

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту
імені М.П.Момотенка

УДК 631.354:629.3.066.36

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного
факультету

д.т.н., професор

Братішко В.В.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри технічного сервісу
та інженерного менеджменту

імені М.П.Момотенка

Роговський І.Л.

2023 р.

2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОПЕРАТИВНОГО
АКУСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РОБОЧИХ МІСЦЬ ОПЕРАТОРІВ
ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ»

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»

Освітня програма – «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Гарант освітньої програми:

Доктор технічних наук, проф.

«підпис»

Братішко В.В.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

«підпис»

Шимко Л.С.

Виконав

«підпис»

Осадчий Р.І.

Київ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту
імені М.П.Момотенка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та
інженерного менеджменту
імені М.П.Момотенка

Г.Л.Роговський

“ ___ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Осадчому Ростиславу Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»

Освітня програма – «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Удосконалення технічного оперативного акустичного контролю робочих місць операторів зернозбиральних комбайнів».

затверджені наказом ректора НУБіП України від «30» грудня 2022 року №1943 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 10.11.2023 р.

Вихідні дані до роботи:

~~Науково – технічна література: результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах технічного оперативного акустичного контролю робочих місць операторів зернозбиральних комбайнів~~

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- ~~1. Аналіз стану питання і підходи до рішення раціонального акустичного контролю робочого місця оператора комбайна~~
- ~~2. Теоретичні передумови акустичної експертизи робочого місця оператора комбайна~~
- ~~3. Загальна програма і методика експериментального дослідження акустичного простору кабіни~~
- ~~4. Результати експериментальних досліджень та їх аналіз відтворення спектра шуму за допомогою звукозаписуючого тракту~~
- ~~5. Економічна ефективність впровадження результатів досліджень та їх застосування оптимізованого вибору способу шумозахисту~~

Дата видачі завдання 18.09.2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Л.С.Шимко

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Р.І.Осадчий

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота містить розрахунково-пояснювальну записку на 98 стор. машинописного тексту.

Ключові слова: зернозбиральний комбайн, математична модель, шум, простір кабіни, науково-дослідна робота, шумові характеристики, математичне моделювання, дослідження, економічний ефект.

Визначено робочі режими комбайна з метою раціоналізації процедури оцінки шуму на робочому місці оператора шляхом виявлення найбільш навантаженого акустичного режиму.

Складено математичну модель акустичного простору кабіни. та застосовано програмне забезпечення для аналізу акустичного поля.

Оптимізація виробничих процесів та економічних показників пов'язана з охороною здоров'я операторів, що приводить до підвищення економічної ефективності роботи комбайнів та їх раціональної експлуатації. Надзвичайно важливе значення щодо цього має боротьба з шумом робочому місці оператора сільськогосподарських машин і особливо комбайнів. Таким чином, сучасні тенденції експлуатації комбайнів в першу чергу спрямовані на вдосконалення технологій, збільшення довговічності та зниження витрат на експлуатацію машин.

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ПІДХОДИ ДО РІШЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО АКУСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РОБОЧОГО МІСЦЯ ОПЕРАТОРА КОМБАЙНА	8
1.1 Підходи до питання боротьби з шумом при експлуатації зернозбиральних комбайнів та його вплив на організм оператора	8
1.2. Інформаційні технології як новий елемент боротьби з шумом	24
1.3. Інформаційно-аналітичні мережі оперативного акустичного контролю робочих місць операторів сільськогосподарських машин	27
2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ АКУСТИЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ РОБОЧОГО МІСЦЯ ОПЕРАТОРА КОМБАЙНА	33
2.1. Метод експертизи робочого місця комбайнера	33
2.2. Математична модель акустичного простору кабіни	36
2.3. Розрахунки параметрів акустичного поля	48
3. ЗАГАЛЬНА ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНОГО ПРОСТОРУ КАБІНИ	55
3.1. Обладнання акустичної лабораторії інформаційно - аналітичної мережі оперативного акустичного контролю	55
3.2. Відповідність стандартам шумомірів особливостям фізіології слуху при формуванні тимчасових характеристик під час вимірювань	60
3.3. Визначення положення контрольної точки вимірювання шуму в акустичному просторі кабіни комбайна	65
3.4. Проведення вимірів шумових характеристик	70
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	74
4.1. Структура відтворення спектра шуму за допомогою звукозаписуючого тракту	74
4.2. Технологічні особливості створення аналогового спектру сигналу ...	74

4.3. Похибки раціональної методики оцінки шумової навантаження	79
4.4. Технічна реалізація систем активного гасіння шуму	81
5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ	85
5.1. Оптимізація вибору способу шумозахисту	85
5.2. Економічна доцільність пропонованих заходів	85
ВИСНОВКИ	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	94

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Підвищення ефективності роботи комбайнів у існуючих економічних умовах може досягатися шляхом удосконалення та адаптації вже випущеної та випущеної техніки до сучасних вимогам сільськогосподарського виробництва, що, з однієї сторони, більше доступно з крапки зору економічної доцільності, а з іншого боку має бути обумовлено охороною праці операторів цих машин.

