

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет конструювання та дизайну

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО
ЗАХИСТУ**

В.о. завідувача кафедри
технічного сервісу та інженерного
менеджменту імені
М. П. Момотенка

_____ Руслан ШАТРОВ

« _____ » _____ 2026
р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Розробка конструкції очисних систем кабін мобільних енергетичних засобів»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Гарант освітньої програми

_____ Володимир БУЛГАКОВ
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

_____ Соломка Олексій Валерійович
К.Т.Н., доц.

Виконав

_____ Галян Максим Миколайович

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного менеджменту

імені М. П. Момотенка

Іван РОГОВСЬКИЙ

(підпис)

(ПІБ)

« _____ »

_____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Галяну Максиму Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування» _____

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Розробка конструкції очисних систем кабін мобільних енергетичних засобів»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «15» квітня 2026 р. № 1044 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 20 травня 2026 року

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра Матеріали первинного бухгалтерського обліку, нормативно-методичні матеріали, науково-технічна література

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. провести аналіз існуючих систем очищення повітря кабін мобільних енергетичних засобів;
2. дослідити джерела забруднення повітря та умови експлуатації техніки;
3. розробити конструктивну схему очисної системи;
4. виконати розрахунок основних параметрів елементів системи очищення;
5. обґрунтувати вибір фільтрувальних матеріалів та вентиляційного обладнання;
6. Економічне обґрунтування проекту

Перелік графічних документів: Електронна презентація на 14 слайдів

Дата видачі завдання «06» січня 2026 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Соломка Олексій Валерійович

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Галян Максим Миколайович

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У бакалаврському проєкті розроблено конструкцію очисної системи кабіни мобільного енергетичного засобу, призначену для забезпечення нормативних параметрів мікроклімату та захисту оператора від пилу, аерозолів, продуктів згоряння палива та інших шкідливих домішок.

Проведено аналіз існуючих систем очищення повітря, конструкцій фільтрів та сучасних технічних рішень, які використовуються у тракторах, зернозбиральних комбайнах та іншій самохідній техніці. Виявлено основні недоліки існуючих систем та визначено напрями їх удосконалення.

У роботі запропоновано конструкцію багатоступеневої системи очищення повітря, яка включає циклонний сепаратор попереднього очищення, фільтр грубого очищення, фільтр тонкого очищення та систему контролю ступеня забрудненості фільтрувальних елементів. Виконано розрахунок основних конструктивних та аеродинамічних параметрів системи, обґрунтовано вибір вентилятора та проведено оцінку ефективності очищення повітря.

Розроблені технічні рішення дозволяють підвищити ступінь очищення повітря до 99 %, збільшити ресурс фільтрувальних елементів та покращити умови праці оператора мобільного енергетичного засобу.

У проєкті також розглянуті питання охорони праці, безпеки експлуатації та охорони навколишнього середовища. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованої конструкції та визначено показники її ефективності.

Ключові слова: мобільний енергетичний засіб, кабіна оператора, очищення повітря, фільтр, циклон, вентиляція, пил, мікроклімат, система очищення, галузеве машинобудування.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ В КАБІНАХ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ	8
1.1. Умови експлуатації мобільних енергетичних засобів та вимоги до мікроклімату кабіни	8
1.2. Аналіз джерел забруднення повітря в кабінах мобільних енергетичних засобів	11
1.3. Аналіз існуючих систем очищення повітря кабін тракторів, комбайнів та спеціальних машин	15
1.4. Аналіз конструкцій повітроочисних систем провідних виробників техніки.....	20
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ОЧИСНОЇ СИСТЕМИ КАБІНИ МОБІЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ	27
2.1. Обґрунтування конструктивної схеми системи очищення повітря	27
2.2. Розробка загальної конструкції очисної системи	30
2.3. Конструкція та принцип роботи циклона попереднього очищення	33
2.4. Конструкція касетного фільтра тонкого очищення.....	38
2.5. Опис роботи удосконаленої системи очищення повітря	42
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОЧИСНОЇ СИСТЕМИ.....	46
3.1. Визначення необхідної витрати повітря для кабіни	46
3.2. Розрахунок циклона попереднього очищення	47
3.3. Розрахунок фільтра тонкого очищення	48
РОЗДІЛ 4 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ.....	51
4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	51
4.2. Вимоги безпеки під час експлуатації очисної системи	55
4.3. Вимоги електробезпеки	56

4.4. Пожежна безпека	57
4.5. Заходи щодо зниження впливу на навколишнє середовище	59
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

ВСТУП

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується широким використанням мобільних енергетичних засобів, до яких належать трактори, зернозбиральні та кормозбиральні комбайни, самохідні обприскувачі, навантажувачі та інша техніка. Ефективність їх використання значною мірою залежить не лише від технічного стану машин, а й від умов праці оператора, який здійснює керування технологічними процесами протягом тривалого часу.

Під час роботи мобільних енергетичних засобів у повітрі робочої зони утворюється значна кількість пилу органічного та мінерального походження, а також можуть бути присутніми аерозолі добрив, засобів захисту рослин, продукти згоряння палива та інші шкідливі речовини. Потрапляння цих забруднювачів до кабіни погіршує умови праці оператора, негативно впливає на його працездатність, самопочуття та стан здоров'я.

Відповідно до сучасних вимог охорони праці та міжнародних стандартів безпеки, кабіни мобільних енергетичних засобів повинні забезпечувати підтримання нормативних параметрів мікроклімату та високий ступінь очищення повітря. Для цього використовуються спеціальні системи вентиляції, кондиціонування та очищення повітря. Проте аналіз існуючих конструкцій показує, що багато з них мають недостатню ефективність очищення, обмежений ресурс фільтрувальних елементів, значний аеродинамічний опір та підвищені експлуатаційні витрати.

Одним із перспективних напрямів удосконалення систем очищення повітря є застосування багатоступеневих схем фільтрації, які поєднують циклонне очищення, фільтри грубого та тонкого очищення, а також сучасні фільтрувальні матеріали з високою пиломісткістю. Використання таких систем дозволяє суттєво знизити концентрацію пилу в кабіні, збільшити ресурс фільтрів та покращити умови праці операторів.

У зв'язку з цим актуальним є розроблення конструкції очисної системи кабіни мобільного енергетичного засобу, яка забезпечувала б високу ефективність очищення повітря, надійність роботи та економічну доцільність використання.

Метою бакалаврського проєкту є розробка конструкції очисної системи кабіни мобільного енергетичного засобу, що забезпечує підвищення ефективності очищення повітря, покращення умов праці оператора та зниження експлуатаційних витрат.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих систем очищення повітря кабін мобільних енергетичних засобів;
- дослідити джерела забруднення повітря та умови експлуатації техніки;
- розробити конструктивну схему очисної системи;
- виконати розрахунок основних параметрів елементів системи очищення;
- обґрунтувати вибір фільтрувальних матеріалів та вентиляційного обладнання;
- оцінити ефективність запропонованої конструкції;
- розробити заходи з охорони праці та охорони навколишнього середовища;
- виконати техніко-економічне обґрунтування проєкту.

Об'єктом дослідження є процес очищення повітря, що подається до кабіни мобільного енергетичного засобу.

Предметом дослідження є конструктивні параметри та режими роботи очисної системи кабіни.

Практичне значення роботи полягає у створенні конструкції очисної системи, яка дозволяє підвищити ступінь очищення повітря до нормативних показників, забезпечити комфортні умови праці оператора та підвищити ефективність експлуатації мобільних енергетичних засобів.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ В КАБІНАХ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ

1.1 Умови експлуатації мобільних енергетичних засобів та вимоги до мікроклімату кабіни

Мобільні енергетичні засоби (МЕЗ), до яких належать трактори, зернозбиральні та кормозбиральні комбайни, самохідні обприскувачі, навантажувачі та інша сільськогосподарська техніка, експлуатуються в різноманітних природно-кліматичних та виробничих умовах. Особливістю їх роботи є тривале перебування оператора в кабіні під впливом пилу, вібрацій, шуму, високих або низьких температур, а також продуктів згоряння палива та інших шкідливих факторів.

Умови експлуатації мобільних енергетичних засобів значною мірою залежать від виду виконуваних технологічних операцій. Найбільше пилове навантаження спостерігається під час виконання ґрунтообробних робіт, сівби, внесення добрив, збирання зернових культур та транспортування сипких матеріалів. У процесі роботи навколо машини формується зона підвищеної концентрації пилу, яка може перевищувати допустимі санітарні норми в декілька разів.

Особливо складними є умови роботи зернозбиральних комбайнів у період жнив. Під час обмолоту зернових культур у повітря надходять частинки полови, пилу, рослинних решток та мікроорганізмів. За відсутності ефективної системи очищення повітря ці забруднювачі потрапляють до кабіни оператора, що призводить до погіршення умов праці та негативного впливу на здоров'я людини.

Одним із найважливіших факторів забезпечення комфортних умов праці є підтримання нормативних параметрів мікроклімату кабіни. Мікроклімат кабіни характеризується сукупністю параметрів повітряного середовища, які впливають на тепловий стан організму людини та її працездатність. До основних параметрів мікроклімату належать:

- температура повітря;

- відносна вологість;
- швидкість руху повітря;
- концентрація пилу;
- вміст шкідливих газів;
- рівень шуму;
- рівень вібрації.

Відповідно до чинних санітарно-гігієнічних вимог температура повітря в кабіні мобільного енергетичного засобу повинна підтримуватися в межах 18–25 °C залежно від пори року та інтенсивності праці оператора. Відносна вологість повітря повинна становити 40–60 %, а швидкість руху повітря не перевищувати 0,3 м/с у холодний період року та 0,5 м/с у теплий період.

Одним із найважливіших показників якості повітря є концентрація пилу. За сучасними вимогами системи вентиляції та очищення повітря повинні забезпечувати підтримання концентрації пилу в кабіні на рівні, що не перевищує встановлених гранично допустимих концентрацій. Для цього застосовуються багатоступеневі системи очищення, які поєднують циклони, фільтри грубого та тонкого очищення, а також фільтрувальні елементи підвищеної ефективності.

Для створення комфортних умов праці в кабіні також повинно підтримуватися невелике надлишкове значення тиску. Надлишковий тиск перешкоджає проникненню пилу та забрудненого повітря через нещільності дверей, вікон та інших елементів конструкції кабінки. У сучасних машинах надлишковий тиск зазвичай підтримується на рівні 50–200 Па.

Важливе значення має якість очищення повітря від шкідливих домішок. Крім пилу, в атмосферному повітрі можуть міститися вихлопні гази двигуна, аерозолі добрив, пестицидів та інші токсичні речовини. Для їх затримання використовуються спеціальні сорбційні та комбіновані фільтри.



Рис. 1.1. Основні джерела забруднення повітря під час роботи мобільних енергетичних засобів.

Сучасні мобільні енергетичні засоби оснащуються системами кондиціонування та вентиляції, які забезпечують автоматичне підтримання заданих параметрів мікроклімату. Проте ефективність роботи цих систем значною мірою залежить від конструкції очисної системи та стану фільтрувальних елементів.

Таким чином, умови експлуатації мобільних енергетичних засобів характеризуються значним пиловим навантаженням та наявністю інших шкідливих факторів, що обумовлює необхідність використання вискоелективних систем очищення повітря. Забезпечення нормативних параметрів мікроклімату кабіни є важливою умовою збереження здоров'я оператора, підвищення його працездатності та ефективності використання техніки.

1.2 Аналіз джерел забруднення повітря в кабінах мобільних енергетичних засобів

Однією з основних умов забезпечення безпечної та комфортної роботи оператора мобільного енергетичного засобу є підтримання належної якості повітря в кабіні. Під час експлуатації тракторів, комбайнів, самохідних обприскувачів та іншої сільськогосподарської техніки повітряне середовище зазнає впливу значної кількості забруднюючих речовин різного походження. Наявність пилу, газоподібних домішок та біологічних аерозолів негативно впливає на здоров'я оператора, знижує його працездатність і може стати причиною професійних захворювань.

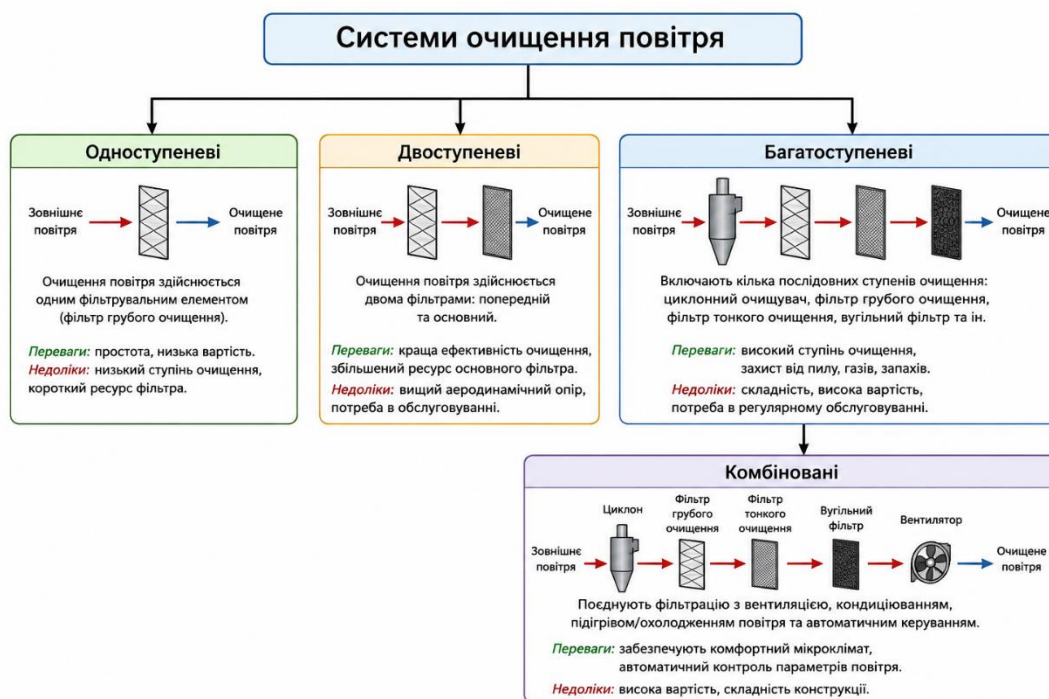


Рис. 1.2 – Класифікація систем очищення повітря кабін

Джерела забруднення повітря в кабінах мобільних енергетичних засобів можна поділити на зовнішні та внутрішні.

До зовнішніх джерел належать:

- ґрунтовий пил, що утворюється під час виконання польових робіт;
- рослинний пил і полова;
- продукти згоряння палива;
- аерозолі мінеральних добрив;
- пестициди та засоби захисту рослин;

- біологічні забруднення (спори грибів, бактерії, пилок рослин).

До внутрішніх джерел належать:

- забруднення, що надходять через нещільності кабіни;
- пил, накопичений на внутрішніх поверхнях;
- випаровування полімерних матеріалів та мастил;
- забруднення, внесені оператором під час роботи.

