

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”
зав. кафедрою СГМ
к.т.н., доцент
_____Сергій ЛЕЩЕНКО
“ ____ ” _____ 2024 р.

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

"Підвищення ефективності роботи сепаратора зернових сумішей з
обґрунтуванням його параметрів"

Виконав здобувач вищої освіти __ІІ__ курсу,
групи ГМ-22М-1.2
ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
_____Соколов Дмитро Сергійович
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник проекту
доцент, канд.техн.наук
_____Володимир ОНОПА
« ____ » _____ 2024 р.
Рецензент Олексій АЛФЬОРОВ

[illegible]

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

Наша держава відноситься до топ-виробників аграрної продукції, зокрема продукції рослинництва. Зважаючи на зростаючі світові потреби у продуктах харчування, останніми роками спостерігається суттєве зростання темпів виробництва сільськогосподарської продукції, в зв'язку з чим відбувається поступове переорієнтування фермерів на використання при виробництві польових культур інтенсивних систем землеробства, що вимагають використання як новітнього технічного забезпечення, так і застосування високоякісного посівного матеріалу. Підготовлений належним чином якісний посівний матеріал визначає не лише потенційну врожайність культури, зумовлену її біологічними особливостями, а й дозволяє зменшити хімічне навантаження на біологічне середовище районування культури за рахунок чистоти матеріалу, який висівається.

Одним з засобів забезпечення якості посівного матеріалу, який відноситься до агротехнічних, є доведення його чистоти до нормативних показників за критеріями засміченості (наявність сторонніх домішок) та відсортуння за комплексними показниками (розмір, виповненість, наявність ушкоджень тощо). На ринку с.-г. техніки пропонується широкий спектр машин, які здатні очищати зерноматеріали від домішок та виконувати їх сортування за комплексом фізико-механічних властивостей, зокрема повітряним потоком за аеродинамічними властивостями, на решетах і трієрах за розмірами, властивостями поверхні на магнітних сепараторах та фрикційних гірках, виповненістю на пневмовібраційних столах та аеродинамічних сепараторах, кольором на фотосепараторах та ін.

Зважаючи на світові вимоги щодо зменшення енергетичних і матеріальних витрат на виробництво с.-г. продукції актуальним залишається питання пошуку можливості підвищення якості роботи обладнання для післязбирального очищення зерноматеріалів з одночасним зменшенням питомих показників енергоємності і металомісткості їх конструкції.

					АС 00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Соколов				Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Онопа							
Н. контр.	Мачок					ЦНТУ, гр. ГМ-22М-2		
Затверд.	Лещенко							

2. Наукова частина

2.1. Загальна характеристика дослідної роботи

Зростання потужностей виробництва сільськогосподарської продукції вимагає все більшого використання засобів, що забезпечать збереження зернової продукції до моменту її реалізації, переробки чи використання в якості посівного матеріалу. Саме тому актуальним є пошук нових технологічних і технічних засобів, що дозволять забезпечити виробників високоефективною технікою і обладнанням для післязбиральної обробки врожаю, оскільки після вирощування і збирання першим етапом підготовки зерна до зберігання чи реалізації є його післязбиральна обробка, основним елементом якої є очищення зерноsumіші від сторонніх домішок зерноочисними машинами.

Очищення зерноsumіші від домішок базується на різниці властивостей зерна і сторонніх часток, серед яких розміри, стан поверхні, аеродинаміка, питома вага, колір тощо. Відповідно, для розділення зерноматеріалу на фракції використовують зерноочисні машини (ЗОМ), в яких реалізовані зазначені принципи.

Одним з найбільш поширених способів розділення компонентів зерноsumіші на різні компоненти є повітряна сепарація пневматичними ЗОМ, в яких реалізується різниця аеродинамічного спротиву дії потоку повітря. Основними методами такого розділення є способи «відхилення» та «зважування» (рис. 2.1).

Відзначимо, що аеродинамічне розділення використовується в переважній більшості конструкцій зерноочисних машин і в якості додаткового способу, і в якості самостійного сепарування. Технологічні особливості аеродинамічного сепарування, незважаючи на деякі складності, пов'язані з властивостями повітряного потоку, сприяють їх широкому застосуванню на всіх етап післязбирального обробітку і при підготовці матеріалу до переробки. Незважаючи на досить універсальне застосування даного методу розділення

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалів на фракції, системи, де він використовується мають порівняно з решітними системами низьку технологічну ефективність, а тому потребують удосконалення. Розглянемо більш детально системи застосування даного способу сепарації зерноматеріалів.

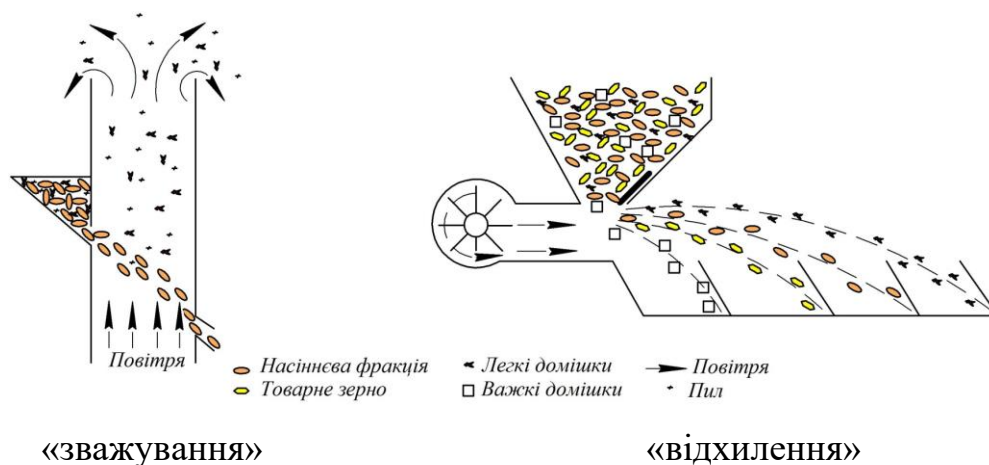


Рис. 2.1 – Способи розділення повітряним потоком

Найбільшого поширення набули зерноочисні машини, які використовують обидва способи розділення – і решітне і повітряне. Серед найвідоміших вітчизняних машин виділимо ворохоочисник ОВС-25 (рис. 2.2) та його модифікації [2, 3, 16].

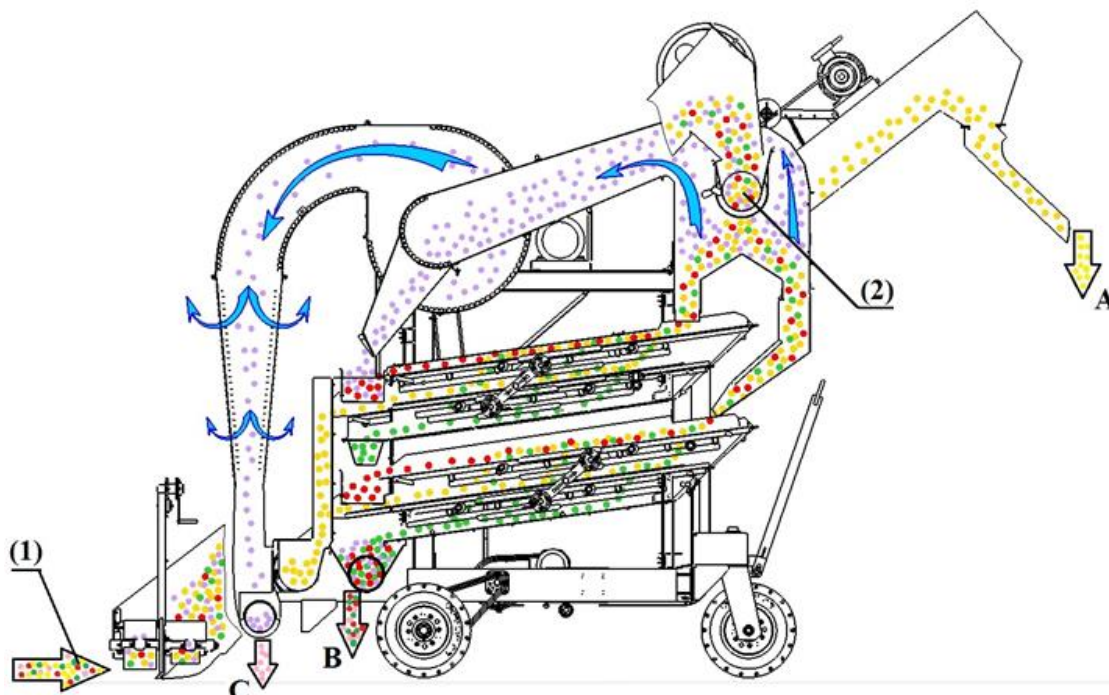


Рис. 2.2 – Схема роботи ворохоочисника ОВС-25

Дана ЗОМ має повітряну систему, яка працює за методом «зваження», тобто легка фракція видаляється повітряним потоком з загального потоку зерноsumіші. Пневмосепаруюча система (рис. 2.3) розміщена перед решітною і дозволяє видаляти найбільш легкі частки домішок. Дана схема не передбачає узгодження продуктивності повітряної системи з решітною, і зважаючи на більшу питому продуктивність останньої, не забезпечує високої якості пневмосепарації.

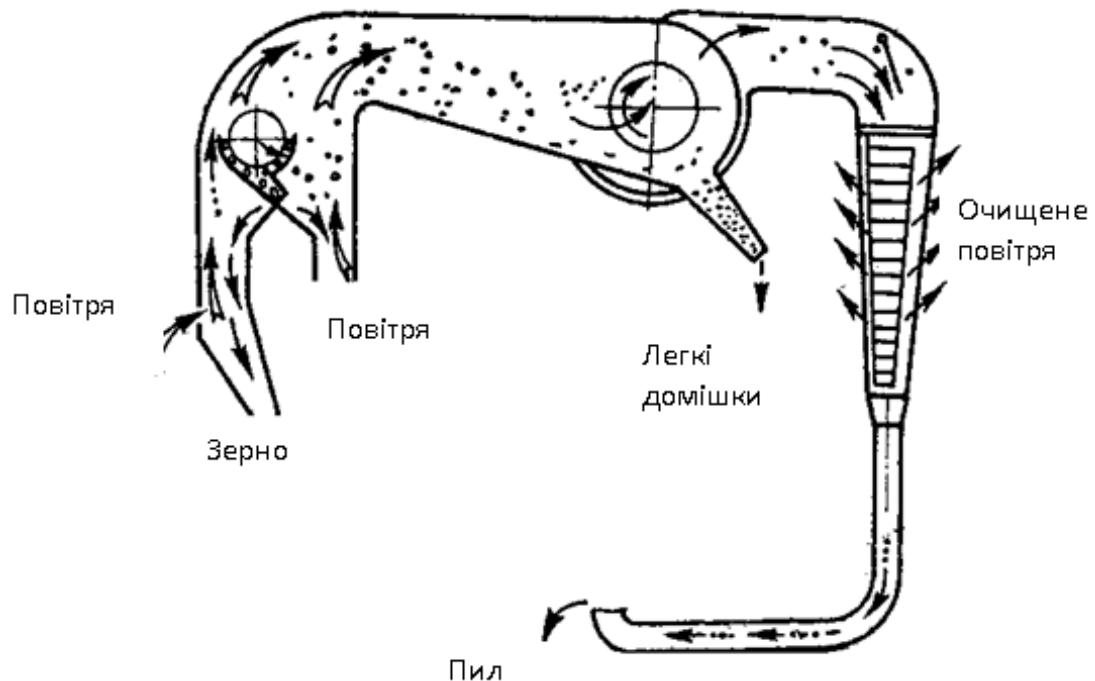
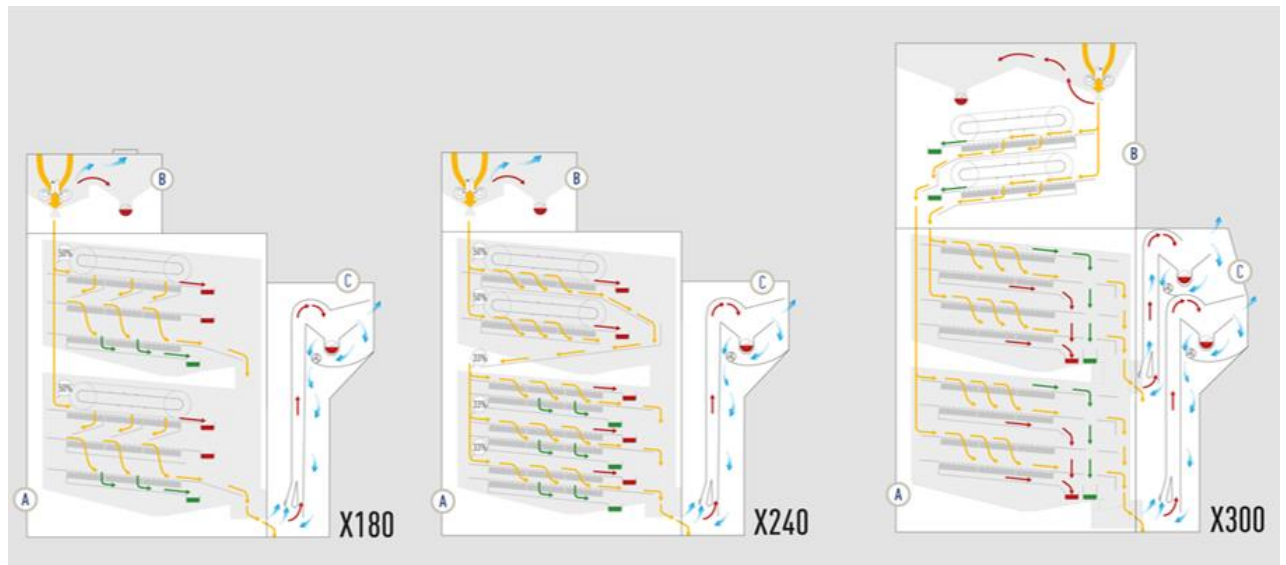


Рис. 2.3 – Пневмосепаруюча система ворохоочисника ОВС-25

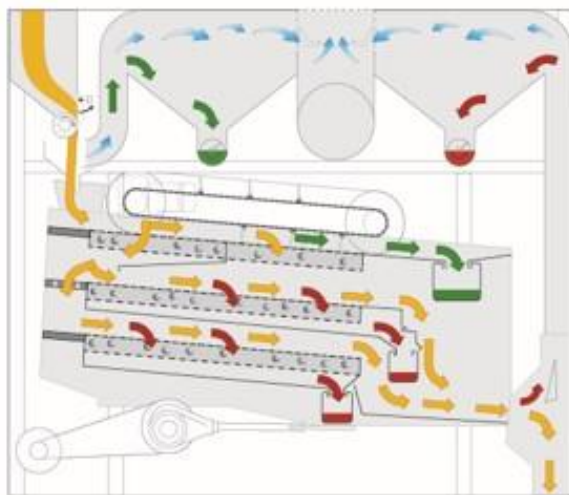
Натомість відомий виробник обладнання для переробки та післязбиральної обробки матеріалів РЕТКУС [8] випускає модельний ряд ЗОМ серії Х (рис. 2.4, а), які також мають комбіновану структуру, але зерноsumіш проходить подвійне очищення повітряним потоком – перед решітним очищенням видаляються найбільш легкі фракції, і кінцевою обробкою є доочищення від важковідокремлюваних компонентів легкої фракції. Тут друга пневмосепарація реалізована в якості додаткового модуля, тобто використовується опціонально.