Оптимізація виробничих процесів та економічних показників в даному випадку пов'язана з охороною здоров'я операторів, що наводить до підвищення економічної ефективності роботи комбайнів та їх раціональної експлуатації.

Надзвичайно важливе значення щодо цього має боротьба з шумом робочому місці оператора сільськогосподарських машин і особливо комбайнів. Таким чином, сучасні тенденції експлуатації комбайнів в першу чергу спрямовані на вдосконалення технологій, збільшення довговічності та зниження витрат на експлуатацію машин.

Питанням, пов'язаним із вирішенням проблеми шуму на робочому місці операторів сільськогосподарських машин і особливо комбайнів у нашій країні присвячено низку досліджень. Найбільший внесок у вирішення цих питань внесли такі вчені як Месхі Б.Ч. (1999), Хідірів Т.Г. (1982), Сулайманов З. (1991), а так ж Іванов Н.Л. (1990), Устинов Ю.Ф. (1997), Реунов С.В. (2001), Павлов П.І. (2009), Шкрабак Р.В. (2010), Шапуров М.М. (2011), Поливасєв О.І. (2014), Кузнецов О.М. (2015). Однак як показав аналіз літературних джерел, патентної інформації, досліджень у обраному напрямку в відношенні комбайнів сімейства «Славутич» не вироблялося. Тому пошук резервів зростання продуктивності праці операторів комбайнів через підвищення комфортності праці та дотримання операторами відповідних норм та правил є важливим напрямом досліджень.

Об'єктом дослідження є процес формування звукового поля в кабіні оператора зернозбирального комбайну.

Предметом досліджень є розробка системи оперативного акустичного контролю робочого місця оператора зернозбиральних комбайнів.

Мета роботи – розробка способів зниження шумового навантаження оператора комбайна за рахунок впровадження інженерно-технічних заходів на основі інформаційних технологій.

Завдання досліджень:

1. Провести аналіз складу та структури інформаційно-аналітичної мережі оперативного акустичного контролю робочих місць операторів сільськогосподарських машин, зокрема зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич».
2. Провести шумові вимірювання на робочих режимах комбайна КЗС-9-1 «Славутич» з метою спрощення процедури оцінки шуму на робочому місці оператора шляхом виявлення найбільш навантаженого акустичного режиму та оцінити їх результати.
3. Скласти математичну модель акустичного простору кабіни комбайна, вибрати та застосувати програмне забезпечення для аналізу акустичного поля.
4. Розробити селективний алгоритм дій аналітичної мережі оперативного акустичного контролю при отриманні даних від мобільного пункту контролю.
5. Визначити спосіб та економічну доцільність застосування шумозахист оператора комбайна КЗС-9-1 «Славутич»

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ПІДХОДИ ДО РІШЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО АКУСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ РОБОЧОГО МІСЦЯ ОПЕРАТОРА КОМБАЙНА

1.1. Підходи до питання боротьби з шумом при експлуатації

зернозбиральних комбайнів та його вплив на організм оператора

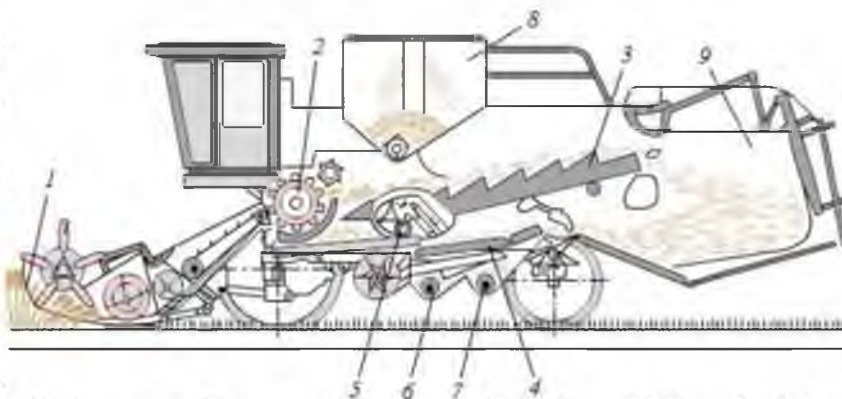
Шум – постійний супутник сільськогосподарських підприємств, але рівень шуму не є їх постійною характеристикою та змінюється в залежності від технологічного режиму, виду сировини, що переробляється, стану обладнання.

Звичайно, що все обладнання складається з механізмів, тобто систем тіл, призначених для перетворення руху одного або кількох з цих тіл на необхідний рух інших: тобто для цілеспрямованого перетворення руху. У той же час практично будь-який механізм складається з окремих ланок, рухомо з'єднаних одна з одною. Саме це та призводить до виникнення шуму на виробництвах.

Особливий інтерес представляє розгляд основних мобільних телефонів. Машин сільськогосподарського призначення – комбайнів з погляду виникнення та боротьби із шумом. Даному питанню присвячено досить велику кількість досліджень..