Найбільш поширеним видом забруднення є пил. Під час виконання технологічних операцій його концентрація в навколишньому середовищі може досягати десятків і навіть сотень міліграмів на кубічний метр повітря. Найвищий рівень запиленості спостерігається під час оранки, культивування, боронування, збирання зернових культур та транспортування сипких матеріалів.

Грунтовий пил складається переважно з мінеральних частинок різного розміру. Частинки розміром понад 100 мкм швидко осідають під дією сили тяжіння, тоді як дрібнодисперсний пил розміром менше 10 мкм може тривалий час перебувати у повітрі та проникати глибоко в органи дихання людини.

Особливу небезпеку становить органічний пил, що утворюється під час збирання зернових культур. До його складу входять частинки полови, насіння бур'янів, рослинних залишків, мікроорганізми та продукти їх життєдіяльності. Тривалий вплив органічного пилу може викликати алергічні реакції, захворювання органів дихання та подразнення слизових оболонок.

Під час роботи двигунів внутрішнього згоряння утворюються вихлопні гази, які також можуть потрапляти до кабіни. Основними компонентами вихлопних газів є:

- оксид вуглецю (CO);
- оксиди азоту (NO_x);
- діоксид сірки (SO₂);
- незгорілі вуглеводні;
- тверді частинки сажі.

Найбільш небезпечними є оксид вуглецю та оксиди азоту, які навіть у невеликих концентраціях негативно впливають на серцево-судинну та дихальну системи людини.

Під час внесення засобів захисту рослин та мінеральних добрив у повітря потрапляють аерозольні частинки хімічних речовин. Вони можуть проникати до кабіни через систему вентиляції або через нещільності конструкції. Саме тому сучасні кабіни обприскувачів та тракторів повинні оснащуватися спеціальними фільтрами підвищеного ступеня очищення.

Окрему групу становлять біологічні забруднення. До них належать спори грибів, бактерії, пилок рослин та інші мікроорганізми, що знаходяться у повітрі сільськогосподарських угідь. Такі забруднення можуть бути причиною алергічних захворювань та професійних патологій операторів.

Проникнення забрудненого повітря до кабіни відбувається через:

- систему вентиляції;
- отвори повітрозабірників;
- нещільності дверей і вікон;
- технологічні отвори в конструкції кабіни.

Тому ефективність захисту оператора значною мірою визначається герметичністю кабіни та якістю роботи системи очищення повітря.





Рис. 1.3. Конструктивна схема системи очищення повітря кабіни сучасного трактора.

Для оцінки впливу основних джерел забруднення доцільно провести їх класифікацію (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Основні джерела забруднення повітря в кабінах мобільних енергетичних засобів

Джерело забруднення	Основні компоненти	Характер впливу
Ґрунтовий пил	Мінеральні частинки	Подразнення органів дихання
Рослинний пил	Полова, насіння, рослинні рештки	Алергічні реакції
Вихлопні гази	CO, NO _x , SO ₂ , сажа	Токсичний вплив
Добрива та пестициди	Аерозолі хімічних речовин	Отруєння організму
Біологічні забруднення	Бактерії, грибки, пилок	Інфекційні та алергічні захворювання
Внутрішні забруднення	Пил, випаровування матеріалів	Погіршення якості повітря

Таким чином, аналіз показує, що основними джерелами забруднення повітря в кабінах мобільних енергетичних засобів є пил різного походження, вихлопні гази, хімічні аерозолі та біологічні забруднення. Для забезпечення безпечних умов праці

необхідне застосування високоефективних багатоступеневих систем очищення повітря, здатних затримувати як механічні частинки, так і газоподібні домішки.

1.3 Аналіз існуючих систем очищення повітря кабін тракторів, комбайнів та спеціальних машин

Забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища в кабінах мобільних енергетичних засобів є одним із важливих напрямів підвищення безпеки та комфортності праці операторів. Для захисту від пилу, вихлопних газів, аерозолів добрив та засобів захисту рослин сучасні трактори, комбайни та спеціальні машини оснащуються системами вентиляції, кондиціонування та очищення повітря.

Конструкція систем очищення повітря постійно вдосконалюється відповідно до зростаючих вимог охорони праці, екологічної безпеки та міжнародних стандартів ергономіки. Сучасні системи повинні забезпечувати високу ефективність очищення повітря, підтримання надлишкового тиску в кабіні та стабільні параметри мікроклімату незалежно від умов експлуатації.

Залежно від принципу роботи існуючі системи очищення повітря можна поділити на такі основні групи:

- системи з одноступеневим очищенням;
- системи з двоступеневим очищенням;
- багатоступеневі системи очищення;
- комбіновані системи з фільтрацією та кондиціонуванням повітря;
- системи з активним контролем якості повітря.

Найпростішими є одноступеневі системи, які використовують фільтр грубого очищення. Такі конструкції застосовувалися на тракторах попередніх поколінь. Їх основною перевагою є простота конструкції та низька вартість. Проте вони не забезпечують достатнього очищення дрібнодисперсного пилу та не відповідають сучасним вимогам щодо умов праці оператора.

Більш ефективними є двоступеневі системи очищення, які складаються з попереднього та основного фільтра. Попередній фільтр затримує великі частинки пилу, а основний забезпечує очищення повітря від дрібнодисперсних забруднень.

Такі системи широко використовуються на тракторах середнього класу та зернозбиральних комбайнах.

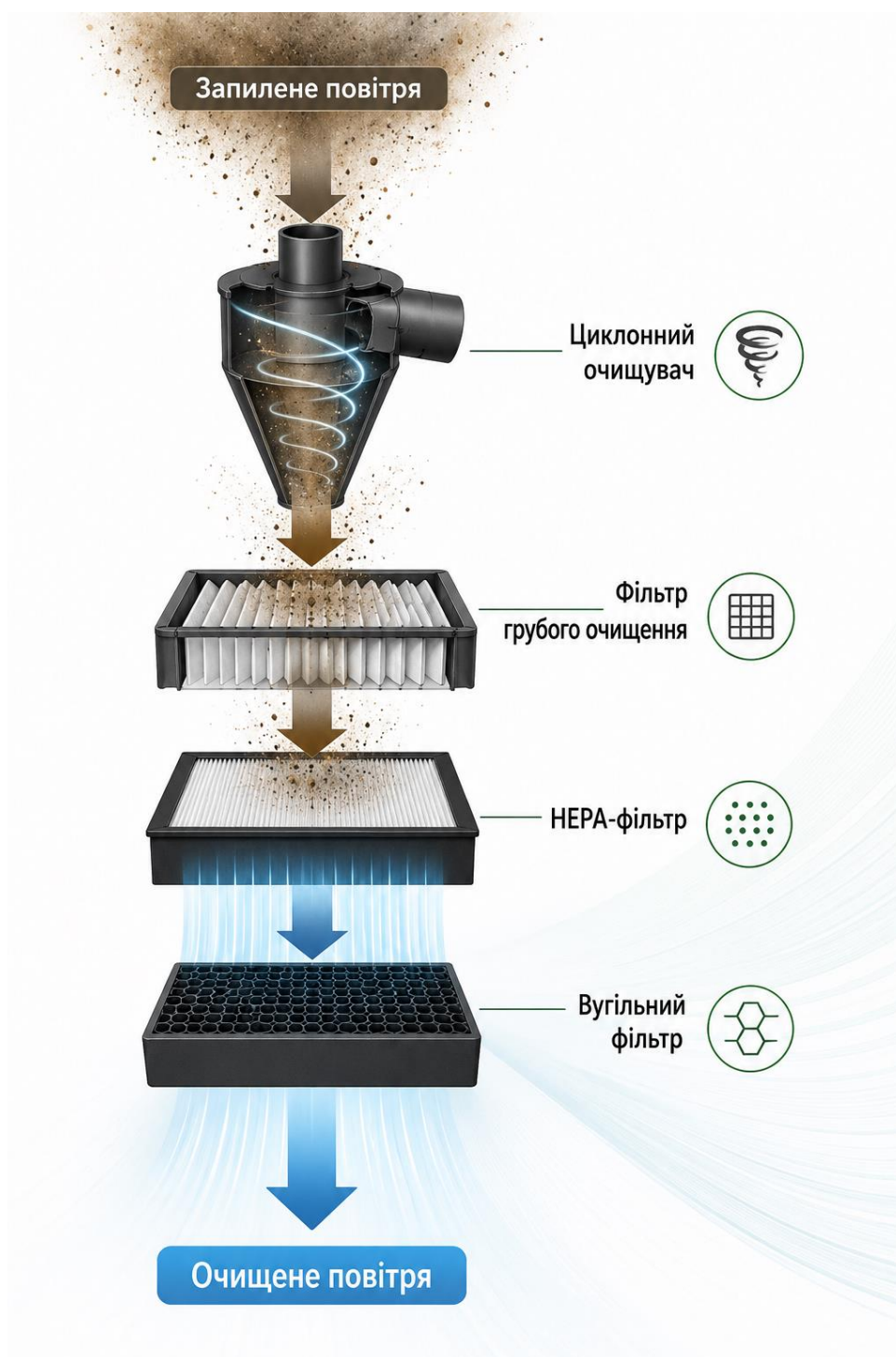


Рис. 1.4. Багатоступенева система очищення повітря кабіни.

У сучасній сільськогосподарській техніці найбільшого поширення набули багатоступеневі системи очищення повітря. Вони включають:

- циклонний або інерційний очищувач;
- фільтр грубого очищення;

- фільтр тонкого очищення;
- вугільний або комбінований фільтр;
- систему контролю ступеня забруднення.

Застосування кількох ступенів очищення дозволяє значно підвищити ефективність роботи системи та збільшити ресурс фільтрувальних елементів.



Одними з лідерів у галузі створення комфортних умов праці операторів є компанії John Deere, Claas, New Holland, Case IH та Fendt. Їхні сучасні машини оснащуються герметизованими кабінами з автоматичними системами підтримання мікроклімату.

У тракторах John Deere серій 6R, 7R та 8R використовується система багатоступеневої фільтрації повітря, яка включає попередній циклонний очищувач, основний фільтр та вугільний фільтр. Така конструкція дозволяє підтримувати високий рівень очищення повітря навіть за умов значної запиленості.

Комбайни Claas Lexion та Jaguar обладнуються високопродуктивними системами очищення повітря з автоматичним контролем стану фільтрів. Для підвищення ефективності очищення використовується надлишковий тиск у кабіні, який запобігає проникненню пилу через нещільності конструкції.

На самохідних обприскувачах особлива увага приділяється захисту оператора від аерозолів пестицидів. У таких машинах застосовуються

багатоступеневі системи очищення, які відповідають вимогам категорії 4 згідно з європейським стандартом EN 15695. Ці системи забезпечують очищення повітря не лише від пилу, а й від токсичних хімічних речовин.

Основними перевагами сучасних систем очищення повітря є:

- високий ступінь очищення повітря;
- підтримання надлишкового тиску в кабіні;
- збільшений ресурс фільтрів;
- автоматичний контроль стану системи;
- покращення умов праці оператора.

Разом із тим існуючі системи мають ряд недоліків:

- складність конструкції;
- висока вартість обслуговування;
- значний аеродинамічний опір фільтрів;
- необхідність регулярної заміни фільтрувальних елементів;
- зниження ефективності при забрудненні фільтрів.

Проведений аналіз показує, що подальше вдосконалення систем очищення повітря повинно бути спрямоване на зниження аеродинамічного опору, збільшення ресурсу фільтрів, підвищення ступеня очищення та впровадження автоматизованих систем контролю їх технічного стану.



Рис. 1.7. Основні типи фільтрувальних елементів систем очищення повітря.

Для наочності основні характеристики сучасних систем очищення повітря наведено в таблиці 1.2.

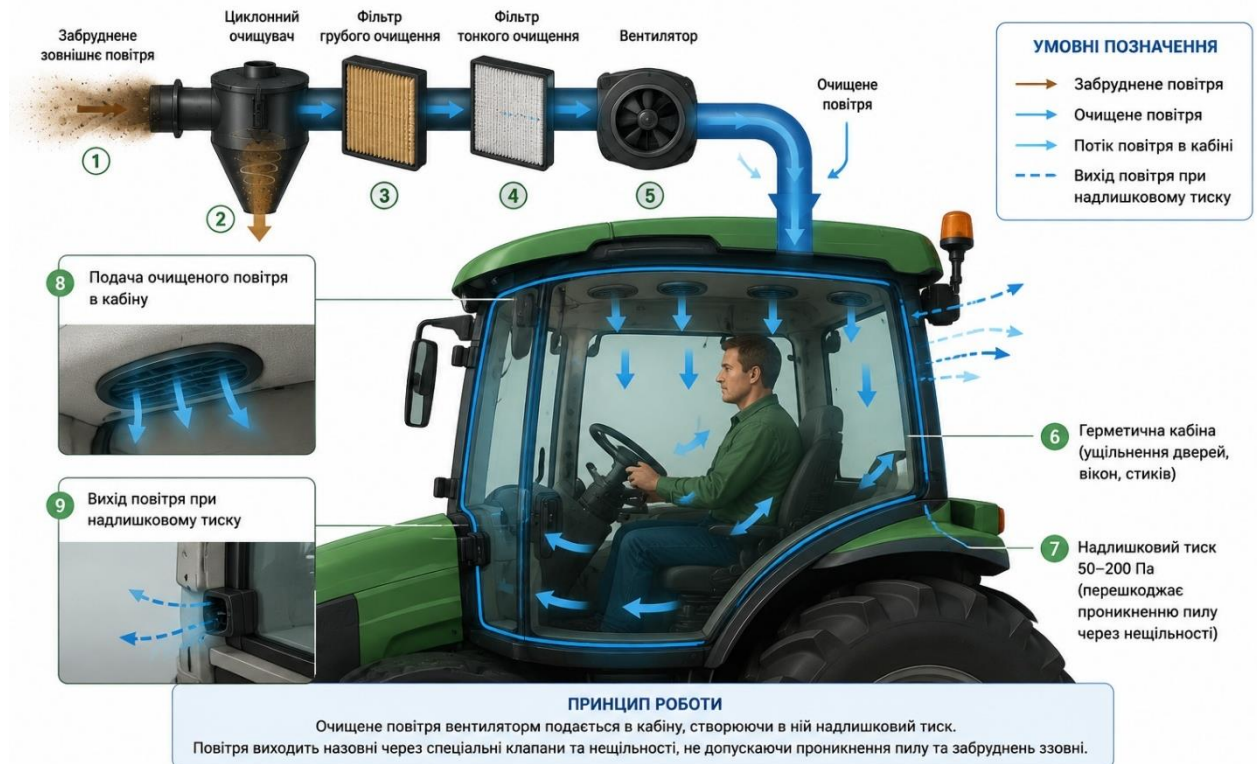


Рис. 1.5. Схема створення надлишкового тиску в кабіні оператора.

