

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГЛУШНИКІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ ЗВУКОВОГО ТИСКУ НА ОПЕРАТОРІВ МАЛОГАБАРИТНИХ ТРАКТОРІВ

Подольський М., канд. тех. наук, доц.,

<https://orcid.org/0000-0002-1149-4275>, e-mail: Podolsky.Mihail@gmail.com,

Лілевман І.,

<https://orcid.org/0000-0002-3123-5684>, e-mail: igorlilevman@ukr.net,

Лілевман О.,

<https://orcid.org/0000-0003-1316-1674>, e-mail: lilevman60@gmail.com,

Південно-Українська філія УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого

Кедровський О.

<https://orcid.org/0000-0002-0928-6717>, e-mail: Kedrowsky@ukr.net,

Державний навчальний заклад «Білозерське професійно-технічне училище № 6»

Анотація

Шумовий фон, як важливий чинник умов праці операторів сільгосптехніки, має безпосередній вплив на стан здоров'я людини та продуктивність виконуваної роботи. Особливої актуальності ця тема набирає для малогабаритних тракторів, які здебільшого не оснащуються кабінами. Одним з основних засобів зниження звукового тиску на оператора є глушники відпрацьованих газів, які переважно мають лабіринтно-поглинальний тип дії. У роботі пропонується принциповий підхід до проектування глушника за критерієм відбиття та розсіювання звукових хвиль із перевіркою ефективності комп'ютерним моделюванням.

Мета досліджень:

- покращити умови праці операторів малогабаритних тракторів, не обладнаних кабінами, завдяки зниженню рівня звукового тиску від двигунів внутрішнього згорання;
- удосконалити шумопоглинальні властивості глушників відпрацьованих газів двигунів з дотриманням вимог до технологічності процесу їх виготовлення;
- розробити конструкційну схему глушника відпрацьованих газів за результатами попереднього моделювання та аналізу траєкторії руху потоку газів у порожнині його робочої частини.

Методи. Рівень звукового тиску двигуна малогабаритного трактора визначали методом математичного (комп'ютерного) моделювання поведінки потоку вихлопних газів у порожнині глушника в різних частотних діапазонах.

Результати. У статті проаналізовано основні джерела походження шуму під час роботи сільгосптехніки з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ). На основі літературних джерел та методик встановлено їхній окремий ступінь впливу на комплексну картину шумового забруднення робочого простору оператора малогабаритного трактора. Виконано порівняльний аналіз ефективності роботи глушників, створених на загальноприйнятих засадах та підходах до конструювання подібних пристроїв. Попередніми випробуваннями, виявлено недоліки та обмеження у застосуванні концепцій проектування, проведено додатковий аналіз зовнішніх причин та чинників, внесено корективи до методики створення конструкцій глушників.

Запропоновано альтернативний конструкційний підхід до створення глушників ДВЗ малогабаритних тракторів та проведено комп'ютерне моделювання процесів розподілу звукового тиску та звукових хвиль в ній порожнині.

Висновки. 1. Запропоновано компонувальну схему конструкції глушника відпрацьованих газів, який містить резонаторну камеру та оболонковий модуль, виконаний як триступеневий ребристий розсіювач коливань імпульсів потоку вихлопу з додатковим приповерхневим шаром вібропоглинача.

2. Розраховано параметри вихідного потоку відпрацьованих газів типового дизельного двигуна малогабаритного трактора потужністю 24 к. с. (тиск - 11652 Па, прискорення - 90-105 м/с², частота - 1950-3300) Гц), за якими виконано комп'ютерне моделювання процесу руху газів у порожнині глушника запропонованої компоновальної схеми. Обрано оптимальні конструкційні параметри глушника з діаметром корпусу 150 мм завдовжки - 600 мм для забезпечення максимально можливого поглинання шуму. Розрахунковий звуковий тиск під час роботи на частоті обертання колінчастого вала 1700-2000 об/хв не перевищує 72 дБ. Конструкцію глушника виконано з дотриманням вимог до економічної доцільності, технологічності та згідно з можливостями промислового виробництва.

3. Подальшим напрямком досліджень є виготовлення експериментального зразка глушника та випробування щодо ефективності його шумопоглинання в умовах експлуатації малогабаритних тракторів.

Ключові слова: сільськогосподарська техніка, малогабаритний трактор, умови праці, шум, проектування глушника, математичне моделювання, програмне забезпечення.

Вступ. Сільськогосподарські малогабаритні трактори та мотоблоки набувають все більшого розповсюдження та застосування у невеликих фермерських та приватних господарствах [«Pro Consulting». База аналізу ринку: https://pro-consulting.ua/base/analiz-rynka-ukrainy?level1=cel_hoz&level2=tehnika&stat=1].

Одним з важливих критеріїв, які обумовлюють попит на подібну техніку є оптимальне співвідношення ціни та технологічних якостей, економічності та надійності. Часто під час конструювання та компоновання вузлів виробники нехтують вимогами безпеки, ергономічності та екологічності, щоб знизити собівартість виробу або встановлення різноманітних захисних пристроїв, споруд, екранів носить формальний характер та не може гарантувати належні умови праці оператора [Кравчук В. та ін., 2020].

У більшості конструкцій малогабаритних тракторів робоче місце оператора обладнується, в кращому випадку, навісом. Це захищає оператора від шкідливого впливу прямих сонячних променів та опадів, однак не захищає від пилового та шумового забруднення.

Основними джерелами шуму на робочому місці оператора є вихлоп відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згоряння, робота механізмів трактора та агрегованих з трактором знарядь [Шатров М. Г та ін., 2014]. За відсутності кабіни, єдиними способами покращення шумового

комфорту є зменшення амплітуди звукових хвиль, що досягається капотуванням мотора, а також встановленням глушників активного та пасивного способу дії. Останні, зі свого боку, можуть виконувати резонаторні або дисипативні функції зниження енергії руху газів [Прохоренко А. А. та ін., 2002] завдяки наповнювачу або застосуванню конструкції лабіринтового типу (рис.1 а, б).