У ряді досліджень даний питання розглядається з різних сторін. Так зазначимо, що є доведеним – динамічні обурення зі сторони рами самохідної машини в процесі її експлуатації змушують елементи кабіни та кабіну в цілому здійснювати коливальні рухи, що призводять до виникнення в них нормальних та дотичних напружень, крім цього, коливання елементів кабіни призводять до виникненню структурного шуму. Зниження навантаженості кабіни і, як слідство, збільшення її терміну служби може бути досягнуто підбором таких параметрів елементів кабіни і її підвіски, при яких значення амплітуд напружень у перерізах її елементів були б мінімальними. Однак, внаслідок впливу параметрів елементів кабіни та її підвіски на власні частоти коливань, доцільне вирішення проблеми зниження навантаженості кабіни об'єднати з рішенням проблеми зниження структурного шуму в ній. Тоді завдання буде полягати в

пошуку таких оптимальних значень параметрів кабіни і її підвіски, при яких напруження в її елементах, рівні вібрації і структурного шуму на робітничому місці оператора були б мінімальними. Тому саме робоче місце оператора є тим важливим ланкою боротьби з шумом. У том же ракурсі – покращення умов роботи оператора. Прикладом можуть бути винаходи під назвою «Кабіна трактора» та «Кабіна транспортного засобу» та «Глушник шуму активного типу для автотракторних двигунів», - патент/2508456, та інші винаходи, спрямовані підтримки робочого стану оператора. Перейдемо до розгляду питання боротьби з шумом, пов'язаним з зернозбиральними комбайнами. Насамперед всього, відзначимо, що вже в силу своїх конструктивних особливостей та складності самої конструкції комбайни, априорі є машиннами, що відтворюють і породжують шум. Наведемо загальновідому класичну узагальнену схему зернозбирального комбайна, що характеризується як породжувальний шум агрегат (рис. 1.1).



1 – жниварка, 2 – молотильний апарат, 3 – соломотряс, 4 – очищення (решета), 5 – домолочувальний пристрій, 6 – зерновий шнек, 7 – колосовий шнек, 8 – бункер

Рис. 1.1 – Загальна будова зернових комбайнів як джерела підвищеного шуму

Також загальновідомо, що самохідні зернозбиральні комбайни призначені для зрізання стебел, обмолоту і очищення зерна при прямому комбайнуванні або для підбирання хлібних валків, обмолоту та очищення зерна під час роздільного комбайнування. Крім збору очищеного зерна в бункер, яке потім вивантажують в транспортні засоби і відвозять на подальшу очищення і

зберігання, комбайн забезпечує збір соломки і стіги, які потім викидають у вигляді копиць у полі, пресують і валяють у транспортні засоби або після подрібнення розкидають по полю у вигляді добрива. Самохідний зернозбиральний комбайн складається з ходової частини (з двигуном, трансмісією та рушієм), а також кількох агрегатів та пристроїв, що послідовно виконують технологічні операції з збирання зернових культур. Ці операції включають зрізання стебел з колоссями та подальшу обробку стебел та зернової маси з метою отримання чистого зерна та переробки не зернової частини врожаю.

Основною ж характеристикою зернозбирального комбайна є розрахункова пропускна спроможність його молотильного апарату. Вона залежить від типу і розмірів робочих органів, а також від їх регулювань, стану культури, що прибирається, рельєфу поля та інших факторів. Від продуктивності молотарки залежить швидкість переміщення комбайна. По полю і можливість установки жниварок необхідного типу, як і швидкість прибирання врожаю в цілому. Питання

боротьби з шумом при роботі зернових комбайнів, на нашу думку, вивчався не так широко, як питання боротьби з шумом у тракторів. У то ж час певні дослідження в даному напрямку проводились і саме в плані боротьби з шумом в кабіні оператора. Вони мали певний технічний рівень, відповідний індустріального

суспільства. Визначимо, що і в інших галузях промисловості боротьба з шумом на робочому місці оператора приділялося та приділяється значна увага. У справжній час класичною роботою по вивченню шуму і боротьби з ним при роботі зернозбирального комбайна є дисертаційна робота Б. Ч. Месхі; метою даної роботи

з'явилось поліпшення умов праці комбайнерів (операторів) шляхом зниження шуму в кабінах самохідних зернозбиральних комбайнів до гранично допустимих рівнів. У зокрема, у роботі говориться про тому, що створення потужних і продуктивних самохідних зернозбиральних комбайнів неминує супроводжується збільшенням рівнів шуму в кабінах на робочих місцях операторів. Шум, таким

чином, виділяється як постійно діючий фактор високої інтенсивності, вплив якого наводить як до погіршення здоров'я працюючих, так і до зниження продуктивності праці операторів.

