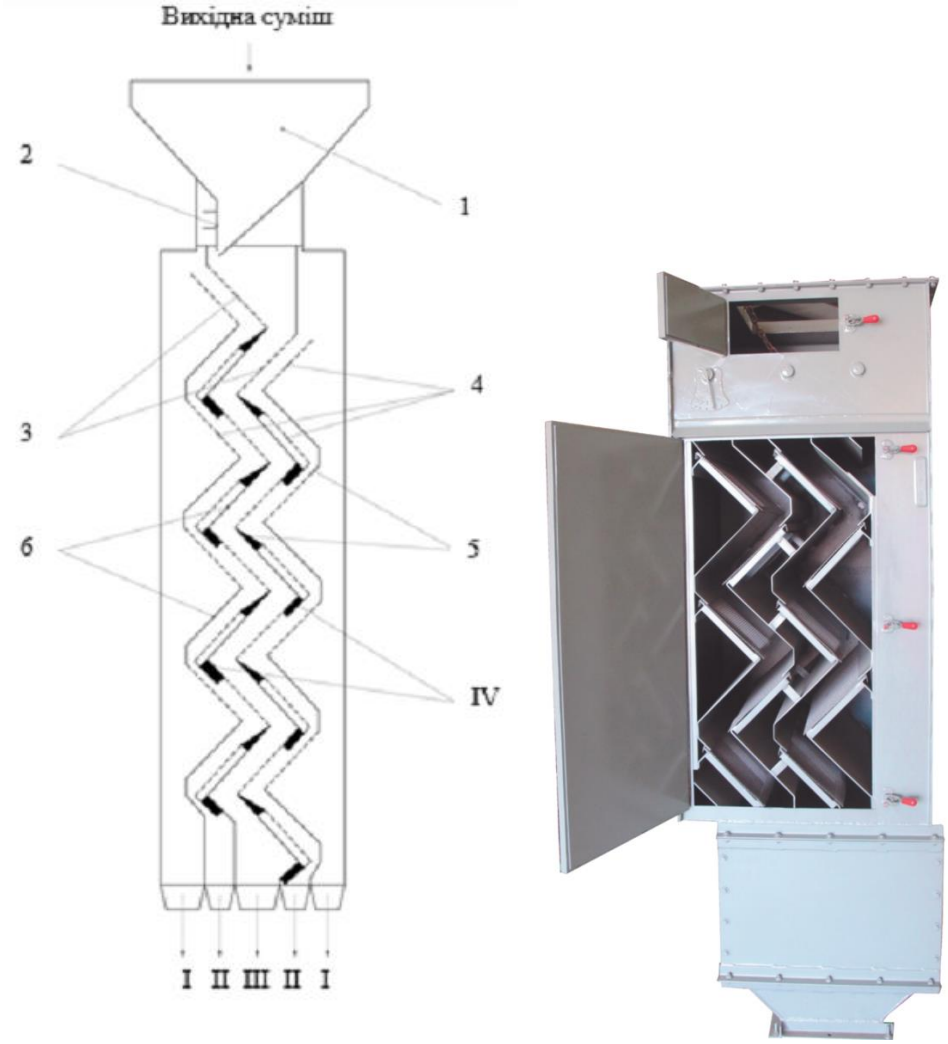
Натомість виробниками запропоновано і решітні зерноочисні машини гравітаційного типу, в яких реалізовано принцип самопливного

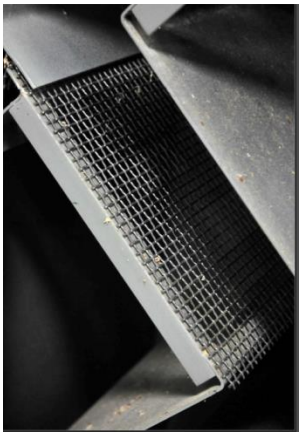
(гравітаційного) переміщення зернового матеріалу по нерухомо закріплених решетах [11, 12]. Сепаруюча система гравітаційних сепараторів представляє собою утворені каскадом решіт центральний канал й паралельні йому два бічних зиґзаґоподібних каналів. Технологічний процес очищення в таких зерноочисних машинах (рис.2.11) здійснюється наступним чином.

Зернова суміш завантажується до оперативного бункера 1, з якого самопливом надходить до відбивача у вигляді суцільної скатної поверхні. З відбивача потік зерносуміші надходить на перше колосове решето 3. Розмір отворів колосового решета забезпечує прохід зерна основної культури та дрібних часток, натомість крупні домішки рухаються по решету сходом.

Проходова фракція потрапляє на скатну поверхню (відбивач) 5 і далі до підсівного решета 3, розмір отворів якого забезпечує прохід дрібних часток (домішок) і схід з решета зерна основної культури. Частки проходової (дрібної) фракції потрапляють до дефлектора 6, що забезпечує їх виведення до патрубка виводу дрібних домішок. Після перших решіт процес сепарації повторюється аналогічно. Кількість циклів процесу поділу і, відповідно, кількість решіт, визначається необхідною якістю очищення.

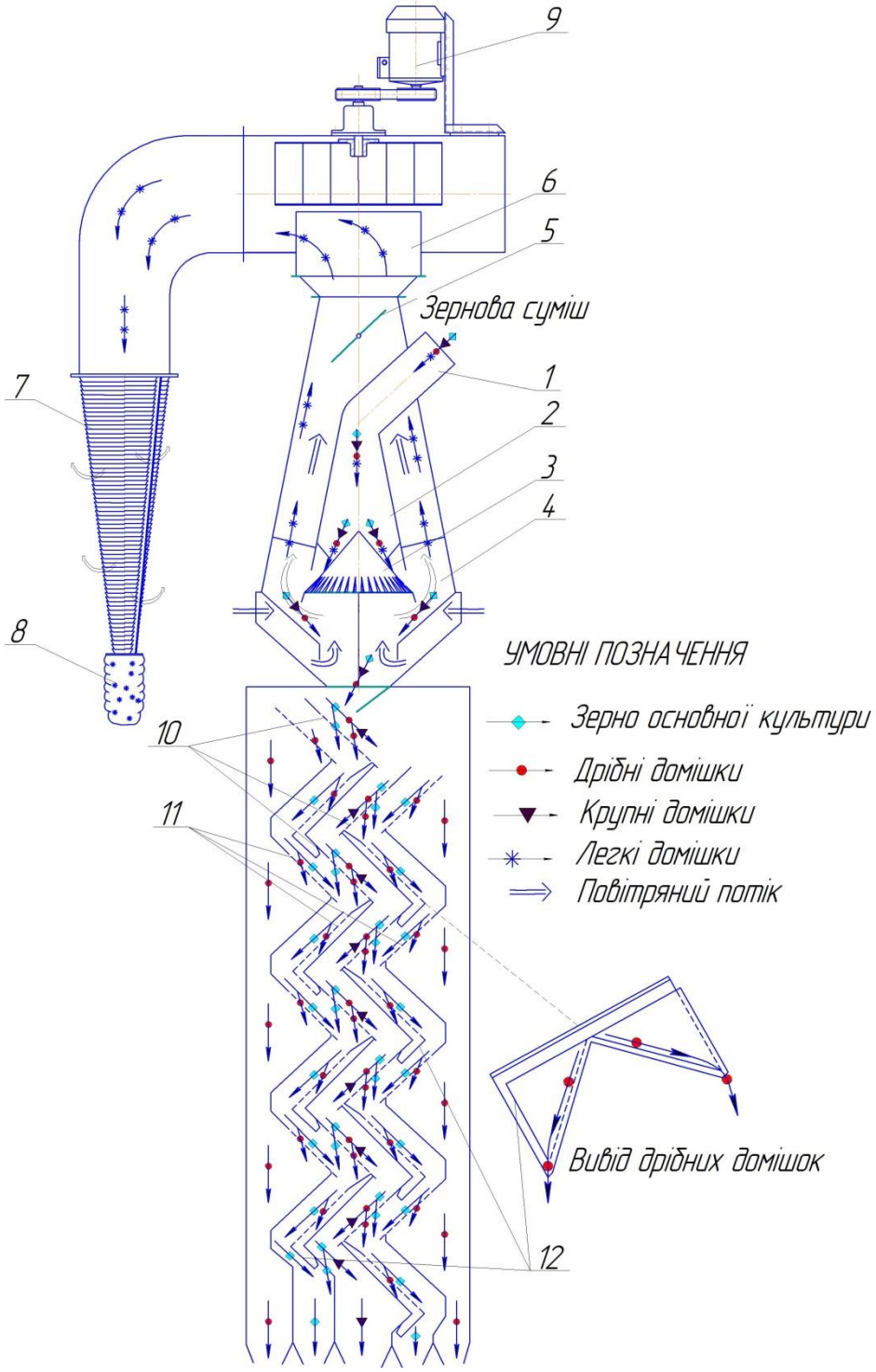
З метою підвищення якості очищення та функціональності ЗОМ гравітаційного типу нами пропонується застосувати попереднє очищення зернової суміші повітряним потоком шляхом об’єднання решітного модуля з повітряним турбінного типу (рис. 2.12). Система аспірації включає повітряний канал кільцевого типу, вентилятор з електроприводом, повітропроводи та пилоочисник.





1 – живильний бункер; 2 – механізм регулювалння подачі; 3 – колосові центральні решета; 4 – підсівні бічні решета; 5 – відбивачі; 6 – дефлектори; I, II, III, IV – вивідні патрубки фракцій – 1-ї дрібної, очищеного зерна основної культури, крупної та 2-ї дрібної фракцій відповідно.

Рис. 2.11 – Схема та загальний вигляд зерноочисної машини гравітаційного типу [11, 12]



1 – приймальний патрубок; 2 – накопичувальний бункер; 3 – дозатор конусного типу; 4 – повітряний канал кільцевого типу; 5 – заслінка регулювання повітряного потоку; 6 – вентилятор; 7 – пилоочисник; 8 – фільтр; 9 – електродвигун; 10 – колосові решета; 11 – підсівні решета; 12 – дефлектор

Рис. 2.12. – Функціональна схема повітряно-гравітаційного сепаратора

Таким чином, початкова зернова суміш через завантажувальний патрубок 1 накопичується в бункері 2, звідки, переміщуючись по твірній дозуючого конусу 3, надходить до вертикального повітряного каналу кільцевого типу 4. Тут матеріал продувається повітряним потоком, створеним вентилятором 6, привід якого здійснюється від електродвигуна 9. Виділені легкі домішки виносяться повітряним потоком до жалюзійного пилоочисника 7. Швидкість повітряного потоку в каналі регулюється заслінкою 5. Очищена від легких домішок зернова суміш надходить до решітного модуля, де фракціонується аналогічно наведеному вище технологічному процесу.

Зважаючи на рекомендації [13-16], поверхню решіт пропонується виконати прутковою (рис.2.13), що дозволить покращити ефективність просіювання та зменшити загальні габарити машини.

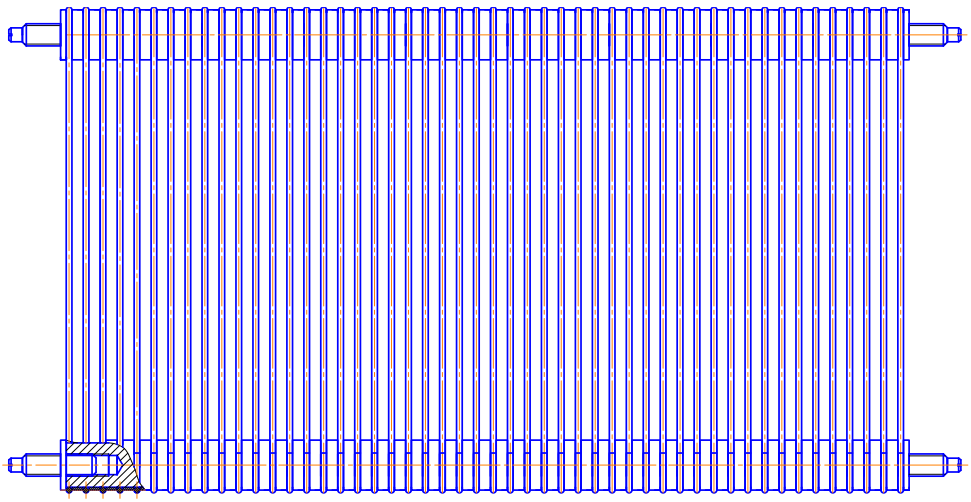


Рис. 2.13 – Колосове решето з прутковою поверхнею

Ефективність роботи зерноочисних машин з каскадним розміщенням решіт достатньо вивчена, тому дослідимо ефективність розділення зернової суміші повітряним потоком у вертикальному пневмоканалі кільцевого типу.

2.5. Дослідження ефективності розділення зернового матеріалу на фракції в аспіраційному модулі

Зернова суміш надходить до пневомканалу по твірній дозуючого конуса під кутом α_0 з початковою швидкістю V_0 (рис. 2.14). Тут на частки суміші масою m діє сила тяжіння $G = m \cdot g$, повітряний потік зі швидкістю U під кутом відносно горизонту β, сила опору повітряному потоку R, яка за умов турбулентного режиму переміщення повітряного потоку визначається як [20]:

$$R = k \cdot F \cdot \frac{\rho \cdot V_B^{\,2}}{2}, \tag{2.1}$$

де k – коефіцієнт, що характеризує аеродинамічний опір; F – міделев переріз частки, м^2; ρ – щільність повітряного середовища, кг/м^3; V_B – швидкість частинки відносно повітряного потоку, м/с; g – прискорення вільного тяжіння, м/с^2.