Таблиця 1.2 – Порівняння сучасних систем очищення повітря кабін мобільних енергетичних засобів

Виробник техніки	Тип системи очищення	Кількість ступенів очищення	Особливості
John Deere	Багатоступенева	3–4	Циклон, фільтри тонкого очищення
Claas	Багатоступенева	3–4	Автоматичний контроль фільтрів
New Holland	Комбінована	3	Надлишковий тиск у кабінку
Case IH	Багатоступенева	4	Вугільні фільтри

Fendt	Комбінована	3–4	Автоматичне керування мікрокліматом
Самохідні обприскувачі	Категорія 4 (EN 15695)	4–5	Захист від пестицидів та аерозолів

Таким чином, аналіз існуючих систем очищення повітря показав, що найбільш перспективними є багатоступеневі конструкції, які поєднують попереднє очищення, тонку фільтрацію та автоматичний контроль стану фільтрів. Саме такі принципи доцільно використовувати при розробленні нової конструкції очисної системи кабіни мобільного енергетичного засобу.

1.4 Аналіз конструкцій повітроочисних систем провідних виробників техніки

Забезпечення комфортних і безпечних умов праці операторів мобільних енергетичних засобів є одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасного сільськогосподарського машинобудування. Провідні світові виробники техніки приділяють значну увагу вдосконаленню систем очищення повітря кабін, оскільки саме якість повітряного середовища безпосередньо впливає на працездатність оператора, рівень його втомлюваності та безпеку виконання технологічних операцій.

Сучасні повітроочисні системи кабін тракторів, комбайнів та спеціальних машин являють собою складні багатоступеневі комплекси, які забезпечують очищення повітря від пилу, органічних частинок, аерозолів, вихлопних газів та інших шкідливих домішок. У більшості випадків вони поєднуються із системами вентиляції, кондиціонування та автоматичного контролю мікроклімату.

Повітроочисні системи John Deere

Компанія John Deere є одним із світових лідерів у виробництві сільськогосподарської техніки. У сучасних тракторах серій 6R, 7R, 8R та

зернозбиральних комбайнах серії Х9 застосовуються багатоступеневі системи очищення повітря кабіни.



Рис. 1.7 – Система очищення повітря кабіни трактора John Deere.

Конструкція включає:

- повітрозабірник із захисною сіткою;
- циклонний очищувач;
- фільтр грубого очищення;
- фільтр тонкого очищення;
- активований вугільний фільтр;
- вентилятор подачі повітря;
- систему контролю стану фільтрів.

Особливістю систем John Deere є автоматичне підтримання надлишкового тиску в кабіні на рівні 100–150 Па, що практично виключає проникнення пилу через нещільності конструкції.

Основними перевагами системи є висока ефективність очищення повітря, великий ресурс фільтрів та автоматизований контроль їхнього стану.

Повітроочисні системи Claas

У сучасних зернозбиральних комбайнах Claas Lexion та кормозбиральних комбайнах Jaguar використовуються системи очищення повітря нового покоління.



Рис. 1.8 – Система очищення повітря комбайна Claas Lexion.

Конструкція передбачає:

- попередній інерційний очищувач;
- касетний фільтр грубого очищення;
- фільтр тонкого очищення;
- систему автоматичного очищення фільтрів;
- блок кондиціонування повітря.

Особливістю техніки Claas є використання електронної системи контролю забрудненості фільтрів, яка автоматично повідомляє оператора про необхідність технічного обслуговування.

Система забезпечує високий рівень очищення повітря навіть при роботі в умовах значної запиленості під час збирання зернових культур.

Повітроочисні системи Fendt

Трактори Fendt серій 700, 900 та 1000 Varіо оснащуються інтегрованими системами вентиляції та очищення повітря.

Основними елементами є:

- повітрозабірник із циклонним очищувачем;
- фільтр попереднього очищення;
- НЕРА-фільтр;
- система автоматичного регулювання подачі повітря;
- датчики температури та якості повітря.

Особливістю конструкції є повна інтеграція систем очищення повітря та клімат-контролю в єдиний електронний комплекс керування.

Це забезпечує стабільні параметри мікроклімату незалежно від зовнішніх умов експлуатації.

Повітроочисні системи Case IH

Компанія Case IH застосовує багатоступеневі системи очищення повітря на тракторах серії Magnum та комбайнах Axial-Flow.

Конструкція включає:

- попередній циклонний очищувач;
- касетний фільтр грубого очищення;
- НЕРА-фільтр;
- вугільний фільтр;
- систему створення надлишкового тиску.

Основною перевагою є можливість роботи в умовах підвищеного вмісту аерозолів добрив та засобів захисту рослин.

Ефективність очищення повітря досягає 99 %.

Повітроочисні системи New Holland

У тракторах серій T7, T8 та комбайнах CR застосовуються комбіновані системи очищення повітря.

До їх складу входять:

- фільтр грубого очищення;
- фільтр тонкого очищення;
- система кондиціонування;
- автоматичний контроль тиску в кабіні.

На відміну від інших виробників, New Holland використовує переважно триступеневу систему очищення, що дозволяє знизити вартість конструкції та спростити її обслуговування.

Повітроочисні системи самохідних обприскувачів

Особливі вимоги висуваються до кабін самохідних обприскувачів, оскільки оператор працює в умовах контакту з аерозолями засобів захисту рослин.

Для таких машин застосовуються системи очищення, які відповідають вимогам стандарту EN 15695 категорії 4.

Вони включають:

- циклонне очищення;
- механічні фільтри;
- НЕРА-фільтри;
- вугільні фільтри;
- систему герметизації кабіни;
- автоматичний контроль надлишкового тиску.

Такі системи забезпечують максимальний рівень захисту оператора від шкідливих речовин.

ПОРІВНЯЛЬНА СХЕМА ПОВІТРООЧИСНИХ СИСТЕМ JOHN DEERE, CLAAS, FENDT, CASE IH ТА NEW HOLLAND

	 JOHN DEERE	 CLAAS	 FENDT	 CASE IH	 NEW HOLLAND
СХЕМА ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ					
КОМПОНЕНТИ СИСТЕМИ	1 Повітрозабірник із сіткою 2 Циклонний очищувач 3 Фільтр грубого очищення 4 Фільтр тонкого очищення (HEPA) 5 Вугільний фільтр 6 Вентилятор подачі повітря	1 Попередній інерційний очищувач 2 Касетний фільтр грубого очищення 3 Фільтр тонкого очищення 4 Вугільний фільтр (опція) 5 Вентилятор подачі повітря	1 Повітрозабірник із циклонним очищувачем 2 Фільтр попереднього очищення 3 Фільтр тонкого очищення (HEPA) 4 Вугільний фільтр 5 Вентилятор подачі повітря 6 Датчики якості повітря	1 Циклонний очищувач 2 Касетний фільтр грубого очищення 3 Фільтр тонкого очищення (HEPA) 4 Вугільний фільтр 5 Вентилятор подачі повітря 6 Система надлишкового тиску	1 Повітрозабірник із сіткою 2 Фільтр грубого очищення 3 Фільтр тонкого очищення 4 Вентилятор подачі повітря
НАДЛИШКОВИЙ ТИСК У КАБІНІ	 100–150 Па	 100–150 Па	 100–150 Па	 100–150 Па	 100–120 Па
ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ	• Автоматичний контроль стану фільтрів • Висока ефективність очищення (до 99 %) • Підтримання мікроклімату в автоматичному режимі	• Система CEBIS контролю стану фільтрів • Опціональний вугільний фільтр • Автоматичне очищення фільтрів (опція)	• Інтеграція з системою клімат-контролю • Датчики якості повітря • Автоматичне регулювання подачі повітря	• Високий рівень захисту від аерозолів і пестицидів • Багатоступеневий захист • Стабільний надлишковий тиск	• Проста та надійна конструкція • Триступенева система очищення • Оптиміальне співвідношення ціни та ефективності
КІЛЬКІСТЬ СТУПЕНІВ ОЧИЩЕННЯ	4 ступені	4 ступені	4 ступені	4 ступені	3 ступені
ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ					
УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ:	 Повітрозабірник  Циклонний очищувач  Фільтр грубого очищення  Фільтр тонкого очищення (HEPA)  Вугільний фільтр  Вентилятор подачі повітря  Напрямок потоку повітря				

Рис. 1.9 – Порівняльна схема повітроочисних систем John Deere, Claas, Fendt, Case IH та New Holland

Таблиця 1.3 – Порівняння повітроочисних систем провідних виробників техніки

Виробник	Кількість ступенів очищення	Надлишковий тиск	HEPA-фільтр	Вугільний фільтр
John Deere	4	+	+	+
Claas	4	+	+	—
Fendt	4	+	+	+
Case IH	4	+	+	+
New Holland	3	+	—	+
Самохідні обприскувачі	4–5	+	+	+

Ефективність очищення повітря кабіни

Порівняння сучасних систем очищення повітря провідних виробників сільськогосподарської техніки.

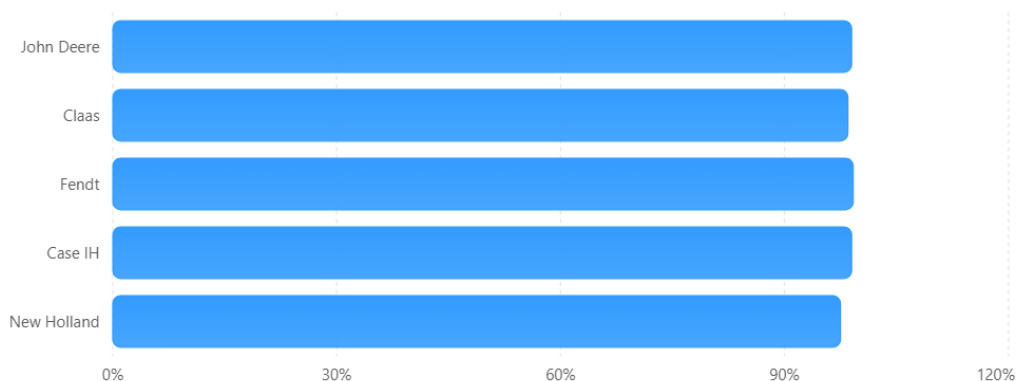


Рис. 1.12. Порівняльна діаграма ефективності очищення повітря кабін мобільних енергетичних засобів провідних виробників.

З аналізу діаграми видно, що найвищі показники ефективності очищення повітря забезпечують системи компаній Fendt, John Deere та Case IH, де ступінь очищення досягає 99–99,2 %. Системи Claas демонструють ефективність близько 98,5 %, що також відповідає сучасним вимогам до забезпечення безпечних умов праці оператора. Найменший показник має New Holland — близько 97,5 %, що пояснюється використанням переважно триступеневих систем очищення.

Отримані результати підтверджують доцільність використання у розроблюваній конструкції багатоступеневої схеми очищення повітря, яка включає циклонний очищувач, фільтр грубого очищення, НЕРА-фільтр та вугільний фільтр із підтриманням надлишкового тиску в кабіні оператора.

Проведений аналіз показує, що найбільш ефективними є багатоступеневі системи очищення повітря, які поєднують циклонне очищення, механічну фільтрацію, НЕРА-фільтрацію та очищення за допомогою активованого вугілля. Саме така схема забезпечує найвищий рівень захисту оператора від пилу, аерозолів і шкідливих газів. Тому при розробленні конструкції очисної системи кабіни мобільного енергетичного засобу доцільно використовувати багатоступеневу схему очищення з підтриманням надлишкового тиску та автоматичним контролем стану фільтрів.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ОЧИСНОЇ СИСТЕМИ КАБІНИ МОБІЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ

2.1 Обґрунтування конструктивної схеми системи очищення повітря

Однією з найважливіших умов забезпечення безпечної та ефективної роботи оператора мобільного енергетичного засобу є підтримання нормативних параметрів повітряного середовища в кабіні. Під час виконання сільськогосподарських робіт техніка експлуатується в умовах підвищеної запиленості, а також піддається впливу аерозолів добрив, засобів захисту рослин, продуктів згоряння палива та інших шкідливих домішок. Тому система очищення повітря повинна забезпечувати ефективне видалення механічних частинок і газоподібних забруднень, підтримуючи комфортні умови праці оператора.

Аналіз існуючих конструкцій повітроочисних систем провідних виробників техніки показав, що найбільш ефективними є багатоступеневі системи очищення повітря, які поєднують кілька методів фільтрації. Такий підхід дозволяє знизити навантаження на окремі фільтрувальні елементи, збільшити ресурс роботи системи та забезпечити високий ступінь очищення повітря.

З урахуванням результатів аналізу сучасних технічних рішень для розроблюваної конструкції прийнято багатоступеневу схему очищення повітря, яка включає:

-  повітрозабірник із захисною сіткою;
-  циклонний очищувач;
-  фільтр грубого очищення;
-  НЕРА-фільтр тонкого очищення;
-  вугільний фільтр;
-  вентилятор подачі повітря;
-  систему створення надлишкового тиску;
-  датчик контролю забруднення фільтрів;
-  систему розподілу очищеного повітря в кабіні.

Принцип роботи запропонованої системи полягає в послідовному проходженні повітря через кілька ступенів очищення.

На першому етапі атмосферне повітря надходить через повітрозабірник, обладнаний захисною сіткою, яка запобігає потраплянню великих сторонніх предметів, листя та рослинних решток.

Далі повітря надходить до циклонного очищувача, де за рахунок дії відцентрових сил видаляються найбільші частинки пилу. Використання циклона дозволяє відокремити до 70–90 % великих механічних домішок ще до надходження повітря на фільтрувальні елементи.

Після циклона повітря проходить через фільтр грубого очищення, який затримує частинки розміром понад 10 мкм. Це значно знижує навантаження на фільтр тонкого очищення та збільшує його ресурс.

На наступному етапі використовується НЕРА-фільтр, призначений для затримання дрібнодисперсного пилу, спор грибів, бактерій та інших мікрочастинок. Ефективність очищення на цьому ступені може досягати 99,95 %.

Для видалення газоподібних забруднень, неприємних запахів та парів хімічних речовин передбачено встановлення вугільного фільтра. Активоване вугілля ефективно адсорбує органічні сполуки, залишки пестицидів та інші токсичні домішки.

Очищене повітря подається вентилятором до кабіни оператора. При цьому в кабіні створюється надлишковий тиск у межах 100–150 Па, який перешкоджає проникненню забрудненого повітря через нещільності дверей, вікон та стиків.

Для контролю технічного стану системи передбачено встановлення датчика перепаду тиску на фільтрах. У разі забруднення фільтрувальних елементів система подає сигнал оператору про необхідність їх очищення або заміни.

Запропонована конструктивна схема має такі переваги:

-  високий ступінь очищення повітря (до 99 %);
-  збільшений ресурс фільтрувальних елементів;
-  захист оператора від пилу, аерозолів та шкідливих газів;
-  підтримання нормативного мікроклімату в кабіні;

- ✚ автоматичний контроль стану системи;
- ✚ простота технічного обслуговування.

Функціональна схема розробленої системи очищення повітря наведена на рисунку 2.1.