Цей же виробник пропонує і іншу лінійку серії А (рис. 2.4, б), в якій також реалізовано подвійну схему повітряного очищення, але вони обидві конструктивно поєднанні в одній машині. Обидві системи працюють за методом «зважування» та виконані за досить простою схемою.

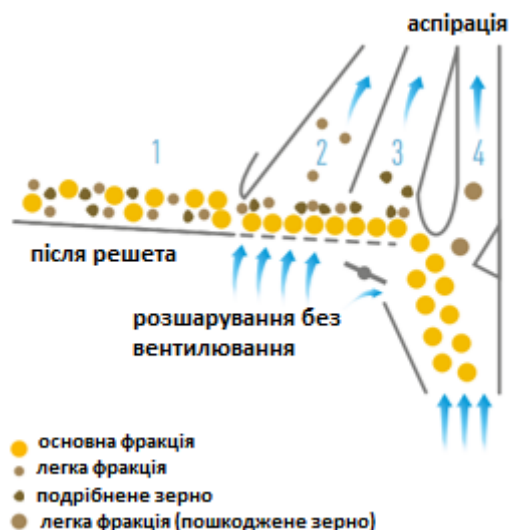
Натомість ЗОМ PETKUS серії S (рис. 2.4, в) має інноваційну конструкцію та дозволяє більш чітко розшарувати матеріал за рахунок поділу зон сепарації з різною швидкістю повітряного потоку.



а



б



в

Рис. 2.4 – Схеми ЗОМ PETKUS серії X (а), А (б) та системи пневмосепарації PETKUS серії S (в) [8]

При цьому в зоні 1 відбувається розшарування матеріалу за рахунок «вспливання» легких часток до верхніх шарів. Зона 2 має найбільш великий переріз каналу і тут відбувається видалення найбільш легкої фракції домішок. Натомість в зоні 3 за рахунок підвищення швидкості повітряного потоку видаляються фракція подрібненого зерна та важких фракцій домішок. Пошкоджене зерно, що має ідентичні з повноцінним розміри, за рахунок поперечного продування видаляється в 4 каналі.

Схожі конструкції мають і вітчизняні ЗОМ типу БСХ (рис. 2.5) [9].

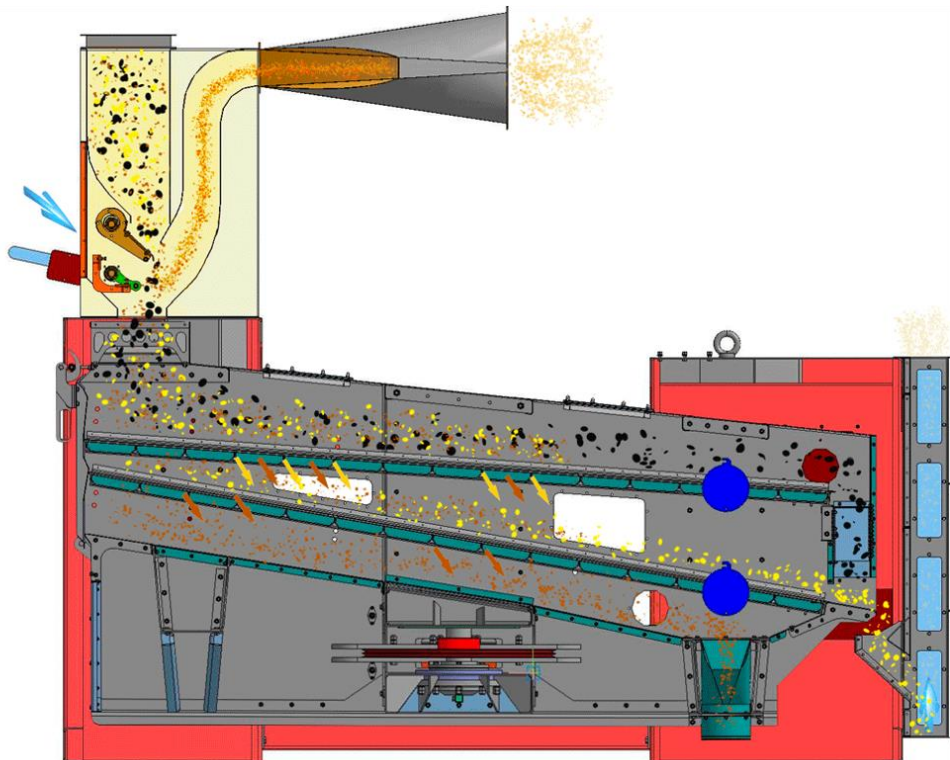


Рис. 2.5 – Схема роботи зерноочисної машини БСХ-200 [9]

Повітряна сепарація в якості додаткового елемента схеми очищення також використовується і в конструкції вібровідцентрових сепараторів БЦС-50 (рис. 2.6), Р8-БЦСМ [10] і ін. В даних сепараторах повітряна сепарація відбувається при завантаженні матеріалу до вертикально розміщених циліндричних решіт, а відібрати легкі домішки під час знаходження зерноsumіші безпосередньо в зоні решітної сепарації неможливо внаслідок притискання часток до поверхні решіт за рахунок відцентрової сили. Тому рівень якості аспірації в цих сепараторах досить низький.

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

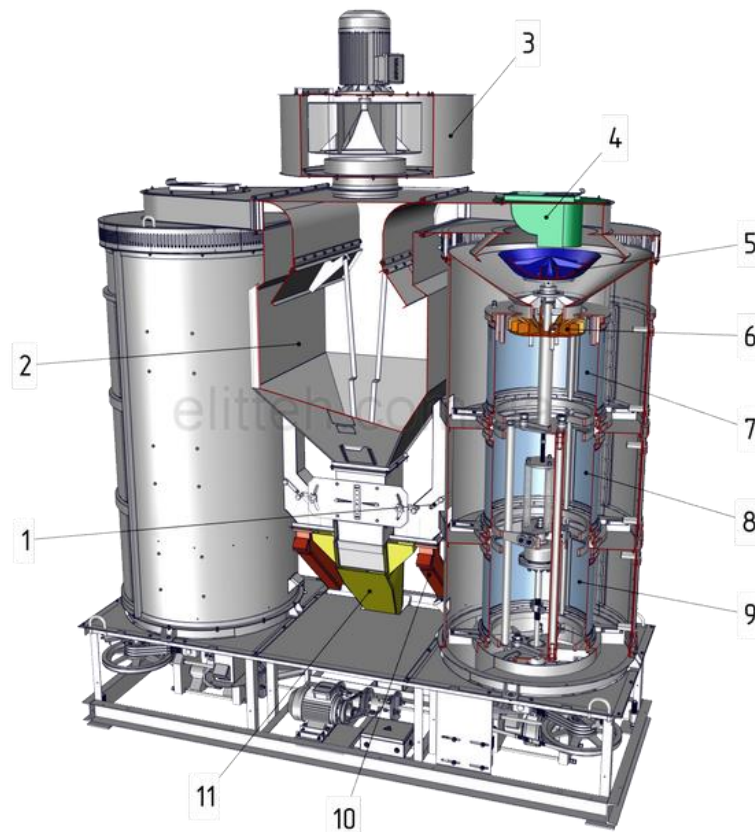
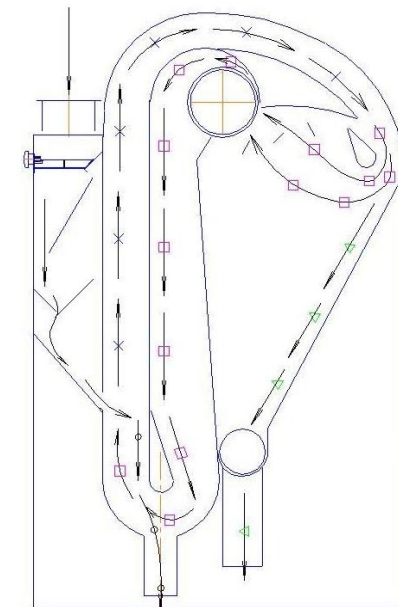


Рис. 2.6 – Схема зерноочисної машини БЦС-50 [10]

Таким чином, основною перевагою комбінованих схем сепарації є можливість зменшення габаритів ЗОМ, однак роль аеросепарації в них має другорядне значення, а тому і низьку ефективність.

Розглянемо пневмосепаратори як окремі ЗОМ. Дослідники [3-7, 15-18] класифікують пневмосепаратори відповідно до типу їх пневмоканалів на п'ять основних видів: з вертикальним розміщенням, з похилим розміщенням, зигзагоподібні, криволінійної конфігурації та кільцевого типу.

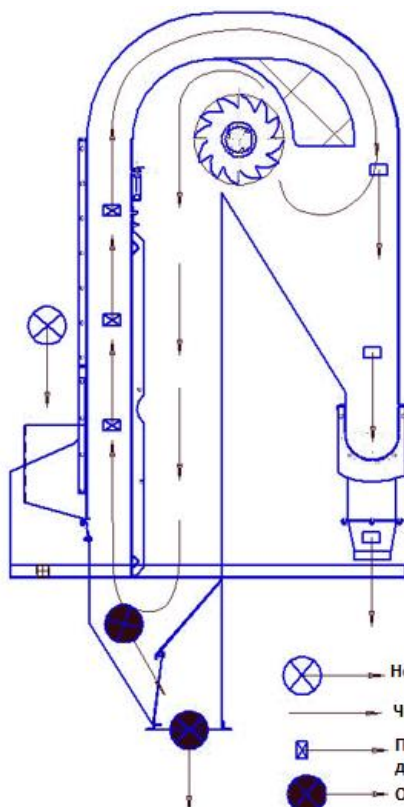
Найбільш простими і розповсюдженими є пневмоканали з вертикальним розміщенням, в яких зерноsumіш розділяється за способом «зважування» (рис. 2.1). Простота і універсальність конструктивного виконання дозволяє використовувати їх в якості самостійних сепараторів (АСХ 5 рис. 2.7), або в якості модулів складних ЗОМ (БСХ-100.20 рис. 2.8) до або після решітного модуля [9].



- ← Початкова зерносуміш
- ← Очищене зерно
- ← Очищене повітря
- ← Суміш повітря з домішками
- ← Домішки



Рис. 2.7 – Схема та загальний вигляд аеросепаратора АСХ 5



- ← Неочищенное зерно
- ← Чистое повітря
- ← Повітря з домішками
- ← Очищене зерно
- ← Легкі домішки



Рис. 2.8 – Схема та загальний вигляд аеросепаруючого модуля БСХ 100.20

Класичні канали похилого типу використовують для поділу зерноматеріалу методом «відхилення» (рис. 2.1), оскільки при цьому можливо за один прохід виділити декілька фракцій, які корелюють за густиною.

Даний тип каналів найбільшого поширення набув в пневмосепараторах як самостійний ЗОМ. Як приклад, аеродинамічні сепаратори САД (рис. 2.9), який дозволяє розділити матеріал на 5 основних і 4 проміжних фракції. При завантаженні матеріалу до пневмоканалу з метою попереднього розшарування використовується вібралоток. Повітряний потік, який створюється вентилятором 4 структурується на струмені, проходячи жалюзі 5, що дозволяє уникнути явища завихрення. Додатковий аспіраційний модуль 9 дозволяє більш якісно видалити пилові частки і легкі домішки з основної зони сепарації.

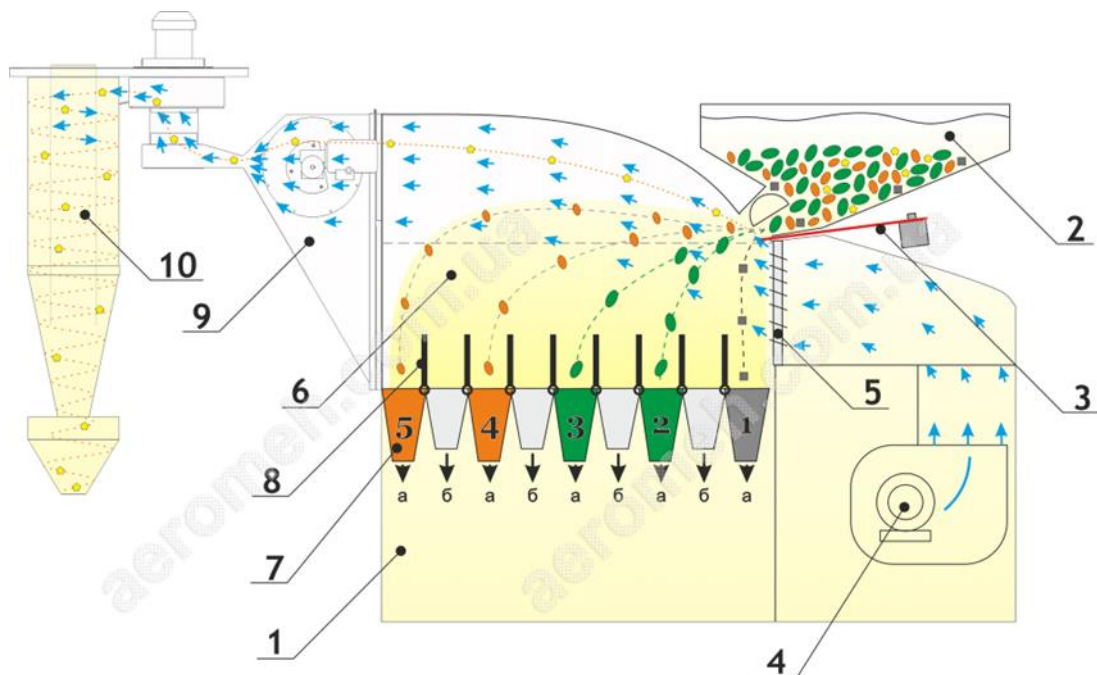


Рис. 2.9 – Схема роботи зерноочисної машини САД [11]:

1 – модуль базовий; 2 – бункер-живильник; 3 – віброживильник; 4 – вентилятор; 5 – жалюзі струменевого генератора; 6 – робоча камера; 7 – приймальник фракцій; 8 – механізм регулювання приймальників; 9 – аспіраційний блок; 10 – пилоочисник; а – основні фракції, б – проміжні фракції.

Схожий за принципом розділення зерносуміші і сепаратор ALS (рис. 2.10), але в ньому реалізована схема замкненого повітряного потоку, а в якості генератора повітряного потоку використано оригінальний вентилятор осьового типу після якого встановлено випрямляч потоку [12].