Також з підвищенням нормативів з екологічності, глушники оснащують каталітичними вставками з поглинальними властивостями (рис. 1, в). Однак, зважаючи на обмеження щодо собівартості, доведеться відмовитись від використання каталітичної вставки в розробленні нашої конструкції глушника.

Постановка завдань.

Мета дослідження:

- покращити умови праці операторів малогабаритних тракторів, не обладнаних кабінами, завдяки зниженню рівня звукового тиску від двигунів внутрішнього згоряння;

- удосконалити шумопоглинальні властивості глушників відпрацьованих газів двигунів з дотриманням вимог до технологічності процесу їх виготовлення;

- розробити конструкційну схему глушника відпрацьованих газів за результатами попереднього моделювання та аналізу траєкторії руху потоку газів у порожнині його робочої частини.

Стан проблеми визначив завдання

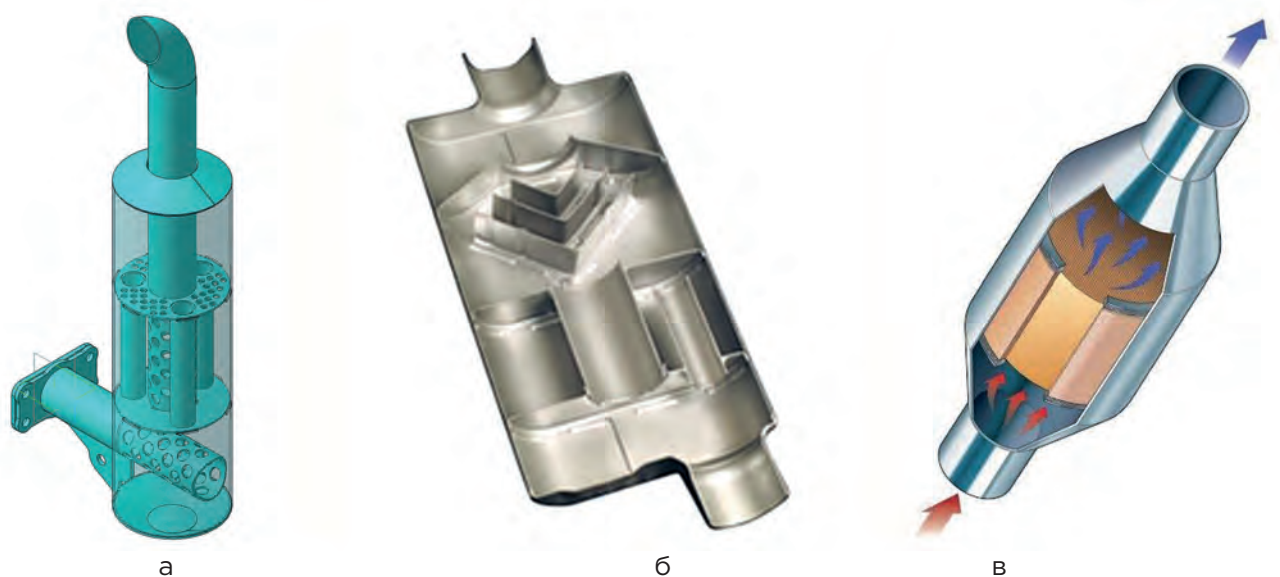


Рисунок 1 – Основні види конструкцій глушників: а - глушник резонаторного типу; б - глушник лабіринтового типу; в - вставка-каталізатор

у розробленні конструкції ефективного компактного безпечного глушника відпрацьованих газів двигуна. Окремим пунктом слід зазначити параметр технологічності, оскільки від нього залежить не тільки безпосередня собівартість виробу, а й сама можливість втілення та застосування інженерного рішення на практиці. Небажана наявність дрібних елементів чи отворів малого діаметра, численних зварювальних та стикових швів, складнопрофільних поверхонь, ділянок великої протяжності, які збільшують габаритні розміри та масу глушника, сприяють зниженню жорсткості, підвищенню навантажень на фланцеву частину випускного колектора.

Реалізацію поставлених завдань планується досягти так:

- базуючись на теоретичних засадах, створити новий концептуальний підхід до процесу розроблення компонуальної схеми камер глушника;

- під умови конкретного двигуна врахувати оптимальні розміри внутрішніх і зовнішніх складових частин, а також дисипативних властивостей шумопоглинальних елементів, які можуть бути виготовлені на промисловому обладнанні з наявних та широко розповсюджених конструкційних та ізоляційних матеріалів;

- для перевірки та підтвердження правильності прийнятих конструкційних рі-

шень провести математичне моделювання процесу руху, траєкторій та звукового тиску відпрацьованих газів прикладним програмним забезпеченням.

Методи і матеріали. Сучасні теорії поведінки та руху газів і рідин у замкнених просторах знайшли відображення у комп'ютерних програмних додатках, де з достовірною точністю відтворюються коливальні процеси не тільки в умовах жорсткого та обмеженого контуром простору, а також з кореляцією на товщину стінки, її міцність та пружність, ступінь поглинання коливань різноманітними матеріалами, температуру внутрішнього та навколишнього середовища тощо.

Під час виконання роботи на попередніх стадіях застосовані два додатки - програмні комплекси «Ansys» та «Comsol Multiphysics», обидва з яких засновані на принципі кінцевих елементів і мають математичні можливості стосовно розрахунку розповсюдження хвиль. Перший — більш універсальний та частіше застосовується у силових розрахунках, а другий — більше спеціалізується на фізичних процесах, які протікають у твердих тілах, рідинах, газах і використовується навіть у вирішенні задач термодинаміки та електрики.

Щоб досягти мети роботи, пропонується поєднати теоретичні підходи акустики резонатора Гельмгольца, та процесу від-

бивання і розсіювання хвиль екранними поверхнями [Сухова Е. А. та ін., 2019].

Рішення повинні прийматися з урахуванням фактора економічної доцільності (види матеріалів, металоємність, технологічність виготовлення).

Актуальність використання резонатора Гельмгольца та базові формули з виявлення діапазону його ефективності наведені у роботах [Касимов Р. Ш., Миронов М. А., 2018; Исакович М. А., 1993], де встановлений відносно невеликий діапазон його активної дії в межах 150-350 Гц. Розраховані частоти активного поглинання, перекривають сумарний діапазон частот від 150 Гц до 1110 Гц восьмикамерною конструкцією (рис. 2), яка має габаритні розміри робочої частини 620 мм у довжину та 65 мм у діаметрі.