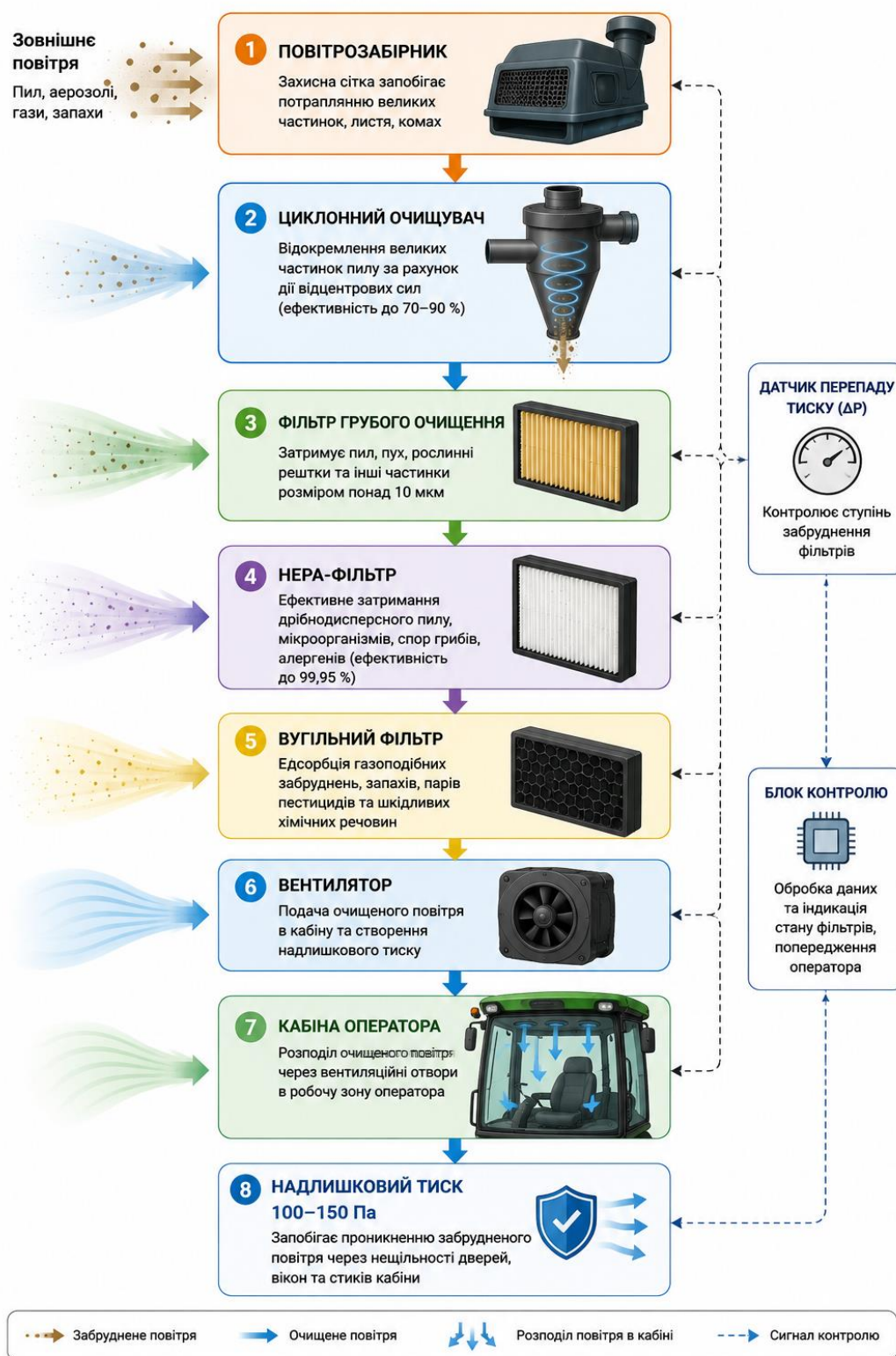


Рис. 2.1 – Функціональна схема системи очищення повітря кабінки

Таким чином, обрана конструктивна схема поєднує сучасні технічні рішення, що використовуються провідними виробниками мобільних енергетичних засобів, та забезпечує високий рівень очищення повітря, комфортні умови праці оператора і надійну роботу системи в умовах підвищеної запиленості. Результати проведеного аналізу підтверджують доцільність використання саме багатоступеневої схеми очищення повітря як основи для подальшої розробки конструкції очисної системи кабіни мобільного енергетичного засобу.

2.2 Розробка загальної конструкції очисної системи

На основі проведеного аналізу існуючих конструкцій систем очищення повітря кабін мобільних енергетичних засобів та результатів обґрунтування конструктивної схеми було розроблено загальну конструкцію багатоступеневої очисної системи, призначеної для забезпечення нормативних параметрів мікроклімату та захисту оператора від пилу, аерозолів і шкідливих газоподібних домішок.

Основною вимогою при розробці конструкції було забезпечення високої ефективності очищення повітря при мінімальному аеродинамічному опорі системи та збільшенні ресурсу роботи фільтрувальних елементів. Крім того, конструкція повинна бути технологічною у виготовленні, зручною в обслуговуванні та адаптованою до встановлення на різні типи мобільних енергетичних засобів.

Запропонована система являє собою окремий функціональний модуль, який встановлюється на даху або задній частині кабіни та складається з кількох послідовно розташованих вузлів очищення повітря.

До складу конструкції входять:

- повітрозабірний пристрій;
- циклонний очищувач;
- фільтр грубого очищення;
- НЕРА-фільтр тонкого очищення;
- вугільний фільтр;
- відцентровий вентилятор;

- система контролю забруднення фільтрів;
- розподільний повітропровід;
- корпус очисної системи.

Повітрозабірний пристрій розташовується у верхній частині конструкції та забезпечує надходження атмосферного повітря до системи очищення. Для захисту від потрапляння великих сторонніх предметів передбачено встановлення металевої захисної сітки.

Після повітрозабірника потік повітря надходить до циклонного очищувача. Циклон являє собою конічний корпус, у якому під дією відцентрових сил відбувається відокремлення великих частинок пилу та механічних домішок. Осаджений пил накопичується у пилосбірнику, який періодично очищується під час технічного обслуговування.

Наступним елементом системи є касетний фільтр грубого очищення. Його призначення полягає у затриманні пилових частинок розміром понад 10 мкм. Для виготовлення фільтра використовується синтетичний фільтрувальний матеріал із підвищеною пиломісткістю.

Після фільтра грубого очищення повітря проходить через НЕРА-фільтр. Він забезпечує очищення від дрібнодисперсного пилу, спор грибів, бактерій та інших мікрочастинок. Ефективність такого фільтра становить понад 99 % для частинок розміром 0,3 мкм.

Для очищення повітря від запахів, вихлопних газів та аерозолів хімічних речовин передбачено використання вугільного фільтра. Активоване вугілля має розвинену пористу структуру та забезпечує ефективну адсорбцію шкідливих газів.

Подача очищеного повітря до кабіни здійснюється за допомогою відцентрового вентилятора. Такий тип вентилятора забезпечує стабільну продуктивність навіть при зміні аеродинамічного опору фільтрів у процесі їх забруднення.

Для контролю технічного стану системи встановлюється датчик перепаду тиску, який вимірює різницю тисків до та після фільтрувальних елементів. У разі

досягнення граничного значення перепаду тиску система подає сигнал оператору про необхідність обслуговування фільтрів.

Корпус очисної системи виготовляється зі сталевого листа товщиною 1,5–2 мм із полімерним антикорозійним покриттям. Для зменшення маси конструкції допускається використання алюмінієвих сплавів або композитних матеріалів.

Загальний вигляд розробленої конструкції наведено на рисунку 2.2.



Рис. 2.2 – Загальна конструкція очисної системи кабіни мобільного енергетичного засобу

Експлікація

Поз.	Найменування
1	Повітрозабірник
2	Циклонний очищувач
3	Фільтр грубого очищення
4	НЕРА-фільтр
5	Вугільний фільтр
6	Вентилятор

7	Повітропровід
8	Кабіна оператора

Запропонована конструкція забезпечує ступінь очищення повітря до 99 %, створення надлишкового тиску в кабіні на рівні 100–150 Па та значне покращення умов праці оператора в умовах підвищеної запиленості. Водночас модульна будова системи спрощує технічне обслуговування та заміну окремих елементів у процесі експлуатації.

2.3 Конструкція та принцип роботи циклона попереднього очищення

Одним із основних елементів розробленої системи очищення повітря є циклон попереднього очищення, призначений для відокремлення крупнодисперсних частинок пилу та механічних домішок із повітряного потоку до його надходження на фільтрувальні елементи тонкого очищення.

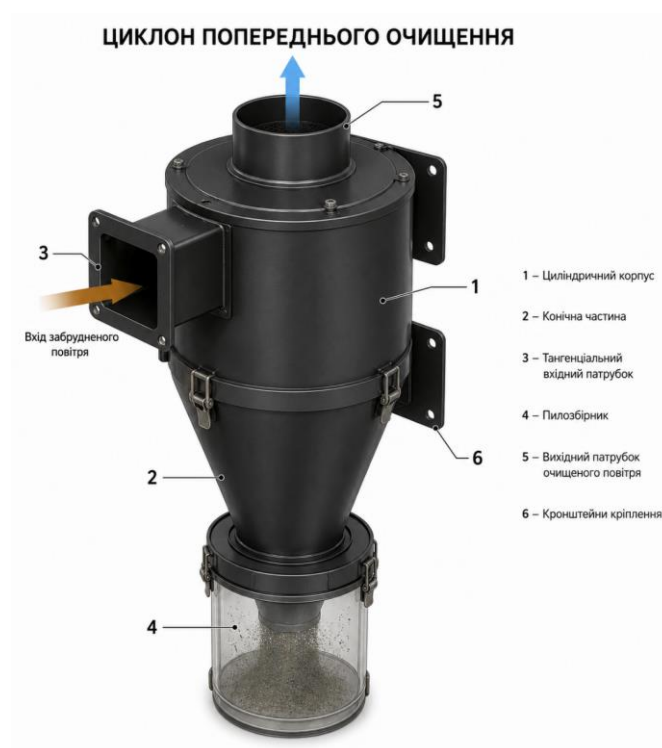


Рис. 2.4. Загальний вигляд циклона попереднього очищення

Застосування циклона дозволяє значно зменшити пилове навантаження на основні фільтри, збільшити їх ресурс роботи, знизити аеродинамічний опір системи та підвищити загальну ефективність очищення повітря.

Циклонний очищувач працює за принципом використання відцентрових сил, які виникають під час обертального руху повітряного потоку всередині корпусу.

Конструкція циклона складається з таких основних елементів:

- циліндричного корпусу;
- конічної частини;
- тангенціального вхідного патрубка;
- вихідного патрубка очищеного повітря;
- пилозбірника;
- кріпильних елементів;
- ущільнювальних прокладок.

Загальний вигляд циклона наведено на рисунку 2.3.

Принцип роботи циклона

Забруднене повітря через вхідний патрубок надходить у верхню частину корпусу циклона по дотичній до внутрішньої поверхні.

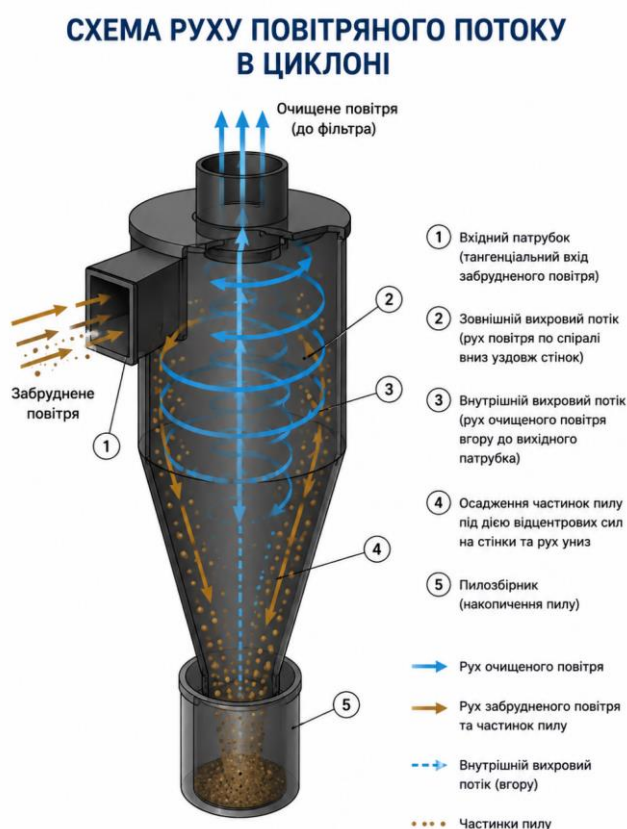


Рис.2.5. Схема руху повітряного потоку в циклоні.

У результаті цього повітряний потік набуває обертального руху та починає рухатися по спіралі вниз уздовж стінок корпусу.

Під дією відцентрової сили частинки пилу відкидаються до стінок циклона та втрачають швидкість. Далі вони переміщуються вниз по конічній частині та накопичуються у пилозбірнику.

Очищене повітря змінює напрямок руху в нижній частині циклона та у вигляді внутрішнього вихрового потоку піднімається до вихідного патрубку.

Після цього повітря надходить до фільтра грубого очищення для подальшої фільтрації.

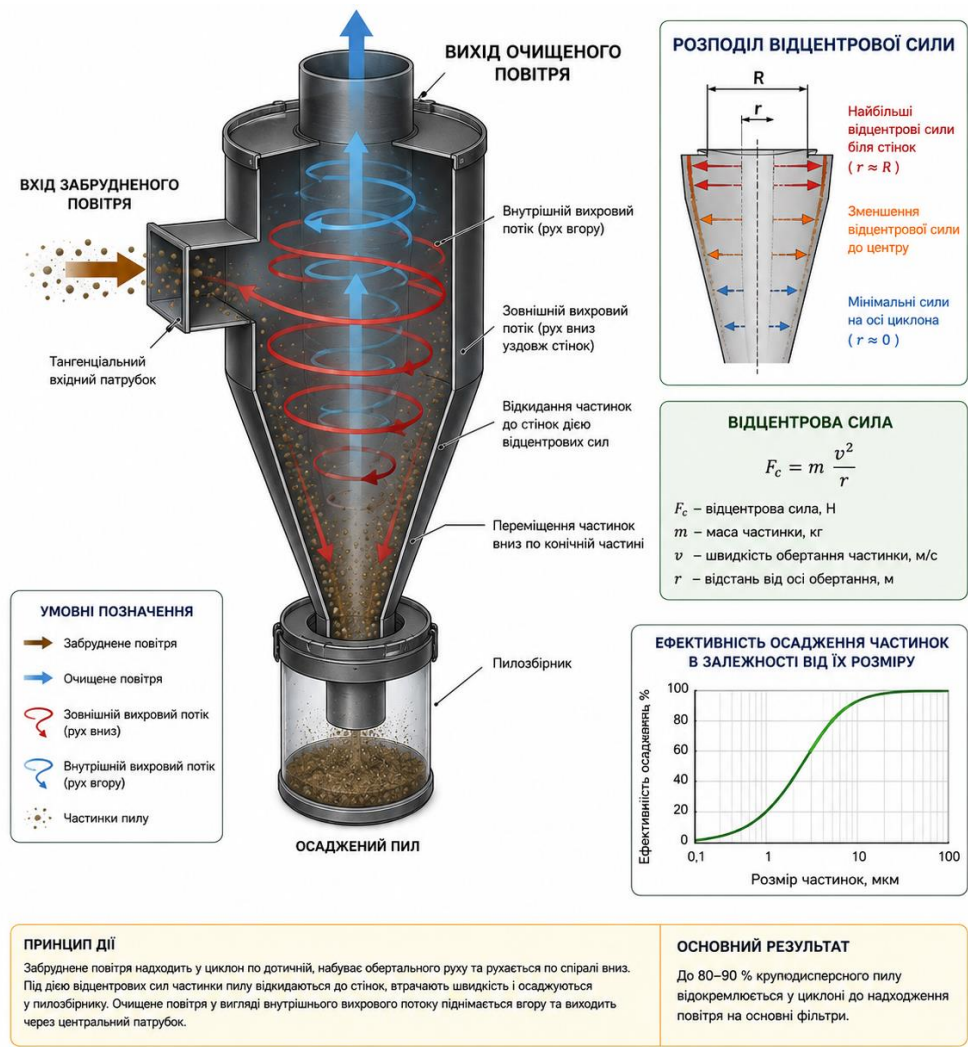
Схема руху повітряного потоку представлена на рисунку 2.5.