З іншої сторони взаємодію частки з повітряним потоком характеризує коефіцієнт парусності:

$$k_П = \frac{kF\rho}{2m}, \tag{2.2}$$

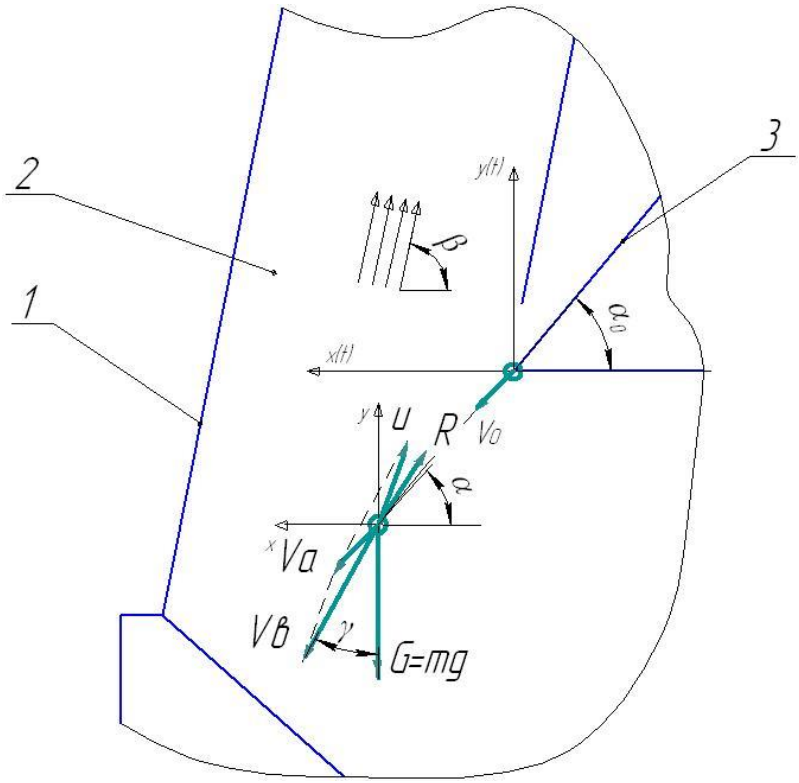
Таким чином можемо записати:

$$R = k_П \cdot m \cdot V_B^{\,2}, \tag{2.3}$$

Розглянемо взаємодію сил, що діють на частку в повітряному потоці, скориставшись другим законом Ньютона, при цьому початок відліку координат помістимо в точку надходження частинки до повітряного каналу. Проектуючи сили на обрані осі *OX* і *OY* (рис. 2.14) одержимо систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -R\sin\gamma; \\ m\ddot{y} = R\cos\gamma - G, \end{cases} \tag{2.4}$$

де $\ddot{x}$ та $\ddot{y}$ – відповідно прискорення частки по осі x та y; γ – кут що визначає напрямок сили опору повітряному потоку відносно осі OY, град.



1 – корпус пневматичного модуля; 2 – вертикальний пневмоканал; 3 – розподільний конус

Рис. 2.14 – Схема взаємодії повітряного потоку з частинкою зернової суміші

Підставивши складові сил та скоротивши вирази на масу m матимемо:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k_П V_B^{\,2} \sin\gamma; \\ \ddot{y} = k_П V_B^{\,2} \cos\gamma - g. \end{cases} \qquad (2.5)$$

Абсолютна швидкість частинки становитиме:

$$\overline{V}_A = \overline{V}_{ср} + \overline{V}_B, \qquad (2.6)$$

а її значення в проекціях на осі координат

$$\begin{cases} V_A \cos\alpha = -U\cos\beta - V_B \sin\gamma; \\ V_A \sin\alpha = U\sin\beta - V_B \cos\gamma, \end{cases} \quad (2.7)$$

або

$$\begin{cases} V_B \sin\gamma = U\cos\beta + V_A \cos\alpha; \\ V_B \cos\gamma = U\sin\beta + V_A \sin\alpha. \end{cases} \quad (2.8)$$

Враховуючи, що $V_A \cos\alpha = \dot{x}$, $V_A \sin\alpha = \dot{y}$, система рівнянь (2.5) матиме вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{x} + k_П V_B \dot{x} = -k_П V_B U\cos\beta; \\ \ddot{y} - k_П V_B \dot{y} = k_П V_B U\sin\beta - g. \end{cases} \quad (2.9)$$

Таким чином, отримали задачу, розв'язок якої зводиться до вирішення системи двох неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку, враховуючи початкові умови:

$$x(0) = 0, \qquad \dot{x}(0) = V_{A_0}\cos\alpha, \qquad y(0) = 0, \qquad \dot{y}(0) = V_{A_0}\sin\alpha.$$

Розв'язок кожного з рівнянь будемо виконувати шляхом використання метод Лагранжа рівнянь у вигляді [21]:

$$x = x_{зр} + x_{чр}, \quad y = y_{зр} + y_{чр} \quad (2.10)$$

де $x_{зр} = C_1 + C_2 e^{-k_п \cdot V_{в0} \cdot t}$, $y_{зр} = C_3 - C_4 \cdot e^{k_п \cdot V_{в0} \cdot t}$ – відповідно загальні розв'язки відповідних однорідних рівнянь; C_1, C_2, C_3, C_4 – сталі інтегрування;

$x_{чр} = -U \cdot \cos\beta \cdot t \quad y_{чр} = (U \cdot \sin\beta - \frac{g}{k_п \cdot V_{в0}}) \cdot t$ – довільні часткові розв'язки неоднорідних рівнянь.

Таким чином, можемо записати розв'язок системи (2.9) у вигляді:

$$\begin{cases} x = C_1 + C_2 e^{-k_П V_{B_0} t} - U\cos\beta \cdot t; \\ y = C_3 - C_4 e^{-k_П V_{B_0} t} + \left(U\sin\beta - \dfrac{g}{k_П V_{B_0}}\right) \cdot t, \end{cases} \quad (2.11)$$

Сталі інтегрування C_1, C_2, C_3, C_4 знаходимо для початкових умов і, підставивши їх значення, одержимо закон переміщення часток зернової суміші в параметричному вигляді:

$$\begin{cases} x = \left(e^{-k_{П}V_{B_0}t} - 1\right)\left(-V_{A_0}\cos\alpha_0 - U\cos\beta\right)\Big/ k_{П}V_{B_0} - U\cos\beta\cdot t; \\ y = \left(e^{-k_{П}V_{B_0}t} - 1\right)\left(\dfrac{g}{k_{П}V_{B_0}} - U\sin\beta + V_{A_0}\sin\alpha_0\right)\Big/ k_{П}V_{B_0} + \left(U\sin\beta - \dfrac{g}{k_{П}V_{B_0}}\right)\cdot t, \end{cases} \quad (2.12)$$

де V_{A_0} та $V_{в_0}$ – відповідно значення абсолютної та відносної швидкостей надходження частки до вертикального повітряного каналу в початковий момент часу, м/с.

Значення відносної швидкості частки в початковий момент знайдемо із векторного рівняння (2.6) та відповідно теореми косинусів запишемо:

$$V_{B_0} = \sqrt{{V_{A_0}}^2 + U^2 - 2V_{A_0}U\cos(\alpha_0 + \beta)}. \quad (2.13)$$

Таким чином отримаємо абсолютне переміщення частки в повітряному потоці в проекціях на осі координат:

$$\begin{cases} x = \left(e^{-k_{П}\sqrt{{V_{A_0}}^2+U^2-2V_{A_0}U\cos(\alpha_0+\beta)}\cdot t} - 1\right)\dfrac{\left(-V_{A_0}\cos\alpha_0 - U\cos\beta\right)}{k_{П}\sqrt{{V_{A_0}}^2 + U^2 - 2V_{A_0}U\cos(\alpha_0+\beta)}} - U\cos\beta\cdot t; \\ y = \left(e^{-k_{П}\sqrt{{V_{A_0}}^2+U^2-2V_{A_0}U\cos(\alpha_0+\beta)}\cdot t} - 1\right)\times \\ \times\dfrac{\left(U\sin\beta - \dfrac{g}{k_{П}\sqrt{{V_{A_0}}^2 + U^2 - 2V_{A_0}U\cos(\alpha_0+\beta)}} - V_{A_0}\sin\alpha_0\right)}{k_{П}\sqrt{{V_{A_0}}^2 + U^2 - 2V_{A_0}U\cos(\alpha_0+\beta)}} + \\ + \left(U\sin\beta - \dfrac{g}{k_{П}\sqrt{{V_{A_0}}^2 + U^2 - 2V_{A_0}U\cos(\alpha_0+\beta)}}\right)\cdot t. \end{cases} \quad (2.14)$$

Одержана система рівнянь (2.14) представляє параметричне рівняння, що визначає траєкторії руху часток зернової суміші, які характеризуються різними аеродинамічними властивостями, при взаємодії з вертикальним повітряним потоком за різних початкових умов.

Побудуємо траєкторії руху часток зернової суміші з врахуванням рекомендованих початкових умов [14, 20]:

– значення кута введення матеріалу повинно бути більшим за кут тертя зерносуміші по матеріалу дозуючого конусу та забезпечувати раціональне значення товщини шару матеріалу в зоні подачі, відповідно $\alpha_0 = 30 - 50^\circ$, при цьому початкова швидкість введення матеріалу становитиме $V_{A_0} = 0{,}2 \ldots 0{,}5$ м/с.

– кут, під яким діє повітряний потік відносно горизонтальної площини $\beta = 50 - 80^\circ$;

– швидкість повітряного потоку встановлюється відповідно до критичної швидкості витання $V_{\text{кр}}$ матеріалу, який поступає на очищення, та становить $U = (0{,}8 \ldots 0{,}9)V_{\text{кр}}$;

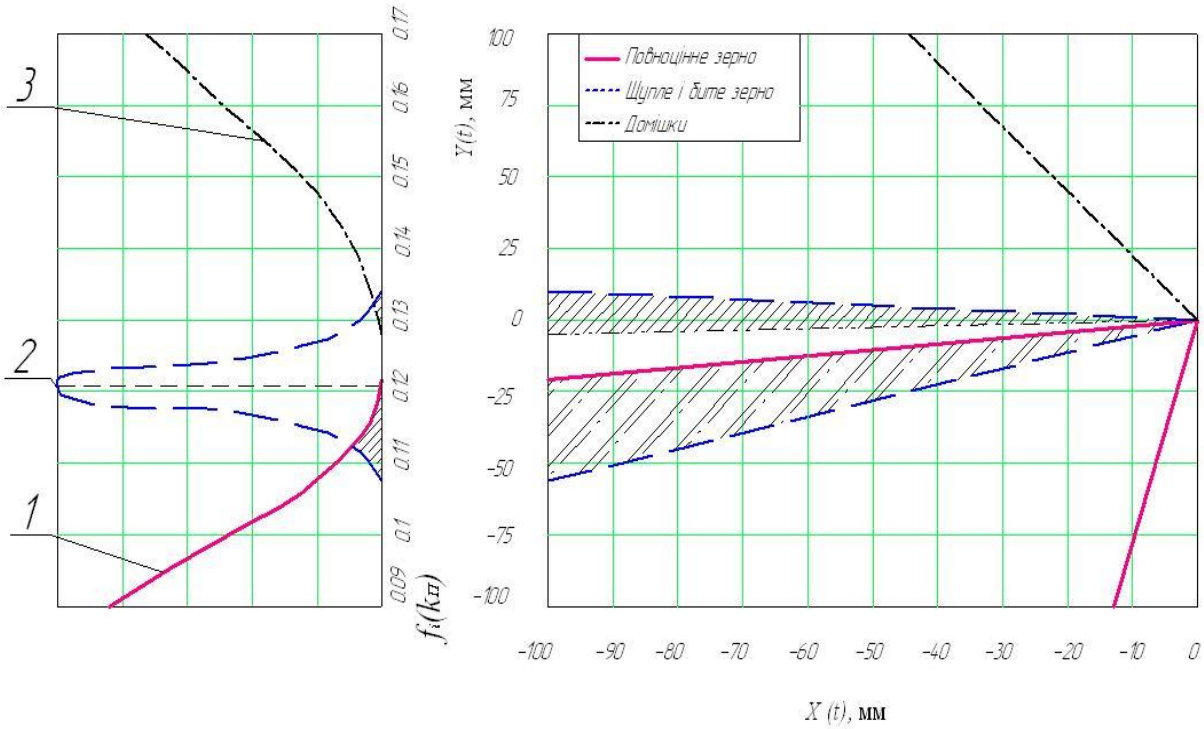
– значення коефіцієнтів парусності для фракцій зернової суміші визначається з її аеродинамічної характеристики. При цьому необхідно враховувати, що в загальній зерновій суміші частки, які характеризуються різним значенням коефіцієнта парусності $k_П$ мають нерівномірний розподіл. Встановлено [14, 20], що найвідповідніше природний розподіл параметрів випадкових величин характеризує нормальний закон (Гауса) $f_i(k_П)$

$$f_i(k_П) = \frac{1}{\sigma_{k_{П_i}}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(k_П - \bar{k}_{П_i}\right)}{2\sigma^2_{k_{П_i}}}},$$

де $i = 1,\ 2,\ 3 \ldots n$ – порядковий номер фракції при розділенні суміші.

Зважаючи на вищевикладене, для зерносуміші пшениці, яка характеризується наступними аеродинамічними властивостями:

$0,075 \le k_{П} \le 0,12$ – для повноцінного зерна основної культури; $0,11 \le k_{П} \le 0,14$ – для щуплого і битого зерна; $0,125 \le k_{П} \le 0,55$ – для домішок, побудовано графіки траєкторій руху фракцій зернової суміші (рис. 2.15), які є результатом статистичного моделювання, що полягає у багаторазовому повторенні процедури визначення траєкторій часток шляхом побудови кривих розподілу $\varphi_i(x)$ випадкових величин – дальності і висоти переміщення для різних фракцій зернового матеріалу.