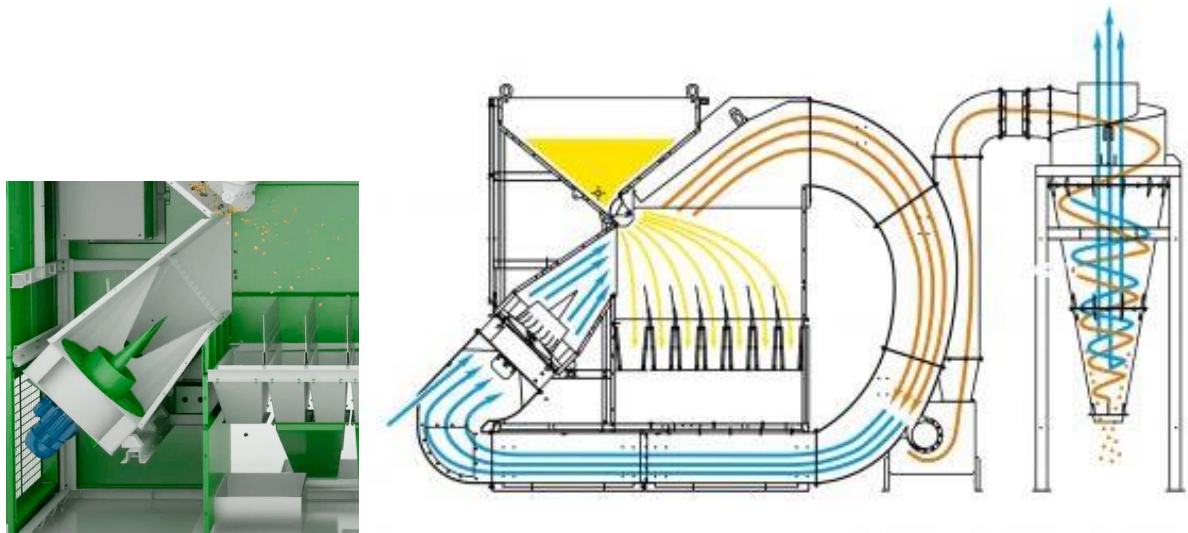


Рис. 2.10 – Схема роботи зерноочисної машини ALS [12]

Для зигзагоподібних пневмоканалів характерним є зміннонаправлена дія повітряного потоку, що викликає можливість повноцінно взаємодіяти з потоком зерносуміші. Крім того, час перебування зерносуміші під дією повітряного потоку тут значно більший, ніж в інших каналах, що повинно покращити якість виділення домішок. Проте, такі канали мають і ряд недоліків, пов'язаних, в першу чергу зі складністю конструкції, її габаритами, тому такі пневмоканали не знайшли широкого попиту.

Іншим типом каналів, які активно пропонуються на ринку зерноочисного обладнання є канали кільцевого типу (рис. 2.11). Особливістю даних ЗОМ є проходження сепарації методом «зважування» в кільцевому каналі, утвореному зовнішнім конусоподібним кожухом та внутрішнім завантажувальним пристроєм [13]. Таким чином реалізовано принцип більш рівномірного розміщення зерносуміші по периметру каналу, що стабілізує поле швидкостей повітряного потоку. Для рівномірного завантаження з деяким розшаруванням матеріалу в зоні завантаження використано розкидний

диск. Головним недоліком даних сепараторів є складність конструкції та обслуговування.

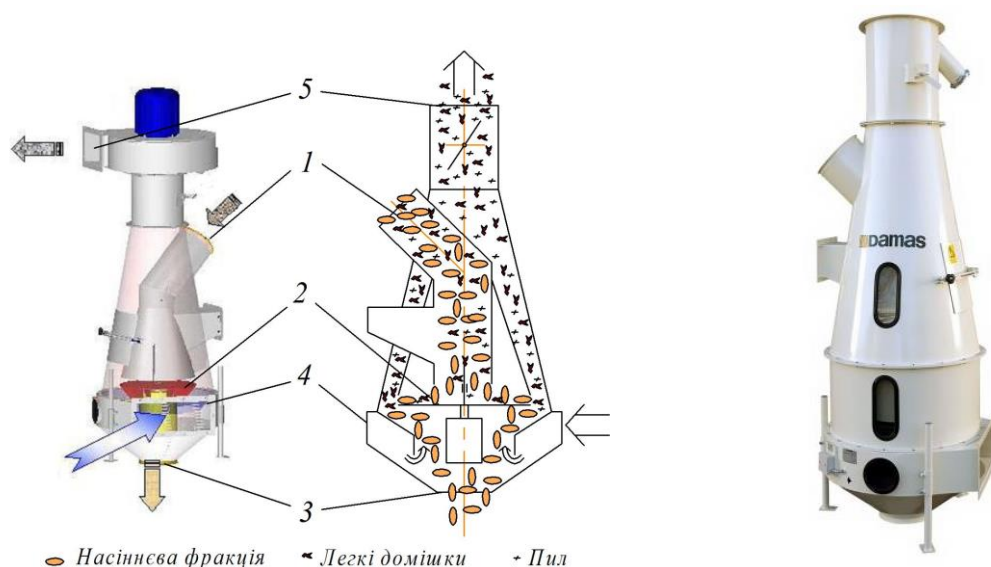


Рис. 2.11 – Схема роботи та загальний вигляд аеросепаратора від Damas [13]: 1 – завантажувальний патрубок; 2 – розкидний диск; 3 – вихід очищеного зерна; 4 – повітрозабірники; 5 – вентилятор

Дещо схожі за конструкцією сепаратори Kongskilde KF Aspirators (рис. 2.12), в них також використано пневмоканал круглого перерізу конічної форми, який по висоті має змінний поперечний переріз [14].

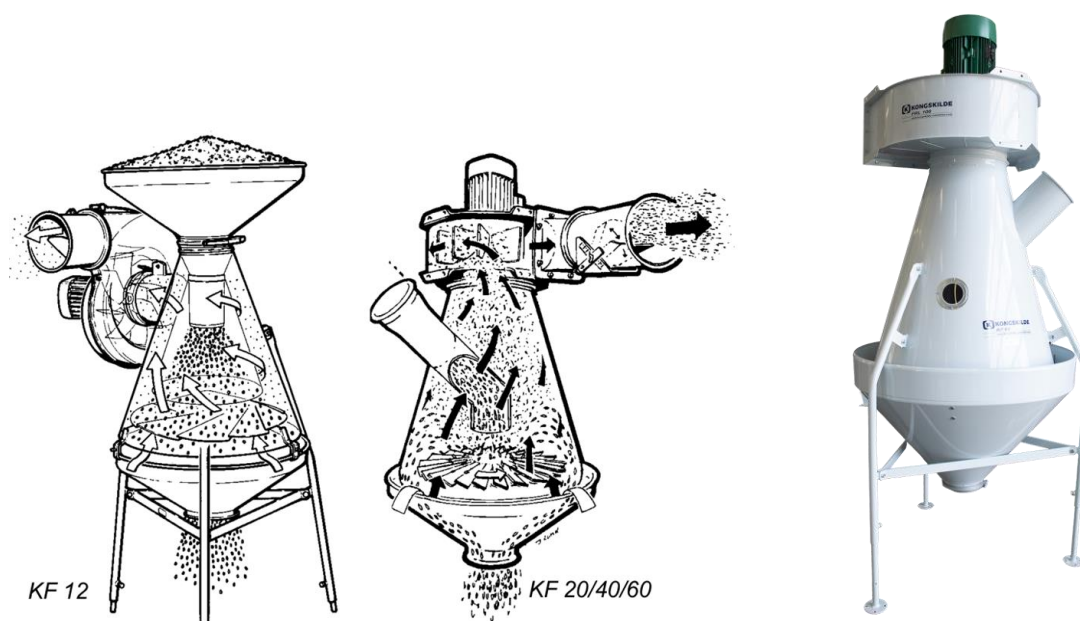


Рис. 2.12 – Схема роботи Kongskilde KF Aspirators [14]

Пропонується два різних виконання КФ Aspirators – КФ 12 з завантаженням зерноsumіші по центру пневмоканалу і бічним відбором повітряного потоку та КФ 20/40/60, в яких реалізовано бічне завантаження зерноsumіші, а відбір повітря відбувається по центру. Крім того, застосовано дві конструкції розкидного пристрою – пелюсткового і роторного типу.

Аналіз питання очищення зернових матеріалів за аеродинамічними ознаками вияви в [15, 16, 19], що при підвищенні продуктивності пневмоканалів за рахунок підвищення питомого навантаження на робочі органи призводить до суттєвого зниження якості розділення зерноsumіші на фракції, або ж вимагає збільшення габаритних в масових параметрів ЗОМ. Тому необхідно застосовувати удосконалення їх робочих органів або ж проводити пошук нових технологічних можливостей. Зважаючи на аналітичний пошук інформації стосовно можливості інтенсифікації процесу сепарування встановлено, що необхідно використовувати додаткові пасивні чи активні робочі органи, які б наближали умови взаємодії часток зерноsumіші з повітряним потоком до «ідеальних».

Серед досліджених аеросепараторів вирізняється конструкція сепаратора ЗАВ 40.02.000 (рис.2.13), в якому використовуються відцентрові сили інерції, а розміщення матеріалу в пневмоканалі наближається до «ідеального» в один шар [4, 15-17].

Робота аеросепаратора полягає в наступному. Зернова суміш шнеком 4 рівномірно розподіляється по ширині прямої поверхні 5. З цієї поверхні матеріал самопливом надходить до зовнішньої поверхні циліндричного решета 3, яке обертається. Тут на зерноsumіш починає діяти горизонтальний потік повітря, створений вентилятором 7, що викликає присмоктування часток до поверхні решета. При його обертанні на матеріал діє відцентрова сила інерції. Поступово сили інерції переважають силу повітряного потоку і частки відриваються від поверхні решета та потрапляють у приймальники І, ІІ, ІІІ. Змінюючи режими обертання решета і сили повітряного потоку можна

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулювати фракційний склад приймальників та підлаштовуватись під різноманітні культури.

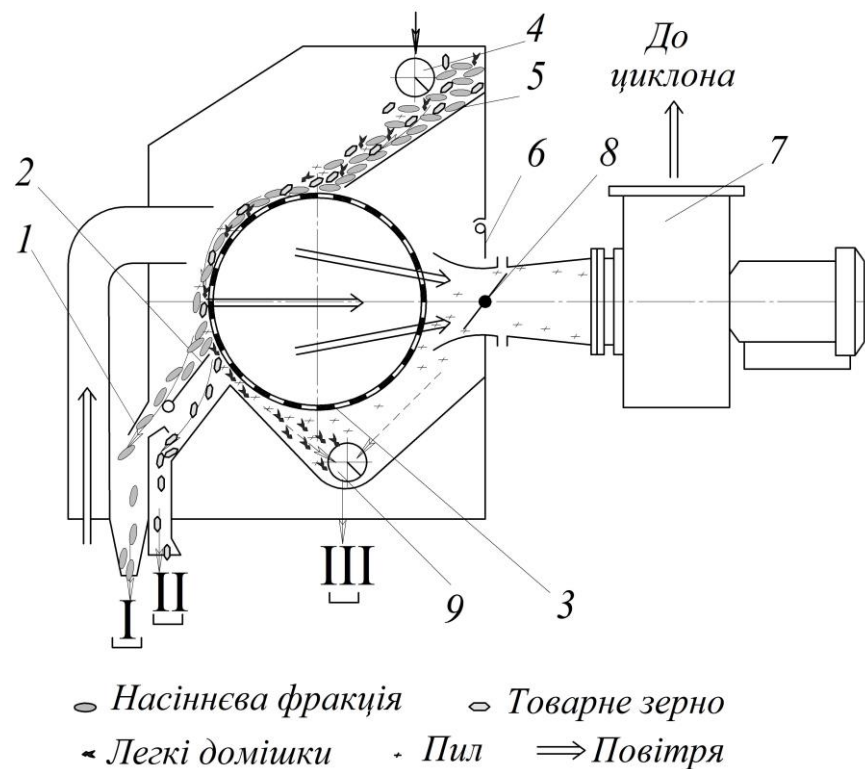


Рис. 2.13 – Схема роботи сепаратора ЗАВ 40.02.000:

1 – регулятор приймальника фракцій; 2 – регулятор якості; 3 – циліндричне решето; 4 – розподільчий шнек; 5 – напрямна поверхня; 6 – стабілізатор потоку; 7 – вентилятор; 8 – регулятор потоку; 9 – шнек; I, II, III – виходи фракцій.

Крім того, застосування в пневмоканалі активного циліндричного решета дозволяє реалізувати принцип одношарового розміщення зернової суміші в каналі, що наближає умови взаємодії потоку повітря з частками до «ідеальних».

Але даний сепаратор має і ряд недоліків, які не дозволяють скористатись його перевагами. Зокрема при підвищених частотах обертання простежується зростання аеродинамічного опору решета та створення власного вентиляючого потоку повітря, що перешкоджає якісному розділенню матеріалу. Інша проблема – нестабільне переміщення часток по поверхні

решета через присутність поперечних перетинок, які виступають свого роду перешкодами при відносному русі матеріалу.

Усунути вказані недоліки, на нашу думку, можливо, якщо виконати поверхню циліндричного решета прутковою (рис. 2.14), що не лише зменшить його аеродинамічний опір, а й дозволить стабілізувати переміщення часток в каналах, утворених прутками.

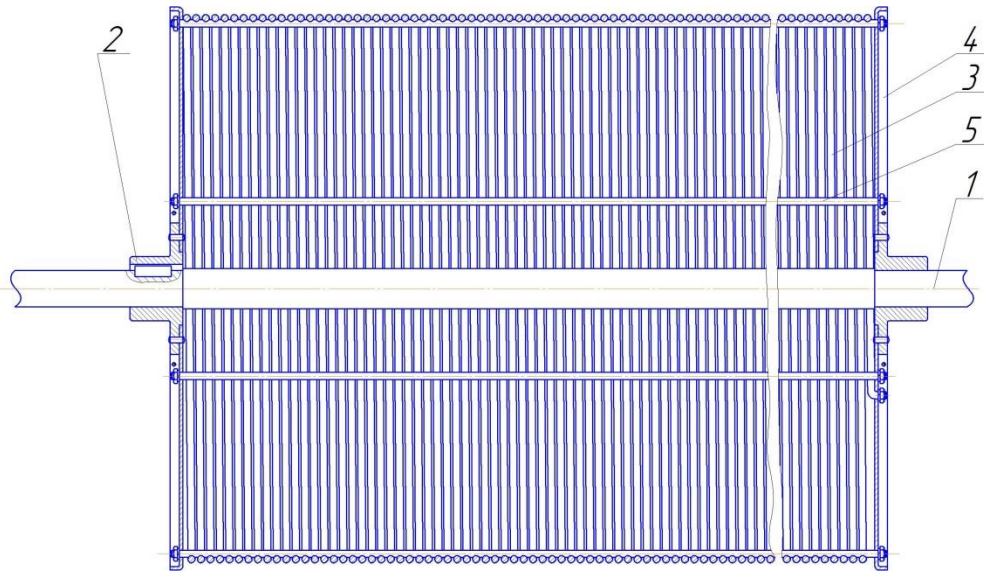


Рис.2.14 – Циліндричне решето з прутковою поверхнею:

- 1 – вал; 2 – приводна маточина; 3 – пруткова поверхня; 4 – боковина;
5 – стержень.

Таким чином, постає задач дослідження роботи модернізованого аеросепаратора при використанні циліндричного решета з прутковою поверхнею та встановлення його параметрів та режимів роботи.

2.2. Дослідження роботи модернізованого сепаратора

В якості мети дослідження обрано підвищення ефективності поділу зерноматеріалів похилим повітряним потоком шляхом обґрунтування параметрів аеросепаратора відцентрового типу.

Об'єктом досліджень виступає процес поділу зерноsumіші повітряним потоком у взаємодії з відцентровими силами інерції.