Подальше збільшення довжини та кількості секцій накладає обмеження на реальне практичне застосування такого глушника. Визначення загальної жорсткості оболонки корпуса конструкції із застосуванням системи «Ansys» виявило локальні ділянки ймовірної вібраційної податливості, які виникають під дією резонансних частот та внутрішнього тиску (рис. 3).

Такі ділянки безпосередньо залежать від частоти коливань, що потім розповсюджуються у зовнішнє середовище та підвищують загальний шумовий фон. Авторами представленої роботи пропонується комбінована конструкція (рис. 4), яка додатково до резонатора 1 буде доповнена багатореберним ступінчастим кільцевим розсіювачем 2, де амплітуда коливань буде частково гаситись відбиттям від нахилених кільцевих поверхонь 3, а також розсіюватись завдяки взаємному окружному зміщенню прохідних отворів 4, через які сполучаються кільцеві камери. Для запобігання передачі ударного впливу хвиль

за межі простору глушника, циліндрична частина розсіювача може заповнюватись шумопоглинальним жаростійким матеріалом у порожнині останньої кільцевої секції 5.

Для визначення габаритних розмірів та розмірів елементів і камер, був проведений розрахунок вихідних параметрів для конкретного типу двигунів: тиску у випускному колекторі, імпульсного віброприскорення, частоти коливань потоку газу.

Для зразка обрано трициліндровий двигун мінітрактора, який розвиває потужність 17,5 кВт (24 к. с.) і має такі розміри поршневої групи: діаметр поршня – 95 мм, хід поршня – 100 мм.

Тиск вихлопних газів у зоні виходу

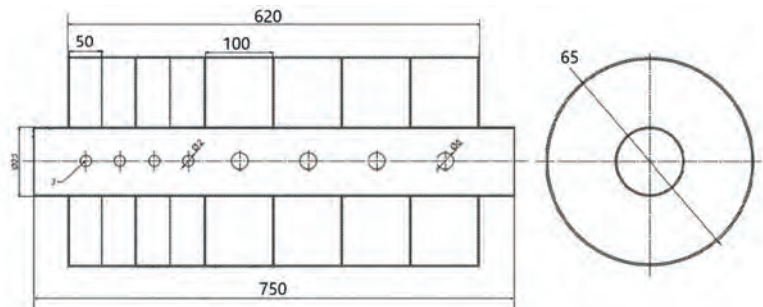


Рисунок 2 – Конструкція глушника резонаторного типу

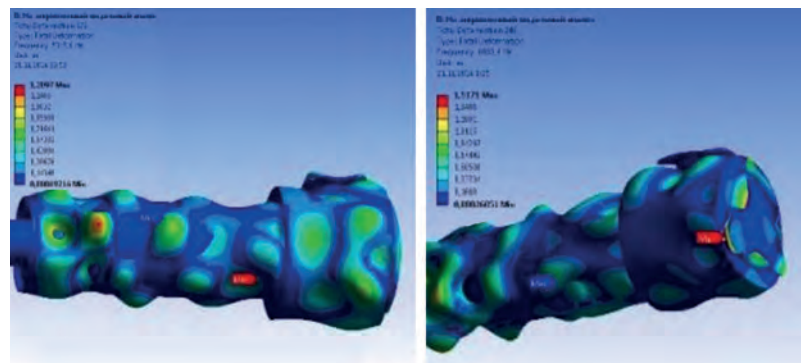


Рисунок 3 – Ділянки ймовірної вібраційної податливості корпусу глушника

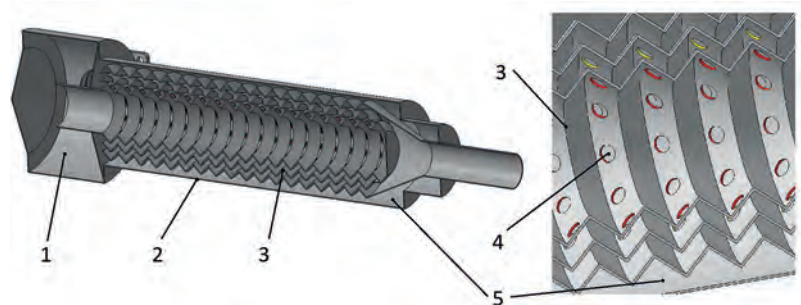


Рисунок 4 – Комбінована конструкція глушника

з випускного колектора розраховується за алгоритмом [Шароглазов Б. А. та ін., 2005], де порівнюється різниця тиску в порожнині циліндра з атмосферним тиском на початку такту випуску. Факторами опору розглядається тертя приграничних шарів потоку об стінки тракту, а також втрати енергії на проходження крізь зазор клапана. Отримане значення тиску газів $P_g = 11652$ Па є піковим та призводить до прискорення потоку в межах 90-105 м/с². Аналогічні показники отримані експериментально для тракторного дизеля СМД-17Н у роботі [Тринєв А. В. та ін., 2007], де вимірювались показники температури та тиску безпосередньо в зоні стрижня і напямної випускного клапана та у колекторі.

Частоту коливань для чотиритактного мотора визначено із залежності:

$$f = \frac{n \cdot m}{2}$$

де: f – частота імпульсних коливань тиску газів, Гц;

n = (1300-2200) об/хв – частота обертання колінчатого вала в основному робочому діапазоні експлуатації;

m – кількість циліндрів.

У результаті, межі для розрахунків виглядають так: $f = 1950$ -3300 Гц для трициліндрового двигуна та 2600-4400 Гц для чотирициліндрового двигуна.

Кількість концентричних ребер розсіювача, діаметр та кількість отворів, які сполучують камери, було попередньо

встановлено математичним моделюванням течії газу та перепадів тиску залежно від частоти пульсації потоку на прикладі ділянки глушника фіксованої довжини 600 мм з глухим вихідним отвором (рис. 5). Кут нахилу твірних ребер ($\gamma = 45^\circ$ відносно вертикальної площини, $\gamma = 90^\circ$ між взаємними гранями) обрано з технологічних міркувань виготовлення та можливостей прокатного обладнання.