1 – $f_1(k_n)$ – зерно основної культури; 2 – $f_2(k_n)$ – щупле і бите зерно; 3 – $f_3(k_n)$ – легкі домішки.

Рис. 2.15 – Результати статистичного моделювання розподілу траєкторій переміщення фракцій зернової суміші при початкових умовах ($\alpha_0 = 50^\circ$, $\beta = 80^\circ$, $U = 6$ м/с, $V_{A_0} = 0,35$ м/с)

Аналізуючи траєкторії переміщення часток приходимо до висновку, що для запропонованої моделі вертикального повітряного каналу існує висока ймовірність виділення легких домішок із зернової суміші, при цьому до 5% легкої фракції при наведених початкових умовах не зможе винестись

повітряним потоком догори. Траєкторії руху проміжної фракції характеризуються частковим збігом з траєкторіями переміщення повноцінного зерна та легких домішок. Таким чином, змінюючи початкові умови шляхом виконання відповідних параметричних змін та регулювань системи, можемо задавати необхідну якість процесу повітряного очищення від легких домішок.

Висновки по розділу

Проведений аналіз сучасного стану питання очищення зернових сумішей показує, що існуючі конструкції зерноочисних машин забезпечують необхідну якість очищення зерна, але підвищення продуктивності процесу очищення в даних машинах пов’язано із збільшенням конструктивних розмірів і енергетичних затрат, що призводить до неефективного використання їх і, як наслідок, до збільшення собівартості вирощування сільськогосподарських культур.

Зважаючи на це, обґрунтовано конструкцію пневмо-гравітаційного сепаратора, що дозволить з мінімальним витратами енергії забезпечити очищення зернових сумішей від легких, крупних та дрібних домішок.

З метою визначення ефективності роботи запропонованої зерноочисної машини було виконано аналітичні дослідження якості роботи аспіраційного модулю. Результати дослідження дозволили встановити, що необхідну якість процесу повітряного очищення від легких домішок можливо забезпечити шляхом забезпечення відповідних параметрів повітряного каналу та режиму його роботи.

3. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок параметрів аспіраційної системи

Зважаючи на результати наукових досліджень та з метою забезпечення необхідної ефективності розділення зернової суміші за аеродинамічними властивостями, визначимо параметри та режим роботи повітряної системи пневмо-гравітаційного сепаратора.

Розрахунки проводимо для вертикального пневматичного каналу продуктивністю 12 т/год, при цьому питоме навантаження на одиницю ширини каналу q_B = 2150 кг/дм·год [14] при проведенні первинного очищення зерна. Відповідно агротехнічним вимогам до первинного очищення сепаратор повинен забезпечувати ефект очистки ε не менше 60% від легких домішок, чіткість сепарації не повинна перевищувати 2 %.

Встановимо глибину каналу $C_{заг}$ (рис. 3.1) відповідно рекомендацій [2, 3] згідно емпіричної залежності, враховуючи умови забезпечення заданої якості:

$$C_{заг} = \frac{q + 1350 \cdot \varepsilon - 1135}{22,7 - 27 \cdot \varepsilon} = \frac{2150 + 1350 \cdot 0,6 - 1135}{22,7 - 27 \cdot 0,6} = 280 \text{ мм.}$$

Зважаючи на те, що для кільцевого перерізу при розгортанні проекції будемо мати дві протилежно розміщених глибини каналу, та зважаючи на варіативність фізико-механічних властивостей зерносуміші, значення кожної встановимо C=150мм.

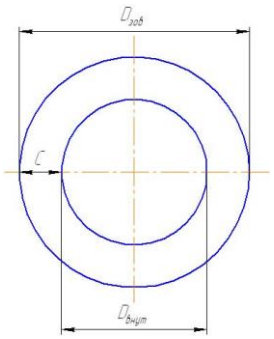


Рис. 3.1 – Визначення розміру повітряного каналу кільцевого перерізу.

Розрахункова ширина пневмоканалу B_{min} матиме значення відповідно до оптимального питомого навантаження q_B для заданої продуктивності Q = 12 т/год.

$$B_{min} = \frac{Q}{q} = \frac{12000}{2150} = 5,5 \text{ дм} = 550 \text{ мм}.$$

Конструктивно фактична ширина каналу становить $B_{факт}$ = 600 мм, тому проведемо перерахунок внутрішнього діаметра пневмоканалу:

$$D_{вн} = 2 \cdot R = \frac{2 \cdot B_{факт}}{\pi} = \frac{2 \cdot 600}{3,14} = 382,2 \text{ мм}.$$

З рахуванням глибини каналу, зовнішній діаметр пневмоканалу становитиме (рис. 3.1):

$$D_{зов} = D_{вн} + 2C = 382 + 2 \cdot 150 = 682 \text{ мм}$$

Як доводять автори [2, 3], висота каналу має досить суттєвий вплив на якість сепарації – збільшення висоти каналу до 150 дм сприяє підвищенню ефективності сепарації і, відповідно, її зменшення призводить до втрати якості очищення. Таким чином, висота пневмоканалу приймається H=1500мм з конструктивних міркувань з врахуванням відповідних рекомендацій.

Рекомендована швидкість подачі зернового матеріалу до пневмосепаруючого каналу становить 0,35 м/с [2].

Встановимо необхідний об’єм повітря в пневмоканалі кільцевого перерізу згідно залежності [2, 3]:

$$V = 3,6 \cdot 10^2 \cdot S_к \cdot U$$

де $S_к = \pi R_{зов}^2 - \pi R_{вн}^2$ – площа поперечного перерізу каналу в місці сепарації;

$R_{зов}$, $R_{вн}$ – відповідно зовнішній та внутрішній радіуси пневмоканалу в місці сепарації;

U – необхідна швидкість повітряного потоку в місці сепарації, U =6 м/с.

Таким чином витрати повітря у пневмоканалі становлять:

$$V = 3,6 \cdot 10^2 \cdot 3,14 \cdot (0,341^2 - 0,1911^2) \cdot 6 = 5410 \text{ м}^3/\text{год}$$

Запропонований пневматичний блок відноситься до аеросепараторів з інтенсивним пиловиділенням, тому доцільно для очищення повітря від пилу використати інерційний пиловідокремлювач жалюзійного типу, який має найвищу ефективність очищення на рівні 73…94% при швидкостях повітряного потоку на вході $U_{вх}$ = 15…25 м/с. Для розрахунків приймемо швидкість повітряного потоку на вході до пилоочисника $U_{вх}$ = 20 м/с, при цьому аеродинамічний опір інерційного пиловідокремлювача становитиме:

$$N_{пил} = \xi_n \cdot \frac{\rho \cdot U_{вх}^{\ 2}}{2 \cdot g} = 0,123 \cdot U_{вх}^{\ 2} = 0,123 \cdot 20 = 49,2 \text{ кг/м}^2$$

де ξ_n – коефіцієнт, що характеризує опір інерційного пиловідокремлювача жалюзійного типу ξ_n = 2; ρ – щільність повітря, ρ =1,2 кг/м^3.

Відповідно розмірного ряду [3] встановимо модель пиловідокремлювача, враховуючи необхідний діаметр вхідного отвору:

$$D = 1,13\sqrt{\frac{V_{пил}}{U_{вх}}} = 1,13\sqrt{\frac{1,74}{20}} = 0,33 \text{ м}.$$

де $V_{пил}$ – секундна продуктивність пиловідокремлювача, м^3/с.

Приймаємо інерційний пиловідокремлювач жалюзійного типу ІП–6-335, що характеризується наступними параметрами [3]:

- діаметр вхідного отвору: $D_1 = 335$ мм;
- діаметр вихідного отвору: $d_1 = 335$ мм;
- кількість кілець: $z = 65$;
- діаметр більшого фланця: $D_2 = 397$ мм;

- діаметр меншого фланця: $D_3 = 137$ мм;
- довжина пилоочисника: $L = 1042$ мм;
- номер кілець: $n = 12...76$.

Загальні втрати тиску ΔN_1 пневмосистемою зерноочисної машини складуть [3]:

$$\Delta N_1 = N_{м.о.} + N_{мат} + N_{підйом}$$

де $N_{м.о.}$ – втрати тиску, пов'язані з тертям об стінки пневмоканалу та з подоланням місцевих опорів (зміна напрямку руху та перерізу каналу), кг/м^2;

$N_{мат}$ – втрати тиску, що пов'язані з опором зернового матеріалу, кг/м^2;

$N_{підйом}$ – втрати тиску на підйом матеріалу у вертикальній частині каналу, кг/м^2.

Втрати тиску на подолання місцевих опорів і тертя визначимо як:

$$N_{м.о.} = \left(\lambda \cdot \frac{H}{S_e} + \sum \xi \right) \cdot \rho \cdot \frac{U^2}{2 \cdot g} = \left(0,014 \cdot \frac{1,5}{0,722} + 1,2 \right) \cdot 1,2 \cdot \frac{6^2}{2 \cdot 9,81} = 2,7 \text{ кг / м}^2$$

де H – висота каналу, H = 1,5 м;

S_e – еквівалентний переріз пневмоканалу, S_e = 0,722 м;

ξ – коефіцієнт місцевого опору, який приймається ξ = 1,2;

λ – коефіцієнт опору тертя, який згідно формули Блесса наближено становить:

$$\lambda = 0,0125 + \frac{0,0011}{S_e} = 0,0125 + \frac{0,0011}{0,722} = 0,014.$$

Втрати тиску на опір зернового матеріалу повітрю складають:

$$N_{мат} = N_{м.о.} \cdot (1 + K_0 \cdot \mu)$$

де K_0 – емпіричний коефіцієнт, що характеризує вид зерносуміші та тип повітряного каналу, K_0 = 0,75 [3];

μ – коефіцієнт, що визначає вплив концентрації суміші і характеризується відношенням маси матеріалу до маси повітря за одиницю часу:

$$\mu = \frac{G_{мат}}{G_{пов}} = \frac{12000}{6492} = 1,8$$

де $G_{мат}$ і $G_{пов}$ – відповідно подача зерносуміші по периметру каналу та повітря, кг/год.

Подачу повітря встановимо як:

$$G_в = V \cdot \rho = 5410 \cdot 1,2 = 6492 \text{ кг/год}$$

Таким чином, втрати тиску на подолання опору зерносуміші становить:

$$N_{мат} = 2,7 \cdot (1 + 0,75 \cdot 1,8) = 6,3 \text{кг} / \text{м}^2$$

Втрати тиску на підйом матеріалу у вертикальній частині каналу

$$N_{підйом} = \rho \cdot g \cdot H \cdot \mu_1 \cdot \sin\alpha = 1,2 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot 0,11 \cdot \sin 75^0 = 1,8 \text{ кг/м}^2,$$

де α – кут нахилу трубопроводу до горизонту, $\alpha = 75^0$;

μ_1 – коефіцієнт, що характеризує концентрацію легкої фракції:

$$\mu_1 = \frac{G_{лег}}{G_{пов}} = \frac{720}{6492} = 0,11;$$

$$G_{лег} = G_{мат} \cdot \chi \cdot \varepsilon = 12000 \cdot 0,1 \cdot 0,6 = 720 \text{ кг/год},$$

χ – відсоток легкого компоненту в зерносуміші.

Отже втрати повного тиску повітряного модуля становитимуть

$$\Delta N_1 = 2,7 + 6,3 + 1,8 = 10,8 \text{ кг} / \text{м}^2 .$$

З врахуванням опору пилоочисника загальні втрати тиску аспіраційною системою складуть:

$$P = \Delta N_1 + N_{пил} = 10,8 + 49,2 = 60,0 \text{ кг/м}^2.$$

Відповідно до виконаних розрахунків за значеннями витрати повітря і втрат повного тиску системою вибираємо вентилятор серії ВРН №7, що має

діаметр колеса D = 700 мм, частоту обертання колеса n = 1200 об/хв та значення об'ємного коефіцієнта корисної дії $\eta \approx 65\%$.

Для вибраного вентилятора визначимо необхідну потужність приводу [22]:

$$N = \frac{V \cdot P}{3600 \cdot 102 \cdot \eta} = \frac{5410 \cdot 60}{3600 \cdot 102 \cdot 0,65} = 1,36 \text{ кВт.}$$

Приймаємо електродвигун асинхронний AIS 90 L4, потужністю 1,5 кВт з частотою обертання n = 1500 (1410) об/хв, $T_{\text{пуск}}$/ $T_{\text{ном}}$ = 2,2; $T_{макс}/T_{ном}$ = 2,4; *ККД* = 77,2%; $cos\ \varphi$ = 0,80.

3.2. Розрахунок параметрів решітної системи

Для запропонованого пневмо-гравітаційного сепаратора запропоновано використати пруткові решета, для яких необхідно визначити відповідні конструктивні параметри. Однією з основних характеристик пруткових решіт є діаметр прутка, який визначається з умови можливого защемлення часток у міжпрутковому просторі.

Аналіз умов переміщення часток суміші по прутковій поверхні решета показує, що при русі в проміжку між двох прутків круглого перерізу частки, близькі за розмірами до ширини робочих каналів, внаслідок дії сил інерції можуть защемлюватись за рахунок зростання величини сил реакції прутків на частку (рис.3.2). При цьому, значення сили реакції тим більше, чим більш наближенні розмірні характеристики часток до робочої ширини отвору між прутками. Таким чином, вірогідна можливість защемлення деяких часток зерносуміші у міжпрутковому просторі, що призведе до зниження економічної ефективності роботи решітного модуля сепаратора.

Виключити ймовірність защемлення зернових часток сходової фракції можливо шляхом зменшення ширини робочих каналів

пруткового решета до відповідного розміру Δ, за якого сила реакції N, що діє з боку прутків діаметром $d_{пр}$ на частки найменшого розміру фракції зерносуміші d_e, не досягне критичної величини.