					АС 00.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Для реалізації мети дослідження розглянемо етапи переміщення часток зерноsumіші в аеросепараторі. Перед потраплянням до зони дії повітряного потоку частки матеріалу переміщуються від місця завантаження (бункера) до місця переходу з поверхні направляючої до повітряного каналу у точці циліндричного решета, місце якої задається кутом φ_0 (рис. 2.15). Умови подачі зерноsumіші повинні формувати задані швидкість введення V_0 та товщину шару суміші при введенні h_0 . Дан умови обумовлюють наступні параметри: кут нахилу напрямної α_0 відносно горизонту, довжина пройденного шляху S та умови витікання з бункера.

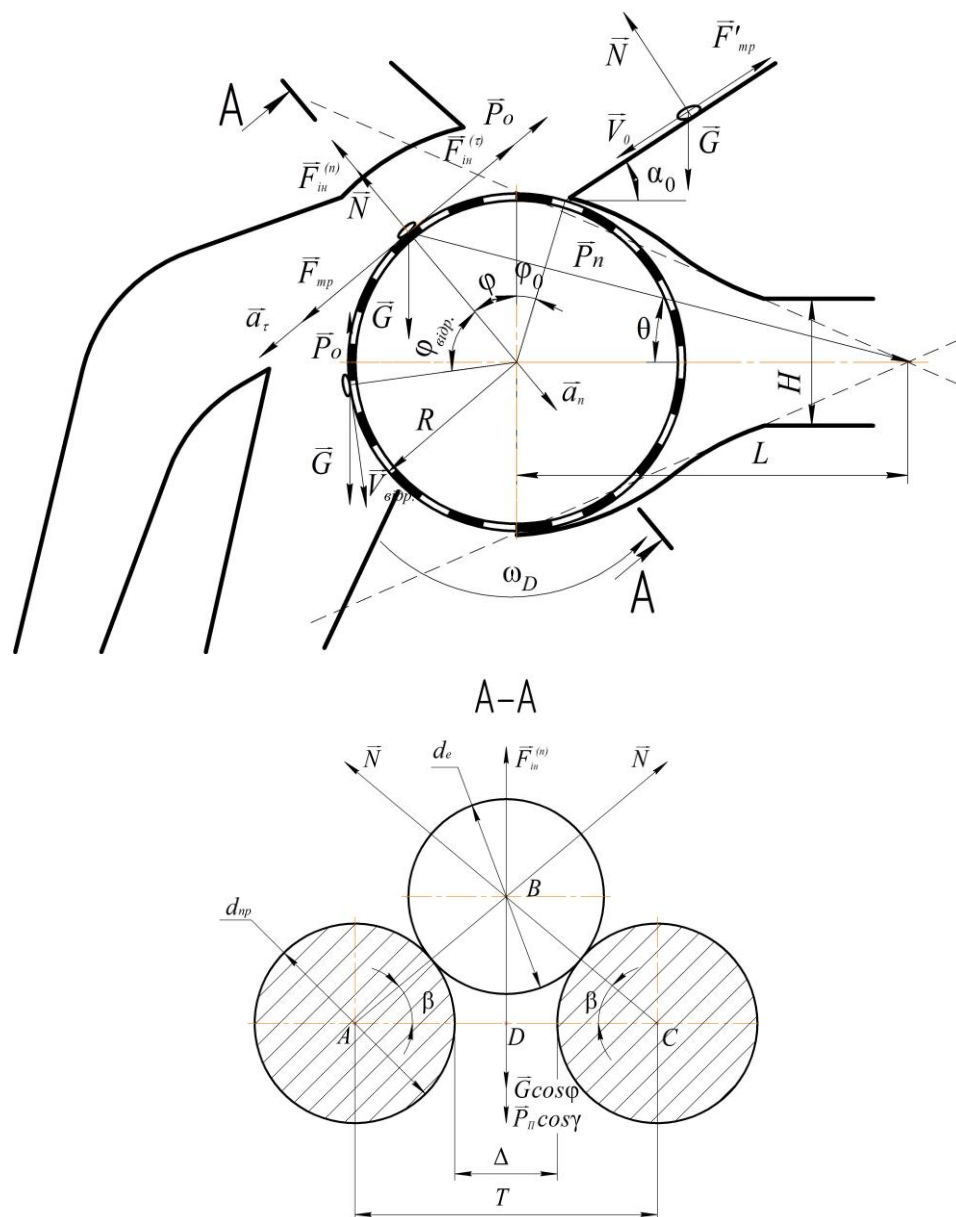


Рис. 2.15 – Модель об'єкту досліджень

Умова переходу від прямої завантажувальної пристрою до поверхні циліндричного пруткового решета повинна забезпечувати одношарове рівномірне розміщення зерноsumіші у повітряному каналі. Для цього необхідно обґрунтувати відповідні кінематичні параметри циліндричного решета з прив'язкою до параметрів механізму подачі.

При знаходженні частинок зерноsumіші в зоні дії повітряного потоку від місця подачі на решето до місця сходження з нього вони здійснюють рух за складною траєкторією під дією сил, які створені циліндричним решетом і повітряним потоком. Даний етап переміщення зерноsumіші повинен відповідати наступним умовам – стабільне рівноприскорене переміщення частинок, яке визначається відповідними умовами руху, основну роль тут відіграють місце подачі φ_0 , початкова швидкість руху V_0 матеріалу, кінематичні і геометричні параметри решета (його кутова швидкість ω_D та діаметр D , діаметр прутків навивки d_{np} та розмір зазору між ними Δ), а також параметри повітряного середовища, а саме швидкість повітряного потоку U та його кут атаки θ .

По мірі переміщення частинок по поверхні решета відбувається їх прискорення і, відповідно, збільшення відцентрових сил, які на них діють. Відрив частинок від поверхні решета ймовірний за умови перевищення величини інерційних сил над силами дії повітряного потоку, або за умови співпадіння їх напрямку дії. Останнє зумовлює і можливість самоочищення циліндричного решета від часток, які защемило між прутками.

За інших ідентичних умов відбувається розділення частинок зерноsumіші внаслідок відмінності у аеродинамічних властивостях, зокрема величини їх коефіцієнта парусності κ_n . Таким чином, при обробці повітряним потоком з використанням додаткового інтенсифікатора у вигляді циліндричного решета, дозволяє забезпечити більшу чіткість розділення матеріалу на фракції та керування цим процесом.

Після сходження з пруткової поверхні решета частки за законами балістики переміщуються до відповідних приймальників за траєкторіями тіл, кинутих під кутом до горизонту.

Як зазначалось, якість роботи зазначеного аспіратора визначається на початковому етапі параметрами завантаження. Так, при витіканні з бункера матеріал надходить на напрямну поверхню товщиною в декілька шарів і далі, залежно від параметрів напрямної, набуває відповідну швидкість і товщину при завантаженні до пневмоканалу. Як вже зазначалось, однією з умов якісного очищення матеріалу повітряним потоком є обробка зерноsumіші «в один шар», тобто необхідно забезпечити відповідні кінематичні параметри переходу від напрямної поверхні до поверхні циліндричного решета. Встановимо вказані параметри переходу з умови нерозривності потоку та враховуючи живий переріз циліндричного решета:

$$V_1 = V_0 \cdot \frac{h_0}{h_1 \cdot \chi}, \quad (2.1)$$

де V_1 і V_0 – відповідно величина колової швидкості циліндричного решета на діаметрі D та швидкості завантаження до пневмоканалу, м/с;

h_0 і h_1 – відповідно значення товщини шару зерноsumіші в кінці напрямної поверхні та під час потрапляння на поверхню циліндричного решета, м;

χ – коефіцієнт, що характеризує величину живого перерізу пруткового решета,

$$\chi = 1 - \frac{d_{np} \cdot k_{np}}{B_p};$$

B_p – робоча ширина циліндричного решета, м;

d_{np} – діаметр прутків навивки, м;

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

k_{np} – кількість прутків, шт.

Аналізуючи залежність (2.1) приходимо до висновку, що умова забезпечення одношарового розміщення зерноsumіші в пневмоканалі дійсна при перевищенні на величину $\frac{h_0}{h_1}$ колової швидкості циліндричного решета над швидкістю завантаження.

Обґрунтуємо відповідну умові частоту обертання решета

$$n_D = \frac{60 \cdot V_1}{\pi \cdot D}, \quad (2.2)$$

або, враховуючи наведену вище умову нерозривності потоку:

$$n_D = \frac{60 \cdot V_0}{\pi \cdot D} \cdot \frac{h_0}{h_1 \cdot \chi}, \quad (2.3)$$

де n_D – частота обертання циліндричного решета, об/хв;

D – діаметр циліндричного решета, м.

Питому продуктивність аеросепаратора відносно ширини пневмоканалу визначимо як:

$$q_{B.ПСК} = \frac{Q}{B_{ПСК}} \quad (2.4)$$

де Q – проектна продуктивність аеросепаратора, кг/с:

$$Q = V_1 \cdot L_p \cdot h_1 \cdot \rho, \quad (2.5)$$

$B_{ПСК}$ – робоча ширина пневмоканалу, яка в даному випадку $B_{ПСК} = B_p$;

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

L_p – величина робочої довжини поверхні решета, м;

ρ – об’ємна вага зерноsumіші, кг/м³.

Враховуючи залежності (2.1), (2.3), (2.5) запишемо рівняння (2.4) в наступному вигляді:

$$q_{в.пск} = n_D \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot \rho \cdot h_1}{60} \cdot \chi. \quad (2.6)$$

Проаналізуємо отримані залежності частоти обертання циліндричного решета від швидкості завантаження зерноsumіші до пневмоканалу за різної її початкової товщини (рис. 2.16).

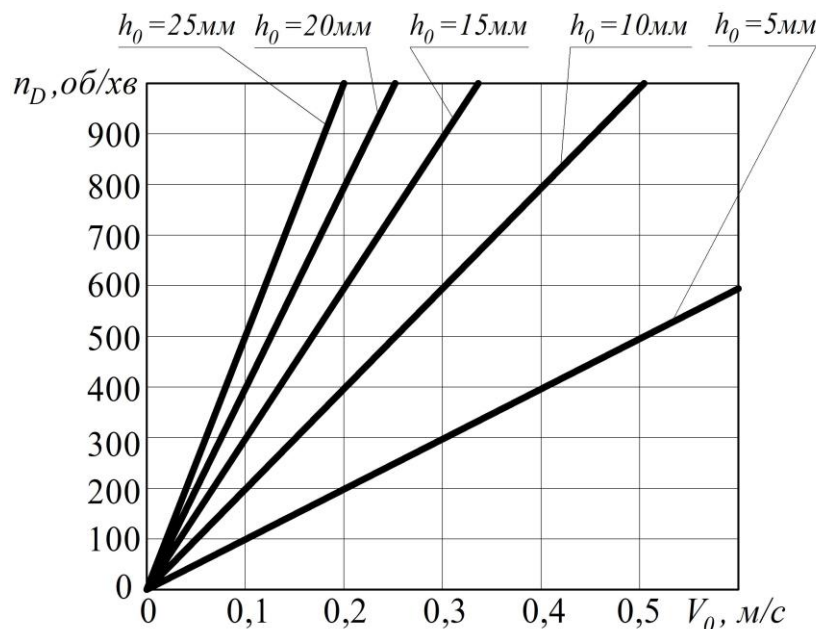


Рис. 2.16 – Залежність частоти обертання циліндричного решета n_D від швидкості завантаження зерноsumіші до пневмоканалу V_0 за різної товщини матеріалу при завантаженні h_0

Відповідно до графічних залежностей (рис. 2.16) можемо констатувати, що при збільшенні товщини шару зерноsumіші в момент завантаження до пневмоканалу для забезпечення умови одношарового розміщення в ньому необхідно і відповідно збільшувати частоту обертання решета. Але це

приведе, за інших сталих умов, серед яких діаметр решета та швидкість повітряного потоку, до надто швидкого відривання частинок від поверхні решета практично на початковому етапі надходження до пневмоканалу. Це буде мати наслідком неможливість сформувати необхідне для якісного сепарування «віяло розсіву», що унеможливить якісне розділення зерноsumіші на фракції. Збільшення ж швидкості повітряного потоку відповідно до зміни частоти обертання решета буде мати наслідком суттєве підвищення енергоємності процесу. Інший шлях – зменшення діаметру циліндричного решета призведе до зменшення довжини робочої поверхні, тобто зменшення часу взаємодії потоку повітря з зерноsumішшю, що також знизить ефективність сепарації.

Відповідно, при обґрунтуванні діапазону раціональних значень товщини шару зерноsumіші при завантаженні будемо орієнтуватись на діапазон мінімальних її значень, враховуючи потрібну швидкість введення до пневмоканалу, раціональні значення якої відповідно до рекомендацій [17, 19] перебувають в межах 0,2...0,5 м/с.

Таким чином, враховуючи наведені раціональні значення швидкості завантаження, відповідно до залежності (2.3) та (рис. 2.16) раціональні значення частоти обертання циліндричного решета становлять $n_D = 400...1000$ об/хв.

Величина питомої продуктивності аеросепаратора для вказаних меж варіювання частоти обертання складе (рис. 2.17):

при сепарації зерноsumіші, об'ємна маса якої становить $\rho_1 = 450$ кг/м³ – $q_{В.ПСК} = 600...1600$ кг/дм·год.,

при сепарації зерноsumіші, об'ємна маса якої становить $\rho_2 = 750$ кг/м³ – $q_{В.ПСК} = 400...1000$ кг/дм·год.

Як відзначалось, відповідно до рівняння (2.6), питома продуктивність аеросепаратора залежить і від коефіцієнта живого перерізу робочої частини циліндричного решета, який визначається діаметром прутків та зазору між

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ними. Аналізуючи залежність (рис. 2.18) бачимо, що зменшення діаметра прутків призводить до підвищення питомої продуктивності повітряного каналу.

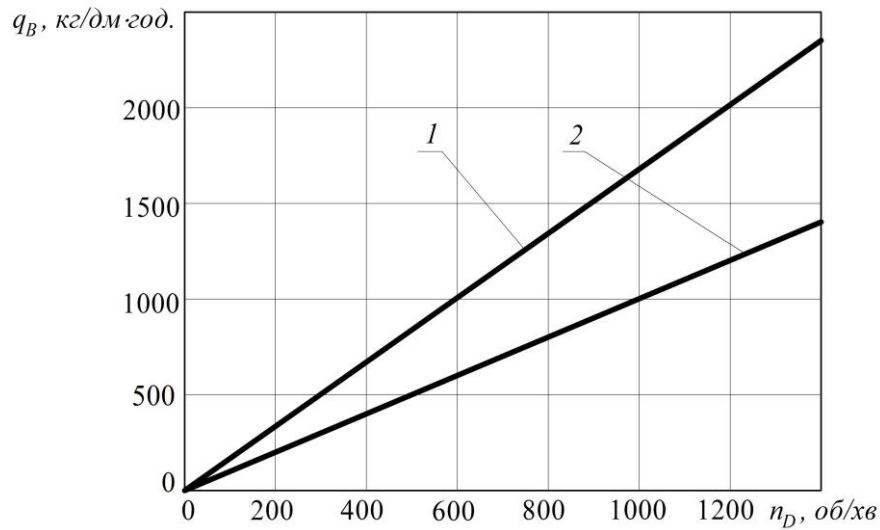


Рис. 2.17 – Залежність питомої продуктивності аеросепаратора від частоти обертання циліндричного решета: 1 – об’ємна маса зерноsumіші $\rho_1 = 450 \text{ кг/м}^3$; 2 – об’ємна маса зерноsumіші $\rho_2 = 750 \text{ кг/м}^3$.