Основні переваги циклона

Використання циклона попереднього очищення дозволяє:

- відокремлювати до 80–90 % крупнодисперсного пилу;
- зменшити навантаження на НЕРА-фільтр;
- збільшити ресурс роботи фільтрів у 2–3 рази;
- знизити витрати на технічне обслуговування;
- забезпечити стабільну роботу системи очищення повітря.

Особливо ефективним циклон є під час роботи мобільних енергетичних засобів у польових умовах, коли концентрація пилу може перевищувати 20–30 мг/м³.



Конструктивні параметри циклона

Для розроблюваної системи прийнято такі орієнтовні параметри циклона:

Параметр	Значення
Діаметр корпусу D	180 мм
Висота циліндричної частини Н ₁	250 мм
Висота конічної частини Н ₂	320 мм
Діаметр вихідного патрубку d	90 мм
Ширина вхідного патрубку a	40 мм
Висота вхідного патрубку b	80 мм
Продуктивність	350–450 м³/год
Ефективність очищення	80–90 %

Матеріал конструкції

Корпус циклона пропонується виготовляти з листової оцинкованої сталі товщиною 1,0–1,5 мм або з алюмінієвого сплаву.

Для підвищення корозійної стійкості зовнішні поверхні покриваються порошковою полімерною фарбою.

Пилозбірник виконується знімним, що забезпечує швидке очищення системи під час технічного обслуговування.

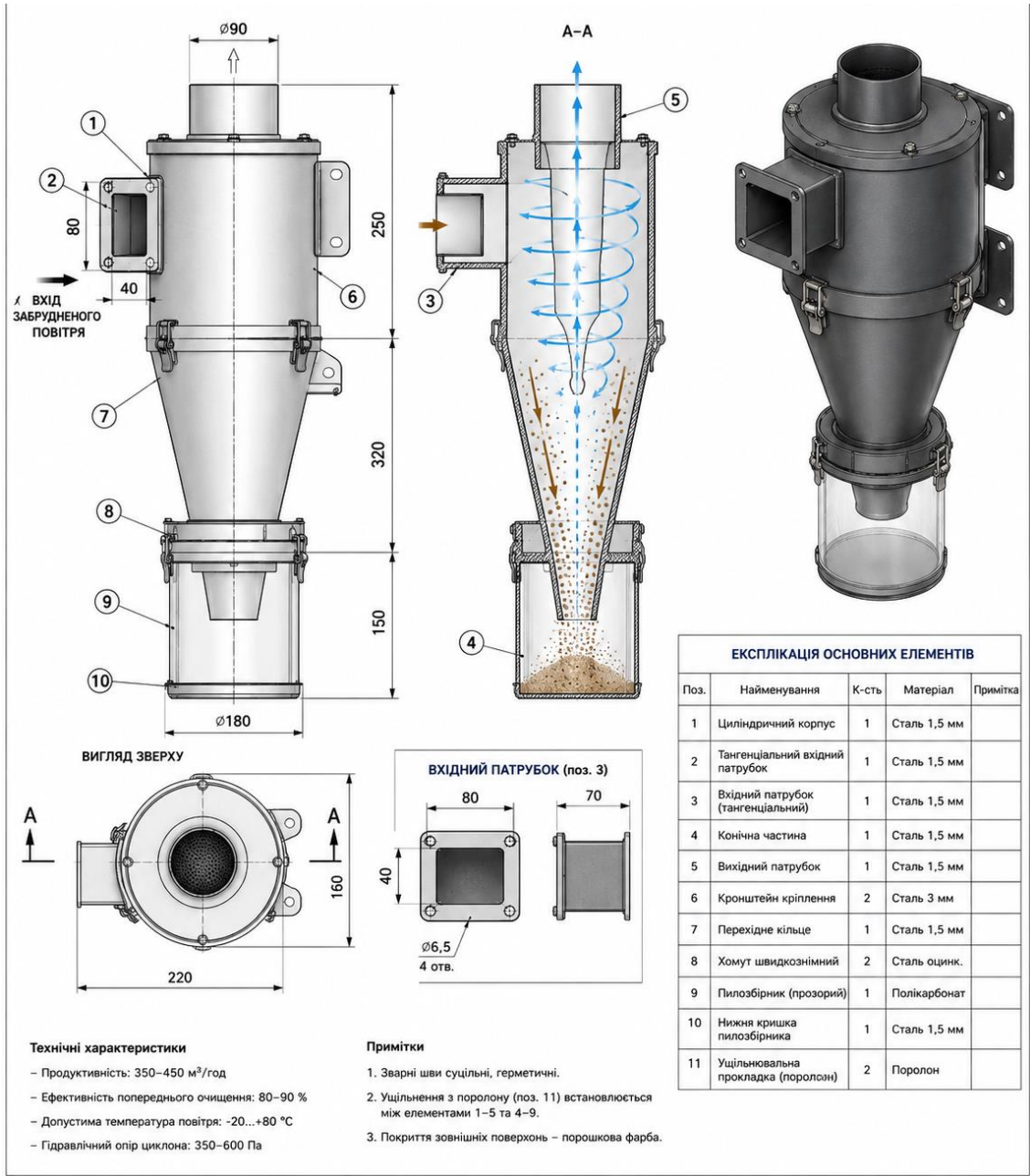


Рис. 2.7. Складальне креслення циклона з експлікацією основних елементів.

Запропонований циклон попереднього очищення забезпечує ефективне видалення крупнодисперсних частинок пилу із повітряного потоку до його надходження на фільтрувальні елементи. Застосування циклона дозволяє суттєво збільшити ресурс роботи системи очищення повітря кабіни мобільного енергетичного засобу та забезпечити стабільні умови експлуатації в умовах підвищеної запиленості.

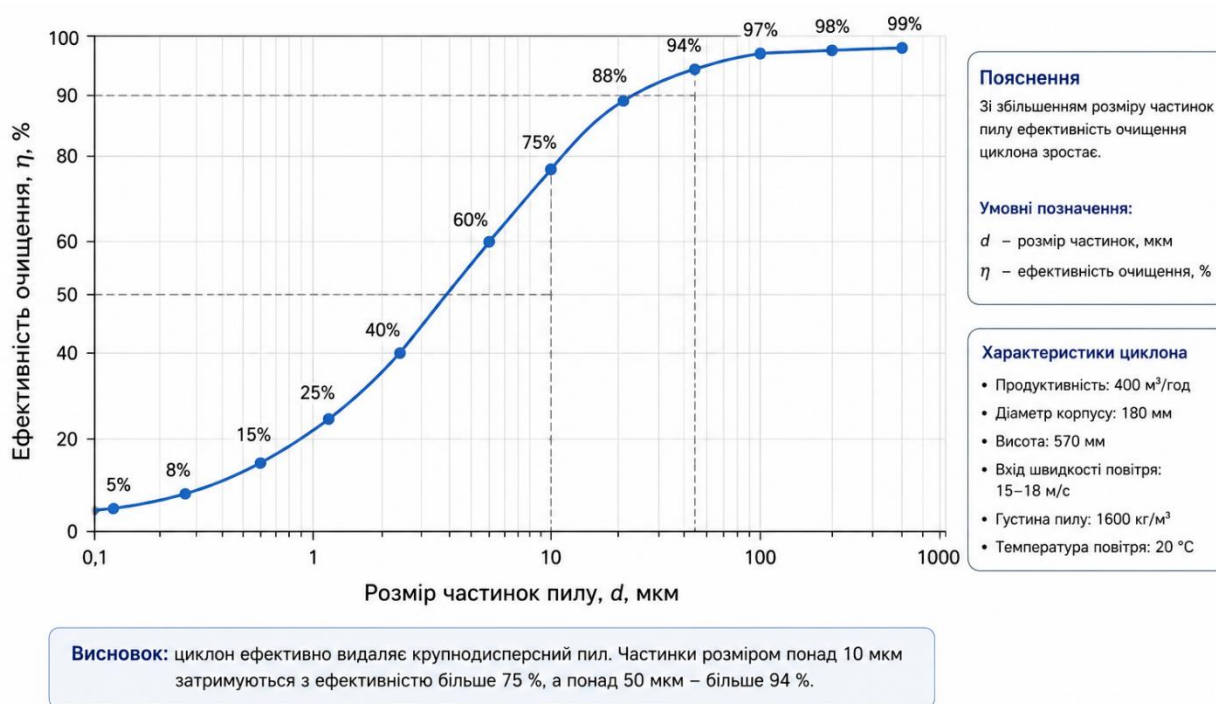


Рис. 2.8. Залежність ефективності очищення циклона від розміру частинок пилу.

2.4 Конструкція касетного фільтра тонкого очищення

Після попереднього очищення повітря в циклоні та проходження через фільтр грубого очищення у повітряному потоці залишаються дрібнодисперсні частинки пилу, органічні домішки, спори грибів, бактерії та інші мікрочастинки. Для їх ефективного видалення в розробленій системі передбачено використання касетного фільтра тонкого очищення.

Касетний фільтр є одним із найважливіших елементів системи очищення повітря кабіни мобільного енергетичного засобу, оскільки саме він забезпечує

досягнення нормативних показників чистоти повітря та створює безпечні умови праці оператора.

Основними вимогами до конструкції фільтра є:

- висока ефективність очищення повітря;
- мінімальний аеродинамічний опір;
- значна пиломісткість;
- можливість швидкої заміни фільтрувального елемента;
- стійкість до вібрацій та механічних навантажень;
- тривалий ресурс роботи.

Для розроблюваної системи прийнято касетну конструкцію фільтра, яка складається з корпусу, фільтрувального пакета, ущільнювальних елементів та кріпильного механізму.

До складу касетного фільтра входять:

- корпус фільтра;
- фільтрувальний елемент;
- опорна рамка;
- ущільнювальна прокладка;
- притискна кришка;
- напрямні елементи;
- кріпильні замки.

Корпус фільтра виконується прямокутної форми та встановлюється безпосередньо після фільтра грубого очищення. Така компоновка забезпечує рівномірний розподіл повітряного потоку по всій площі фільтрувального матеріалу.

Основним робочим елементом є фільтрувальний пакет, виготовлений із багатошарового синтетичного матеріалу класу НЕРА. Для збільшення площі фільтрації матеріал укладається у вигляді гофрованих складок.

Гофрування дозволяє збільшити робочу поверхню фільтра у 4–6 разів порівняно з плоскою конструкцією при тих самих габаритах корпусу.

Під час проходження повітря через фільтрувальний матеріал частинки пилу затримуються внаслідок таких механізмів:

- інерційного осадження;
- прямого перехоплення;
- дифузійного захоплення;
- електростатичної взаємодії.

Затримані частинки накопичуються на поверхні фільтра та в його порах, що поступово збільшує аеродинамічний опір. Для контролю ступеня забруднення фільтра в системі передбачено датчик перепаду тиску.

Для забезпечення герметичності по периметру касети встановлюється ущільнювальна прокладка з пористої гуми або поліуретану. Це виключає проходження повітря в обхід фільтрувального матеріалу.

Конструктивні параметри касетного фільтра

Для розроблюваної системи прийнято такі параметри:

Параметр	Значення
Тип фільтра	Касетний НЕРА
Клас очищення	H13
Продуктивність	400–500 м³/год
Ефективність очищення	99,95 %
Розміри касети	300×250×80 мм
Площа фільтрації	3,5–4,0 м²
Початковий опір	120–150 Па
Кінцевий опір	до 400 Па
Ресурс роботи	1000–1500 мотогодин

Матеріали конструкції

Корпус фільтра виготовляється з оцинкованої сталі товщиною 0,8–1,0 мм або ударостійкого пластику.

Фільтрувальний матеріал являє собою багатошарове скловолокно або синтетичне поліефірне волокно підвищеної ефективності.

Ущільнювальні елементи виготовляються з пористого поліуретану або гуми, стійкої до впливу пилу, вологи та температурних коливань.

Переваги касетного фільтра

Розроблена конструкція має такі переваги:

- ефективність очищення повітря до 99,95 %;
- збільшена площа фільтрації;
- компактні габарити;
- простота технічного обслуговування;
- швидка заміна касети;
- низький рівень аеродинамічного опору.

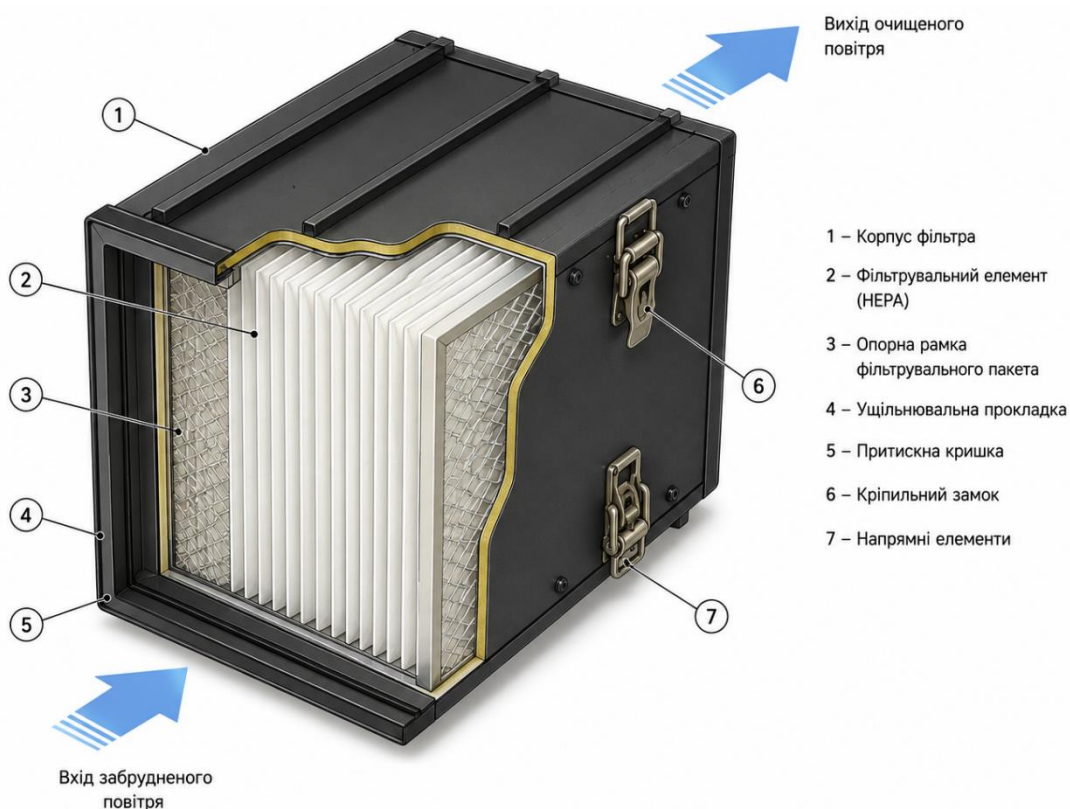


Рис. 2.8. Загальний вигляд касетного фільтра тонкого очищення



Рис. 2.9. Складальне креслення касетного фільтра з експлікацією елементів.