Розглянувши систему сил, що діють на частку при її переміщенні між двох прутків (рис.3.2), запишемо умову защемлення у вигляді:

$$mg\sin\alpha \geq 2N\sin\beta + 2fN\sin\beta$$

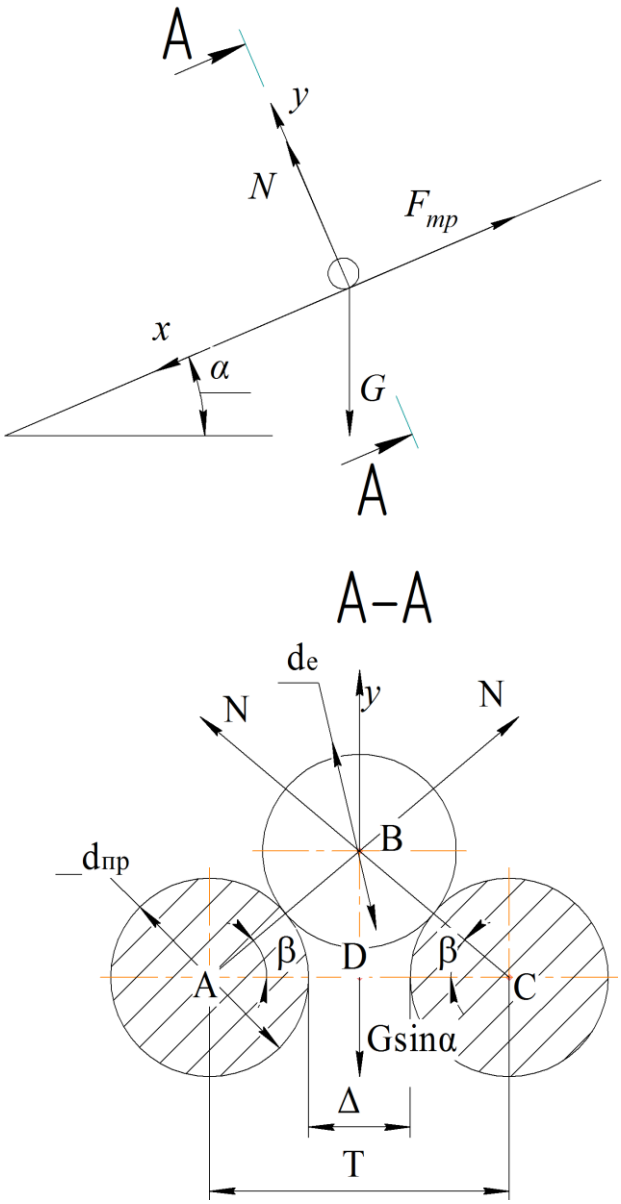


Рис.3.2 – Схема до обґрунтування поперечного перерізу пруткового решета

де N – нормальна сила дії прутків на частку, Н;

β – кут, що характеризує положення частки в каналі між прутками, град;

Бачимо, що кут положення частки β залежить від розмірних характеристик частки d_e, діаметра прутків $d_{пр}$, та ширини каналу між ними Δ.

Розглянувши геометричний трикутник АВС, матимемо наступне значення кута положення частки

$$\beta = \arccos \frac{d_{пр} + \Delta}{d_{пр} + d_e}$$

З урахуванням цього запишемо умову защемлення в наступному вигляді:

$$N \geq \frac{mg \sin \alpha}{2(1+f)\sin\left(\arccos \frac{d_{пр} + \Delta}{d_{пр} + d_e}\right)}$$

Отриманий вираз дозволяє визначити ширину робочого проміжку Δ та діаметри прутків $d_{пр}$ решета комбінованого сепаратора, що забезпечать виконання умови незащемлення часток відповідного розміру сходових фракцій при різних параметричних характеристиках решета.

Аналіз умов роботи пруткових решіт дозволив виявити, що защемлення часток зерносуміші можливе лише при переміщенні по поверхні підсівного решета. Виконаємо побудову графіка залежності сили затиснення N від діаметра прутків $d_{пр}$ для зерносуміші пшениці при переміщенні по підсівному решету (рис.3.3). Ширину робочого проміжку Δ встановимо згідно рекомендацій 2 мм [15, 16].

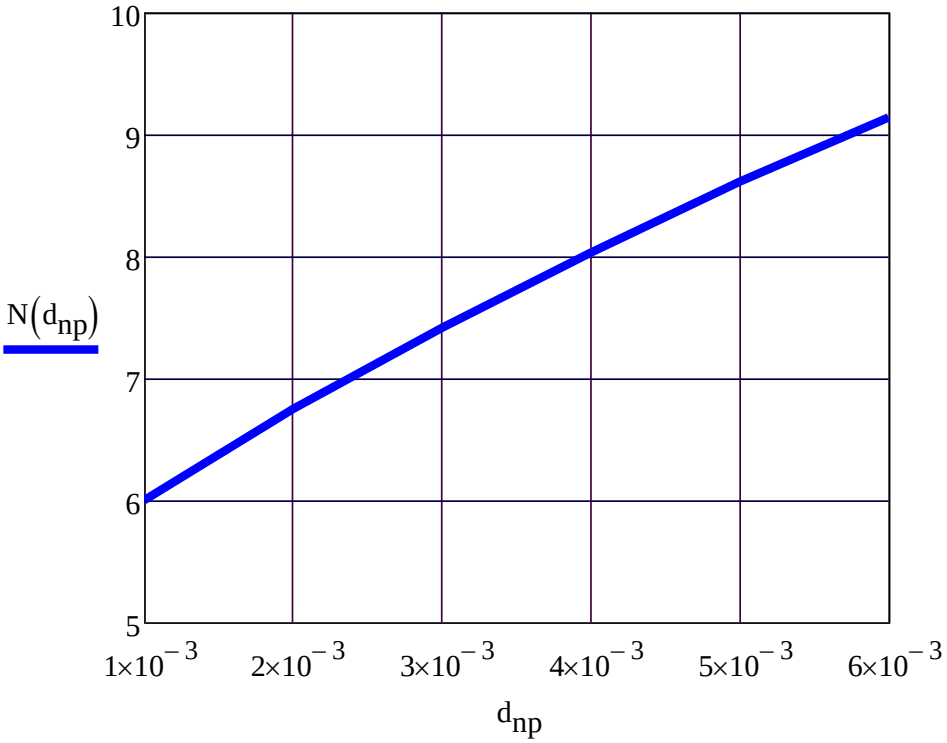


Рис. 3.3 – Графік, що характеризує залежність сили защемлення *N* від діаметра прутків решета для зерносуміші пшениці на підсівному решеті.

Характер кривої залежності $N=f(d_{пр})$ (рис.3.3) демонструє, що при збільшені діаметра прутків спостерігається зростання сили защемлення. Вказане явище можна пояснити тим, що при цьому значення кута защемлення наближається до критичного значення, коли $\beta \rightarrow \beta_{кр} \approx 0$. Відповідно дослідних даних, сила защемлення не повинна перевищувати 8,5Н [15, 16]. З іншого боку, чим менше діаметр прутків, тим менше конструктивна міцність решета. Тому значення діаметр прутків решета приймаємо з умови забезпечення мінімально можливого защемлення часток при забезпеченні необхідно жорсткості конструкції, а саме $d_{пр} = 4$ мм.

Висновки по розділу

Відповідно до проведеного обґрунтування вдосконалення зерноочисної машини гравітаційного типу було розраховано конструктивні параметри пневматичного та решітного модуля.

Зокрема визначено параметри вертикального пневмоканалу, а саме ширину, глибину і висоту, що дозволить зменшити масо-габаритні параметри машини, а отже зменшити матеріалоємність.

Обґрунтування параметрів пруткових решіт гравітаційного сепаратора з метою усунення забивання останніх дозволить скоротити витрати часу на обслуговування ЗОМ та зменшити енергетичні витрати на очищення решіт.

Виконано енергетичні розрахунки пневмосистеми аспіраційного модуля та пилоочисника, а також інших складових, що входять до конструкції машини, що дозволило вибрати механізм приводу робочих органів.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних явищ при експлуатації сепаратора.

Для захисту працівників від пилу застосовувати вентиляцію. Якщо вентиляція не забезпечує комфортних умов слід користуватись засобами індивідуального захисту: спецодягом, окулярами, респіраторами.

Для захисту від шуму органів слуху застосовувати протишумні навушники з захистом від виробничого шуму до 110 децибел. Щоб знизити шкідливу дію шуму і вібрацій на людей необхідно передбачити організаційно-технічні заходи:

- чергування часу роботи і відпочинку, медичне обстеження;
- періодичні експлуатаційні перевірки рівня вібрацій;
- своєчасні планові і запобіжні ремонти машин.

При роботі з токсичними речовинами необхідно користуватись спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

Кольорове оформлення і фарбування пневмо-гравітаційного сепаратора відповідає наступним вимогам:

– загальний фон кольору відрізняється від загального фону, на якому він експлуатується (колір приміщення);

– зовнішні поверхні сепаратора, які в процесі експлуатації знаходяться в полі зору, покриті фарбою з матовою фактурою, яка виключає можливість появи відблисків на робочому місці;

– кольори поверхні панелей пульта керування, які постійно знаходяться в полі зору оператора виконані контрастними до загального кольорового фону сепаратора і приміщення.

Компоновка пневмо-гравітаційного сепаратора в цілому, приводних пристроїв і їх складальних одиниць за зручністю доступу, безпеці під час

монтажу, експлуатації, технічному обслуговуванню і ремонту відповідають ДСТУ 7597:2014 [26].

Робочі органи, які в процесі роботи можуть забиватися технологічними матеріалами легкодоступні для очищення. Розташування пристроїв для змащення забезпечує зручний, безпечний доступ до них. У важкодоступних місцях застосовано одноразове змащування.

Пневмо-гравітаційний сепаратор обладнаний системою передпускової сигналізації. Вимоги електробезпеки відповідають ДСТУ 7237:2011 і ДСТУ IEC 61140:2005. Виконання електропривода і електрообладнання машини виконано з урахуванням мікроклімату приміщення. Електропривод і електрообладнання відповідає Правилам улаштування електроустановок (ПУЕ) і Правилам технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС). В електричній схемі машини передбачений захист від перевантаження.

Для захисту людини від враження електричним струмом у випадку виходу із ладу робочої ізоляції виконано захисне вимикання і заземлення.

Огородження механізмів, які вимагають щозмінних оглядів, налагодження і ремонту, приєднані до нерухомих частин машини петлями, мають надійну фіксацію у відкритому положенні. Зусилля для відкривання вручну не перевищує 60 Н. Огородження небезпечних робочих органів і механізмів машини мають блокування, яке виключає роботу приводу при відкритих робочих органах.

Попереджувальна сигналізація зблокована з системою запуску машини так, що довжина звукового сигналу складає 15 с, після чого сигналізація автоматично відключається. В разі використання засобів екстреної зупинки повторне вмикання в роботу можливе лише після приведення даної екстреної зупинки в початкове положення.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В процесі модернізації зерноочисної машини гравітаційного типу в її конструкцію були внесенні зміни – запропоновано додати повітряний модуль турбінного типу для видалення легких домішок.

Ці зміни дозволили підвищити функціональність та ефективність сепарації за рахунок очищення зернового матеріалу в одній машині від легких, крупних і дрібних домішок. Крім того, за рахунок попереднього видалення легких домішок зменшилось питоме навантаження на систему решіт, що дозволяє підвищити продуктивність з 10 до 12 т/год. Проведені теоретичні дослідження системи аспірації та виконані інженерні розрахунки модернізованої ЗОМ дозволили зменшити габарити пневмо-гравітаційного сепаратора і, відповідно, матеріалоємність, скоротити витрати часу на усунення поломок та деформацій на 4 хвилин та на очищення пилоочисника на 2 хвилин у робочу зміну.

Вихідні дані для визначення техніко-економічного рівня та економічної ефективності модернізованої машини наведені в таблиці 5.1, методика наведена в додатку А.

Оцінка економічної ефективності розробок показала, що модернізована машина має кращий техніко-економічний рівень в порівнянні з базовою. Ціна модернізованої машини збільшилася, за рахунок, з одного боку, збільшення продуктивності та, з іншого, маси машини, при цьому, за розрахунками, її впровадження у виробництво очікуваний річний економічний ефект виробника може скласти 18254,78 грн. на одну машину в рік при середньорічній програмі випуску 200 машин. Таким чином, доцільно приведені у випускній роботі розробки рекомендувати до впровадження у виробництво.

Таблиця 5.1.

Техніко-економічний рівень базової та модернізованої машин

№ п/п	Показники	Умовні позн.	Один. вимір	Зерноочисна машина	
				базова	модернізована
1.	Агрегатування			стаціонарна	
2.	Кількість машин		шт	1	1
3.	Оптова ціна машини	$Ц_{оп}$	грн	158870	198587
4.	Собівартість виготовлення машини	С	грн.	123240	142894
5.	Вартість покупних виробів собівартості машини	$Ц_{п}$	грн.	64650	68764
6.	Маса машини	М	кг	406	522
7.	Маса покупних виробів	$М_{п}$	кг	127	169
8.	Потужність електродвигуна	N	кВт	-	3,0
9.	Продуктивність машини за одну годину чистого часу	Q	т/год	8	12
10.	Коефіцієнт використання часу зміни: робочого експлуатаційного	 $К_{вр}$ $К_{ек}$		 0,80 0,72	 0,83 0,75
11.	Кількість обслуговуючого персоналу	$Р_{об}$, чол		1	1
12.	Кількість деталей в машині	$Н_{З}$	шт.	472	583
13.	Кількість найменувань деталей в машині всього в т. ч.: оригінальних стандартних	 $Д_{з}$ $Д_{ор}$ $Д_{ст}$	 шт. шт. шт.	 208 125 83	 242 146 96
14.	Кількість найменувань деталей, які розроблені в процесі модернізації	$Н_{ор}$	шт.		27
15.	Середньорічна програма випуску	$Н_{ст}$	шт		200

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовано найбільш поширені способи і методи очищення зернових сумішей. Встановлено, що найбільш універсальними є методи розділення за розмірами на решітних поверхнях та аеродинамічними властивостями повітряним потоком. Існуючі зерноочисні машини загального призначення мають відносно великі масо-габаритні характеристики та енергонасиченість.