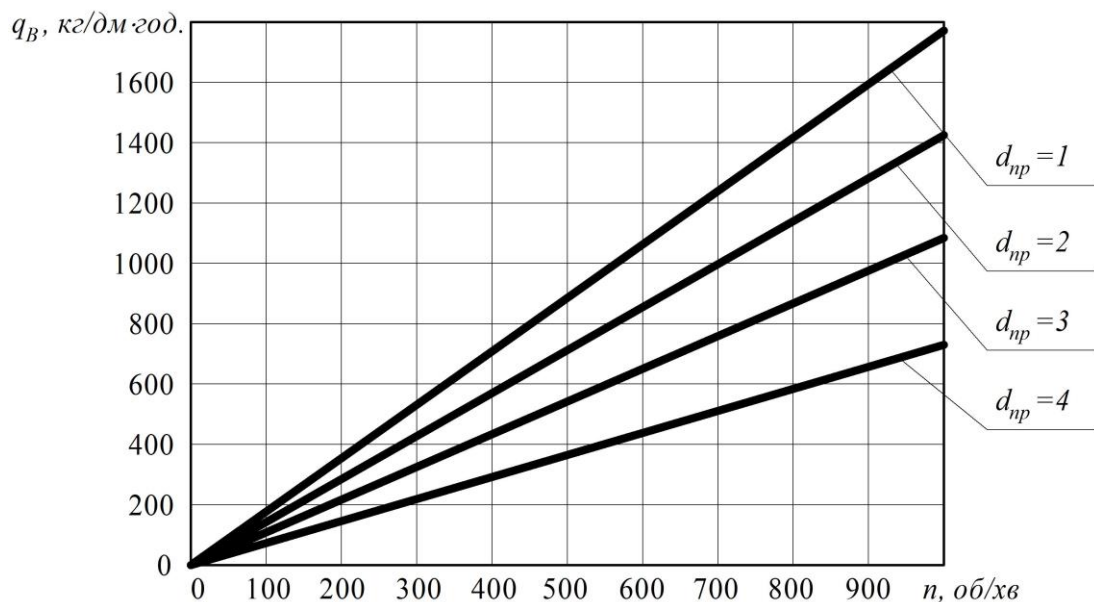


Рис. 2.18 – Залежність величини питомої продуктивності від діаметра прутків за різної частоти обертання циліндричного решета

Однак, мінімальні значення діаметра прутків визначаються умовою жорсткості конструкції та умови защемлення часток між прутками (рис. 2.15, переріз А-А) [15, 17, 18], що потребує додаткового дослідження.

Висновки за розділом

Під час виконання розділу було проведено критичний аналіз методів і способів розділення зернових матеріалів. Встановлено, що розділення зерноsumішей за аеродинамічними властивостями повітряним потоком є одним з найбільш універсальних способів сепарування, який знайшов свої застосування практично на всіх етапах післязбиральної обробки як при очищенні від сторонніх домішок, так і при сортуванні основної зернової фракції.

Зважаючи на проведений огляд, було сформульовано напрямок подальшого удосконалення ЗОМ повітряного типу – необхідність використання додаткових пасивних чи активних робочих органів, які б наближали умови взаємодії часток зерноsumіші з повітряним потоком до «ідеальних». За базову модель для удосконалення обрано сепаратор ЗАВ 40.02.000, який має додатковий інтенсифікатор у вигляді циліндричного решета, встановленого в повітряному каналі похилого типу. Аналіз роботи даної машини виявив деякі недоліки, які не дозволяють забезпечити високу ефективність розділення зернових сумішей. Було запропоновано використати в конструкції циліндричного решета пруткову навивку, що дозволило стабілізувати переміщення частинок зерноsumіші по його поверхні та зменшити аеродинамічний опір даного органу.

Для удосконаленої конструкції виконано теоретичне дослідження забезпечення одношарового розміщення зерноsumіші в повітряному каналі, що дозволить підвищити якість сепарації повітряним потоком. Було обґрунтовано параметри та режими роботи циліндричного решета пруткового типу та встановлено область раціональних значень питомої продуктивності аеросепаратора.

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Інженерна частина

Наведені теоретичні дослідження підтверджують ефективність запропонованих технічних рішень в конструкції аеросепаратора, а саме використання пруткової поверхні циліндричного решета. Задача інженерного розділу полягає в обґрунтуванні параметрів і режимів роботи аеросепаратора після модернізації.

3.1. Технологічні розрахунки

Розрахунок параметрів бункера

Одним з основних параметрів завантажувального бункера (рис. 2.19) являється його об'єм, який визначається відповідно до призначення сепар.атора та з врахуванням необхідності безперебійної його роботи [22, 24]:

$$V_{\text{б}} = \frac{P_{\text{пр}} \cdot \tau}{24 \cdot \rho \cdot \lambda},$$

де $P_{\text{пр}}$ – завантаженість сепаратора відповідно до призначення, кг;

τ – коефіцієнт, що враховує використання робочого часу;

ρ – об'ємна вага зерноsumіші, кг/м³;

λ – коефіцієнт, що визначає ступінь заповнення зерноматеріалом об'єму бункера, $\lambda = 0,6 \dots 0,8$ [24].

Звідси величина об'єму бункера аеросепаратора становитиме:

$$V = \frac{2500 \cdot 0,78}{24 \cdot 610 \cdot 0,7} = 0,19 \text{ м}^3.$$

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

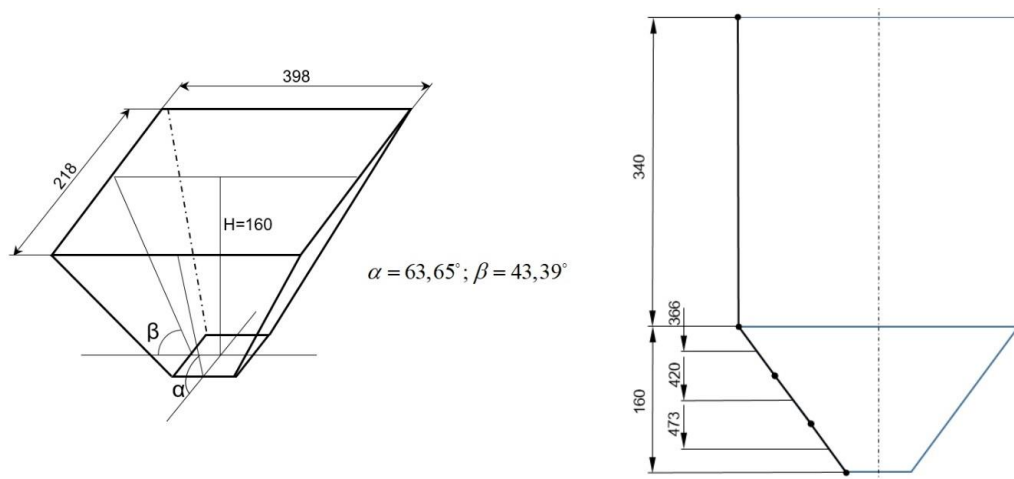


Рис. 2.19 – Розрахункові параметри бункера

Розрахунок параметрів циліндричного решета

Встановимо частоту обертання решета (рис. 2.20)

$$n_D = \frac{60 \cdot V_D}{\pi \cdot D},$$

де V_D – лінійна швидкість на діаметрі D , м/с;

D – діаметр решета, який згідно теоретичних досліджень становить $D = 0,150$ м.

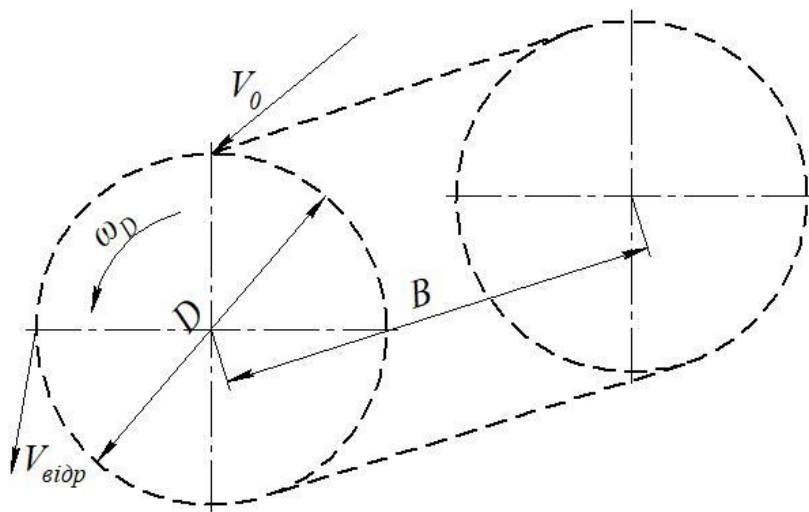


Рис.2.20 – Схема до визначення параметрів решета

Колова швидкість поверхні решета відповідно до умови одношарового розміщення зерноsumіші матеріалу в пневмоканалі:

$$V_D = \frac{Q}{B \cdot \rho \cdot h_1},$$

де Q – подача зерноsumіші, кг/с;

B – робоча ширина решета (пневмоканалу), $B = 0,9$ м;

h_1 – товщина одного шару матеріалу, $h_1 = 0,003$ м.

Таким чином колова швидкість становить

$$V_D = \frac{9}{0,9 \cdot 750 \cdot 0,003} = 4,4 \text{ м/с},$$

і відповідно частота обертання решета

$$n_{\sigma} = \frac{60 \cdot 4,4}{3,14 \cdot 0,150} = 560 \text{ об/хв.}$$

Визначення параметрів пневмосистеми

Для створення повітряного потоку в пневмосистемі аеросепаратора обираємо найбільш універсальний вентилятор відцентрового типу та визначимо його параметри.

Визначаємо обсяг повітряного потоку, необхідний для функціонування пневмосистеми [2, 24]:

$$V_{nn} = 36 \cdot U \cdot S,$$

де V_{nn} – витрати повітря в пневмосистемі, м³/год;

U – швидкість повітряного потоку в пневмоканалі, величину якої приймемо максимальну $U = 15$ м/с;

S – площа поперечного перерізу пневмоканалу, згідно (рис. 2.20)

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S = 13,5 \text{ дм}^2;$$

$$V_{nn} = 36 \cdot 15 \cdot 13,5 = 7290 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Встановимо величину втрат повного тиску в пневмоканалі [22, 24]:

$$\Delta_{pk} = (0,1 + 0,00013 \cdot q_{kF}) \cdot U^2 + \Delta_{pp},$$

де Δ_{pk} – величина втрат повного тиску в пневмоканалі, кгс/м²;

q_{kF} – навантаження одиниці площі перерізу каналу, кг/(год·дм²);

Δ_{pp} – величина втрат повного тиску на решеті, кгс/м², $\Delta_{pp} = 18 \text{ кгс/м}^2$ [24];

$$\Delta_{pk} = (0,1 + 0,00013 \cdot 1544) \cdot 15^2 + 2 \cdot 18 = 103,6 \text{ кгс/м}^2.$$

Відповідно до визначеної величини витрат повітря та втрат повного тиску в пневмоканалі обираємо вентилятор серії ВРН номер 6, який має наступні паспортні характеристики [24]:

- к.к.д. $\eta_{nm} = 0,4$;
- частота обертання робочого колеса вентилятора $n = 1000 \text{ об/хв}$;
- обсяг повітря, що створює вентилятор $V = 7400 \text{ м}^3/\text{год}$;
- діаметр робочого колеса $D = 520 \text{ мм}$;
- потужність, прикладена до валу вентилятора $N_v = 2,3 \text{ кВт}$;
- встановлена потужність електродвигуна $N_{вст} = 4,5 \text{ кВт}$.

Для очищення повітряного потоку від легких домішок і пилу пропонується використати інерційний пилоочисник жалюзійного типу (рис.2.21). Визначимо необхідні параметри цього пилоочисника.

Відповідно до стандартних методик [7, 25], величина опору інерційного пилоочисника становить:

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

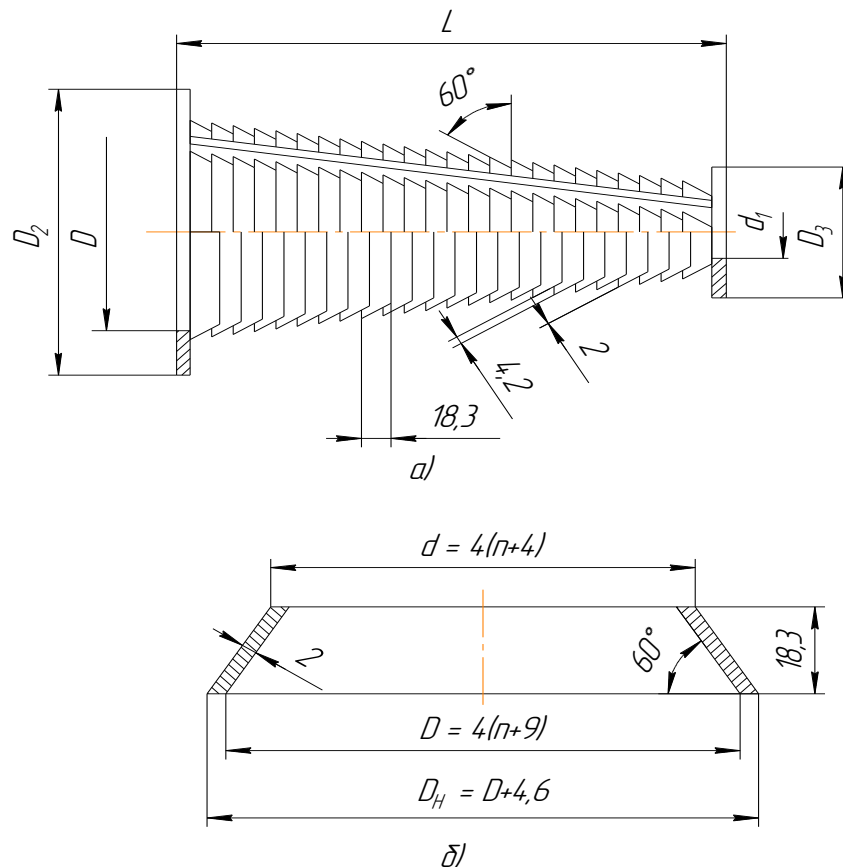
$$\Delta_{p_{\text{ц}}} = \xi \cdot \frac{\rho_n \cdot U^2}{2 \cdot g},$$

де ξ – коефіцієнт, що характеризує опір пилоочисника даного типу і який для всіх розмірів становить $\xi = 2$ [24];

ρ_n – щільність повітря, $\rho_n = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Отже, отримаємо:

$$\Delta_{p_{\text{ц}}} = 0,123 \cdot 15^2 = 27,6 \text{ кгс/м}^2.$$



а) загальний вигляд; б) кільце (n – номер кільця)

Рис.2.21 – До розрахунку інерційного пилоочисника жалюзійного типу

Розрахуємо діаметр вхідного отвору відповідно до заданої продуктивності та швидкості повітряного потоку [22, 24]:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot U_{nl},$$

звідки

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V}{U_{nl}}},$$

де D – діаметр вхідного отвору, м;

U_{nl} – швидкість повітряного потоку на вході пилоочисника, м/с;

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{7400}{3600 \cdot 15}} = 0,418 \text{ м.}$$

приймаємо зі стандартного ряду $D = 0,420$ м.