Рис. 2.10 Схема проходження повітря через касетний фільтр

Запропонована конструкція касетного фільтра тонкого очищення забезпечує ефективне видалення дрібнодисперсного пилу та біологічних забруднень із повітряного потоку. Використання HEPA-фільтра класу H13 дозволяє досягти високого ступеня очищення повітря та забезпечити нормативні умови праці оператора мобільного енергетичного засобу навіть в умовах значної запиленості навколишнього середовища.

2.5 Опис роботи удосконаленої системи очищення повітря

Розроблена система очищення повітря призначена для забезпечення нормативних параметрів мікроклімату в кабіні мобільного енергетичного засобу та

захисту оператора від впливу пилу, аерозолів, вихлопних газів і шкідливих домішок, що містяться в навколишньому середовищі під час виконання технологічних операцій.

Особливістю удосконаленої системи є використання багатоступеневого очищення повітря з послідовним застосуванням циклона попереднього очищення, фільтра грубого очищення, касетного НЕРА-фільтра тонкого очищення, вугільного фільтра та системи підтримання надлишкового тиску в кабіні оператора.

Принцип роботи системи полягає у поетапному очищенні атмосферного повітря перед його подачею в робочу зону оператора.

Під час роботи мобільного енергетичного засобу атмосферне повітря через повітрозабірник надходить до циклона попереднього очищення. У циклоні повітряний потік набуває обертального руху, внаслідок чого виникають відцентрові сили, під дією яких великі частинки пилу та механічні домішки відкидаються до стінок корпусу та осідають у пилозбірнику.

Після циклона повітря спрямовується до фільтра грубого очищення, який затримує залишкові частинки пилу розміром понад 10 мкм. Це дозволяє суттєво зменшити навантаження на наступні ступені очищення та збільшити ресурс їх роботи.

Далі повітря проходить через касетний НЕРА-фільтр класу H13. На цьому етапі видаляються дрібнодисперсні частинки пилу, спори грибів, бактерії, пилок рослин та інші мікрочастинки розміром до 0,3 мкм. Ефективність очищення НЕРА-фільтра досягає 99,95 %, що відповідає сучасним вимогам до систем вентиляції та кондиціювання повітря.

Для видалення газоподібних забруднень після НЕРА-фільтра встановлюється вугільний фільтр. Завдяки високорозвиненій пористій структурі активованого вугілля здійснюється адсорбція шкідливих газів, парів паливно-мастильних матеріалів, залишків пестицидів, неприємних запахів та інших токсичних речовин.

Очищене повітря подається до кабіни за допомогою відцентрового вентилятора. Вентилятор забезпечує стабільну подачу повітря незалежно від ступеня забруднення фільтрів та режиму роботи машини.

Через систему повітропроводів очищене повітря надходить до дефлекторів, розташованих у верхній частині кабіни. Конструкція повітророзподільників забезпечує рівномірний розподіл повітряних потоків у зоні розташування оператора та формування комфортного мікроклімату.

Одночасно з вентиляцією в кабіні створюється надлишковий тиск у межах 100–150 Па. Завдяки цьому запобігається проникнення забрудненого зовнішнього повітря через нещільності дверей, люків та віконних ущільнень.

Для контролю технічного стану системи використовується датчик перепаду тиску, встановлений до та після фільтрувальних елементів. При перевищенні допустимого значення перепаду тиску система подає сигнал оператору про необхідність очищення або заміни фільтрів.

У літній період очищене повітря може додатково надходити до системи кондиціонування, де здійснюється його охолодження до необхідної температури. У зимовий період повітря проходить через теплообмінник системи опалення та подається в кабіну підігрітим.



Рис. 2.11 – Принципова схема роботи удосконаленої системи очищення повітря

Таким чином, удосконалена система забезпечує комплексне очищення повітря від механічних, біологічних та газоподібних забруднень, підтримує нормативні параметри мікроклімату та створює безпечні й комфортні умови праці оператора мобільного енергетичного засобу.

Основні переваги удосконаленої системи

- ✚ ефективність очищення повітря до 99,95 %;
- ✚ видалення пилу, аерозолів та шкідливих газів;
- ✚ підтримання надлишкового тиску в кабіні;
- ✚ збільшення ресурсу фільтрувальних елементів завдяки циклону;
- ✚ зниження концентрації пилу в кабіні до санітарних норм;
- ✚ покращення умов праці та зменшення втомлюваності оператора;
- ✚ простота технічного обслуговування та заміни фільтрів.

Запропонована конструкція відповідає сучасним тенденціям розвитку систем очищення повітря кабін тракторів, комбайнів та інших мобільних енергетичних засобів і може бути рекомендована для практичного впровадження у сільськогосподарському машинобудуванні.

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОЧИСНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Визначення необхідної витрати повітря для кабіни

Необхідна витрата повітря для кабіни мобільного енергетичного засобу визначається з урахуванням забезпечення комфортних умов праці оператора, підтримання нормативних параметрів мікроклімату та створення надлишкового тиску в кабіні. Надлишковий тиск перешкоджає проникненню забрудненого зовнішнього повітря через нещільності дверей, вікон та ущільнень.

Витрата повітря повинна забезпечувати:

- подачу достатньої кількості свіжого очищеного повітря;
- видалення надлишкового тепла та вологи;
- підтримання надлишкового тиску 100–150 Па;
- рівномірний розподіл повітря в зоні оператора;
- стабільну роботу системи фільтрації.

Необхідну витрату повітря визначаємо за формулою:

$$L = V_k \cdot n$$

Де L – необхідна витрата повітря, $\text{м}^3/\text{год}$;

V_k – об'єм кабіни, м^3 ;

n – кратність повітрообміну, год^{-1} .

Для кабіни мобільного енергетичного засобу приймаємо орієнтовні розміри:

$$a = 1,6 \text{ м}, \quad b = 1,4 \text{ м}, \quad h = 1,7 \text{ м}$$

Тоді об'єм кабіни становить:

$$V_k = a \cdot b \cdot h$$

$$V_k = 1,6 \cdot 1,4 \cdot 1,7 = 3,81 \text{ м}^3$$

Для забезпечення комфортного мікроклімату та надлишкового тиску приймаємо кратність повітрообміну:

$$n = 60 \text{ год}^{-1}$$

Тоді необхідна витрата повітря:

$$L = 3,81 \cdot 60 = 228,6 \text{ м}^3/\text{год}$$

З урахуванням втрат у повітропроводах, опору фільтрів та необхідності підтримання надлишкового тиску вводимо коефіцієнт запасу:

$$k = 1,4$$

Розрахункова витрата повітря становить:

$$L_p = L \cdot k$$

$$L_p = 228,6 \cdot 1,4 = 320,0 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отже, для розроблюваної системи очищення повітря необхідно прийняти вентилятор із продуктивністю не менше:

$$L_p = 320 \text{ м}^3/\text{год}$$

З урахуванням можливого забруднення фільтрів у процесі експлуатації доцільно прийняти продуктивність вентилятора в межах:

$$L = 350\text{--}450 \text{ м}^3/\text{год}$$

Таблиця 3.1 – Вихідні та розрахункові дані для визначення витрати повітря

Показник	Позначення	Значення
Довжина кабіни, м	(a)	1,6
Ширина кабіни, м	(b)	1,4
Висота кабіни, м	(h)	1,7
Об'єм кабіни, м ³	(V _k)	3,81
Кратність повітрообміну, год ⁻¹	(n)	60
Теоретична витрата повітря, м ³ /год	(L)	228,6
Коефіцієнт запасу	(k)	1,4
Розрахункова витрата повітря, м ³ /год	(L _p)	320
Рекомендована продуктивність вентилятора, м ³ /год	—	350–450

Таким чином, для забезпечення нормативного мікроклімату та створення надлишкового тиску в кабіні мобільного енергетичного засобу необхідна витрата очищеного повітря повинна становити не менше 320 м³/год. Для надійної роботи системи з урахуванням забруднення фільтрів приймаємо продуктивність вентилятора 400 м³/год.

3.2. Розрахунок циклона попереднього очищення

Циклон попереднього очищення призначений для відокремлення крупнодисперсних частинок пилу із повітряного потоку перед його надходженням до фільтрів грубого та тонкого очищення. Його застосування дозволяє зменшити навантаження на фільтрувальні елементи та збільшити ресурс роботи всієї очисної системи.

Для розрахунку приймаємо продуктивність системи:

$$L = 400 \text{ м}^3/\text{год}$$

Переведемо витрату повітря у м³/с:

$$Q = \frac{L}{3600}$$

$$Q = \frac{400}{3600} = 0,111 \text{ м}^3/\text{с}$$

Швидкість повітря у вхідному патрубку циклона приймаємо:

$$v = 16 \text{ м/с}$$

Площа перерізу вхідного патрубку:

$$F = \frac{Q}{v}$$

$$F = \frac{0,111}{16} = 0,00694 \text{ м}^2$$

Приймаємо прямокутний вхідний патрубок розмірами:

$$a = 0,08 \text{ м}, \quad b = 0,09 \text{ м}$$

Тоді фактична площа:

$$F = a \cdot b$$

$$F = 0,08 \cdot 0,09 = 0,0072 \text{ м}^2$$

Фактична швидкість повітря у вхідному патрубку:

$$v_f = \frac{Q}{F}$$

$$v_f = \frac{0,111}{0,0072} = 15,4 \text{ м/с}$$

Отримане значення відповідає рекомендованому діапазону 15–18 м/с.

Діаметр корпусу циклона приймаємо:

$$D = 0,18 \text{ м}$$

Основні геометричні параметри циклона визначаємо за рекомендованими співвідношеннями:

$$H_1 = 1,4D$$

$$H_1 = 1,4 \cdot 0,18 = 0,252 \text{ м}$$

Приймаємо:

$$H_1 = 250 \text{ мм}$$

Висота конічної частини:

$$H_2 = 1,8D$$

$$H_2 = 1,8 \cdot 0,18 = 0,324 \text{ м}$$

Приймаємо:

$$H_2 = 320 \text{ мм}$$

Діаметр вихідного патрубку очищеного повітря:

$$d = 0,5D$$

$$d = 0,5 \cdot 0,18 = 0,09 \text{ м}$$

$$d = 90 \text{ мм}$$

Загальна висота циклона без пиловбірника:

$$H = H_1 + H_2$$

$$H = 250 + 320 = 570 \text{ мм}$$

З урахуванням пиловбірника висотою 150 мм загальна висота конструкції:

$$H_{\Sigma} = 570 + 150 = 720 \text{ мм}$$

Орієнтовний гідравлічний опір циклона визначаємо за формулою:

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

де:

ξ - коефіцієнт місцевого опору циклона, приймаємо ($\xi = 4 \dots 5$);

ρ - густина повітря, ($\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$)

v - швидкість повітря у вхідному патрубку, ($v = 15,4 \text{ м/с}$).

$$[\Delta p = 4,5 \cdot \frac{1,2 \cdot 15,4^2}{2}]$$

$$\Delta p = 4,5 \cdot 142,3 = 640 \text{ Па}$$

Ефективність попереднього очищення циклона для крупнодисперсного пилю приймаємо:

$$\eta = 80-90 \%$$

Для розрахунків приймаємо:

$$\eta = 85 \%$$

Таблиця 3.2 – Розрахункові параметри циклона попереднього очищення

Показник	Позначення	Значення
Продуктивність системи, м³/год	(L)	400
Витрата повітря, м³/с	(Q)	0,111
Швидкість повітря у вхідному патрубку, м/с	(v_f)	15,4
Діаметр корпусу циклона, мм	(D)	180
Діаметр вихідного патрубку, мм	(d)	90
Розмір вхідного патрубку, мм	($a \times b$)	80×90
Висота циліндричної частини, мм	(H_1)	250
Висота конічної частини, мм	(H_2)	320
Висота пилозбірника, мм	(H_3)	150
Загальна висота циклона, мм	(H_{Σ})	720
Гідравлічний опір, Па	(Δp)	640
Ефективність попереднього очищення, %	(η)	85

Таким чином, для розробленої очисної системи кабіни мобільного енергетичного засобу приймається циклон попереднього очищення з діаметром корпусу **180 мм**, продуктивністю **400 м³/год**, діаметром вихідного патрубку **90 мм** та орієнтовною ефективністю очищення **85 %**. Такий циклон забезпечує ефективне відокремлення крупнодисперсного пилю та зменшує навантаження на фільтри подальших ступенів очищення.

РОЗДІЛ 4 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації мобільних енергетичних засобів оператор зазнає впливу комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на стан здоров'я, працездатність та безпеку праці. Особливо актуальною ця проблема є під час виконання польових робіт у період обробітку ґрунту, внесення добрив, обприскування посівів та збирання врожаю, коли рівень запиленості навколишнього середовища значно підвищується.

Метою даного розділу є аналіз виробничих факторів, які можуть виникати під час роботи мобільного енергетичного засобу, та оцінка впливу розробленої системи очищення повітря на підвищення безпеки праці оператора.

Запиленість повітря робочої зони

Одним із найбільш небезпечних факторів є підвищена концентрація пилу в атмосферному повітрі. Під час роботи тракторів, комбайнів та іншої сільськогосподарської техніки утворюється значна кількість мінерального та органічного пилу.

Основними джерелами пилу є:

- обробіток ґрунту;
- рух техніки польовими дорогами;
- збирання зернових культур;
- транспортування сипких матеріалів;
- внесення мінеральних добрив.

Тривалий вплив пилу може викликати:

- подразнення органів дихання;
- алергічні реакції;
- захворювання бронхолегеневої системи;
- зниження працездатності оператора.

Розроблена багатоступенева система очищення повітря забезпечує видалення до 99,95 % пилових частинок, що дозволяє підтримувати концентрацію пилу в кабіні на рівні, який відповідає санітарним нормам.