Стверджується, що зниження шуму машин та обладнання супроводжується підвищенням продуктивності праці. Виходячи з цього захист від шуму – важлива проблема. Для зниження шуму застосовується набір коштів, але не все вони ефективні для самохідних машин, зокрема. Комбайнів. Застосування індивідуальних засобів захисту від шуму менш ефективно, ніж зниження шумових характеристик самої машини. З посиланням на джерела показано, що при використанні індивідуальних коштів, знижують шум, що сприймається оператором, з 93 до 73 дБА, продуктивність праці зростала на 7 %. Зниження ж рівня звуку машини з 96 до 83 дБ привела до збільшення продуктивність праці на 12 %. Так ж стверджується, що шум – це один з найважливіших комплексних показників якості обладнання, а в ряді випадків може бути показником технічного рівня машини, оскільки об'єктивно відображає неточності в виготовлення практично всіх деталей. У зв'язку з цим боротьба з шумом є актуальною проблемою, має соціальне та економічне значення. Стверджується, що доведення акустичних характеристик в кабінах до нормативних величин досі здійснюється за допомогою деяких конструктивних доробок, але досягти позитивних результатів у зниженні шуму не завжди вдається, тому що можливості знизити шум готової машини обмежені. Тому, на думку Б.Ч. Месхи, основні резерви вирішення проблеми шуму є та закладені вони в акустичних розрахунках кабін самохідних зернозбиральних комбайнів на стадії проектування. Також зазначено, що конструктори комбайнів досі не мають методів розрахунку очікуваних рівнів шуму в кабінах на робочих місцях операторів, які забезпечують прогнозування акустичних характеристик, а також вибір способів доведення їх до нормативних величин. В результаті цієї роботи були встановлені теоретично та підтверджені експериментально співвідношення між спектральними рівнями звукового тиску в кабіні комбайна, конструктивними параметрами кабіни і віброакустичними характеристиками основних джерел шуму та вібрації та створено методіку інженерного розрахунку акустичних характеристик у кабіні комбайна на стадії проектування при одночасному вплив повітряного та структурного шуму, а на цій основі вибору способів доведення шумових показників до нормативних величин.

Встановлено закономірності формування акустичних характеристик у кабінах самохідних зернозбиральних комбайнів при одночасному впливі зовнішніх і внутрішніх джерел повітряного і структурного шуму. Запропоновано акустичну модель кабіни, а на її основі отримано аналітичні залежності для оцінки спектральних рівнів шуму з обліком особливостей компоновки кабіни та віброакустичних характеристик зовнішніх та внутрішніх джерел. І як кінцевий результат – запропоновані практичні способи зниження шуму в кабінах комбайнів за рахунок збільшення дисипативних і звукоізолюючих властивостей окремих елементів огорожі кабіни. Що і відбито в інших роботах Б.Ч. Месхі по даному напрямку. І як слід з його робіт, його дослідження стосувалися в першу чергу комбайнів сімейства «Дон». Крім цього, слід зазначити, що ці дослідження проводилися в умовах індустріального, а не інформаційного суспільства. Що так а накладало на них свою специфіку.

В даний час набули значного поширення зернозбиральні комбайни інших марок і інших виробників. Так по даними, провідними експортерами зернозбиральних комбайнів в Україну є компанія Case і New Holland з часткою в імпорті 29,5% та John Deere – 26,9% ринку імпортованих комбайнів. Але в умовах Луганської області, як уже вказувалося, одним з найбільш поширених зернових комбайнів серед фермерських господарств з'явився зерновий комбайн КЗС-9-1 «Славутич». Вдаче поєднання ціна – якість та надійність комбайна дали йому перевагу у фермерських господарствах області. Саме поширеність даного комбайна послужило однією з основних причин вивчення питань боротьби з шумом саме на даній машині, але вже в епоху інформаційного суспільства.

Отже, однією з важливих складових, що забезпечують покращення комфортності та умов праці обслуговуючого персоналу комбайнів, є зниження рівня шуму на робочому місці оператора. У сучасному комбайні, як вважають у компанії John Deere рівні шуму всередині кабіни механіка – водія повинні знаходитися в діапазоні 74,3 – 80,1 дБ (А), що встановлено відповідно до вимірювань на кількох репрезентативних машинах відповідно з ISO 5131. Так ж в компанії вважають, що рівень шуму залежить від швидкості і

навантаження двигуна, налаштувань сепаратора, польових і збиральних умов, а також від типу використовуваної платформної жниварки.

У той час як за даними машиновипробувальних станцій мають звукове навантаження в кабіні комбайнів сімейства «Єнісей» 79 – 85 дБ (протоколи випробувань: 01-43-98, 01-39-01, 01-50-03, 01-39-04, підбір і обмолот ППК – 3), а при відкритих вікнах і дверях ці показники зростають ще більше.

Розглянемо тепер існуючі загальноприйняті методи аналізу рівня шуму на робочому місці оператора комбайну. Вважається, що основними джерелами шуму комбайна є: двигун, вентилятор і радіатор системи охолодження, робочі органи та елементи трансмісії комбайна. Нині загальноприйнято підрозділяти шум залежно від середовища поширення пружних хвиль на: а) повітряний, обумовлений передачею звуку від джерела до точки спостереження по повітрі або через огорожувальні конструкції і б) структурний, обумовлений випромінюванням шуму вібрацією конструкцій, що захищають. Частотний діапазон повітряного та структурного шуму показаний на рис. 1.2.