Відповідно до розрахункових значень приймаємо інерційний пилоочисник
ПІ- 8-420 з такими параметрами [22]:

- діаметр вихідного отвору $d_1 = 72$ мм;
- кількість кілець – 65;
- діаметр великого і малого фланців, відповідно $D_2 = 497$ мм, $D_3 = 142$ мм;
- загальна довжина $L = 1142$ мм;
- номер кілець $n = 14 - 78$.

3.2. Енергетичні розрахунки

Визначення потужності на привід циліндричного решета

Потужність приводу циліндричного решета складається з наступних складових:

$$N = N_{\xi} + N_{кор}$$

де N_{ξ} – втрати потужності на подолання опорів, Вт [22];

$N_{кор}$ – потужність, яка необхідна для переміщення зернової суміші, Вт;

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\xi} = \varpi \cdot \omega$$

де ϖ , ω – коефіцієнти, які встановлюють тип шкідливого опору.

Відповідно до [26] коефіцієнт ϖ , який характеризує тертя в опорах, можна визначити як:

$$\varpi = R \cdot \phi \cdot r$$

де R – сума реакцій, прикладених до опор решета, Н;

ϕ – коефіцієнт тертя;

r – величина радіуса цапфи, м.

Для опор, в яких використані підшипники качення можна прийняти $\phi \cdot r = 0,00015$ м, а сумарну реакцію опор орієнтовно $R = 400$ Н [26]. Тоді

$$\varpi = 0,00015 \cdot 400 = 0,06 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

а величина потужності, яка витрачається при подоланні шкідливих опорів:

$$N_{\xi} = 0,06 \cdot 63 = 3,78 \text{ Вт}.$$

Циліндричне решето також виконує корисну роботу з переміщення зернового шару з точки А в точку Б (рис. 2.22). Встановимо величину потужності, яка витрачається на цю роботу:

$$N_{\text{кор}} = \frac{A}{t},$$

де A – робота, яка виконується для перенесення зернового шару з точки А в точку Б;

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

t – час, який витрачається на перенесення зернового шару з точки А в точку Б, с.

Робота, яка виконується для перенесення зернового шару:

$$A = F \cdot L_s \cdot \cos \theta,$$

де L_s – довжина шляху, яку зерноматеріал проходить від місця подачі до місця відриву від поверхні решета, м;

F – сила, що діє на зерноматеріал, Н;

θ – кут між силою N та напрямом її дії ($\theta = 0^\circ$).

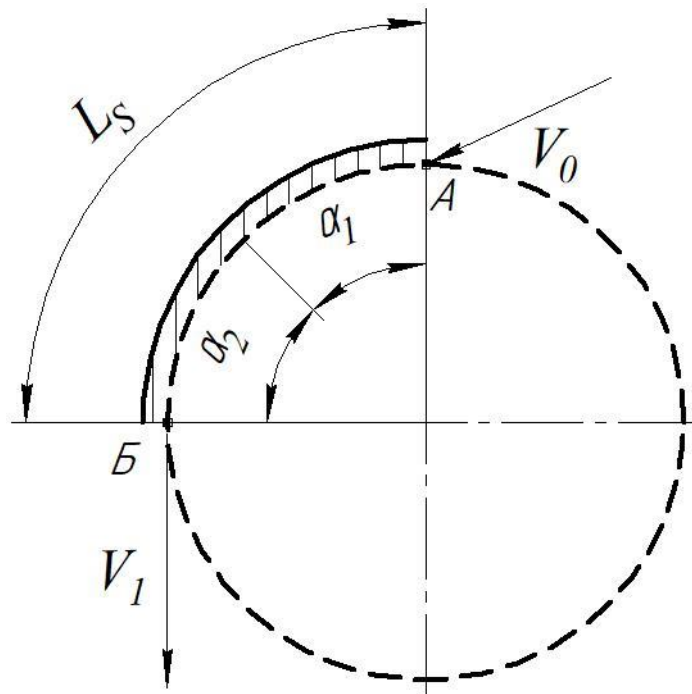


Рис. 2.22 – Розрахункова схема по визначенню корисної потужності

Якщо прийняти умову, що величина шляху визначається кутом $\alpha_1 + \alpha_2 = 90^\circ$, то будемо мати:

$$L_s = \frac{\pi \cdot D}{4} = \frac{3,14 \cdot 150}{4} = 117,75 \text{ мм.}$$

Величину сили знайдемо відповідно до класичного виду:

$$F = m \cdot a,$$

де m – маса зерноматеріалу, що протягом часу t перебуває на робочій поверхні решета, кг;

a – прискорення, якого набувають частки в момент відриву, м/с²:

$$m = \sum_{i=0}^k m_i,$$

m_i – маса однієї одиниці зерноматеріалу, яка відповідно до попередніх досліджень становить $m_i = 0,3 \cdot 10^{-3}$ кг;

k – кількісна величина одиниць зерноматеріалу, які протягом часу t перебувають на робочій поверхні решета, відповідно до попередніх досліджень становить $k = 400$ шт.);

$$m = 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 400 = 0,12 \text{ кг};$$

Величину прискорення знайдемо з залежності

$$a = \frac{V_1 - V_0}{t},$$

де V_1 , V_0 – відповідно величина кінцевої і початкової швидкостей зернових часток, $V_1 = V_D = 4,4$ м/с, $V_0 = 0,5$ м/с;

$$t = \frac{L_s}{V_1} = \frac{0,118}{4,4} = 0,0268 \text{ с.}$$

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, маємо:

прискорення

$$a = \frac{4,4 - 0,5}{0,0268} = 145,5 \text{ м/с}^2;$$

сила, що діє на матеріал

$$F = 0,12 \cdot 145,5 = 17,46 \text{ Н};$$

величина корисної роботи

$$A = 17,46 \cdot 0,11775 \cdot 1 = 2,06 \text{ Дж.}$$

Таким чином, величина потужності на виконання корисної роботи по переміщенню зерноматеріалу:

$$N_{\text{кор}} = \frac{2,06}{0,0268} = 76,8 \text{ Вт} = 0,077 \text{ кВт},$$

а величина загальної потужності на привод циліндричного решета:

$$N = 0,00378 + 0,077 = 0,081 \text{ кВт.}$$

Величина потужності електродвигуна для приводу решета:

$$N_0 = \frac{N}{\eta} = \frac{0,081}{0,97} = 0,084 \text{ кВт}$$

де η – к.к.д передачі.

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З врахуванням можливих перевантажень в момент пуску потрібна потужність електродвигуна становитиме:

$$N = \kappa \cdot \frac{N_0}{\eta_{\text{дв}}} = 1,25 \frac{0,084}{0,9} = 0,12 \text{ кВт.}$$

3.3. Розрахунки на міцність

Розрахунок шпонкового з'єднання

Наведемо розрахунок шпонкового з'єднання, яке використовується для передачі крутного моменту від шківів до вала циліндричного редуктора. Для цієї задачі застосуємо шпонку призматичного типу (рис.2.23), параметри якої згідно [26] становлять: ширина $b \times$ висота $h \times$ довжина l , мм – $6 \times 6 \times 18$; при цьому величина глибина шпоночного пазу матиме розмір для вала $t_1 = 3,5$ мм, для маточини $t_2 = 2,8$ мм: матеріал шпонки сталь 45.

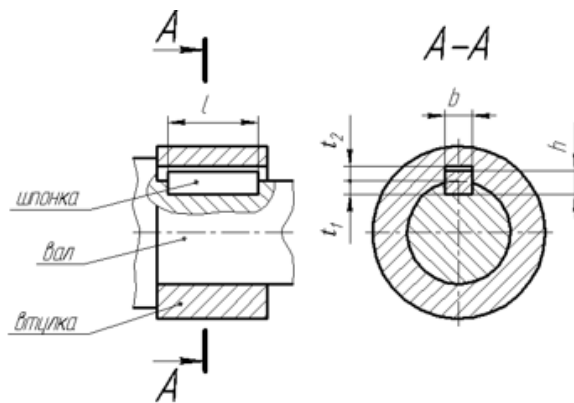


Рис.2.23 – Схема розрахункова шпонкового з'єднання

Розрахунок робочої довжини шпонки відповідно до умови міцності проводимо за напруженням зминання, враховуючи, що для шпонкового з'єднання деформація зминання внаслідок дії крутного моменту є найбільш небезпечною [26]:

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{2 \cdot T}{d_{\text{м}} \cdot (h - t_1) \cdot l_p} \leq [\sigma_{\text{зм}}],$$

звідки

$$l_p \geq \frac{2 \cdot T}{d_{\text{м}} \cdot [\sigma_{\text{зм}}] \cdot (h - t_1)},$$

					АС 00.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

де l_p – розрахункове значення робочої довжини шпонки, мм;

d_m – діаметр маточини, мм;

T – величина крутного моменту, Н·мм;

$[\sigma_{зм}]$ – допустима величина напруги зминання, яка для сталі 45 становить $[\sigma_{зм}] = 50$ МПа [26];

$$l_p = \frac{2 \cdot 9,7 \cdot 10^3}{20 \cdot 50 \cdot (6 - 3,5)} = 7,76 \text{ мм.}$$

Відповідно, перевіряємо величину довжини шпонки:

$$l_p = l - b$$

звідки

$$l = l_p + b = 7,76 + 6 = 13,76 \text{ мм.}$$

Робимо висновок, що обрана шпонка, яка має довжину 18 мм відповідає умові міцності.

Висновки по розділу

Зважаючи на проведені в попередньому розділі дослідження задача, яка ставилась в даному – розрахунок параметрів і режимів роботи запропонованого аеросепаратора. Було виконано технологічні розрахунки кінематичних параметрів циліндричного решета, які дозволять забезпечити необхідне виконання технологічного процесу. Проведені розрахунки пневмосистеми дозволили обрати серійний вентилятор та інерційний пилоочисник жалюзійного типу, що дозволить забезпечити функціонування даної системи.

Також виконано енергетичні та міцнісні розрахунки системи, що дозволить оптимізувати енерго- і металомісткість модернізованого сепаратора.

Виконані розрахунки використані для підготовки конструкторської документації, наведеної в графічній частині роботи.

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Охорона праці

Заходи, що сприяють створенню нормативних санітарно-гігієнічних умов при роботі з удосконаленим сепаратором

При роботі сепаратора можливе ураження органів дихання пиловими частками, тому необхідно забезпечити обслуговуючий персонал засобами індивідуального захисту, що захищають від запилення, а саме респіраторами типу У-2К або захисними масками. Приміщення, де експлуатується ЗОМ повинно бути обладнане системою вентиляції.

З метою зниження шуму і вібрацій передбачено використання пружних прокладок на механізмах приводів сепаратора. В робочих зонах, де рівень шуму становить більше 80 дБА виконано позначення відповідними знаками небезпеки. Зусилля на важелях, за допомогою яких здійснюється ручне управління механізмами, не перевищує 60 Н.

Елементи конструкції аеросепаратора виконані таким чином, що не перешкоджають і не обмежують огляд місць об'єктів постійного спостереження. Для важкодоступних місць використано одноразову систему мащення підшипникових вузлів протягом всього міжремонтного періоду. Місця розташування точок мащення позначені відповідними покажчиками, які виділяються на загальному фоні сепаратора.

Зерноочисний агрегат укомплектований інструментом і пристосуванням, необхідним для виконання регулювання, технічного обслуговування та поточного ремонту, а також ручного очищення робочих органів. Компанування робочих органів виконано з умов забезпечення безпеки доступу до них для ТО і регулювання.

При кольоровому оформленні сепаратора виконані вимоги безпечної експлуатації – зовнішні поверхні, які у процесі роботи постійно знаходяться у полі зору оператора, мають матове покриття фарбою.

Зерноочисна машина має на своєму корпусі відповідні написи, які забороняють або попереджають про можливі аварійні ситуації, що можуть виникнути у випадку неправильних дій працівників.

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконані з металу струмоведучі частини електрообладнання, що можуть перебувати під напругою внаслідок порушення ізоляційних матеріалів повинні бути заземлені шляхом приєднання до заземлюючого пристрою.

Шафа управління повинна мати пило- та вологозахисне виконання, що унеможливило потрапляння пилу і вологи на струмоведучі частини. Дверцята шафи управління повинні передбачати закривання ключем, а на їх внутрішній стороні розміщується принципова електрична схема та нанесено знак електронапруги. Перед включенням сепаратора повинен подаватися звуковий сигнал, для чого використовується сигнальна сирена СС-143 220В, 50 Гц. Електрообладнання має температурний захист УВТЗ-5.

Надписи та попереджувальні знаки з електробезпеки, які розміщені на сепараторі

Загальний вигляд знака	Пояснення до попереджувальних знаків
	Знак електробезпеки «ЩС 220, 380 В» – показник розподільного щита, який встановлено в силовій установці будівлі. Виконує попередження і захист співробітників від ураження електрострумом, збоїв в електроустаткуванні, а також для обмеження доступу співробітників до робочих ділянок під напругою. Використовується для позначення мереж з напругою до 1000 В, а також для їх захисту від перевантажень і коротких замикань.
	Знак електробезпеки «Заземлення». Застосовується для позначення місць заземлення електроприводів сепаратора.

Транспортування аеросепаратора до споживача виконується відповідно до «Загальних правил перевезення вантажів автотранспортом». Для стропування вузлів, вагою понад 20 кг, під час завантаження на транспортні засоби, ремонту і збирання передбачені спеціальні петлі, які позначені фарбою, відмінного кольору від загального фону машини.

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Економічна частина

Аналізуючи машини для післязбиральної обробки зернових матеріалів на комплексах типу ЗАВ, було виявлено проблемні питання – недостатня ефективність роботи зерноочисної машини ЗАВ 40.02.000, порівняно з іншими технологічними машинами комплексу. Зважаючи на критичний аналіз аеродинамічних ЗОМ було запропоновано модернізувати даний сепаратор шляхом заміни сітчастого барабану на прутковий. Дослідні дані та інженерні розрахунки підтвердили, що запропонована модернізація дозволить збільшити продуктивність в 1,2-1,4 рази (залежно від виду культури та вологості зернової суміші). Порівняльна характеристика (табл. 5.1) підтверджує дані висновки.

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники сепараторів

Показники	Один. виміру	Машина	
		Базова	Модерні зована
1	2	3	4
1. Агрегаткування		стаціонарна	
2. Маса машини	кг	450	437
3. Витрати електроенергії	кВт	6,6	4,2
4. Оптова ціна машина	грн	180000	180000
6. Собівартість машини	грн	123000	118000
7. Продуктивність	т/год	20	27
8. Коефіцієнт використання часу зміни – -робочого -експлуатаційного		0,76 0,72	0,82 0,78
9. Кількість комплектів оригінальних деталей, що розроблені в процесі модернізації	шт		24
10. Кількість найменувань деталі в ЗОМ всього у тому числі: -оригінальних -стандартних	шт	149 48 101	135 34 101
11. Кількість деталей в ЗОМ	шт	466	448
12. Середньорічна програма випуску машин	шт	300	320

Наведені дані та результати розрахунків підтверджують конкурентоздатність модернізованої машини, що дозволяє рекомендувати її до виробництва.