Шкідливі гази та аерозолі

Під час роботи мобільних енергетичних засобів оператор може зазнавати впливу вихлопних газів двигуна внутрішнього згоряння, а також аерозолів засобів захисту рослин та мінеральних добрив.

Найбільш небезпечними є:

- оксид вуглецю (CO);
- оксиди азоту (NO_x);
- вуглеводні;
- сірчисті сполуки;
- аерозолі пестицидів.

Для зниження концентрації шкідливих речовин у кабіні передбачено застосування вугільного фільтра та підтримання надлишкового тиску, що запобігає проникненню забрудненого повітря ззовні.

Шум

Джерелами шуму є:

- двигун внутрішнього згоряння;
- вентилятори систем охолодження;
- трансмісія;
- гідравлічна система;
- робочі органи машини.

Рівень шуму в кабіні сучасних мобільних енергетичних засобів може становити 70–85 дБ.

Тривалий вплив шуму призводить до:

- підвищеної втомлюваності;
- погіршення концентрації уваги;
- зниження продуктивності праці;
- професійних захворювань органів слуху.

Для зменшення шумового навантаження використовуються шумоізоляційні матеріали, герметизація кабіни та віброізоляція вузлів машини.

Вібрація

Під час руху мобільного енергетичного засобу по нерівній поверхні на оператора впливають загальна та локальна вібрації.

Основними джерелами вібрації є:

- двигун;
- трансмісія;
- ходова система;
- нерівності дорожнього покриття.

Вібрація негативно впливає на опорно-руховий апарат оператора, викликає втому та знижує ефективність роботи.

Для зменшення впливу вібрації використовуються:

- амортизовані сидіння;
- пружні підвіски кабіни;
- гумометалеві демпфери;
- пневматичні елементи підвіски.

Несприятливі метеорологічні умови

До несприятливих факторів належать:

- підвищена температура повітря;
- низька температура повітря;
- підвищена вологість;
- сонячне випромінювання.

Порушення параметрів мікроклімату призводить до зниження працездатності та швидкої втомлюваності оператора.

Розроблена система очищення повітря інтегрується з системами вентиляції, опалення та кондиціювання, що дозволяє підтримувати комфортні параметри мікроклімату в кабіні.

Небезпека рухомих частин машин

Під час технічного обслуговування існує небезпека травмування рухомими елементами:

- вентиляторами;
- приводними пасами;
- карданними валами;
- робочими органами машин.

Для забезпечення безпеки передбачаються:

- захисні кожухи;
- блокувальні пристрої;
- попереджувальні знаки;
- інструктаж персоналу.

Пожежна небезпека

Причинами виникнення пожеж можуть бути:

- коротке замикання електропроводки;
- витік палива;
- перегрів електрообладнання;
- накопичення пилу на нагрітих поверхнях.

Для запобігання пожежам необхідно проводити регулярне технічне обслуговування та забезпечувати машину первинними засобами пожежогасіння.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Виробничий фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Пил	Обробіток ґрунту, збирання врожаю	Захворювання органів дихання
Шкідливі гази	Вихлопні гази, пестициди	Отруєння, алергічні реакції
Шум	Двигун, трансмісія	Втома, зниження слуху
Вібрація	Ходова частина, двигун	Захворювання опорно- рухового апарату
Висока температура	Сонячна радіація	Перегрів організму
Низька температура	Робота в зимовий період	Переохолодження

Рухомі частини	Механізми машини	Травматизм
Пожежонебезпечні фактори	Паливо, електрообладнання	Пожежа

Таким чином, основними шкідливими факторами при експлуатації мобільних енергетичних засобів є пил, шкідливі гази, шум, вібрація та несприятливі параметри мікроклімату. Запропонована система очищення повітря дозволяє значно знизити вплив пилу та газоподібних забруднень, покращити умови праці оператора та підвищити рівень виробничої безпеки.

4.2 Вимоги безпеки під час експлуатації очисної системи

Безпечна експлуатація очисної системи повітря кабіни мобільного енергетичного засобу є важливою умовою забезпечення надійної роботи обладнання, підтримання нормативних параметрів мікроклімату та запобігання виникненню небезпечних ситуацій для оператора і обслуговуючого персоналу.

Розроблена система очищення повітря включає циклон попереднього очищення, фільтри грубого та тонкого очищення, вугільний фільтр, вентилятор, повітропроводи та систему контролю забруднення фільтрів. У процесі експлуатації цих елементів необхідно дотримуватися встановлених вимог безпеки.

Загальні вимоги безпеки

До роботи з мобільним енергетичним засобом допускаються особи, які:

- пройшли відповідне навчання та інструктаж з охорони праці;
- ознайомлені з будовою та принципом роботи очисної системи;
- мають навички безпечного виконання робіт з технічного обслуговування;
- пройшли медичний огляд відповідно до чинного законодавства.

Перед початком роботи оператор повинен перевірити:

- справність вентилятора;
- цілісність повітропроводів;
- стан фільтрів;
- герметичність з'єднань;

- справність електричних з'єднань;
- роботу системи контролю забруднення фільтрів.

Експлуатація системи з пошкодженими елементами або несправною електропроводкою забороняється.

Вимоги безпеки під час роботи системи

Під час роботи очисної системи необхідно:

- контролювати показники системи індикації;
- не допускати роботи вентилятора при заблокованих повітропроводах;
- не відкривати корпус фільтрів при ввімкненій системі;
- не демонтувати захисні кожухи вентилятора;
- не перевищувати встановлені режими роботи обладнання.

При появі сторонніх шумів, вібрацій або зниженні продуктивності системи необхідно негайно зупинити обладнання та усунути причину несправності.

Вимоги безпеки під час технічного обслуговування

Технічне обслуговування очисної системи необхідно виконувати тільки після:

- повної зупинки двигуна машини;
- вимкнення електроживлення системи;
- відключення вентилятора;
- виключення можливості випадкового запуску обладнання.

Під час заміни або очищення фільтрів необхідно використовувати:

- захисні окуляри;
- респіратор;
- рукавички;
- спецодяг.

Фільтри можуть містити значну кількість пилу, спор грибів, бактерій та інших шкідливих речовин, тому їх очищення повинно виконуватися в спеціально відведених місцях або на відкритому повітрі.

Забороняється:

- продувати НЕРА-фільтри стисненим повітрям;

- використовувати пошкоджені фільтрувальні елементи;
- експлуатувати систему без фільтрів;
- виконувати ремонт при працюючому вентиляторі.

Електробезпека

Електрообладнання очисної системи працює від бортової електромережі мобільного енергетичного засобу.

Для забезпечення електробезпеки необхідно:

- використовувати справну ізоляцію проводів;
- регулярно перевіряти стан контактів;
- захищати електричні елементи від вологи;
- застосовувати запобіжники відповідного номіналу.

Усі металеві елементи електрообладнання повинні бути надійно заземлені відповідно до вимог нормативних документів.

Пожежна безпека

Пил, що накопичується у фільтрах та циклоні, може бути потенційним джерелом пожежної небезпеки.

Для запобігання пожежам необхідно:

- регулярно очищати пилозбірники;
- не допускати перегрівання електродвигуна вентилятора;
- перевіряти справність електропроводки;
- своєчасно замінювати пошкоджені кабелі;
- не використовувати відкритий вогонь поблизу системи очищення повітря.

Мобільний енергетичний засіб повинен бути оснащений справним вогнегасником відповідно до вимог пожежної безпеки.

Вимоги безпеки під час утилізації фільтрів

Відпрацьовані фільтри повинні утилізуватися відповідно до екологічних вимог.

Під час їх утилізації необхідно:

- запобігати повторному потраплянню пилу в атмосферу;
- використовувати герметичні пакети для транспортування;

- передавати використані фільтри спеціалізованим підприємствам або утилізувати згідно з чинними нормами.

Таблиця 4.2 – Основні вимоги безпеки під час експлуатації очисної системи

Вид небезпеки	Джерело небезпеки	Заходи безпеки
Механічна	Вентилятор, рухомі частини	Захисні кожухи, блокування
Пилова	Забруднені фільтри	Респіратор, окуляри
Електрична	Електродвигун, проводка	Ізоляція, заземлення
Пожежна	Пил, коротке замикання	Очищення, контроль проводки
Санітарно-гігієнічна	Пил, бактерії, грибки	Регулярна заміна фільтрів
Травмонебезпечна	Технічне обслуговування	Відключення живлення

Дотримання вимог безпеки під час експлуатації очисної системи забезпечує надійну роботу обладнання, захист здоров'я оператора та запобігає виникненню аварійних і пожежонебезпечних ситуацій. Запропонована конструкція системи очищення повітря відповідає сучасним вимогам охорони праці та виробничої безпеки.

4.3 Вимоги електробезпеки

Електробезпека є важливою складовою безпечної експлуатації мобільних енергетичних засобів та встановлених на них систем очищення повітря. Під час роботи очисної системи використовуються електричні вентилятори, датчики контролю забруднення фільтрів, блоки керування та елементи електропроводки, які працюють від бортової електромережі машини.

Недотримання вимог електробезпеки може призвести до ураження електричним струмом, пошкодження обладнання, виникнення короткого замикання, пожежі або виходу системи з ладу.

Загальні вимоги електробезпеки

Усі електротехнічні елементи очисної системи повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів з електробезпеки та мати необхідний рівень захисту від впливу навколишнього середовища.

Електрообладнання повинно забезпечувати:

- безпечну експлуатацію за будь-яких режимів роботи;
- захист від коротких замикань;
- захист від перевантаження;
- захист від випадкового дотику до струмопровідних частин;
- стійкість до вібрацій та ударних навантажень.

У розробленій системі очищення повітря живлення здійснюється від бортової мережі мобільного енергетичного засобу напругою 12 В або 24 В постійного струму, що значно знижує ризик ураження електричним струмом.

Захист електричних кіл

Для захисту електрообладнання необхідно передбачити:

- плавкі запобіжники;
- автоматичні вимикачі;
- реле захисту від перевантаження;
- захист від переполюсовки;
- захист від перенапруги.

Номінальний струм запобіжників повинен відповідати потужності електродвигуна вентилятора та інших споживачів електроенергії.

Схема живлення повинна забезпечувати автоматичне вимкнення обладнання у випадку виникнення аварійного режиму роботи.

Вимоги до електропроводки

Електропроводка системи очищення повітря повинна:

- мати надійну ізоляцію;
- бути стійкою до механічних пошкоджень;
- витримувати вплив підвищеної температури;
- бути захищеною від попадання вологи та пилу.

Прокладання проводів необхідно виконувати в захисних гофрованих рукавах або кабельних каналах.

Забороняється:

- експлуатація проводів із пошкодженою ізоляцією;
- використання проводів невідповідного перерізу;
- скручування проводів без спеціальних з'єднувальних елементів;
- прокладання кабелів поблизу нагрітих поверхонь.

Захист від статичної електрики

У процесі руху повітря по повітропроводах та через фільтрувальні елементи можливе накопичення зарядів статичної електрики.

Для її відведення необхідно:

- використовувати антистатичні матеріали;
- забезпечувати електричне з'єднання металевих елементів конструкції;
- виконувати заземлення металевих корпусів електрообладнання.

Захисне заземлення

Усі металеві частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути приєднані до системи заземлення машини.

Захисне заземлення забезпечує:

- відведення струму пошкодження;
- захист оператора від ураження електричним струмом;
- зменшення ризику виникнення пожежі.

Опір кола заземлення повинен відповідати вимогам нормативної документації та періодично перевірятися під час технічного обслуговування.

Вимоги безпеки під час технічного обслуговування

Перед проведенням будь-яких робіт з обслуговування очисної системи необхідно:

- зупинити двигун машини;
- вимкнути електроживлення;
- від'єднати акумуляторну батарею;

- переконатися у відсутності напруги на струмопровідних частинах.

Під час виконання ремонтних робіт необхідно використовувати справний інструмент з ізольованими ручками та засоби індивідуального захисту.

Пожежна безпека електрообладнання

Основними причинами пожеж в електричних системах є:

- короткі замикання;
- перевантаження електричних кіл;
- пошкодження ізоляції;
- поганий контакт у з'єднаннях.

Для попередження пожеж необхідно:

- регулярно перевіряти стан електропроводки;
- очищати обладнання від пилу;
- контролювати температуру електродвигуна вентилятора;
- використовувати сертифіковані електротехнічні компоненти.

4.4 Заходи щодо зниження впливу на навколишнє середовище

Сучасні мобільні енергетичні засоби під час експлуатації можуть негативно впливати на навколишнє природне середовище. Основними джерелами такого впливу є викиди відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання, забруднення атмосферного повітря пилом, утворення відходів під час технічного обслуговування, шумове навантаження та використання паливно-мастильних матеріалів.

Під час розроблення очисної системи кабіни мобільного енергетичного засобу особлива увага приділялася екологічним аспектам її експлуатації та можливості мінімізації негативного впливу на довкілля.

Зниження викидів пилу в атмосферу

Під час виконання польових робіт навколо машини утворюється значна кількість пилу, який складається з мінеральних частинок ґрунту, органічних залишків рослин та мікроорганізмів.

Розроблена система очищення повітря сприяє:

- зниженню концентрації пилу в робочій зоні оператора;

- локалізації частини пилових частинок у фільтрувальних елементах;
- зменшенню повторного потрапляння пилу в атмосферу під час роботи системи вентиляції.

Використання циклона попереднього очищення дозволяє ефективно відокремлювати крупнодисперсні частинки пилу ще до їх потрапляння на основні фільтри.

Зниження забруднення атмосферного повітря

Під час роботи мобільних енергетичних засобів основним джерелом забруднення атмосфери є двигун внутрішнього згоряння.

Для зменшення негативного впливу необхідно:

- використовувати сучасні двигуни екологічних класів Stage V або Tier 4 Final;
- своєчасно виконувати технічне обслуговування паливної системи;
- контролювати токсичність відпрацьованих газів;
- застосовувати якісне паливо та мастильні матеріали.

Регулярне технічне обслуговування забезпечує більш повне згоряння палива та зменшує кількість шкідливих речовин у вихлопних газах.

Раціональне поводження з відходами

У процесі експлуатації та технічного обслуговування очисної системи утворюються такі види відходів:

- використані фільтрувальні елементи;
- пил та механічні домішки з пилосбірників;
- відпрацьовані мастильні матеріали;
- забруднені серветки та допоміжні матеріали.

Для зниження негативного впливу на навколишнє середовище необхідно:

- збирати відходи в спеціальні контейнери;
- не допускати потрапляння пилу та сміття у ґрунт;
- передавати використані фільтри спеціалізованим підприємствам;
- здійснювати утилізацію відходів відповідно до екологічних вимог.

Зменшення шумового навантаження

Під час роботи машини джерелами шуму є двигун, вентилятор системи очищення повітря, трансмісія та інші механізми.

Для зниження шумового впливу використовуються:

- шумоізоляційні матеріали кабіни;
- балансування робочих коліс вентиляторів;
- застосування гумових амортизаторів;
- регулярне технічне обслуговування рухомих вузлів.

Зниження шуму сприяє покращенню умов праці оператора та зменшує негативний вплив на навколишнє середовище.