Для теоретичного визначення рівнів шуму в кабіні, вважається, що, раніше всього, слід дати математичний опис рівнів звукового тиску від кожного окремого джерела. Рівні шуму в кабіні при одночасному впливі кількох джерел, що звучать визначаються за принципом підсумовування. За такого підходу стає можливим виявити внесок від різних джерел в звукове поле кабіни, а також визначити кількісне перевищення над нормативними значеннями відповідних інтервалах частот і на цій основі вибрати способи доведення шумових характеристик та гранично допустимих рівнів. Для математичного опису віброакустичних характеристик використовують наближені аналітичні методи та розрахунково-експериментальні методи. Наближені аналітичні методи розглядають прості розрахункові схеми комбайна, які з системи дискретних елементів. Наприклад, повітряна складова шуму в кабіні комбайна визначається через рівні звукової потужності корпусу двигуна, випуску, робочих органів; площі елементів огороження кабіни; середній коефіцієнт звукопоглинання в кабіні, площа внутрішньої поверхні кабіни; відстані від робочого місця до зрізу випускної

труби, торця двигуна, робочих органів; звукоізоляцію елементів огорожі та добавки до звукоізоляції елементів огорожі залежно від розташування кабіни до джерела звуку; ефективність акустичних екранів. Для розрахунку структурного шуму запропоновано акустичну модель кабіни комбайна у вигляді прямокутного паралелепіпеда. Завдання розрахунку випромінювання структурного шуму зведено до визначення амплітуд віброшвидкостей підлоги, кожної зі стінок та стелі кабіни. Для спрощення розрахунків використано енергетичні методи

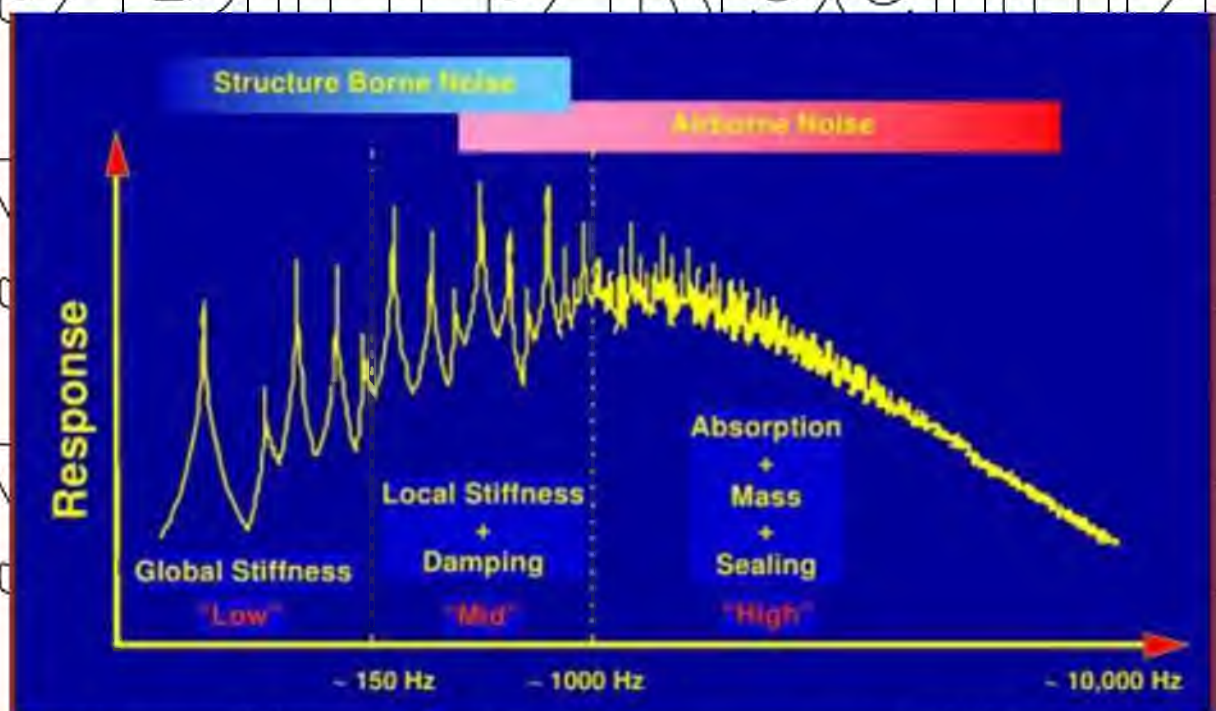


Рис. 1.2 – NVH-аналіз. Частотний діапазон, 2019 SAE NVS Структура Borne Noise Workshop. Вісь X – частота, Гц. Вісь Y – відгук (звуковий тиск, дБ).

Діапазон частот поділено на низькі частоти (до 150 Гц), середні частоти (150-1000 Гц), високі частоти (понад 1000 Гц). Структурний шум (Structure Borne Noise) робить істотний внесок на низьких і середніх частотах, а повітряний шум (Airborne Noise) – на середніх і високих частотах.

Наближені аналітичні методи дозволяють враховувати при розрахунку рівня шуму приблизний внесок від основних джерел, але точність таких розрахунків є низькою, а використовувані розрахункові моделі надто спрощеними, які не враховують складну геометричну форму вузлів та деталей. Розрахунково – експериментальні методи призначені переважно для доведення

вібраакустичних характеристик машин, що існують. У їх основі лежить, як зазначалося, енергетичний метод, проте всі необхідні коефіцієнти визначаються експериментально.