В той же час, існує клас решітних зерноочисних машин гравітаційного типу, що мають низьку енергоємність і в яких реалізовано принцип самопливного (гравітаційного) переміщення зернового матеріалу по нерухомо закріплених решетах. З метою підвищення якості очищення та функціональності машин даного типу запропоновано застосувати попереднє очищення зернової суміші повітряним потоком шляхом об'єднання решітного модуля з повітряним модулем турбінного типу. Крім того, запропоновано поверхню решіт виконати прутковою, що дозволить покращити ефективність просіювання та зменшити загальні габарити машини.

Зважаючи на це, обґрунтовано конструкцію пневмо-гравітаційного сепаратора, що дозволить з мінімальним витратами енергії забезпечити очищення зернових сумішей від легких, крупних та дрібних домішок.

З метою визначення ефективності роботи запропонованої зерноочисної машини було виконано аналітичні дослідження якості роботи аспіраційного модулю. Одержано систему рівнянь у вигляді параметричного рівняння, що визначає траєкторії руху часток зернової суміші, які характеризуються різними аеродинамічними властивостями, при взаємодії з вертикальним повітряним потоком за різних початкових умов. Проведено побудову траєкторій руху часток зернової суміші з врахуванням рекомендованих початкових умов. Аналізуючи траєкторії

переміщення часток прийшли до висновку, що для запропонованої моделі вертикального повітряного каналу існує висока ймовірність виділення легких домішок із зернової суміші, при цьому до 5% легкої фракції при наведених початкових умовах не зможе винестись повітряним потоком догори. Траєкторії руху проміжної фракції характеризуються частковим збігом з траєкторіями переміщення повноцінного зерна та легких домішок. Отже, змінюючи початкові умови шляхом виконання відповідних параметричних змін та регулювань системи, можемо задавати необхідну якість процесу повітряного очищення від легких домішок.

Таким чином, результати дослідження дозволили встановити, що необхідну якість процесу повітряного очищення від легких домішок можливо забезпечити шляхом забезпечення відповідних параметрів повітряного каналу та режиму його роботи.

У розділі з охорони праці наведено заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних явищ при експлуатації пневмо-гравітаційного сепаратора.

Оцінка економічної ефективності розробок показала, що модернізована машина має кращий техніко-економічний рівень в порівнянні з базовою. Ціна модернізованої машини збільшилася, за рахунок, з одного боку, збільшення продуктивності та, з іншого, маси машини, при цьому, за розрахунками, її впровадження у виробництво очікуваний річний економічний ефект виробника може скласти 18254,78 грн. на одну машину в рік при середньорічній програмі випуску 200 машин. Таким чином, доцільно приведені у випускній роботі розробки рекомендувати до впровадження у виробництво.

Список використаної літератури

1. Машини і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна / А.С. Кобець, Ю.О. Чурсінов, С.А. Черних, М.П. Сабадаш, Н.В. Грекова, В.П. Канунніков – Дніпропетровськ: ДДАУ, 2013. – 766 с.
2. Підручник дослідника : навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. - Кіровоград : Мачулін, 2016. - 204 с. URL: http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/2898.
3. 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.
4. Nesterenko, A.V., Leshchenko, S.M., Vasylkovskyi, O.M., Petrenko, D.I. Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding, 2017, INMATEH - Agricultural Engineering, 53(3), pp. 65-70. URL: http://www.inmateh.eu/INMATEH_3_2017/INMATEH-Agricultural_Engineering_53_2017.pdf.
5. Обґрунтування параметрів відцентрово-пневматичного сепаратора зерна [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Петренко Дмитро Іванович ; Кіровогр. нац. техн. ун-т. - Кіровоград, 2011. - 20 с.
6. Каталог продукції «Оріхівський Завод Сільгоспмашин». Очисники вороху ОВС-25. URL: https://orihiv-agro.com.ua/.
7. Каталог продукції АТ «Хорольський механічний завод». Сепаратори повітряні. URL: https://mehzavod.com.ua/ua/.
8. Каталог продукції фірми PETKUS. Сортування. URL: https://petkus.com.ua/.
9. Каталог продукції компанії «Olis». Зерноочисне обладнання. URL: https://www.olis.com.ua/.

10. Каталог продукції фірми Kongskilde. Dual Cleaners – KDC PLUS. URL: https://kongskilde-industries.com/grain/usa/product/dual-cleaners-kdc-plus/.
11. Стаценко Д.І. Куянов Ю.Ю., Кошулько В.С., Олексієнко В.О., Сепарування зернових сумішей з використанням сил гравітації / Збірник наукових праць магістрантів та студентів. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. С. 69-70.
12. Голячук С.Є. Сепарування зернових мас з використанням сил гравітації / С.Є. Голячук // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2012. Випуск №39. С. 27-33.
13. Вдосконалення технологічного процесу очищення зерна зерноочисними машинами загального призначення. – Механізація і автоматизація технологічних процесів у молочному скотарстві. – Агроінженерні дослідження / М.І. Васильковський, І.М. Осипов, О.М. Васильковський, С.М. Мороз // Вісник ЛДАУ №3 – Львів, 1999. – с. 102-107.
14. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки : навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. – Харків. 2019. – 164 с. : іл. URL: http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10486.
15. Мороз С.М., Васильковський М.І., Васильковський О.М. Обґрунтування діаметрів стержнів пруткового решета. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. 2004. Вип. 14. С. 72-78.
16. До створення концепції «ідеального» решета зернового сепаратора. / Васильковський О.М., Лещенко С.М., Мороз С.М., Нестеренко О.В Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. 2020. Вип. 50. С. 52-58.
17. Аспіратори попереднього очищення KF: каталог продукції Kongskilde.- URL: https://kongskilde-industries.com/grain/usa/product/aspirators-kf/.
18. Електронний каталог фірми Schule. URL: https://www.schulefood.com/en/machines/sorting-separating-detail/aspiration-channel/.

19. Аспіратор Pulco: Каталог продукції DAMAS. URL: https://www.tornum.com/sv/product/damas-pulco/.
20. Лещенко С.М. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючої системи інерційного прямоточного сепаратора зерна : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 „Машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва” / С. М. Лещенко. – Кіровоград, 2010. – 21 с.
21. М.І. Карбованець, В.Ю. Лазур, Є.А. Нодь. Теоретична механіка. Частина І. Метод Лагранжа: навчальний посібник. – Ужгород: Видавництво УжНУ "Говерла", 2019. – 82 с.
22. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. – 2-е вид., перероб. – Львів: Афіша, 2003. – 560 с.
23. Гігієнічна класифікація праці. Гігієнічні нормативи ГН 3.3.5-8-6.6.1. Київ. 2002 р.
24. Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів. URL: http://g-o.org.ua/index.php?dn=article&to=art&id=58.
25. 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.
26. ДСТУ 7597:2014 Техніка сільськогосподарська. Правила приймання на випробування.
27. Ільчук М.М., Зрібняк Л.Я., Мельник С.І. Організація і планування сільськогосподарського виробництва: Підручник - К.: Вища освіта, 2013. – 535 с.
28. Нелеп В. М. Планування на аграрному підприємстві: Підручник. – 2-ге вид., перероб. та доп. — К.: КНЕУ, 2004. — 495 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Визначення показника техніко-економічного рівня модернізованої машини

Визначаємо коефіцієнт уніфікації

$$Кд=\frac{Д_З - Д_{ор}}{Д_З}$$

де $Д_З$ – загальна кількість найменувань деталей у машині за винятком метизів;

$Д_{ор}$ – кількість найменувань оригінальних деталей.

$$К_{уб}=\frac{208-125}{208}=0,38 \qquad К_{ум}=\frac{242-146}{242}=0,4$$

Відносний показник рівня уніфікації конструкції

$$Вку=Кум/Куб=0,4/0,38=1,05$$

Коефіцієнт стандартизації продукції

$$Кст = Дст/Д_З;$$

де Дст – кількість найменувань стандартних деталей в машині

Кстб=83/208=0,38 Кстм=96/242=0,39

Відносний показний рівня стандартизації конструкції

$$Вст=Кстм/Кстб=0,39/0,38=1,02$$

Коефіцієнт конструктивної повторюваності

$$Ккп=Н_З/Д_З$$

де $Н_З$ – загальна кількість деталей в машині,

Ккпб=472/208=2,27 Ккпм=583/242=2,4

Відносний показник рівня конструктивної повторюваності:

$$Внп=Ккпм/Ккпб=2,4/2,27=1,06$$

Собівартість модернізованої машини

$$См=\frac{Сб - Цпб}{Мб - Мпб}\cdot(Мм - Мпм) + Цпм,$$

де Сб – собівартість виготовлення базової машини;

Цпб та Цпм – ціна покупних виробів у собівартості базової модернізованої машини;

Мб та Мм – маса базової та модернізованої машини;

Мпб та Мпм – маса покупних виробів базової та модернізованої машини;

$$\text{См}=\frac{123240-64650}{406-127}\cdot(522-169)+68764=142894 \text{ грн.}$$

Продуктивність машини за 1 годину експлуатаційного та змінного часу:

$$\text{Пек}=\text{По}\cdot\text{Кек}$$

$$\text{Пзм}=\text{По}\cdot\text{Кер}$$

де По – продуктивність машини за 1 годину основного часу,

Коефіцієнт використання робочого та експлуатаційного часу зміни для модернізованої машини

$$\text{К}_{\text{врм}}=\frac{8,0+\frac{20}{60}}{10}=0,83 \qquad \text{К}_{\text{екм}}=\frac{7,2+\frac{20}{60}}{10}=0,75$$

Продуктивність машини за 1 годину робочого та експлуатаційного часу

Пек.б=8·0,72=5,76 т/год Пек.м=12·0,75=9,0 т/год

Пзм.б=8·0,8=6,4 т/год Пзм.м=12·0,83=9,96 т/год

Питома собівартість машини

$$\text{Сп}=\text{С}/\text{Пек}$$

де С – собівартість машини.

Спб=123240/5,76=21396 грн/т/год Спм=142894/9,0=15877 грн/т/год

Відносний показник рівня питомої собівартості

$$\text{Всп}=\text{Спб}/\text{Спм}=21396/15877=1,35$$

Питома матеріаломісткість машини

$$\text{Мп}=\text{М}/\text{Пек};$$

де М – маса “сухої”, тобто незавантаженої машини;

Мпб=406/5,76 =70,5 кг/т/год Мпм=522/9,0=58 кг/т/год.

Відносний показник рівня питомої матеріалоємкості:

$$Вмп = Мпб/Мпм=70,5/58=1,22$$

Узагальнений показник техніко-економічного рівня модернізованої машини

$$Утр=\sum_{i}^{m} ai \cdot \beta_{gi}$$

де β_{gi} – величина і-го відносного показника техніко-економічного рівня;

М – кількість відносних показників, що прийняті до розрахунків;

аі – коефіцієнт вагомості і-го відносного показника техніко-економічного рівня;

$$Утр=1,05\cdot0,1+1,02\cdot0,05+1,06\cdot0,05+1,35\cdot0,45+1,22\cdot0,35=1,24$$

Якщо величина узагальненого показника більше одиниці, то це свідчить про те, що внесені конструктивні зміни підвищують техніко-економічний рівень базової машини та її конкурентоспроможність.

Визначення економічної ефективності модернізованої машини.

Визначення витрат на проектування та освоєння виробництва модернізованої машини:

$$Вп=Нор\cdot Ткон\cdot Зсг\cdot(1+ Вс/100) \cdot(1+Псв/100)$$

де Нор – кількість найменувань оригінальних деталей, які розроблюються в процесі модернізації.

Ткон – сумарна трудомісткість розробки конструкторської документації, яка припадає на одне найменування оригінальної деталі (90-140 годин);

Зсг – середньогодинна заробітна плата конструкторів;

Вс – відрахування на соціальне страхування та в спеціальні фонди;

Псв – процент посередніх витрат (200-300%).

$$Вп=27\cdot100\cdot78,12\cdot(1+38/100) \cdot(1+200/100)=873225,3 грн$$

Витрати на розробку технології виготовлення модернізованої машини:

$$Вт=Нор\cdot Тт\cdot Зсг\cdot(1\cdot Вс/100)\cdot(1+Псв/100),$$

де Тт – сумарна трудомісткість розробки технологічної документації, яка припадає на одне найменування оригінальної деталі (60-80 год),

$$Вт=27\cdot 60\cdot 76,6\cdot(1+38/100)\cdot(1+200/100)=513740,8 \text{ грн.}$$

Витрати на виготовлення технологічного оснащення, необхідного для виробництва модернізованої машини.

$$Восн=Нор\cdot\sum_{-1}^{k} Ктос(і)\times Ккм(і)\times Цос(і),$$

де k – кількість груп оснащення;

Ктос(і) – коефіцієнт технологічного оснащення, по і-й групі оснщення;

Ккм(і) – кількість комплектів і-ої групи оснащення;

Цос(і) – ціна одиниці оснащення і-ої групи

$$Восн=27\cdot(0,35\cdot 2\cdot 3800+0,62\cdot 2\cdot 3500+0,8\cdot 3\cdot 90+0,1\cdot 3\cdot 35)=195116,7 \text{ грн}$$

Витрати на виготовлення дослідного зразка

$$Уз=(1,2\div 1,3)\cdot См=1,2\cdot 142894=171472,8 \text{ грн}$$

Витрати на виготовлення дослідної партії

$$Вдп=(1,1\text{-}1,2)\cdot См\cdot Нм=1,2\cdot 142894\cdot 2=342945,6 \text{ грн}$$

де Нм – кількість машин у дослідній партії (2-8 шт).