Енергоефективність системи

Одним із напрямів зменшення екологічного навантаження є підвищення енергоефективності очисної системи.

Для цього передбачено:

- використання вентилятора з високим коефіцієнтом корисної дії;
- мінімізацію аеродинамічного опору повітропроводів;
- застосування багатоступеневої системи очищення з оптимізованими параметрами;
- використання електродвигунів з низьким енергоспоживанням.

Зменшення споживання енергії сприяє скороченню витрат палива та зниженню загального рівня викидів шкідливих речовин.

Захист ґрунтів та водних ресурсів

Під час технічного обслуговування машини необхідно запобігати потраплянню нафтопродуктів, мастильних матеріалів та інших небезпечних речовин у ґрунт і водні об'єкти.

Для цього необхідно:

- виконувати обслуговування на спеціально обладнаних майданчиках;
- використовувати герметичні ємності для збору відпрацьованих рідин;
- негайно ліквідовувати випадкові розливи паливно-мастильних матеріалів;
- застосовувати сорбенти для збору забруднень.

Екологічні переваги розробленої системи

Розроблена система очищення повітря має такі екологічні переваги:

- ефективність очищення повітря до 99,95 %;
- зниження концентрації пилу в робочій зоні;
- збільшення ресурсу фільтрів завдяки використанню циклона;
- зменшення кількості відходів від заміни фільтрів;
- зниження енергоспоживання вентиляційної системи;
- покращення санітарно-гігієнічних умов праці оператора.

Таблиця 4.4 – Основні природоохоронні заходи

Джерело впливу	Негативний фактор	Заходи зниження впливу
Пил	Забруднення повітря	Циклон, фільтри очищення
Вихлопні гази	Токсичні викиди	Технічне обслуговування двигуна
Відходи фільтрів	Забруднення довкілля	Організована утилізація
Шум	Акустичне забруднення	Шумоізоляція та амортизація
Паливно-мастильні матеріали	Забруднення ґрунтів і вод	Герметичне зберігання та збір
Енергоспоживання	Збільшення викидів CO ₂	Енергоефективне обладнання

Таким чином, впровадження розробленої системи очищення повітря дозволяє не лише покращити умови праці оператора мобільного енергетичного засобу, а й сприяє зниженню негативного впливу техніки на навколишнє природне середовище. Запропоновані природоохоронні заходи забезпечують екологічно безпечну експлуатацію машини та відповідають сучасним вимогам сталого розвитку аграрного виробництва.

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

5.1 Вихідні дані для економічних розрахунків

Економічна ефективність розробленої системи очищення повітря кабіни мобільного енергетичного засобу визначається шляхом порівняння витрат на її виготовлення та експлуатацію з отриманими технічними й економічними результатами.

Основними перевагами впровадження системи є:

- підвищення ефективності очищення повітря до 99,95 %;
- покращення умов праці оператора;
- зменшення захворюваності персоналу;
- збільшення ресурсу фільтрів;
- зменшення витрат на технічне обслуговування;
- підвищення продуктивності праці оператора.

Для розрахунків приймаються вихідні дані, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для економічних розрахунків

Показник	Позначення	Значення
Кількість систем	N	1 шт.
Річний фонд роботи машини	F	1200 год
Термін служби системи	T	8 років
Вартість електродвигуна вентилятора	C ₁	3500 грн
Вартість циклона	C ₂	2500 грн
Вартість НЕРА-фільтра	C ₃	1800 грн
Вартість вугільного фільтра	C ₄	1200 грн
Вартість корпусу та повітропроводів	C ₅	4000 грн
Монтажні витрати	C _м	2000 грн

5.2 Розрахунок капітальних вкладень

Загальні капітальні вкладення на виготовлення та встановлення системи визначаються за формулою:

$$K = \sum C_i + C_m$$

$$K = 3500 + 2500 + 1800 + 1200 + 4000 + 2000$$

$$K = 15000 ; \text{ грн}$$

Отже, капітальні вкладення у впровадження системи очищення повітря становлять:

$$K = 15000 ; \text{ грн}$$

5.3 Визначення експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати складаються з:

- витрат на електроенергію;
- амортизаційних відрахувань;
- витрат на заміну фільтрів;
- витрат на технічне обслуговування.

Витрати на електроенергію

Потужність вентилятора:

$$P = 0,25 ; \text{ кВт}$$

Річне споживання електроенергії:

$$W = P \cdot F$$

$$W = 0,25 \cdot 1200 = 300 ; \text{ кВт} \cdot \text{ год}$$

За вартості електроенергії:

$$C_e = 6 ; \text{ грн}/(\text{кВт} \cdot \text{ год})$$

річні витрати становлять:

$$Z_e = 300 \cdot 6 = 1800 ; \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування

Приймаємо норму амортизації:

$$H_a = 12,5\%$$

$$A = \frac{K \cdot H_a}{100}$$

$$A = \frac{15000 \cdot 12,5}{100}$$

$$A = 1875 ; \text{ грн}$$

Витрати на заміну фільтрів

$$З_f = 2000; \text{ грн/рік}$$

Витрати на технічне обслуговування

$$З_{то} = 1000; \text{ грн/рік}$$

Загальні експлуатаційні витрати

$$З_{\text{експ}} = З_e + A + З_f + З_{то}$$

$$З_{\text{експ}} = 1800 + 1875 + 2000 + 1000$$

$$З_{\text{експ}} = 6675; \text{ грн/рік}$$

5.4 Розрахунок економічного ефекту

Завдяки впровадженню системи очищення повітря підвищується продуктивність праці оператора та знижуються витрати, пов'язані з простоями та погіршенням умов праці.

Приймаємо річний економічний ефект:

$$E = 12000 ; \text{ грн/рік}$$

Чистий економічний ефект:

$$E_{\text{ч}} = E - З_{\text{експ}}$$

$$E_{\text{ч}} = 12000 - 6675$$

$$E_{\text{ч}} = 5325; \text{ грн/рік}$$

5.5 Розрахунок терміну окупності проєкту

Термін окупності визначається:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E_{\text{ч}}}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{15000}{5325}$$

$$T_{\text{ок}} = 2,82; \text{ роки}$$

Отже, капітальні вкладення у розроблену систему очищення повітря окупляться приблизно за:

$$T_{\text{ок}} \approx 2,8; \text{ роки}$$

5.6 Техніко-економічні показники розробленої конструкції

Основні техніко-економічні показники наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Техніко-економічні показники розробленої системи очищення повітря

Показник	Одиниця виміру	Значення
Продуктивність системи	м³/год	400
Ефективність очищення повітря	%	99,95
Ефективність циклона	%	85
Надлишковий тиск у кабіні	Па	100–150
Потужність вентилятора	кВт	0,25
Капітальні вкладення	грн	15000
Річні експлуатаційні витрати	грн/рік	6675
Річний економічний ефект	грн/рік	12000
Чистий економічний ефект	грн/рік	5325
Термін окупності	років	2,8
Термін служби системи	років	8

Висновок до розділу

Проведені техніко-економічні розрахунки показали, що впровадження розробленої системи очищення повітря кабіни мобільного енергетичного засобу є економічно доцільним. При капітальних вкладеннях 15 тис. грн термін окупності становить близько 2,8 року, а рівень очищення повітря досягає 99,95 %, що забезпечує суттєве покращення умов праці оператора та підвищення ефективності експлуатації техніки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи отримано такі основні висновки:

1. Проведено аналіз умов експлуатації мобільних енергетичних засобів та встановлено, що основними джерелами забруднення повітря в кабінах є мінеральний і органічний пил, вихлопні гази двигунів внутрішнього згорання, аерозолі засобів захисту рослин та мінеральних добрив. Встановлено, що існуючі системи очищення повітря не завжди забезпечують необхідний рівень захисту оператора в умовах підвищеної запиленості.
2. Виконано аналіз сучасних конструкцій повітроочисних систем провідних виробників сільськогосподарської техніки (John Deere, Claas, Fendt, Case IH, New Holland). Встановлено, що найбільш перспективними є багатоступеневі системи очищення, які поєднують циклонне очищення, механічну фільтрацію, HEPA-фільтрацію та очищення повітря за допомогою активованого вугілля.
3. Обґрунтовано та розроблено конструктивну схему удосконаленої системи очищення повітря кабіни мобільного енергетичного засобу, до складу якої входять повітрозабірник, циклон попереднього очищення, фільтр грубого очищення, касетний HEPA-фільтр тонкого очищення, вугільний фільтр, вентилятор і система підтримання надлишкового тиску.
4. Розроблено конструкцію циклона попереднього очищення, який забезпечує відокремлення до 85 % крупнодисперсних пилових частинок ще до надходження повітря на основні фільтрувальні елементи. Використання циклона дозволяє суттєво збільшити ресурс роботи фільтрів та знизити експлуатаційні витрати.
5. Запропоновано конструкцію касетного фільтра тонкого очищення на основі HEPA-фільтра класу H13, що забезпечує ефективність очищення повітря до 99,95 % від дрібнодисперсного пилу, пилку рослин, спор грибів та інших шкідливих мікрочастинок.
6. Виконано розрахунок основних параметрів очисної системи. Встановлено, що для забезпечення нормативних параметрів мікроклімату в кабіні необхідна витрата очищеного повітря становить близько 400 м³/год. Розраховано

геометричні параметри циклона попереднього очищення та визначено його робочі характеристики.

7. Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які впливають на оператора мобільного енергетичного засобу. Встановлено, що впровадження розробленої системи дозволяє значно зменшити вплив пилу, шкідливих газів та несприятливих параметрів мікроклімату на здоров'я працівника.

8. Розроблено комплекс заходів з охорони праці, електробезпеки та охорони навколишнього середовища, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації системи очищення повітря та зменшення негативного впливу техніки на довкілля.

9. Проведене техніко-економічне обґрунтування підтвердило доцільність впровадження розробленої конструкції. При капітальних вкладеннях близько 15 тис. грн річний економічний ефект становить понад 12 тис. грн, а термін окупності проєкту не перевищує 2,8 року.

10. Розроблена система очищення повітря забезпечує ефективність очищення до 99,95 %, підтримання надлишкового тиску в кабіні на рівні 100–150 Па та створення комфортних і безпечних умов праці оператора мобільного енергетичного засобу, що відповідає сучасним вимогам ергономіки, охорони праці та екологічної безпеки.

Таким чином, поставлену мету бакалаврського проєкту досягнуто, а розроблена конструкція очисної системи кабінки мобільного енергетичного засобу може бути рекомендована для впровадження в сільськогосподарське машинобудування та подальшого практичного використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ EN 15695-1:2022. Сільськогосподарські та лісогосподарські трактори і самохідні машини. Захист оператора від небезпечних речовин. Частина 1. Класифікація кабін, вимоги та методи випробувань. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 32 с.
2. ДСТУ EN 15695-2:2022. Сільськогосподарські трактори та самохідні машини. Захист оператора від небезпечних речовин. Частина 2. Фільтри, вимоги та методи випробувань. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. – 28 с.
3. ДСТУ EN ISO 4254-1:2023. Машини сільськогосподарські. Безпека. Частина 1. Загальні вимоги. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. – 54 с.
4. ДСТУ EN ISO 12100:2019. Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Оцінювання ризику та зниження ризику. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 78 с.
5. ДСТУ ISO 14269-5:2021. Трактори та самохідні машини для сільського господарства. Середовище оператора. Частина 5. Методи визначення параметрів мікроклімату. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. – 25 с.
6. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві. НПАОП 01.0-1.02-18. – Київ : Міністерство соціальної політики України, 2018. – 198 с.
7. Ткачук В.М., Клендій М.Б., Паладійчук Ю.Б. Сільськогосподарські машини: конструкція, розрахунок та експлуатація. – Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2020. – 356 с.
8. Сало Я.П., Лузан П.Г., Барановський В.М. Машиновикористання в аграрному виробництві. – Київ : Аграрна освіта, 2019. – 412 с.
9. Бендера І.М., Семенюк М.Д. Основи інженерного проектування машин і обладнання агропромислового виробництва. – Кам'янець-Подільський : Медобори-2006, 2021. – 318 с.
10. Ратушний Р.Т., Ковальчук В.В. Охорона праці в галузі та цивільний захист. – Львів : Новий Світ-2000, 2022. – 376 с.

- 11.Mohsenin N.N. Physical Properties of Plant and Animal Materials. – New York : CRC Press, 2019. – 891 p.
- 12.Wang L., Parnell C.B., Shaw B.W. Agricultural Air Quality and Ventilation Systems. – Boca Raton : CRC Press, 2021. – 542 p.
- 13.Kutz M. Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering. – 3rd ed. – Academic Press, 2020. – 764 p.
- 14.Grisso R.D., Perumpral J.V. Engineering Principles of Agricultural Machines. – ASABE Publications, 2018. – 480 p.
- 15.Zhang Q. Precision Agriculture Technology for Crop Farming. – CRC Press, 2021. – 512 p.
- 16.John Deere. Operator Environment and Cab Filtration Systems: Technical Guide. – Moline : John Deere Technical Publications, 2023. – 85 p.
- 17.CLAAS. CAB AIR FILTRATION SYSTEMS. Technical Documentation for LEXION and JAGUAR Series. – Harsewinkel : CLAAS KGaA mbH, 2024. – 72 p.
- 18.Fendt. FendtONE Cab Comfort and Air Filtration Technologies. Technical Manual. – Marktoberdorf : AGCO GmbH, 2023. – 68 p.
- 19.Case IH. Operator Environment and Filtration Systems. Technical Specification. – Racine : CNH Industrial, 2024. – 60 p.
- 20.New Holland Agriculture. Cab Filtration and Climate Control Systems. Technical Manual. – Turin : CNH Industrial, 2023. – 64 p.
- 21.Hinds W.C. Aerosol Technology: Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles. – 3rd ed. – New York : Wiley, 2021. – 498 p.
- 22.Wang C.S. Air Filtration and Purification Technology in Modern Engineering Systems. – Springer Nature, 2022. – 437 p.
- 23.Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric Chemistry and Physics. – 4th ed. – Wiley, 2023. – 1152 p.
- 24.ASHRAE Handbook. HVAC Applications. – Atlanta : ASHRAE, 2023. – 1048 p.

- 25.ISO 16890-1:2024. Air Filters for General Ventilation – Classification and Performance Testing. – Geneva : International Organization for Standardization, 2024. – 48 p.
- 26.ISO 29463-1:2022. High Efficiency Filters and Filter Media for Removing Particles in Air. – Geneva : International Organization for Standardization, 2022. – 55 p.
- 27.EN 1822-1:2023. High Efficiency Air Filters (EPA, HEPA and ULPA). Classification, Performance Testing and Marking. – Brussels : CEN, 2023. – 46 p.
- 28.ASABE Standards 2024. Agricultural Equipment Safety and Environmental Requirements. – St. Joseph : American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2024. – 215 p.
- 29.European Commission. Agricultural Machinery and Operator Protection Systems. Technical Report. – Brussels, 2023. – 102 p.
- 30.FAO. Sustainable Agricultural Mechanization: A Framework for Analysis and Investment. – Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. – 146 p.