Сучасним підходом у застосуванні розрахунково – експериментальних методів є аналіз шляхів передачі (transfer path analysis, TPA). Аналіз шляхів передачі – це процедура, заснована на експерименті чи моделюванні, яка дозволяє відстежувати потік вібраакустичної енергії від джерела, через ряд відомих шляхів передачі, до приймача у цьому розташуванні. Мета полягає в тому, щоб визначити вклад кожного зі шляхів передачі від джерела до приймача, потім визначити компоненти даного шляху, які потрібно змінити для рішення певної проблеми – і, можливо, оптимізувати конструкцію, вибираючи необхідні характеристики для цих компонентів. При створенні моделі для аналізу шляхів передачі систему ділять на активну та пасивну частини. Активна частина містить джерела, а пасивна – точки прийому, у яких вимірюють відгук. Сполучною ланкою між активною та пасивною частиною, що характеризує відношення між приймачем і джерелом є передавальні функції (ПФ) по шуму, також звані частотними характеристиками. Використовуючи цю модель, відгук (рівень звукового тиску) точки прийому можна виразити як:

$$y_k(\omega) = \sum_{i=1}^n y_{ik}(\omega) + \sum_{j=1}^p y_{jk}(\omega), \quad (1.1)$$

$$y_k(\omega) = H_{ik}(\omega) F_i(\omega), \quad (1.2)$$

$$y_k(\omega) = H_{jk}(\omega) Q_j(\omega), \quad (1.3)$$

де $y_k(\omega)$ – відгук (рівень звукового тиску) в точці прийому k ; $y_{ik}(\omega)$ – внесок i -х шляхів передачі структурного шуму; $y_{jk}(\omega)$ – внесок j -х шляхів передачі повітряного шуму; $F_i(\omega)$ – Вплив (сила) на i -й шлях передачі структурного шуму; $Q_j(\omega)$ – вплив (продуктивність або об’ємна швидкість джерела, м³/с) на j -й шлях передачі повітряного шуму, $H_{ik}(\omega)$ – ПФ i -го шляхи передачі структурного шуму; $H_{jk}(\omega)$ – ПФ j -го шляхи передачі повітряного шуму, ω

– кругова частота (рад/с); n – кількість шляхів передачі структурного шуму; p – кількість шляхів передачі повітряного шуму.

Вимір ПФ може бути виконано методами прямих вимірювань та вимірювань з використанням принципу взаємності. Прямі вимірювання ПФ структурного шуму проводять, збуджуючи конструкцію віброзбудником або вимірювальним молотком та вимірюючи звуковий тиск на робочому місці мікрофон. ПФ повітряного шуму вимірюють шляхом озвучування конструкції за допомогою ненаправленого «точкового» джерела з виміром звукового тиску робочому місці з допомогою мікрофона. При вимірах з використанням принципу взаємності ненаправлене «точкове» джерело міститься на робочому місці оператора комбайна, а відгук (звуковий тиск для повітряного шуму і віброшвидкість для структурного шуму) вимірюється на елементах конструкції. В цьому випадку для ПФ справедливі співвідношення:

$$\frac{P_1}{Q_1} = \frac{P_2}{Q_2}, \quad (1.4)$$

де P_1 – звуковий тиск на робочім місці оператора; Q_1 – продуктивність ненаправленого «точкового» джерела; P_2 – звуковий тиск на елементі конструкції; Q_2 – продуктивність неспрямованого «точкового» джерела при вимірах з використанням принципу взаємності;

$$\frac{P}{F} = \frac{v}{Q}, \quad (1.5)$$

де P – звуковий тиск на робітником місці оператора при вимірах прямим методом; F – Вплив (сила), прикладена до елемента конструкції; v – віброшвидкість на елемент конструкції; Q – продуктивність ненаправленого «точкового» джерела, джерело розташоване на робочому місці оператора комбайну.

Вимірювання на основі принципу взаємності у багатьох випадках мають рядом переваг у порівнянні з прямими вимірами.

Таким чином, на сучасному етапі для систематизації досліджень та доведення конструкції можуть бути застосовані розрахунково – експериментальні методи розрахунку рівня звуку на робочому місці оператора комбайна, але їх

застосування обмежене необхідністю проведення тривалих експериментів.

Тепер розглянемо вплив шуму на організм оператора комбайна яким наслідком це наводить. Відзначимо, що шумом називають сукупність звуків, різних за силою та частотою, що виникають в результаті коливальних процесів, що заважають сприйняттю корисних звуків та надають несприятливий вплив на організм людини. А НДП охорони та економіки праці України визначає шум як фактор виробничого середовища, фізіологічна дія якого залежить від декількох параметрів: рівня звукового тиску, частотного спектру шуму, експозиції, тимчасових характеристик шуму та інше. А для нормування зазвичай

використовують два основні параметри – рівень звукового тиску та частотний спектр; інші показники розглядаються як поправки. Для оцінки шуму в нормах допускається використання інтегральної оцінки – рівня звуку в дБА. Тим більше, що фізично звук – це хвильовий коливальний рух пружного середовища, що сприймається органом слуху. Звукові коливання, що передаються по повітрі, називають повітряним шумом, що поширюються у твердих тілах – структурним або корпусним. Розповсюдження коливань в пружних середовищах відбувається у вигляді згущень і розряджень, що чергуються. Ці пружні хвилі стиснення і розрядження, що виникають у повітрі при коливаннях тіл, і є звукові хвилі чи звук. Швидкість коливань частинок середовища щодо положення своєї рівноваги називають коливальною швидкістю. Довжина хвилі, швидкість звуку, період коливань і частота пов'язані між собою наступним співвідношенням:

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}, \quad (1.6)$$

де λ - довжина хвилі; T – період, відстань між центрами двох згущень або розряджань, прохідне звуковий хвилею.