6. Загальні висновки

Сучасні технології агровиробництва потребують постійного пошуку нових інтенсивних технологічних рішень, що забезпечать отримання максимальної ефективності з меншими метало- і енергозатратами. Серед технологічних операцій по виробництву рослинницької продукції до останнього часу найменше уваги було приділено післязбиральному обробітку і зберіганню. Але, як показали події останнього часу – вирощена продукція потребує забезпечення умов зберігання впродовж середньо і довготривалого періоду.

Тому в роботі було приділено основну увагу сучасному стану технічного забезпечення післязбирального очищення зернових сумішей від домішок як основи для збереженості та подальшого використання зібраного врожаю. Так встановлено, що однією з найуніверсальніших ознак, за якими зерновий матеріал підлягає поділу на фракції є їх аеродинамічні властивості. Було виконано критичний аналіз аеросепараторів, які використовуються господарствами України, визначенні їх переваги і недоліки та обґрунтовано шляхи їх подальшого розвитку.

В якості об'єкта модернізації обрано аеросепаратор ЗАВ 40.02.000, який застосовується в комплексах ЗАВ і має перевагу над іншими в тому, що в ньому використовуються інерційні сили для інтенсифікації процесу повітряного очищення. Але використання в якості додаткового робочого органу решітного циліндра створює певні обмеження стосовно підвищення питомого навантаження на пневмоканал. Тому було запропоновано використати пруткове циліндричне решето, що дозволило зменшити аеродинамічний опір даного органу та стабілізувати переміщення часток зерноsumіші по його поверхні.

В науковому розділі було виконано теоретичний аналіз забезпечення «ідеальних» умов розміщення зерноматеріалу в пневмоканалі в один шар.

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зважаючи на це обґрунтовано параметри циліндричного решета пруткового типу та режими його роботи.

В інженерному розділі виконано технологічні та енергетичні розрахунки модернізованого аеросепаратора, а також проведені розрахунки на міцність його складових частин і деталей, що забезпечить раціональну енергоємність і металоємність його виробництва.

Для модернізованого аеросепаратора наведено заходи з охорони праці, що забезпечить його безпечність в експлуатації та сприятиме зменшенню дії шкідливих факторів на операторів.

В економічній частині наведено порівняльну характеристику базової і модернізованої машин, що підтверджує конкурентоздатність останньої внаслідок вищого техніко-економічного рівня. Це дозволяє рекомендувати запропоновану розробку до виробництва.

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Методичні рекомендації до оформлення випускної кваліфікаційної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» : освітньо-професійна програма «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва», освітньо-наукова програма «Галузеве машинобудування» / [уклад. : О. М. Васильковський, Д. І. Петренко, К. В. Васильковська, С. М. Лещенко, С. М. Мороз] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 38 с.
2. Сисолін П.В., Петренко М.М., Свірень М.О. Сільськогосподарські машини. Кн. 3. К. : Фенікс, 2007. 432 с.
3. 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.
4. Васильковський О. М. Підвищення ефективності повітряного очищення зерна / О. М. Васильковський, Д. І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 35. – Кіровоград : КНТУ, 2005. – С. 286–288.
5. Степаненко С. П. Дослідження процесу пневматичної сепарації насіння в кільцевому зигзагоподібному сепараторі / С. П. Степаненко // Механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків : ХНТУСГ. – 2008. – С 59–65.
6. Михайлов Є.В., Дудка В.С., Білокопитов О.О. Удосконалення сепаратора попередньої очистки зерна. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання. Вип. 10. Т.4. Мелітополь: ТДАТУ, 2010. С. 86-89.
7. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream / M. Kroulik, A. Rybka, J. Hula, I. Honzík // Research in Agricultural Engineering (2016). 62(2). P. 56-63. DOI: [10.17221/32/2014-RAE](https://doi.org/10.17221/32/2014-RAE).
8. Strong Seed. Healthy Grain. PETKUS. Сайт виробника. URL: <http://www.petkus.com/>.

					АС 00.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

9. Зберігання та очищення зерна. Каталог продукції Хорольського механічного заводу. URL: <https://mehzavod.com.ua/ua/catalog/khranenie-i-ochistka-zerna/>.
10. Зернові сепаратори БЦС-25, БЦС-50, БЦС-100. Каталог продукції компанії БЦС-СЕПАРАТОР. URL: <https://bcs-separator.com.ua/ua/index.php>.
11. Аеродинамічні сепаратори САД. Каталог продукції ТОВ НВП Аеромех. URL: <https://aeromehcad.com.ua/>.
12. Grain cleaner ALS. Каталог продукції компанії Alistan. URL: <https://alistan-agro.com/en/home/>.
13. Aspirators. Каталог продукції компанії Damas. URL: https://www.damaseed.com/pre-cleaners_aspiration/.
14. KIA Aspirators. Каталог продукції компанії Kongskilde. URL: <https://kongskilde-industries.com/industrial/product/kia-aspirators/>.
15. 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.
16. Котов Б. І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, М. Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград. – 2003. – Вип. 33. – С. 53–59.
17. Лещенко С.М. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючої системи інерційного прямоточного сепаратора зерна: дис. ... кандидата техн. наук : 05.05.11 / Сергій Миколайович Лещенко. – Кіровоград, 2010. – 192 с.
18. Розробка нової конструкції пневморешітної зерноочисної машини. Том 1. Обґрунтування параметрів транспортера-сепаратора : монографія / В. М. Сало, С. М. Мороз, О. М. Васильковський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Кіровоград : Лисенко В.Ф., 2014. – 108 с.
19. Оцінка рівномірності розподілу та засміченості зерна при його багаторівневому введенні в пневмосепаруючий канал / О. В. Нестеренко, С. М. Лещенко, О. М. Васильковський, Д. І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – Вип. 51. – С. 111-116.

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. 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.
21. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки : навч. посіб. для студент. агротехн. спец. / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. - Харків, 2019. - 164 с. : іл.
22. Назаренко І.І. Основи проектування і конструювання машин та обладнання переробних виробництв // І.І. Назаренко, І.М. Берник – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 544 с.
23. Експериментальні дослідження енергоємності роботи відцентрового прямооточного сепаратора зерна / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, С. М. Мороз, Д. І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. - Кропивницький : ЦНТУ, 2019. - Вип. 49. - С. 67-74.
24. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин / П.М. Заїка. – Харків: Око, 2006. – 407 с.
25. Амосов, В. В. Математичне моделювання процесів і машин : навч. посіб. : [для студентів агротехнічних спеціальностей] / В. В. Амосов, В. М. Сало, М. О. Свірень. – Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2022. – 218 с.
26. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.
27. 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.
28. Єрмаков О.Ю., Організація сільськогосподарського виробництва. Навч. метод. посібник– 2 –ге вид., доп. і перер. - К.: НАУ, 2007. – 266 с.
29. Ільчук М.М., Зрібняк Л.Я., Мельник С.І. Організація і планування сільськогосподарського виробництва: Підручник - К.: Вища освіта, 2013. – 535 с.

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					АС 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

[illegible]

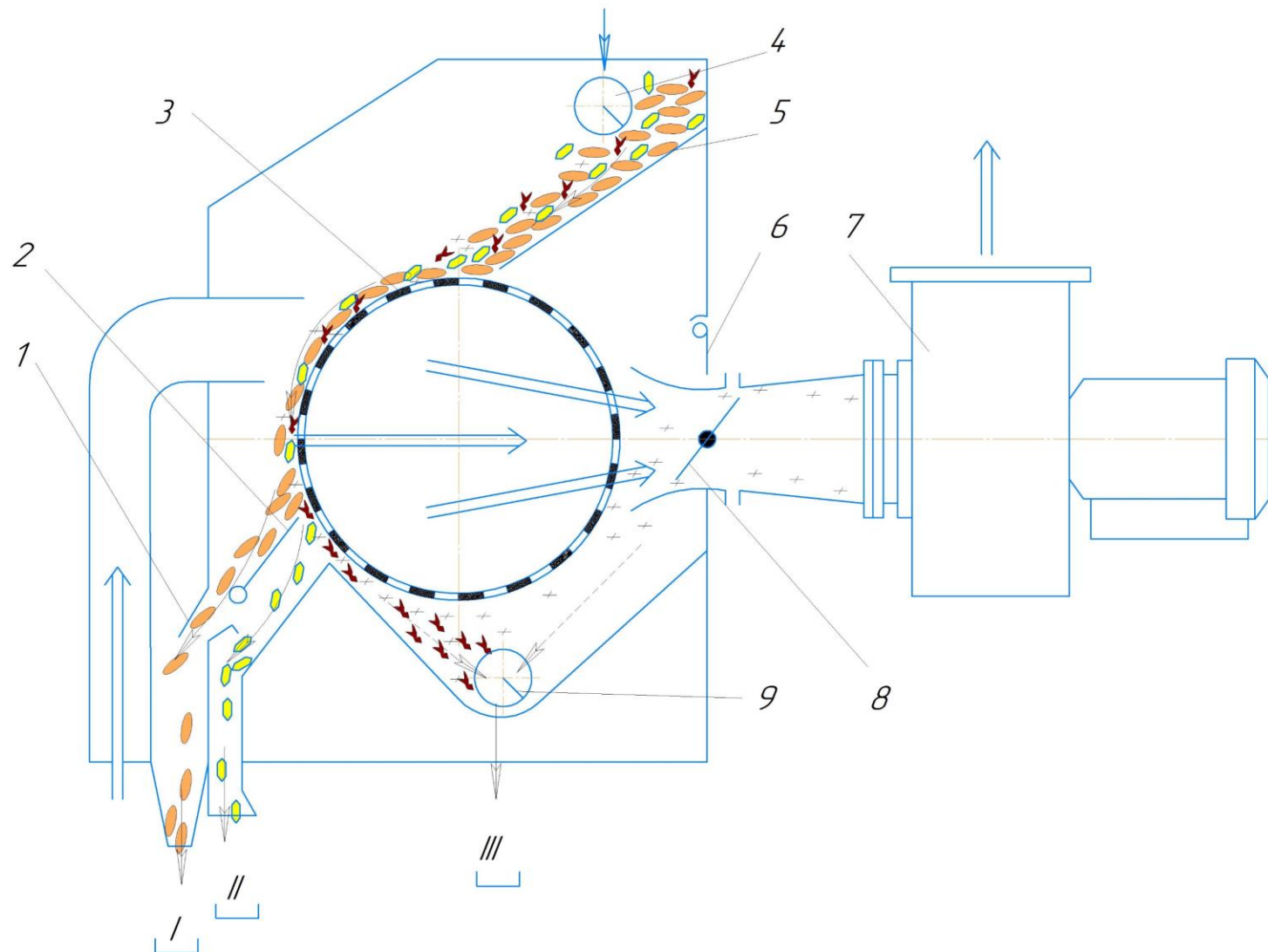
[illegible]

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

«Підвищення ефективності роботи
сепаратора зернових сумішей з
обґрунтуванням його параметрів»

Виконав здобувач вищої освіти
групи ГМ-22М-1.2
Соколов Дмитро Сергійович

Керівник проекту
доц. Володимир ОНОПА

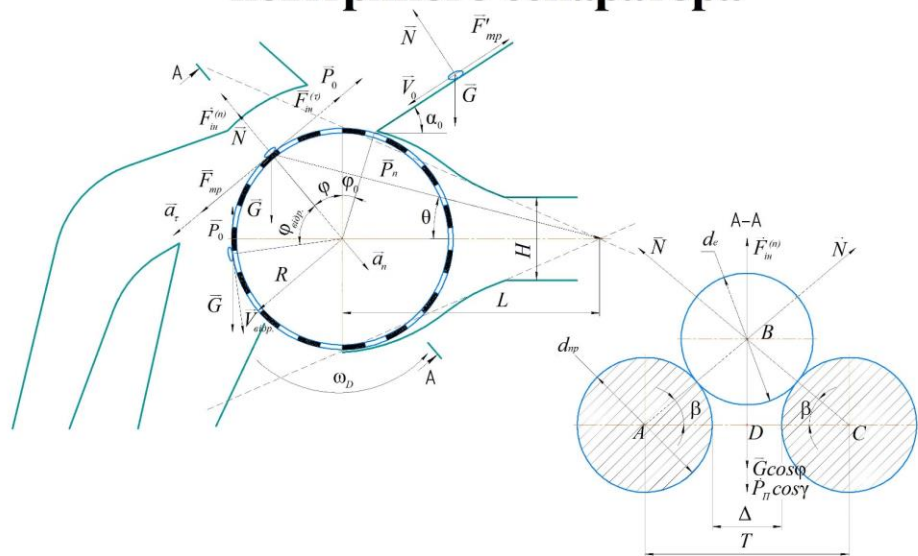


- | | | |
|---------------------|-----------------|-----------|
| ● Насіннєва фракція | □ Важкі домішки | ⇒ Повітря |
| ● Товарне зерно | ◀ Легкі домішки | + Пил |

I, II, III – виходи фракції

[illegible]

AC 00.001 H4



Параметри системи:

Подача до повітряного каналу	Швидкість введення V_0, товщина шару матеріалу перед введенням h_0, кут нахилу подаючого лотка α_0, довжина лотка S, параметри бункера
Переміщення матеріалу по прутковій поверхні циліндричного барабану у повітряному каналі	Товщина матеріалу h_1, місце подачі φ_0, кутова швидкість барабану ω_D, діаметр барабану D, розмір щілин Δ, діаметр прутків d_{np}, швидкість повітря U, кут атаки (θ)
Розділення часток за аеродинамічними характеристиками в полі дії інерційних сил	Різниця аеродинамічних властивостей ($V_{кр}$, k_n), різниця інерційних сил P_{in} і сили дії повітряного потоку P_n
Відрив від барабану і переміщення фракцій у приймальники	Кут відриву $\varphi_{відр.}$, лінійна швидкість відриву $V_{відр.}$

[illegible]

Умова переходу матеріалу від подаючої поверхні до циліндричного барабану з урахуванням живого перерізу:

$$V_1 = V_0 \cdot \frac{h_0}{h_1 \cdot \chi}$$

де V_I , V_0 - відповідно колова швидкість циліндричного барабану та швидкість введення матеріалу до повітряного каналу, м/с;
 h_0 , h_I - товщина шару матеріалу відповідно при подачі до повітряного каналу і при русі по поверхні циліндричного барабану, м;
 χ - коефіцієнт живого перерізу поверхні пруткового решета

$$\chi = 1 - \frac{d_{np} \cdot k_{np}}{B_p}$$

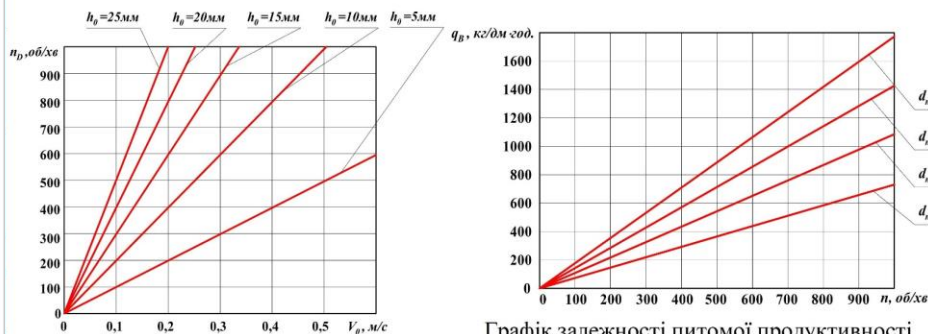
B_p - ширина циліндричного барабану, м; d_{np} - діаметр прутка навивки, м;
 k_{np} - кількість прутків.