Граничною умовою визначення кількості отворів є запобігання прямому проходженню газів крізь сегменти перекриття кіл на гранях, які належать різним ступеням розсіювача та розташовані навпроти один одного.

За результатами обрано діаметральний розмір отвору – 6 мм, висоту крайки – 10 мм (усереднена діаграма (рис. 5, б)).

Оскільки остов трактора перебуває у взаємодії із зовнішніми чинниками, такими як вібрації, які йдуть від дороги (грунту) через систему підвіски, то для визначення їхнього впливу на систему вихлопу було виконано вимірювання амплітуди та частоти коливань за датчиком віброаналізатора «КонТест» моделі 795М, встановленого на рамі (рис. 6). Показники оцінювали зіставленням значень під час руху трактора своїм ходом (рис. 7, а) та під час буксирування трактора з вимкненим двигуном (рис. 7, б) на контрольній ділянці майданчика.

З порівняння графіків видно, що частоти вібрацій від руху трактора своїм ходом та від роботи двигуна істотно відрізняються.

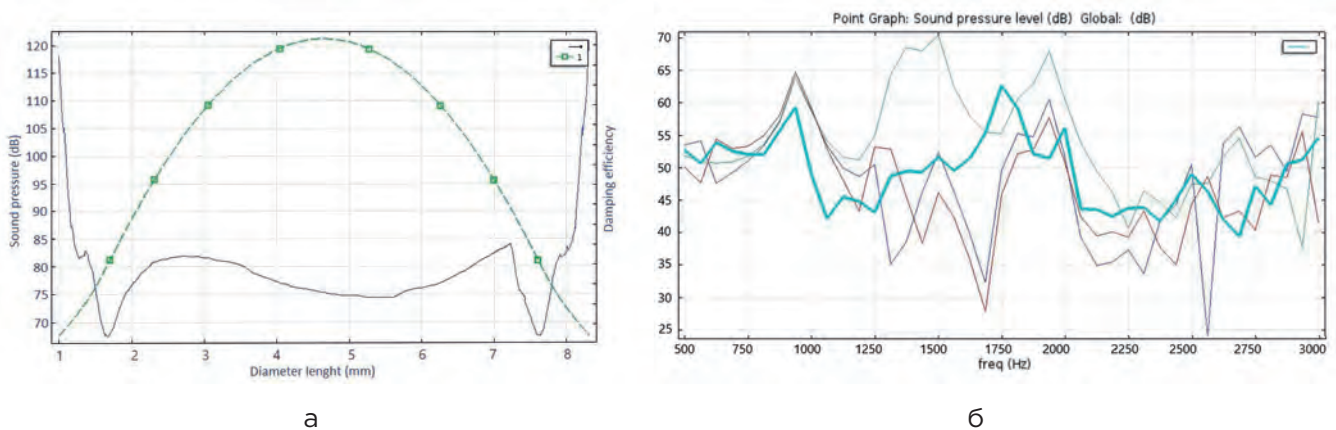


Рисунок 5 – Залежність поглинання звукового тиску вставкою розсіювача:
а – від діаметра отворів; б – від висоти твірної крайки



Рисунок 6 – Монтаж вібродатчика на рамі з лівого боку (проти-лежного розташуванню глушника та випускно-го колектора двигуна)

ся і не матимуть вза-ємного впливу. Отже вібраційною складо-вою від руху трактора в цьому дослідженні можна знехтувати.

Загальне моде-лювання конструк-ції глушника та його ефективності за показниками зміни середнього тис-ку вихлопних газів (Па), а також шумо-вого навантаження (дБ) залежно від частоти коливань пото-ку газів виконано у середовищі «Comsol Multiphysics» (рис. 8).

Імітуючи умови роботи, застосовували такі модулі:

- Pressure Acoustics, Frequency Domain (моделювання, аналіз розподілення та тиску звукових хвиль у середовищі рідин або газів) для основного розрахунку процесів, які відбуваються у внутрішній порожнині глушника;

- Poroacoustic (моделювання поведінки хвиль у поглинальних, пружних середовищах) для визначення частки ефекту віброгасіння від поглиначів у приповерх-

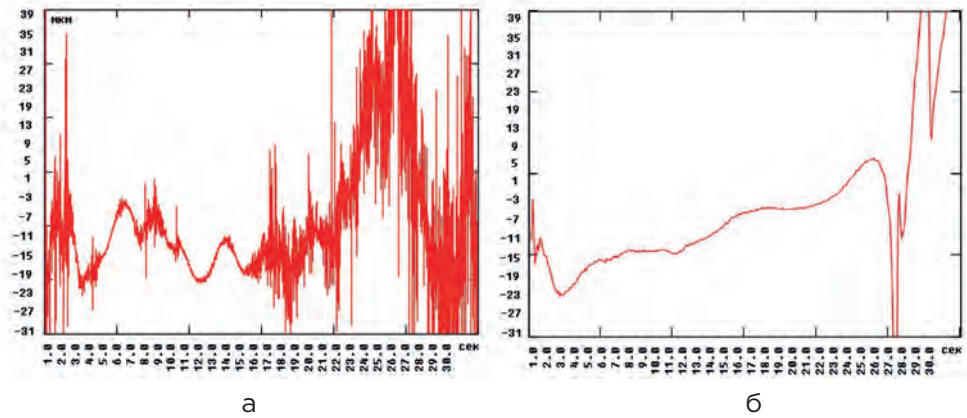
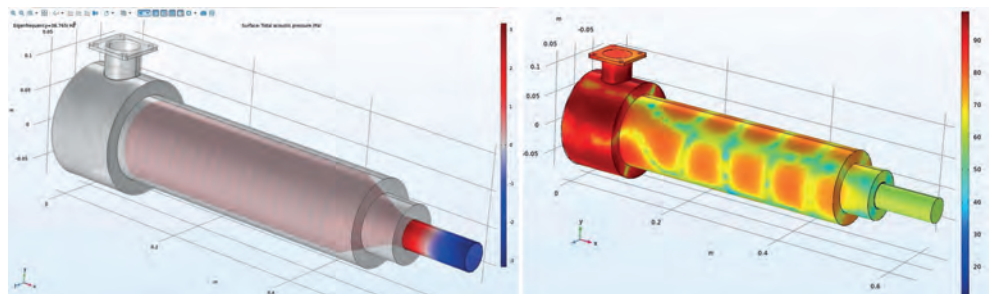
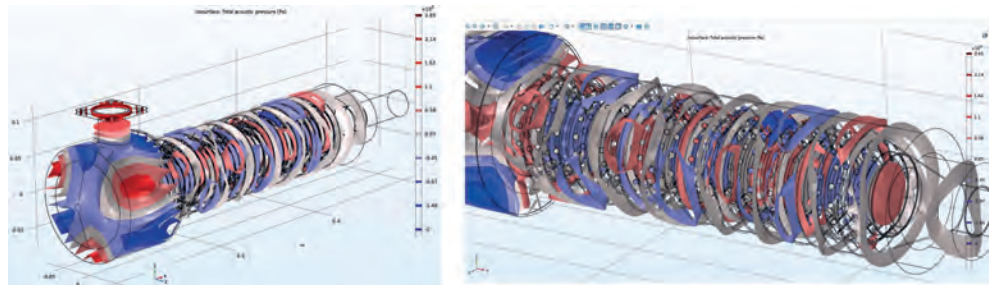