Людське вухо сприймає звуки з довжиною хвилі не більше 0,17-21 м.

Простір, в якому діють звукові хвилі, називають акустичним або хвильовим полем. Геометричне місце точок, що здійснюють однакові, що збігаються по часу руху називають хвильовою поверхнею або фронтом хвилі. У закритому приміщенні розрізняють дві основні області звукового поля – область прямого та

область відбитого звуку [34, 35]. Явище посилення чи ослаблення коливань у хвильовому русі носить назву інтерференції. Вона настає лише у тому випадку, коли частоти обох джерел відносяться як цілі числа і якщо зсув фаз коливань цих джерел постійний, тобто. Джерела когерентні. Відображення звуку відбувається за законом оптики, згідно якому кут падіння та кут відображення звукового променя рівні.

До основних характеристик звуку, і шуму, можна віднести наступне:

По – перше – це звуковий тиск. Воно оцінюється не миттєвою максимальною величиною, а середньоквадратичним тиском за період одного коливання чи виміру і виявляється у Па. Оскільки на практиці доводиться працювати з широким діапазоном звукового тиску, відмінними один від одного на кілька порядків, у вимірювальній техніці застосовуються логарифмічні величини, тобто. Відношення створюваного тиску до тиску, прийнятому за

одиницю порівняння. За одиницю порівняння прийнято тиск $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па, що є порогом чутиності за частоти 1000 Гц. Рівень звукового тиску L вимірюється в дБ (децибелами називається десятикратний десятковий логарифм відношення двох величин, з яких одна прийнято за одиницю порівняння). Так ж важлива інтенсивність або сила звуку, або кількість енергії, що проходить через одиницю поверхні нормальному напрямі поширення за одиницю часу [37].

По – друге, потужність. Випромінювану джерелом звукову потужність W в Вт можна визначити множенням інтенсивності звуку на площу перерізу в якому поширюється звукова енергія. Надзвичайно важливим представляється розгляд спектрального складу, в силу того, що шум – це складний звук і його необхідно розділяти на прості складові тони із зазначенням інтенсивності та частоти. Класифікація шумів, що впливають на людини представлена в СН 2.2.4/2.1 8.562 – 96 «Шум на робочих місцях, у приміщеннях житлових, громадських будівель та на території житлової забудови».

Нормовані параметри та гранично допустимі рівні шуму на робочих місцях такі: Характеристика постійного шуму на робочих місцях є рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами 31,5; 63; 125; 250;

500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, що визначаються за формули:

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (1.7)$$

де P – середньоквадратична величина звукового тиску, Па; P_0 - вихідне значення

звукового тиску в повітрі рівне $2 \cdot 10^{-5}$ Па

Допускається як характеристика постійного широкопasmового шуму на робочих місцях приймати рівень звуку в дБА, виміряний на часовій

$$L_A = 20 \lg \frac{P_A}{P_0}, \quad (1.8)$$

де P_A – середньоквадратична величина звукового тиску з урахуванням корекції «А» шумоміра, Па.

Характеристика непостійного шуму на робочих місцях є еквівалентною. (з

енергії) рівень звуку в дБА. Гранично допустимі рівні звуку та еквівалентні рівні

звуку на робочих місцях з урахуванням напруженості та тяжкості трудової діяльності представлені у таблиці 1.1.

(Кількісну оцінку тяжкості та напруженості, трудового процесу слід проводити відповідно до Керівництва 2.2.013 – 94 «Гігієнічні критерії оцінки умов праці за показниками шкідливості та небезпеки факторів виробничого середовища, тяжкості, напруженості трудового процесу.

Гранично допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку для основних найбільш типових видів трудової діяльності і робочих місць, розроблені з обліком категорій тяжкості і напруженості праці, представлені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 З – Гранично допустимі рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях для трудової діяльності різних категорій тяжкості та напруженості в дБА

Категорія напруженості трудового процесу	Категорія тяжкості трудового процесу				
	легке фізичне навантаження	середнє фізичне навантаження	важкий працю 1 ступеня	важка праця 2 ступеня	важка праця 3 ступеня

Напруженість легкої ступеня	80	80	75	75	75
Напруженість середньої ступеня	70	70	65	65	65
Напружена праця 1 ступеня	60	60	-	-	-
Напружена праця 2 ступеня	50	50	-	-	-

Таблиця 1.2 – Гранично допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку для основних типових видів трудовий діяльності та робочих місць (вилучення)