Інші витрати на проектування та освоєння виробництва модернізованої машини:

$$Інв=Кін/100\cdot\sum_{1}^{5}\beta_{(і)}$$

де Кін-% на інші витрати на освоєння виробництва до суми п’яти попередніх статей витрат (15-20%).

$$Інв=15/100\ (873225,3+513740,8+195116,7+171472,8+342945,6)=314475,18 \text{ грн}$$

Сума витрат на проектування та освоєння виробництва

Восв=873225,3+513740,8+195116,7+171472,8+342945,6+314475,18=2410976,38 грн.

Питомі витрати на проектування та освоєння виробництва модернізованої машини

$$Впос=Восв/Нсв$$

де Нсв – середньорічна програма випуску модернізованої машини

$$Впос=2410976,38/200=12054,88 \text{ грн}$$

Визначення оптової ціни модернізованої машини:

$$Ц_{опм}=Ц_{опб}\times\frac{П_{екм}}{П_{екб}}\times К_р$$

$$Ц_{опм}=158870\times\frac{9,0}{5,76}\times 0,8=198587 \text{ грн.}$$

Очікуваний річний економічний ефект заводу виробника від впровадження модернізованої машини у виробництво:

$$E_{гв}=\left(Ц_{оп.м}-C_м\right)-\left(Ц_{оп.б}-C_б\right)-B_{пос}\times E_н,$$

$$E_{гв}=\left(198587-142894\right)-\left(158870-123240\right)-12054,88\cdot 0,15=18254,78 \text{ грн.}$$

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документація		
A1			ПГС 00.020 СБ	Складальне креслення	1	
				Складальні одиниці		
		1	ПГС 00.020.010	Рама	1	
		2	ПГС 00.020.020	Конус-розподількик	1	
		3	ПГС 00.020.030	Зовнішній кожух	1	
		4	ПГС 00.020.040	Люк	1	
		5	ПГС 00.020.050	Внутрішній кожух	1	
		6	ПГС 00.020.060	Перехідник	1	
		7	ПГС 00.020.070	Вентилятор	1	
		8	ПГС 00.020.080	Фільтр	1	
		9	ПГС 00.020.090	Оглядове вікно	1	
		10	ПГС 00.020.100	Кріплення	2	
				Деталі		
		11	ПГС 00.020.032	Прокладка	1	
		12	ПГС 00.020.035	Прокладка	1	
		13	ПГС 00.020.107	Шків ведучий	1	
		14	ПГС 00.020.108	Шків ведений	1	
				Стандартні вироби		
				Болти ГОСТ 7805-70		
		15		М8-6gх25.66.019	20	

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Дідківський		
Пров.		Петренко		
Н.контр.		Мачок		
Утв.		Лещенко		

ПГС 00.020

Аеродинамічний модуль

Лит.	Лист	Листов
	1	2

ЦНТУ
гр. ГМ(СМ)-21М(1,9)

Копировал

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
		16		М10-6gх20.66.019	4	
				Болт ГОСТ7802 -81		
		17		М10-6gх30.66.019	4	
				Болт ГОСТ 15589-70		
		18		М10-6gх35.66.019	4	
				Гайки ГОСТ 5915-70		
		19		М8-7Н.019	20	
		20		М10-7Н.019	4	
				Гайка ГОСТ 15526-70		
		21		М10-7Н.019	8	
				Гайка ГОСТ 3032-76		
		22		М8-7Н.019	3	
				Шайбы ГОСТ 6402-70		
		23		8 65Г.019	20	
		24		10 65Г.019	12	
				Шайба ГОСТ 11371-78		
		25		10 65Г.019	4	
				Шайба ГОСТ 10906-78		
		26		8 65Г.019	3	
		27		Електродвигун ГОСТ 15150-69	1	
				АИР100S4		

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПГС 00.020	Лист 2

Копировал Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документація		
А1			ПГС 02.010 СБ	Складальне креслення		
				Складальні одиниці		
		1	ПГС 02.010.010	Верхня розпорка	1	
				Деталі		
А3		2	ПГС 02.010.415	Конус	1	
А4		3	ПГС 02.010.613	Стояк	1	

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Дідківський		
Пров.		Петренко		
Н.контр.		Мачок		
Утв.		Лещенко		

ПГС 02.010

Розподільник

Лит.	Лист	Листов
	1	1

ЦНТУ
гр. ГМ(СМ)-21М(1,9)

Копировал

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
				Документація		
А2			ПГС 00.010.070 СБ	Складальне креслення		
				Деталі		
А4		1	ПГС 00.010.070.601	Вісь	2	
		2	ПГС 00.010.070.602	Шпилька	4	
		3	ПГС 00.010.070.603	Шайба	72	
А4		4	ПГС 00.010.070.604	Пруток	36	

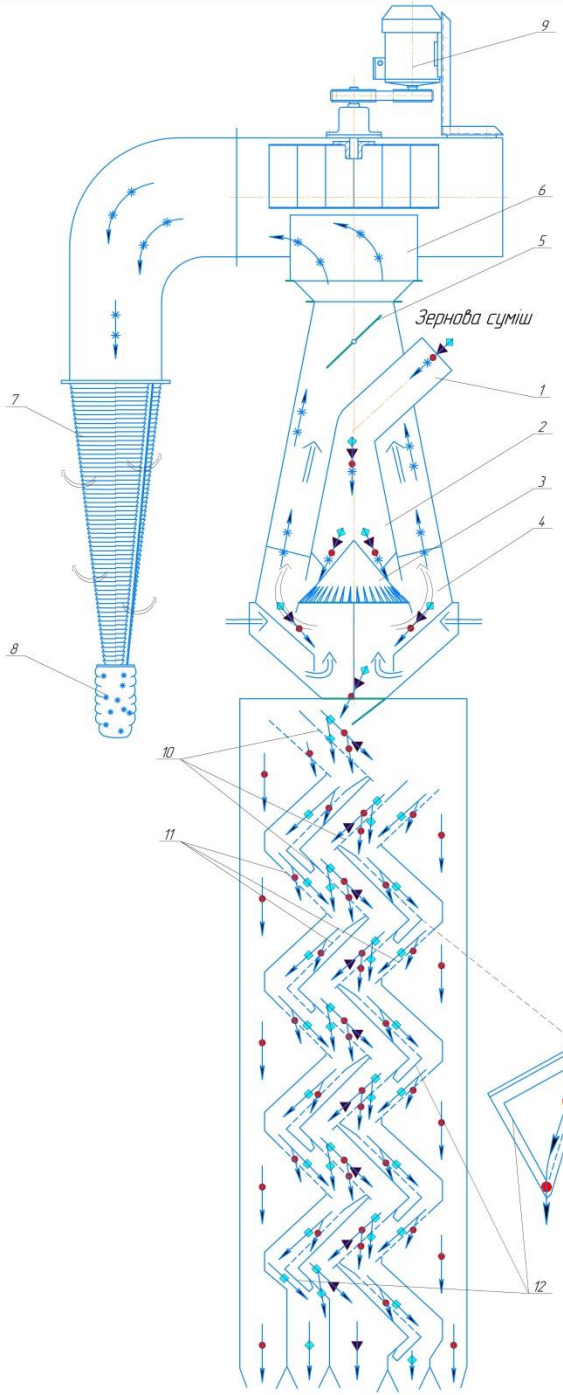
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ПГС 00.010.070		
Розробив		Дідківський			Колосове решето	Літера	Аркуш 1 / Аркушів
Перевірив		Петренко					
Н. контр.		Мачок				ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)–21М(1,9)	
Затвердив		Лещенко					

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

«Обґрунтування параметрів гравітаційного сепаратора з дослідженням системи аспірації»

Виконав здобувач вищої освіти
групи ГМ(СМ)-21М(1,9)
Дідківський Назар Сергійович

Керівник проекту
доц. Дмитро ПЕТРЕНКО



Експлікація обладнання

1 – приймальний бункер;
2 – накопичувальний бункер;
3 – конус–дозатор;
4 – повітряний канал;
5 – заслінка;
6 – вентилятор;
7 – пилоочисник;
8 – фільтр;
9 – електродвигун;
10 – колосові решета;
11 – підсівні решета;
12 – дефлектор

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- Зерно основної культури
- Дрібні домішки
- Крупні домішки
- Легкі домішки
- Повітряний потік

Розроб.				ПГС 00.000 С2			
Перевір.				Сепаратор ПГС-12	Літ.	Маса	Масштаб
Т.контр.						–	–
Н.контр.				–	Аркуш	Аркушів	1
Затв.					ЦНТУ гр. ГМСМІ-21М(1,9)		

Копіював Формат А1

Дослідження ефективності розділення зернового матеріалу на фракції в аспіраційному модулі

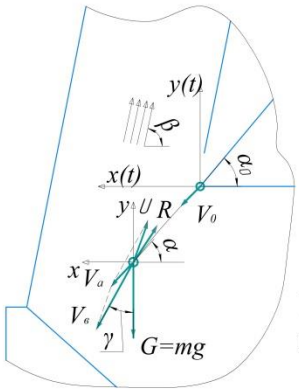


Схема взаємодії повітряного потоку з частинкою зернової суміші

Зернова суміш надходить до пневмоканалу п твірній дозуючого конуса під кутом α_0 з початковою швидкістю V_0. Тут на частки суміш масою m діє сила тяжіння G, повітряний потік з швидкістю U під кутом відносно горизонту β, сил опору повітряному потоку R, яка за умо турбулентного режиму переміщення повітряног потоку визначається як:

$$R = k_П \cdot m \cdot V_B^2$$

$V_в$ - швидкість частинки відносно повітряного потоку м/с; $k_П$ - коефіцієнт парусності.

Проектуючи сили на обрані осі OX і OY та підставивши складові сил і скоротивши вирази на масу m одержимо систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k_П V_B^2 \sin\gamma; \\ \ddot{y} = k_П V_B^2 \cos\gamma - g. \end{cases}$$

Абсолютна швидкість частинки становитиме: $\bar{V}_A = \bar{V}_{ср} + \bar{V}_B$

Враховуючи, що $V_A \cdot \cos\alpha = \dot{x}, V_A \cdot \sin\alpha = \dot{y}$

система рівнянь переміщення частки матиме вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{x} + k_П V_B \dot{x} = -k_П V_B U \cos\beta; \\ \ddot{y} - k_П V_B \dot{y} = k_П V_B U \sin\beta - g. \end{cases}$$

Вирішивши представлену систему двох неоднорідних диференціальн рівнянь другого порядку з врахуванням початкових умов отримаємо абсолют переміщення частки в повітряному потоці в проекціях на осі координат:

$$\begin{cases} x = \left(e^{-k_П\sqrt{V_{A_0}^2+U^2-2V_{A_0}U\cos(\alpha_0+\beta)}\cdot t} - 1\right)\dfrac{\left(-V_{A_0}\cos\alpha_0 - U\cos\beta\right)}{k_П\sqrt{V_{A_0}^2+U^2-2V_{A_0}U\cos(\alpha_0+\beta)}} - U\cos\beta\cdot t; \\ y = \left(e^{-k_П\sqrt{V_{A_0}^2+U^2-2V_{A_0}U\cos(\alpha_0+\beta)}\cdot t} - 1\right)\times \\ \times\dfrac{\left(U\sin\beta - \dfrac{g}{k_П\sqrt{V_{A_0}^2+U^2-2V_{A_0}U\cos(\alpha_0+\beta)}} - V_{A_0}\sin\alpha_0\right)}{k_П\sqrt{V_{A_0}^2+U^2-2V_{A_0}U\cos(\alpha_0+\beta)}} + \\ + \left(U\sin\beta - \dfrac{g}{k_П\sqrt{V_{A_0}^2+U^2-2V_{A_0}U\cos(\alpha_0+\beta)}}\right)\cdot t. \end{cases}$$

Результати теоретичних досліджень

Побудуємо траєкторії руху часток зернової суміші відповідно до отриманого параметричного рівняння, що визначає траєкторії руху часток зернової суміші, які характеризуються різними аеродинамічними властивостями, при взаємодії з вертикальним повітряним потоком з врахуванням рекомендованих початкових умов:

– значення кута введення матеріалу повинно бути більшим за кут терт зерносуміші по матеріалу дозуючого конусу та забезпечувати раціональн значення товщини шару матеріалу в зоні подачі, відповідно α_0=30-50°, пр цьому початкова швидкість введення матеріалу становитиме

$$V_{A_0}$$=0,2-0,5 м/с.

– кут, під яким діє повітряний потік відносно горизонтальної площини

$$\beta = 50\text{-}80^\circ;$$

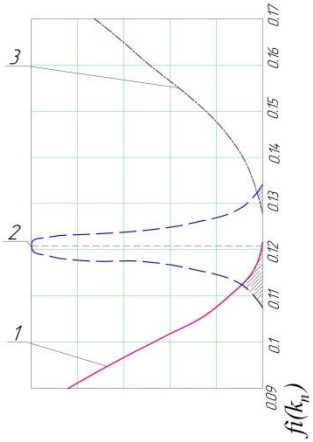
– швидкість повітряного потоку встановлюється відповідно до критично швидкості витання $V_{кр}$ матеріалу, який поступає на очищення, та становить

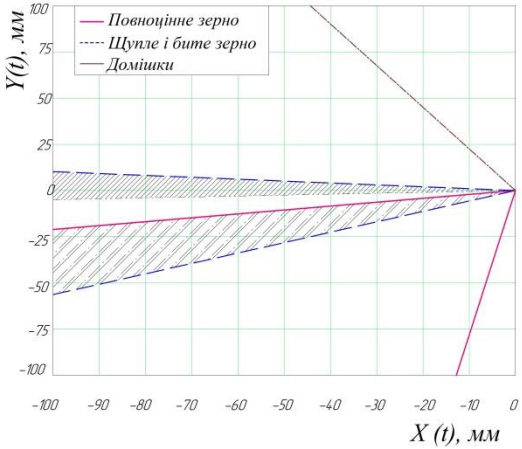
$$U = (0{,}8...0{,}9)V_{кр};$$

– значення коефіцієнтів парусності для фракцій зернової суміші визначаєтьс з її аеродинамічної характеристики. При цьому необхідно враховувати, що загальній зерновій суміші частки, які характеризуються різним значенням коефіцієнта парусності мають нерівномірний розподіл. Встановлено, щ найвідповідніше природний розподіл параметрів випадкових величи характеризує нормальний закон (Гауса).