Рисунок 7 – Вимірювання вібронавантаженості системи випуску:
а – рух своїм ходом; б – рух з вимкненим двигуном (буксирування)



а – активна ділянка розсіювача б – розподіл звукового тиску



в – розподіл хвиль тиску г – кільцеві ізоповерхні тиску

Рисунок 8 – Математичне моделювання руху потоку газів у порожнині глушника в середовищі «Comsol Multiphysics»

невому шарі ділянки корпусу розсіювача;

- Solid Mechanics, elastic waves (моделювання напруженого, внутрішнього, приграничного стану твердих тіл) для розрахунку поведінки оболонки та внутрішніх перетинків.

Вхідні показники внутрішнього середовища: матеріал корпусу – сталь марки AISI товщиною 1,2 мм; температура газів на вході в глушник – 250 °C (523 °K). Дисипативні властивості поглиначів задаються через вбудовану бібліотеку матеріалів програми, а також чисельно, комплексними числами (для автоматичної підстановки в рівняння).

Результати. Аналізуючи результати тривимірних графічних залежностей, можна за градієнтними переходами діаграми перепадів тиску (рис. 8, б) визначити частоту і такт проходження хвиль активною зоною розсіювача (рис. 8, а). Ізометричні поверхні (рис. 8, в) у прийомній камері резонатора розподілені рівномірними скупченнями, однак, запропонована ділянка розсіювача перетворює порції тиску, які ступінчасто проходять між оболонками крізь концентричні отвори перфорації, на кільцеву форму. Залишкові імпульси гасяться поглинальним шаром приповерхневого наповнювача.

Діаграма миттєвого розподілу рівня звукового тиску у порожнині розсіювача глушника (рис. 9), побудована за контрольними точками уздовж осової лі-

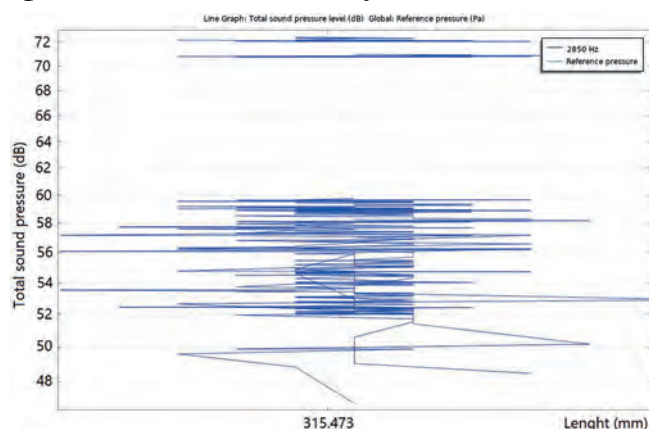


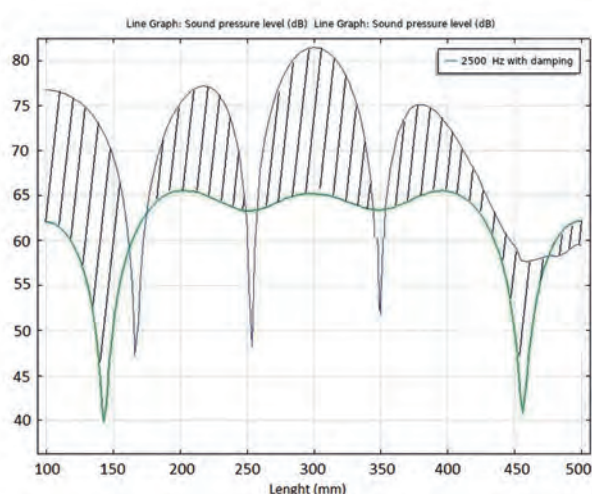
Рисунок 9 – Зміна рівня звукового тиску на ділянках руху вихлопних газів

нії корпуса, демонструє згасні коливання тиску маятникового характеру під час роботи на частоті 2850 Гц. Чітко помітна верхня границя на рівні 60 дБ, після якої спостерігається зазор, обумовлений специфікою роботи глушника на конкретній частоті. Максимальний рівень звукового тиску не перевищує 72 дБ.