Необхідна частота обертання циліндричного барабану, об/хв

$$n_D = \frac{60 \cdot V_0}{\pi \cdot D} \cdot \frac{h_0}{h_1 \cdot \chi}$$

Питома продуктивність сепаратора по ширині каналу, кг/м·с

$$q_{B.ПСК} = n_D \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot \rho \cdot h_1}{60} \cdot \chi$$



Графік залежності частоти обертання
циліндричного барабану від початкової
швидкості введення матеріалу в канал
при різній початковій товщині матеріалу

[illegible]



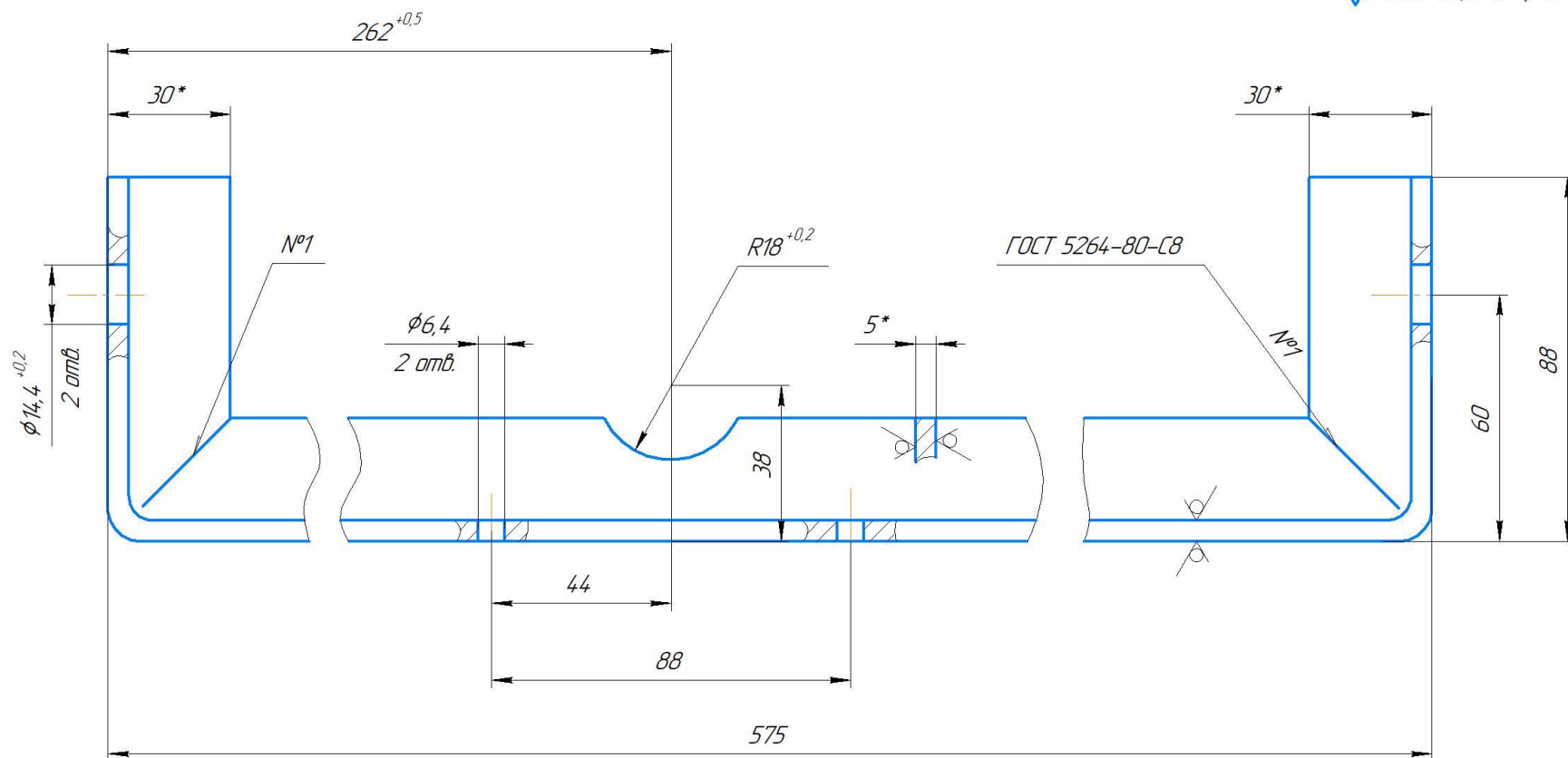
1 *Розміри для довідок.

2 Після збирання вал барабану повинен обертатись вільно.

					AC 00.020.000 СК		
Лист №1	№ докум	Лист №1			Цилиндричне решето		
Розроб	Склад				Лист	Листів	11
Техпроект	Деталь				Лист	Листів	
Назва	Вид				ЦНТ4		
Стор.	Вироб				ар 74-234-12		
	Вироб				Шахта АІ		
					Корисний		

AC 00.006.701

✓ Ra 12,5 (✓)

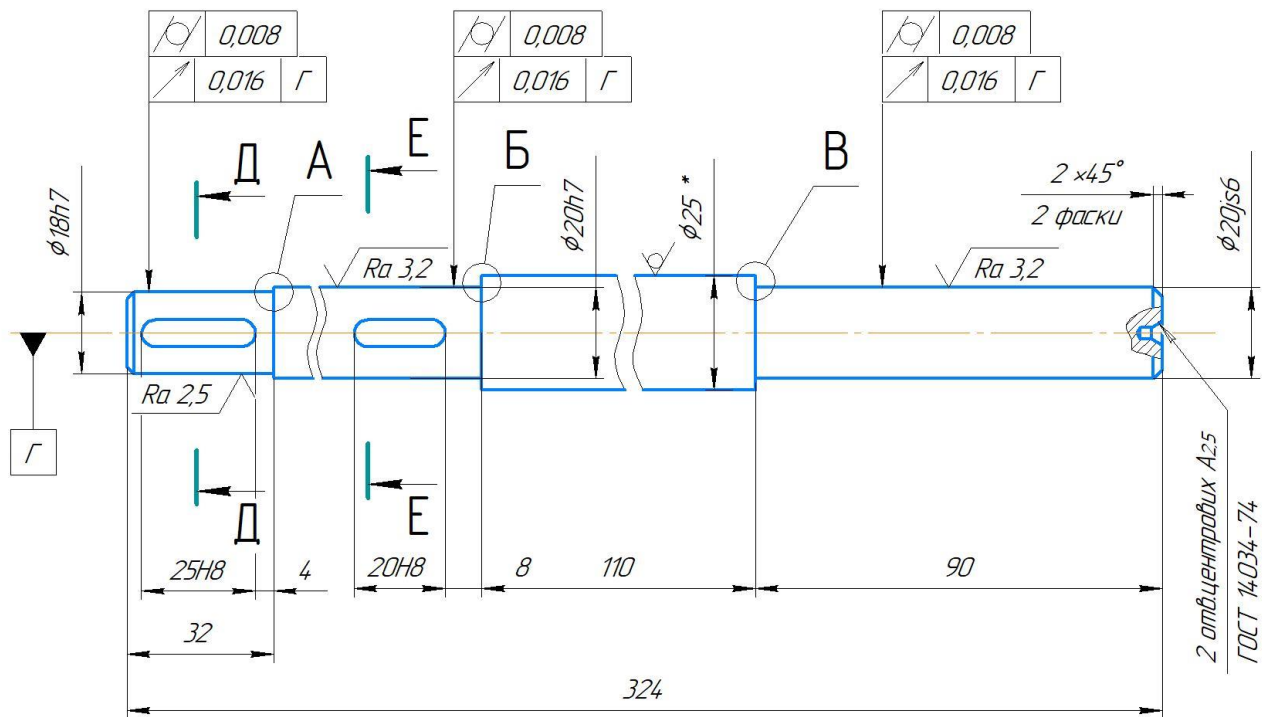


1. *Розміри для довідок.
2. Невказані граничні відхилення розмірів по $\pm \frac{IT14}{2}$.
3. Допускається виконання зварних швів по ГОСТ 8713-79.
4. Невказані радіуси скруглень до R8.

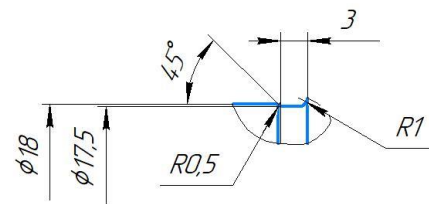
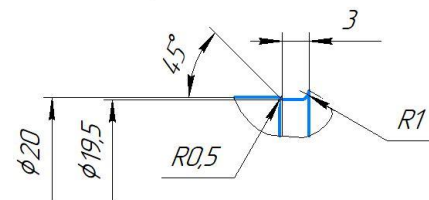
					АС 00.006.701			
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Рамка	Лист	Масса	Масштаб	
Разработ.	Соловьев					5,1	1:1	
Пров.	Онопа							
Т.контпр.					Лист	Листов	1	
Н.контпр.	Мачок			Купчик 60x30x5 д.ст. ISO 6572-2:2001 Ст.3-1 ГОСТ 535-88	ЦИТУ, гр. ГМ-22М-12			
Утв.	Лещенко				Конструктор Формат А3			

Формат А3

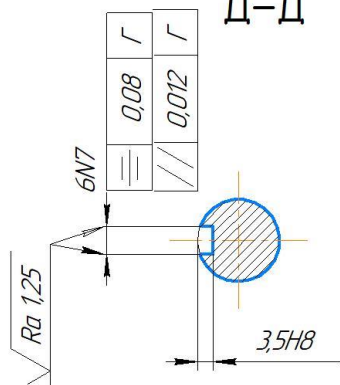
AC 00.020.601

 $\sqrt{Ra 12,5 (\sqrt{I})}$

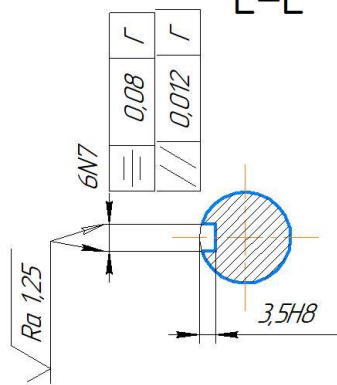
A (2:1)

Б, В $\odot$ (2:1)

Д-Д



Е-Е

1. Невказані граничні відхилення розмірів: $\pm \frac{IT14}{2}$.

2. Термообробка – нормалізація НВ 170..190

3. *Розміри для довідок.

AC 00.020.601

Взам. лист	№ док.м.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Разраб.	Сакалов				0,93	1:1
Проб.	Онапа					
Т.контр.						
Н.контр.	Мачок					
Утв.	Лещенко					
Вал				Лист	Листов	
25 ГОСТ 2590-71				ЦНТУ,		
Круг. Сталь 45 ГОСТ 1050-88				гр. ГМ-22М-12		
Копировал				Формат А3		

Перш. примеч.

Стр. №

Підп. і дата

Інв. № змін

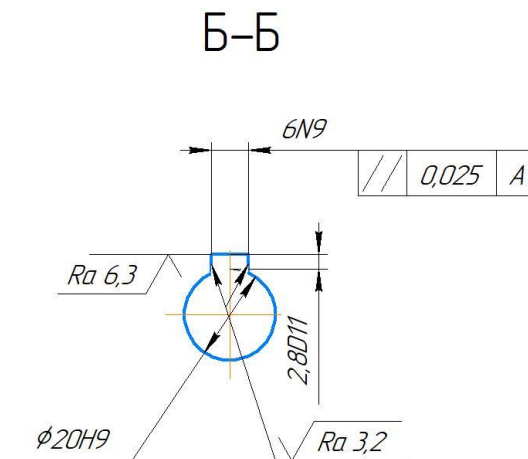
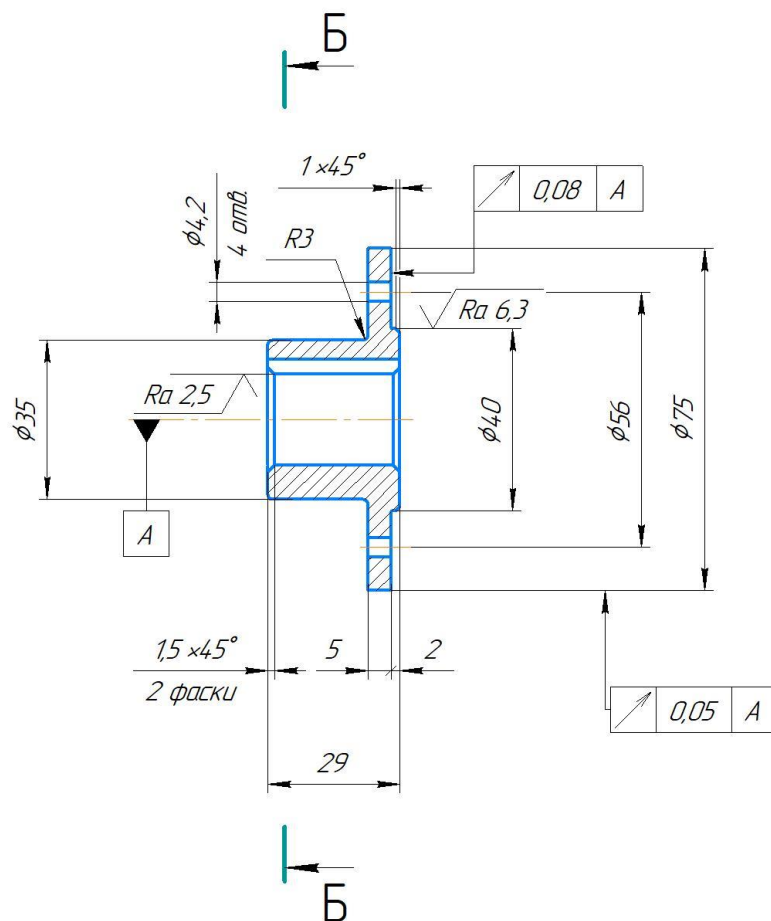
№

Підп. і дата

Інв. № змін

АС 00.020.602

✓ Ra 12,5 (✓)



3. *Розміри для довідок.

2. Невказані радіуси скруглень 1 мм.

1. Невказані граничні відхилення розмірів: $\pm \frac{IT_{14}}{2}$.

АС 00.020.602				Лист	Маса	Масштаб
Взм. / Лист	№ док. /	Підп.	Дата	Маточина		
Разроб.	Сакалов					
Проб.	Онапа			Лист		
Т.контр.						
Н.контр.	Мачок			ЦНТУ,		
Утв.	Лещенко					
СЧ 15 ГОСТ 14.12-85				гр. ГМ-22М-12		

Копіюваль

Формат А3