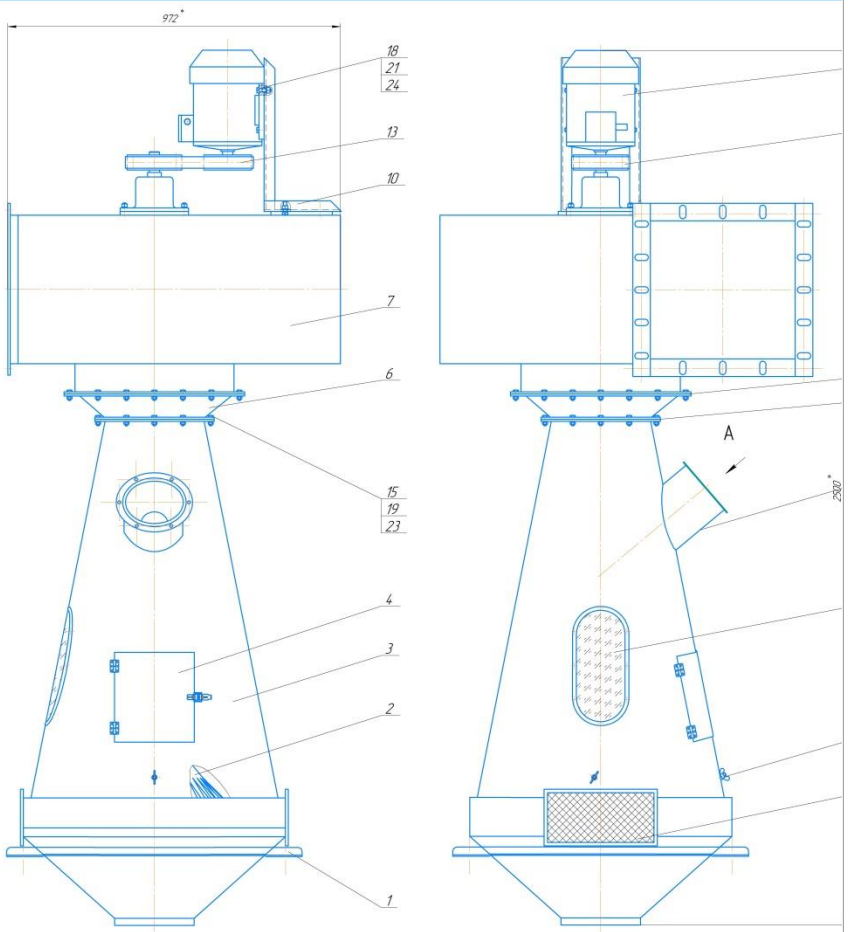
Результати статистичного моделювання розподілу траєкторій переміщення фракцій зернової суміші при початкових умовах

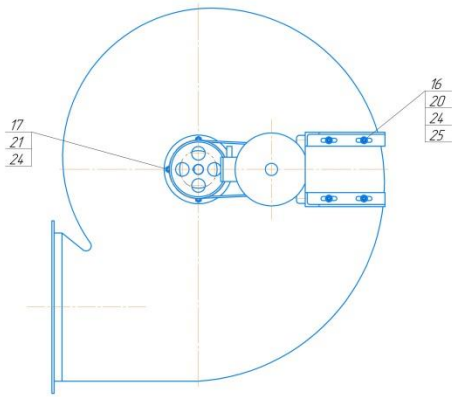
$\alpha_0 = 50^\circ, \beta = 80^\circ, U = 6$ м/с, V_{A_0}=0,35 м/с

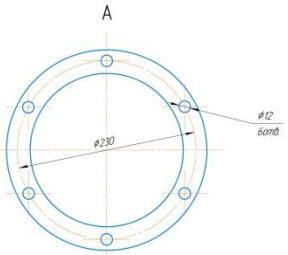




1 - $f_1(k_n)$ - повноцінне зерно;
2 - $f_2(k_n)$ - бите і щупле зерно;
3 - $f_3(k_n)$ - легкі домішки



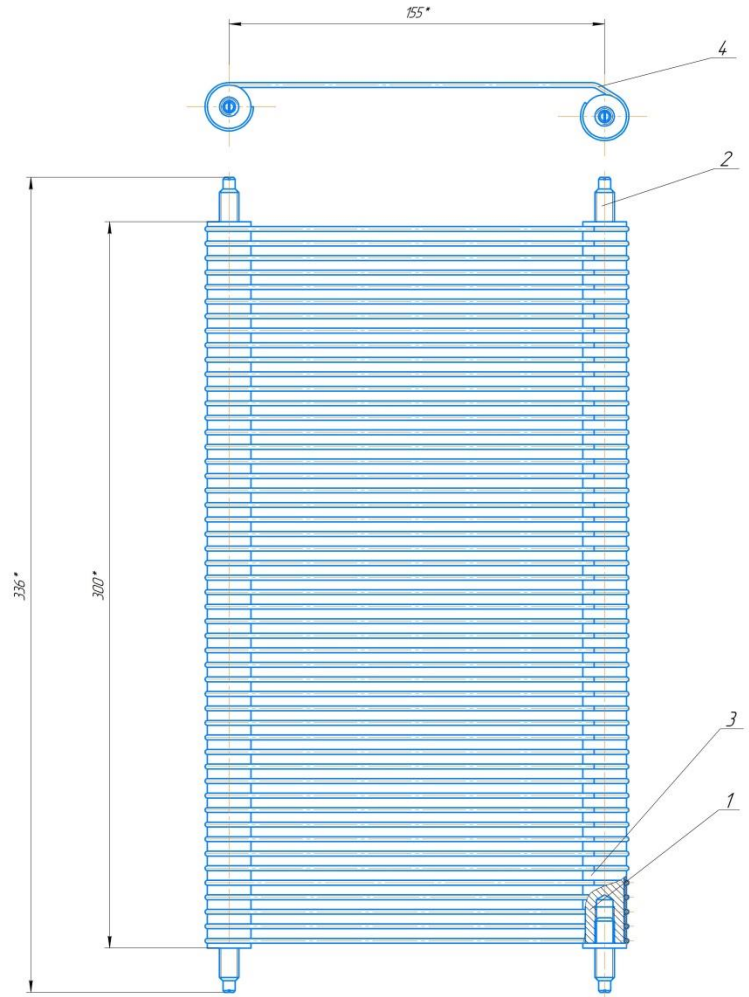




1. Допустиме неспівпадання осей пасових передач привода 1.5 мм.
2. Невказані граничні відхилення розмірів ±IT14/2.
3. *Розміри для довідок.

				ПГС 00.020 С	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.		Дідківський			Аеродинамічний модуль
Пров.		Петренко			
Т.контр.					
Н.контр.		Мачак			–
Утв.		Лещенко			

Копировал



ПГС 00.010.070 СБ

1. Невказані граничні відхилення розмірів по IT17/2.
2. Під час складання використовувати калібровані шайби (поз. 3) одного розміру.
3. Деформація прутків (поз. 4) під час складання не допускається. Деформовані прутки дефектувати.
4. Крутний момент затягування деталей (поз. 2) 3,2...4,2 Н·м.
5. Офарбовування деталей решета не допускається.
6. Після складання перевірити міжцентрові відстані.
7. *Розміри для довідок.

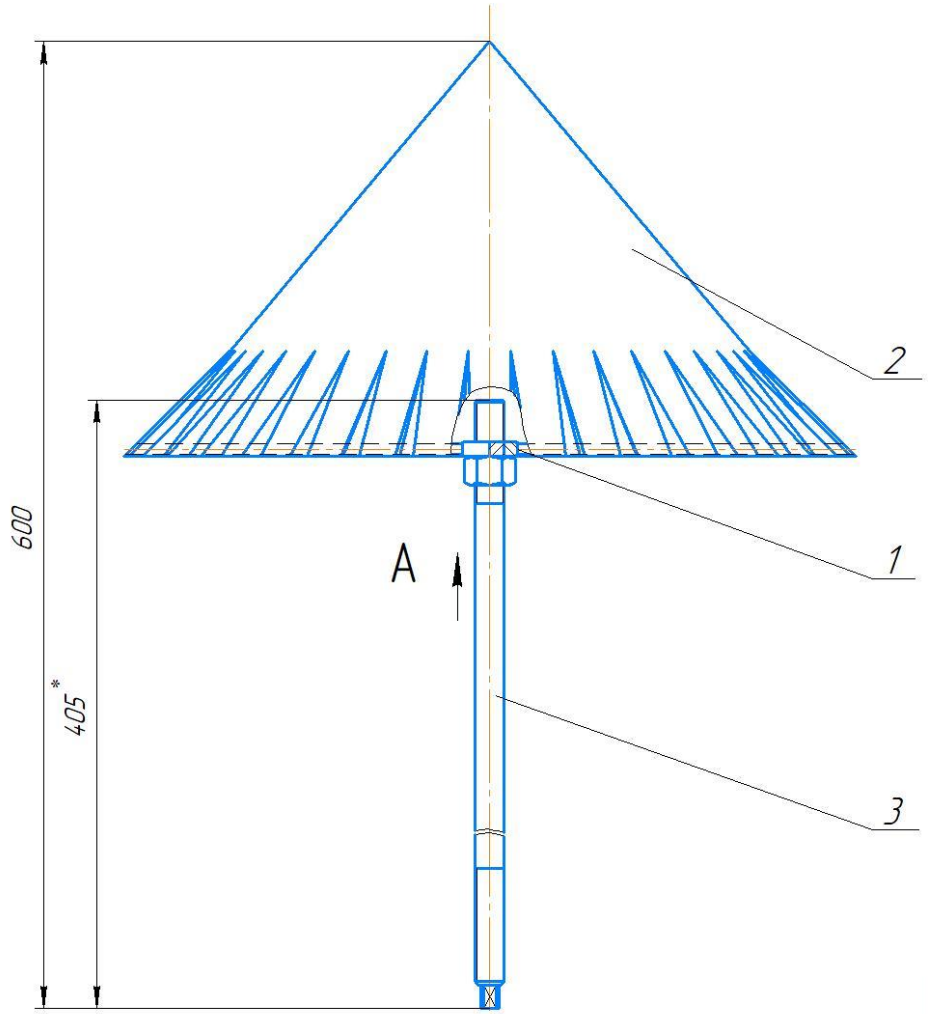
				ПГС 00.010.070 СБ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.		Дідківський			Колосове решето
Пров.		Петренко			
Т.контр.					
Н.контр.		Мачак			–
Утв.		Лещенко			

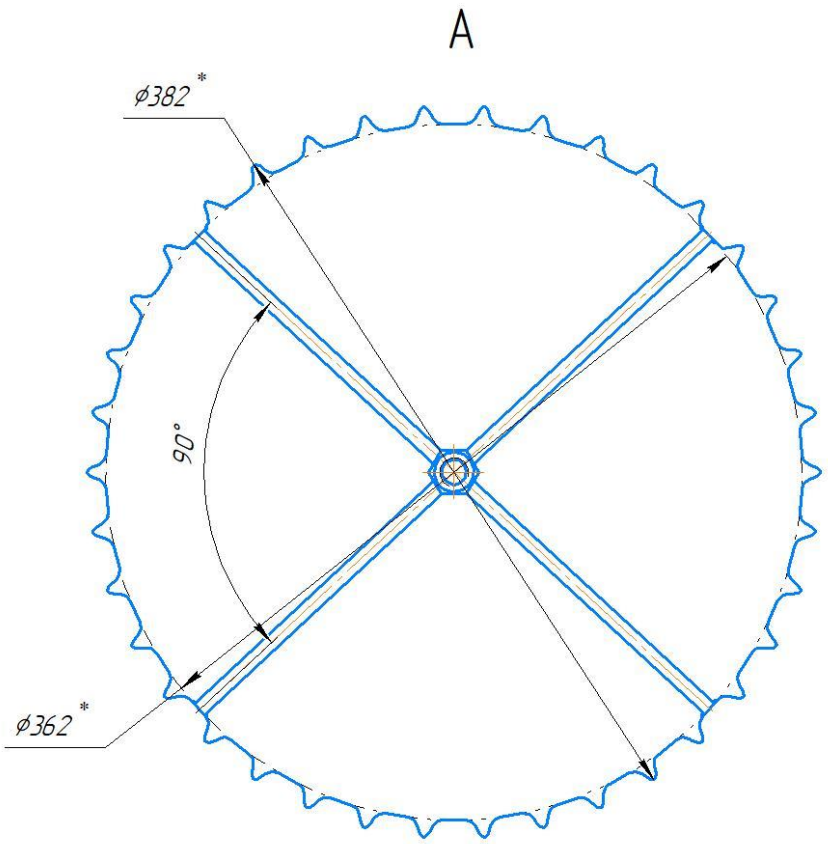
Лит. | Масса | Масштаб
143 | 1:1
Лист | Листов 1
ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-21М(1.9)
Формат А2

Копировал

Перед. применен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

ПГС 02.010 СБ





1. Відхилення контуру деталі 1 від контура шаблона не більше ±0,5 мм на довжині 50 мм.
2. *Розміри для довідок.