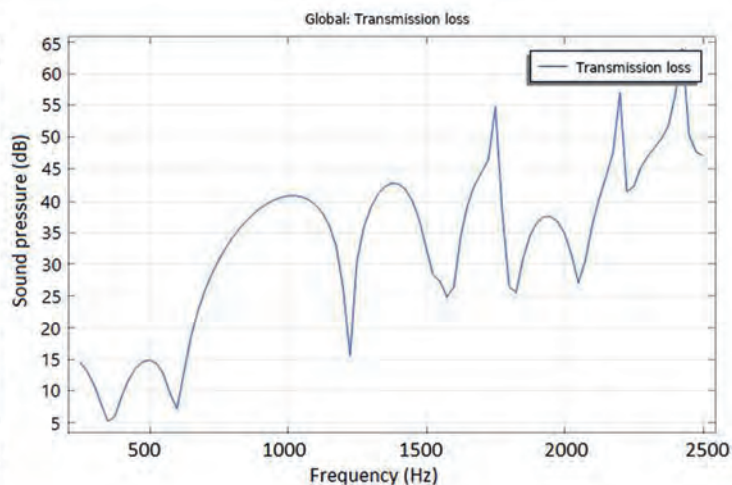
Задаючи в ручному режимі (чисельним методом) характеристики звукового імпедансу матеріалу приповерхневого поглиначача в діапазоні від атмосферного повітря до значень, відповідних базальтовому наповнювачу, отримано поле адаптивних регульованих показань (рис. 10, а). Криві, які обмежують поле – є граничними варіантами зміни властивостей поглиначача за частоти коливань 2500 Гц. Також отримано залежність середньої поглинальної спроможності конструкції залежно від частоти коливань (рис. 10, б).

Різкі перепади на початку графіку відповідають падінню тиску під час переходу потоку з колектора до першої розширеної камери резонатора. Друга ділянка, на відмітці 450 мм довжини корпуса, має підвищені демпфувальні якості через конструкційно збільшений прошарок вібропоглинального наповнювача, який розміщується у кінцевій ділянці оболонки.

Обговорення. Сучасні світові тенденції направлені на забезпечення кращих умов праці розробленням систем ізоляції від



а



б

Рисунок 10 – Показники шумопоглинання глушником: а – поле демпфувальних властивостей приповерхневого поглиначача; б – загальна поглинальна спроможність конструкції глушника

негативного впливу шуму та вібрацій. Досі розрізняли два основних підходи — це поглинання енергії звукових хвиль різноманітними пористими матеріалами, в яких енергія втрачалась під час проходження крізь волокнисту або пористу структуру, а також — шумоізоляція, як захист об'єкта, який піддається впливу відбивних екранів. В останнє десятиліття, із розповсюдженням комп'ютерно-керованих технологій активного контролю зі зворотним зв'язком, до цього списку додався ще один метод — активне гасіння коливань. Методика активного гасіння заснована на обробці сигналів датчиків, розташованих у приміщенні, кабіні оператора, або у салоні автомобіля і продукуванні сигналу аналогічної частоти, але у протифазі [Широков Ю. А, Смирнов Г. Н., 2019]. На жаль подібний підхід не може бути ефективно застосований до техніки, де немає обмежень та замкненості робочого простору, до того ж, він має велику вартість.

Спираючись на новітнє програмне забезпечення та наукові дослідження [Fang Wang та ін.], проектувальники пропонують рішення з високим теоретичним очікуваним результатом, однак конструктивне втілення подібних пропозицій дуже часто буває проблематичним через низький коефіцієнт технологічності, тобто складності виготовлення (складнопрофільні поверхні, отвори малого діаметра, завеликі або замалі габаритні розміри тих чи інших складових частин).

Спеціалізованою програмою автори цієї роботи розрахували комбіновану конструкцію глушника, зовнішні та внутрішні елементи якої мають циліндричну геометричну форму, складаються з оболонкових форм, отримуваних на прокатних станах та устаткуванні профільного вигину. Її можна виготовити в умовах підприємств.

Враховуючи специфічність роботи кожного окремого типу двигуна та його характеристики, запропонована методика не втратила характерної для прототипів камерної модульності побудови та мож-

ливості адаптивно коригувати показники шумопоглинання під час створення конструкцій аналогічної схеми.

Наявні в конструкції отвори, мають оптимальний діаметр, не створюють надмірного спротиву руху газів, не схильні до засмічення сажею.

Профіль ребристих оболонок можна прокатати на стандартизованих роликових станах, а їхні діаметральні розміри та висота стінки підібрані так, що складання вузла можливе за телескопічним принципом.

Висновки.

1. Запропоновано компоновальну схему конструкції глушника відпрацьованих газів, який містить резонаторну камеру та оболонковий модуль, виконаний як триступеневий ребристий розсіювач коливань імпульсів потоку вихлопу з додатковим приповерхневим шаром вібропоглинача.

2. Розраховано параметри вихідного потоку відпрацьованих газів типового дизельного двигуна малогабаритного трактора потужністю 24 к. с. (тиск - 11652 Па, прискорення - 90-105 м/с², частота - 1950-3300 Гц), за якими виконано комп'ютерне моделювання процесу руху газів у порожнині глушника запропонованої компоновальної схеми. Обрано оптимальні конструкційні параметри глушника з діаметром корпусу 150 мм завдовжки - 600 мм для забезпечення максимально можливого поглинання шуму. Розрахунковий звуковий тиск під час роботи на частоті обертання колінчастого вала 1700-2000 об/хв не перевищує 72 дБ. Конструкцію глушника виконано з дотриманням вимог до економічної доцільності, технологічності та згідно з можливостями промислового виробництва.

3. Подальшим напрямком досліджень є виготовлення експериментального зразка глушника та випробування щодо ефективності його шумопоглинання в умовах експлуатації малогабаритних тракторів.

Перелік літератури

Исакович М. А. Общая акустика. (1993), Наука, Москва, 496.

- Касимов Р. Ш., Миронов М. А. 2018. Исследование широкополосного глушителя-волноводного изолятора, составленного из двух наборов резонаторов Гельмгольца. Сборник докладов конференции Акустика среды обитания. под ред. А. И. Коминой, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 140-143.
- Кравчук В., Афанасьева С., Рижкова С. (2020) Обґрунтування моделі впровадження європейських екологічних стандартів для транспортних засобів та двигунів сільськогосподарських і лісогосподарських тракторів в Україні. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 27 (41), 14-29. DOI 10.31473/2305-5987-2020-2-27(41)-1.
- Прохоренко А. А., Парсаданов И. В., Самойленко Д. Е. (2002). Новационная конструкция глушителя шума выпуска тракторного дизеля. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Двигуни внутрішнього згоряння». 1, 78, ISSN 0419-8719.
- Сухова Е.А., Теляшов Д.А., Павлов Г.И. (2019). Оценка эффективности системы выхлопа двигателей внутреннего сгорания малой мощности на безмоторном испытательном стенде. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, сер. Машиностроение. 5. DOI: 10.18698/0236-3941-2019-5-22-33.
- Тринёв А. В., Минак А.Ф., Коваленко В.Т. (2007). Экспериментальное определение теплового состояния втулки выпускного клапана тракторного дизеля». Всеукраїнський науково-технічний журнал «Двигуни внутрішнього згоряння», 2, 107.
- Шароглазов Б. А., Фарафонов М. Ф., Клементьев В. В. (2005). Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов: Учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания», Челябинск, 403.
- Шатров М. Г., Яковенко А. Л., Кричевская Т. Ю. (2014). Шум автомобильных двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие. Москва. МАДИ, 68.
- Широков Ю. А, Смирнов Г. Н. (2019) Организация рабочего места и трудового процесса тракториста-машиниста в современных мобильных машинах для сельского хозяйства. Электронные текстовые данные. Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина», 6, 28-34. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-6-28-34.
- Fang Wang, Tianning Chen, Xiaopeng Wang, Kai Bao and Lele Wan. (2017). A membrane-type acoustic metamaterial muffler. International Journal of Modern Physics B VOL. 31, 8. DOI: 10.1142/S0217979217500497.
- «Pro Consulting». База анализа рынков: https://pro-consulting.ua/base/analiz-rynka-ukrainy?level1=cel_hoz&level2=tehnika&stat=1

References

- Fang Wang, Tianning Chen, Xiaopeng Wang, Kai Bao and Lele Wan. (2017). A membrane-type acoustic metamaterial muffler. International Journal of Modern Physics B VOL. 31, 8. DOI: 10.1142/S0217979217500497.
- Isakovich M.A. General acoustics. (1993), Nauka, Moscow, 496.
- Kasimov R. Sh., Mironov M. A. 2018. Study of a broadband muffler-waveguide insulator composed of two sets of Helmholtz resonators. Collection of reports of the conference Acoustics of the environment. ed. A. I. Komin, MSTU named after N.E. Bauman, Moscow, 140-143.
- Kravchuk V., Afanasyeva S., Rizhkova S. (2020) Establishment of models for the implementation of European environmental standards for transport vehicles and engines of agricultural and commercial tractors in Ukraine. Zbirnik naukovikh prats L. Pogorilyy UkrNDIPVT, 27 (41), 14-29. DOI 10.31473 / 2305-5987-2020-2-27 (41) -1
- Prokhorenko A.A., Parsadanov I.V., Samoilenko D.E. (2002). An innovative design of a tractor diesel exhaust silencer. All-

Ukrainian scientific and technical journal «Dviguni vnutrishnogo zgoryannya». 1, 78, ISSN 0419-8719.

«Pro Consulting». Market analysis base: https://pro-consulting.ua/base/analiz-rynka-ukrainy?level1=cel_hoz&level2=tehnika&stat=1.

Sharoglazov B.A., Farafontov M.F., Klement'ev V.V. (2005). Internal combustion engines: theory, modeling and calculation of processes: Textbook for the course «Theory of work processes and modeling of processes in internal combustion engines», Chelyabinsk, 403.

Shatrov M.G., Yakovenko A.L., Krichevskaya T. Yu. (2014). The noise of automobile internal combustion engines: textbook. allowance. Moscow. MADI, 68.

Shirokov Y. A, Smirnov G.N. (2019) Organization of the workplace and labor process

of a tractor driver in modern mobile machines for agriculture. Electronic text data. Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education « V. P. Goryachkin Moscow State Agroengineering University », 6, 28-34. DOI: 10.34677 / 1728-7936-2019-6-28-34.

Sukhovaya E.A., Telyashov D.A., Pavlov G.I. (2019) Evaluation of the exhaust system efficiency of low-power internal combustion engines on a non-motorized test bench. Vestnik N.E. Bauman MGTU , ser. Mechanical engineering. 5. DOI: 10.18698 / 0236-3941-2019-5-22-33.

Trinev A.V., Minak A.F., Kovalenko V.T. (2007). Experimental determination of the thermal state of the exhaust valve sleeve of a tractor diesel engine «. All-Ukrainian scientific and technical journal «Dviguni vnutrishnogo zgoryannya», 2, 107.

UDC 631.3-1/-9

IMPROVEMENT OF MUFFLER S DESIGN FOR REDUCTION OF THE LEVEL OF SOUND PRESSURE ON SMALL TRACTORS OPERATORS

Podolsky M., Ph.D. Tech. Scs, Associate Prof.,

<https://orcid.org/0000-0002-1149-4275>, e-mail: Podolsky.Mihail@gmail.com

Lilevman I., <https://orcid.org/0000-0002-3123-5684>, e-mail: igorlilevman@ukr.net

Lilevman O.,

<https://orcid.org/0000-0003-1316-1674>, e-mail: lilevman60@mail.com

South-Ukrainian branch of L. Pogorily UkrNDIPVT

Kedrovsky O.,

<https://orcid.org/0000-0002-0928-6717>, e-mail: Kedrowsky@ukr.net

State educational institution «Belozerske vocational school № 6

Summary

Noise background, as an important factor in the working conditions of agricultural operators, has a direct impact on human health and productivity. This topic is especially relevant for small tractors, which in most cases are not equipped with cabs. One of the main means of reducing the sound pressure on the operator are the mufflers of exhaust gases, which mainly have a labyrinth-absorbing type of action. The paper proposes a fundamental approach to the design of the muffler by the criterion of reflection and scattering of sound waves with the verification of efficiency by computer simulation.

The purpose of research:

- to improve the working conditions of operators of small tractors that are not equipped with cabs, by reducing the sound pressure level from internal combustion engines;
- to improve the noise-absorbing properties of mufflers of exhaust gases of engines with observance

of requirements to manufacturability of process of their manufacturing;

- to develop a structural scheme of the exhaust gases muffler based on the results of preliminary modeling and analysis of the trajectory of the gas flow in the cavity of its working part.