					ПГС 02.010 СБ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Розподільник	Лит. / Масса / Масштаб: 2,3 / 1:2,5
Разраб.		Дідківський				Лист / Листов: 1
Пров.		Петренко				
Т.контр.					–	ЦНТУ гр. ГМ(СМ)–21М(1,9)
Н.контр.		Мачок				
Утв.		Лещенко				

Копировал

Формат А3

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

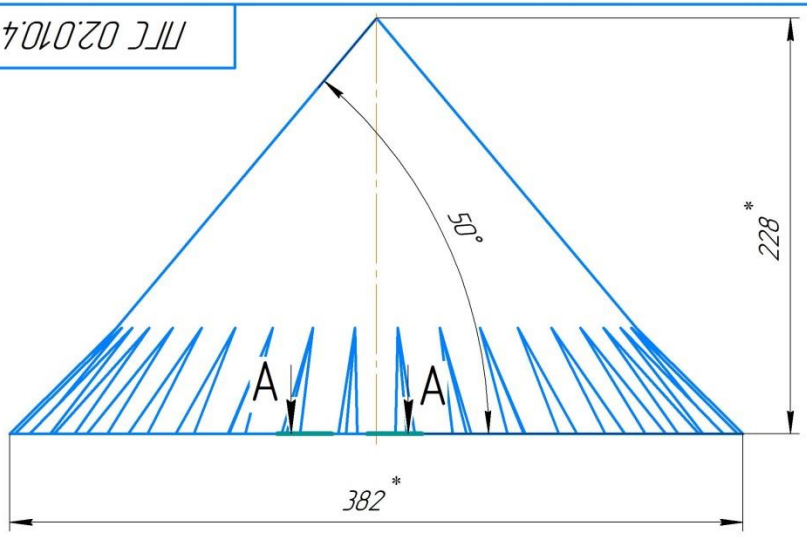
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

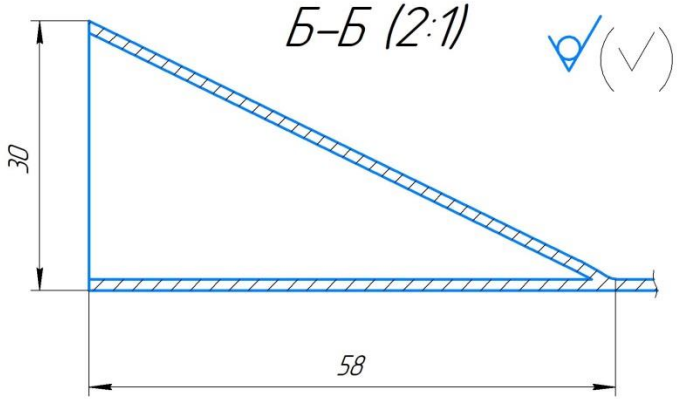
Подп. и дата

Инв. № подл.

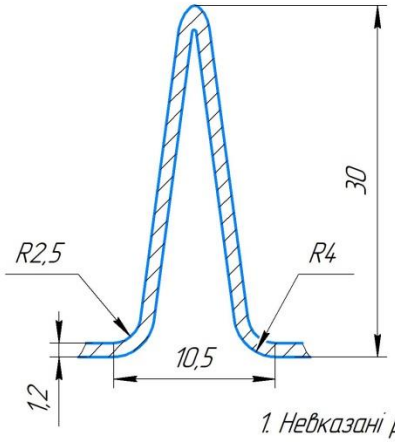
ПГС 02.010.4.15

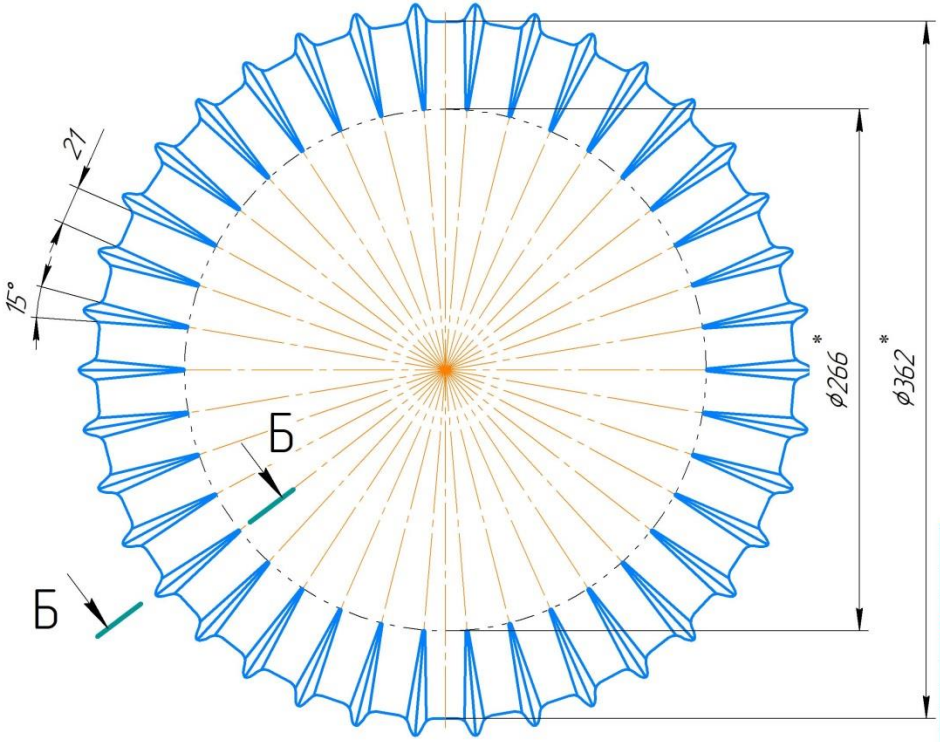


Б–Б (2:1)



А – А (2,5:1)





1. Невказані радіуси заокруглень 1,5мм;
2. Штамповочний ухил не більше 1° в сторону зменшення розмірів.
3. * Розміри для довідок.

					ПГС 02.010.4.15	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Дідківський			Конус	Лит. / Масса 1,2 / Масштаб 1:2,5
Пров.		Петренко				Лист / Листов 1
Т.контр.						
Н.контр.		Мачок			Лист: Б-ПН-О-1,2х1000 ГОСТ 19904-74 / Ст3пс ГОСТ 14637-89	ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-21М(1,9)
Утв.		Лещенко				

Копировал

Формат А3

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

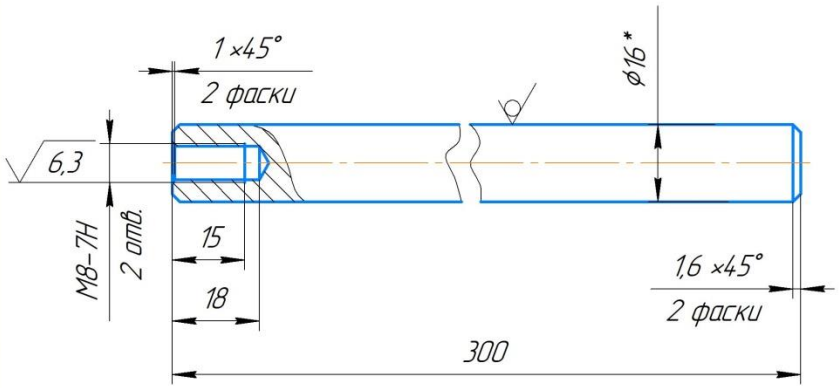
Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ПГС 00.010.070.601

Ra 12,5 (√)

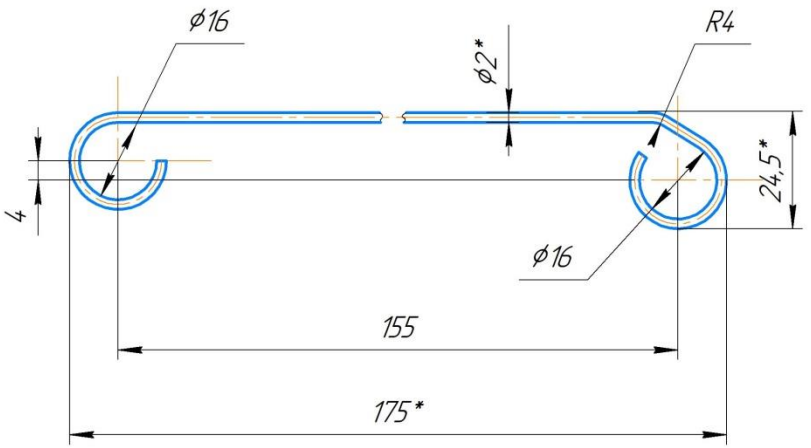


1. Невказані граничні відхилення розмірів: H14, h14, ± IT14/2.
2. *Розмір для довідок.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ПГС 00.010.070.601			
Розраб.		Дідківський			Вісь	Лит.	Маса	Масштаб
Пров.		Петренко					0,12	1:1
Т.контр.						Лист	Листов 1	
Н.контр.		Мачок			Круг 16–В ГОСТ 2590–88 / Ст3пс3–II ГОСТ 535–88	ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)–21М(1,9)		
Утв.		Лещенко						

Копировал Формат А4

ПГС 00.010.070.604



1. Невказані граничні вадхилення розмірів ±IT16/2.
2. * Розмір для довідок.

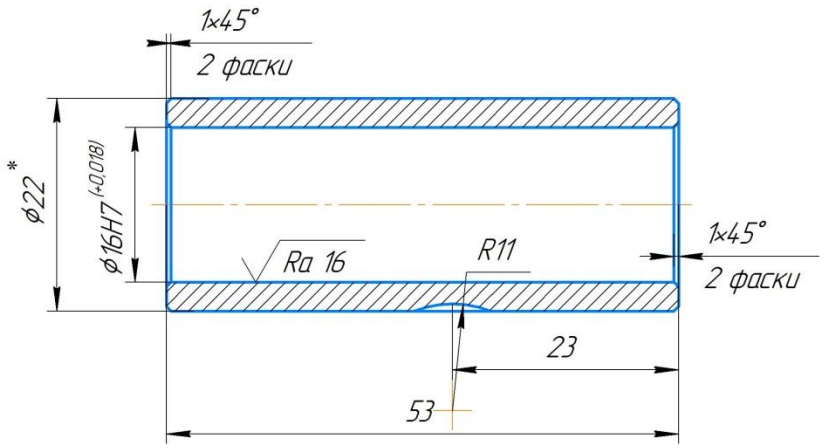
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ПГС 00.010.070.604			
Розраб.		Дідківський			Пруток	Лит.	Маса	Масштаб
Пров.		Петренко					0,18	1:1
Т.контр.						Лист	Листов	
Н.контр.		Мачок			Пруток 2–Х20Н80–Н ГОСТ 12766.1–90	ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)–21М(1,9)		
Утв.		Лещенко						

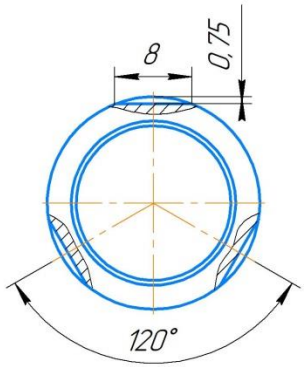
Копировал Формат А4

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

ПГС 02.030.825

(√)





1. Невказані радіуси заокруглень 0,5мм
2. Невказані граничні відхилення розмірів: отвори H14, вали h14, інші ± IT14/2.
3. *Розміри для довідок

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Дідківський		
Пров.		Петренко		
Т.контр.				
Н.контр.		Мачак		
Утв.		Лещенко		

ПГС 02.030.825

Стакан

Лит.	Масса	Масштаб
	0,064	2:1
Лист	Листов 1	

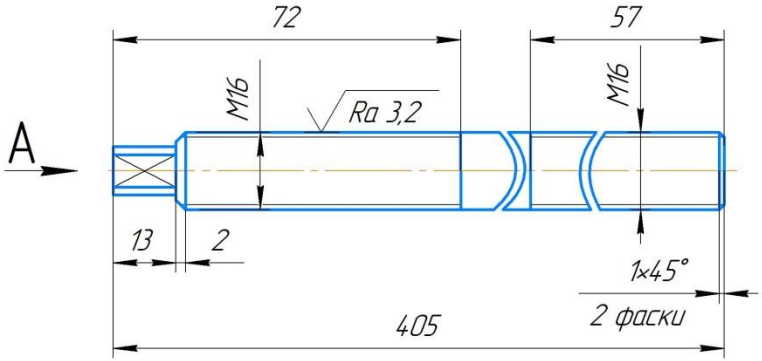
Труба 22х2,5 ГОСТ 8734–75 / В 10 ГОСТ 8733–87

ЦНТУ гр. ГМ(СМ)–21М(1,9)

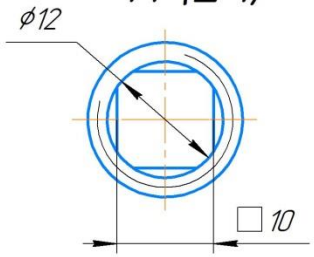
Копировал Формат А4

ПГС 02.010.613

Ra 12,5 (√)



A (2:1)



1. Невказані граничні відхилення розмірів: діаметрів H14, h14, інших ±IT16/2.
2. *Розміри для довідок.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Дідківський		
Пров.		Петренко		
Т.контр.				
Н.контр.		Мачак		
Утв.		Лещенко		

ПГС 02.010.613

Стояк

Лит.	Масса	Масштаб
	0,7	1:1
Лист	Листов 1	

Пруток 16–Б–1 9–Т–У8А ГОСТ 14955–77

ЦНТУ гр. ГМ(СМ)–21М(1,9)

Копировал Формат А4

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