Methods. Determination of the sound pressure level of the engine of a small tractor by mathematical (computer) modeling of the behavior of the exhaust gas flow in the muffler cavity in different frequency ranges.

Results. The article analyzes the main sources of noise during the operation of agricultural machinery with internal combustion engines (ICE). On the basis of literature sources and methods, their separate degree of influence on the complex picture of noise pollution of the working space of the operator of a small tractor is established. A comparative analysis of the efficiency of mufflers, created on the generally accepted principles and approaches to the design of such devices. According to the results of previous tests, shortcomings and limitations in the application of design concepts were identified, an additional analysis of external causes and factors was made, and adjustments were made to the method of creating muffler designs.

An alternative design approach to the creation of internal combustion engine mufflers of small tractors is proposed and computer modeling of the processes of sound pressure distribution and sound waves in their cavity is performed.

Conclusions. 1. A layout diagram of the design of the exhaust muffler, containing a resonator chamber and a shell module, which is made in the form of a three-stage ribbed diffuser of oscillations of the exhaust flow pulses with an additional surface layer of the vibration absorber.

2. The parameters of the exhaust flow of exhaust gases of a typical diesel engine of a small tractor with a capacity of 24 hp are calculated. (pressure - 11652 Pa, acceleration - 90-105 m/s², frequency - 1950-3300 Hz), which performed computer simulations of the process of gas movement in the muffler cavity of the proposed layout. Optimal design parameters were selected to ensure the maximum possible noise absorption with a body diameter of 150 mm and a length of 600 mm. The calculated sound pressure when working at the crankshaft speed (1700-2000) rpm does not exceed 72 dB. At the same time, the design of the muffler is made in compliance with the requirements for economic feasibility, manufacturability and in accordance with the capabilities of industrial production.

3. A further direction of research is the manufacture of an experimental sample of the muffler and testing for the efficiency of its noise absorption in the conditions of operation of small tractors.

Key words: agricultural machinery, small tractor, working conditions, noise, muffler design, mathematical modeling, software.

УДК 631.3-1/-9

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГЛУШИТЕЛЕЙ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ УРОВНЯ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОПЕРАТОРОВ МАЛОГАБАРИТНЫХ ТРАКТОРОВ

Подольский М., канд. тех. наук, доц.,

<https://orcid.org/0000-0002-1149-4275>, e-mail: Podolsky.Mihail@gmail.com

Лилевман И., <https://orcid.org/0000-0002-3123-5684>, e-mail: igorlilevman@ukr.net

Лилевман О., <https://orcid.org/0000-0003-1316-1674>, e-mail: lilevman60@mail.com

Южно-Украинский филиал УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого

Кедровский О., <https://orcid.org/0000-0002-0928-6717>, e-mail: Kedrowsky@ukr.net

Государственное учебное заведение «Белозерское профессионально-техническое училище № 6 »

Аннотация

Шумовой фон, как важный фактор условий труда операторов сельхозтехники имеет прямое влияние на состояние здоровья человека и производительность выполняемой работы. Особую актуальность эта тема приобретает для малогабаритных тракторов, которые в большинстве случаев не оснащаются кабинами. Одним из основных средств снижения звукового давления на оператора являются глушители отработанных газов, которые преимущественно имеют лабиринто-поглощающий тип действия. В работе предлагается принципиальный подход к проектированию глушителя по критерию отражения и рассеивания звуковых волн с проверкой эффективности путем компьютерного моделирования.

Цель работы:

- улучшить условия труда операторов малогабаритных тракторов, не оборудованных кабинами, за счет снижения уровня звукового давления от двигателей внутреннего сгорания;
- усовершенствовать шумопоглощающие свойства глушителей отработавших газов двигателей с соблюдением требований к технологичности процесса их изготовления;
- разработать конструкционную схему глушителя отработанных газов по результатам предварительного моделирования и анализа траектории движения потока газов в полости его рабочей части.

Методы исследования. Определение уровня звукового давления двигателя малогабаритного трактора методом математического (компьютерного) моделирования поведения потока выхлопных газов в полости глушителя в различных частотных диапазонах.

Результаты. В статье проанализированы основные источники происхождения шума при работе сельхозтехники с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). На основе литературных источников и методик установлена их отдельная степень влияния на комплексную картину шумового загрязнения рабочего пространства оператора малогабаритного трактора. Выполнен сравнительный анализ эффективности работы глушителей, созданных на общепринятых принципах и подходах к конструированию подобных устройств. По результатам предварительных испытаний, выявлены недостатки и ограничения в применении концепций проектирования, проведен дополнительный анализ внешних причин и факторов, внесены коррективы в методики создания конструкций глушителей.

Предложен альтернативный конструкционный подход к созданию глушителей ДВС малогабаритных тракторов и проведено компьютерное моделирование процессов распределения звукового давления и звуковых волн в их полости.

Выводы. 1. Предложена компоновочная схема конструкции глушителя отработанных газов, содержащая резонаторную камеру и оболочечный модуль, выполненный в виде трехступенчатого ребристого рассеивателя колебаний импульсов потока выхлопа с дополнительным приповерхностным слоем вибропоглотителя.

2. Рассчитаны параметры выходного потока отработанных газов типичного дизельного двигателя малогабаритного трактора мощностью 24 л.с. (давление - 11652 Па, ускорение - (90-105) м/с², частота - (1950-3300) Гц), по которым выполнено компьютерное моделирование процесса движения газов в полости глушителя предложенной компоновочной схемы. Избраны оптимальные конструкционные параметры для обеспечения максимально возможного шумоподавления при диаметре корпуса 150 мм и длине - 600 мм. Расчетное звуковое давление при работе на частоте вращения коленчатого вала (1700-2000) об/мин не превышает 72 дБ. При этом, конструкция глушителя выполнена с соблюдением требований к экономической целесообразности, технологичности и с возможностями промышленного производства.

3. Дальнейшим направлением исследований является изготовление экспериментального образца глушителя и испытания по эффективности его шумопоглощения в условиях эксплуатации малогабаритных тракторов.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, малогабаритный трактор, условия труда, шум, проектирование глушителя, математическое моделирование, программное обеспечение.