№ пп	Вид трудовий діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску, дБ, в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц										Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку (у дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Сільськогосподарські машини та обладнання, будівельно-дорожні, меліоративні та ін аналогічні види машин												
16	Робочі місця водіїв та обслуговуючого персоналу тракторів, самохідних шасі, причіпних та навісних сільськогосподарських машин, будівельно-дорожніх та ін аналогічних машин	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	

Існують і інші класифікації, загалом не суперечать офіційною. За частотою розрізняють шум низькочастотний (до 300 Гц), середньочастотний (від 300 до 800 Гц) і високочастотний (більше 800 Гц). За характером спектру шум розрізняють на: широкосмуговий – має безперервний спектр шириною більше однієї октави; тональний – характеризується нерівномірним розподілом звукової енергії з переважанням більшої частини в області однієї – двох октав. За часом дії розрізняють такі види шуму: постійний – змінюється в течія робочої зміни не більше чим на 5 дБ у той чи інший бік від середнього рівня; непостійний – рівень його звукового тиску за робочу зміну може змінюватися на 5 дБ і більше у будь-який бік від середнього рівня.

Непостійний шум, у свою чергу, можна підрозділити на: - з плавною зміною рівня звуку у часі; переривчастий – характеризується ступінчастою зміною рівня звукового тиску на більше чим 5 дБА при тривалості інтервалів із постійним рівнем тиску звуку не менше 1 с; імпульсний – складається з одного або кількох звукових сигналів, тривалість кожного з яких менше ніж 1 с. Класифікацію шуму важливо враховувати під час розробки заходів щодо зниження його шкідливого впливу на працівників. Наприклад, визначення джерела виникнення шуму і вироблення відповідних оптимальних заходів протидії, спрямованих на зменшення рівня тиску звуку, що створюється його генератором, сприяють підвищенню працездатності людей та зниження їх захворюваності.

Визначення частотного спектру шуму також важливо для забезпечення безпеки та гігієни праці. Так, якщо низькочастотні звуки поширюються у просторі сферично від джерела їх освіти, то високочастотні – в вигляді вузькоспрямованого потоку хвиль. Тому шум низької частоти легше проникає через нещільні перешкоди та від нього не можна захиститися екрануванням, яке особливо ефективно при боротьбі з поширенням високочастотного шуму. За природою виникнення шуми машин або агрегатів діляться на: 1) механічні; 2) аеродинамічні; 3) гідродинамічні; електромагнітні. Таким чином, найважливішим джерелом шуму є робота та функціонування механізмів та машин через їх конструктивні особливості.

Оскільки оператор комбайна, як і будь-якої машини, утворює з ній біомеханічну систему, видається, що вплив шуму організм людини необхідний висвітлити більше детально. Загальновідомо, що будь-який організм існує в рівноважному стані з навколишнім середовищем і так існувати неспроможна. В результаті такої взаємодії виникає пристосувальна реакція на основі адаптації та вихідний стан функціональної системи, що забезпечує цю реакцію:

$$S = f(N, J, S_0, T, \dots), \quad (1.9)$$

де S і S_0 – поточний і початковий стан живий системи, N – потреба, J – зовнішнє стосовно цієї функціональної системи впливу, T – час

Основні фактори, що входять у вираз (1.9), описуються в коефіцієнти:

енергія, речовина, інформація. Таким чином, організм на всіх рівнях функціонування переробляє як енергію, так і інформацію, які во всіх види сигналів супроводжують один одному. Технічний комітет ISO / ТК -43 розробив міжнародний стандарт ISO 1999:1990 € Acoustics – Determination of occupational noise exposure i estimation of noise-induced hearing impairment. Він встановлює співвідношення між експозиційною дозою шуму та ризиком пошкодження слуху при восьмигодинному робочому дні (Часу впливу) для діапазону рівні 75 – 100 дБА. Рівень звуку 75 дБА, який прийнятий в якості безпечного, недостатньо обгрунтований, існують дані, що і набагато менше інтенсивні шуми (від 55 дБА) можуть викликати деякий зрушення порога чутності після кількох років дії [41].

Існуючі механізми психофізіологічної обробки сигналів, що надходять, дозволяють аналізувати не тільки енергетичну складову шуму, та його сигнальну, інформаційну складову. Енергетичну складову у вигляді експозиційної дози відносно легко виміряти та розрахувати :

Відносно легко виміряти та розрахувати :

Відносно легко виміряти та розрахувати :

$$L_{екв.8год} = L_{екв.} + 10 \lg \frac{T_c}{T_0}, \quad (1.9)$$

де T_c – Сумарний час експозиції шуму за зміну; T_0 – Тривалість зміни (8 годин);

$L_{А экв.}$ – еквівалентний рівень шуму за час T_c .

З інформаційною складовою дещо складніше, оскільки відсутні об'єктивні методи її виміру. Тому оцінити більш – менш точно можна ентропію шуму як джерело потенційної інформації та використовувати її для характеристики інформаційної складової. Для визначення використовують формулу, засновану на законі великих чисел.

Загалом вважається доведеним, що рівень специфічних реакцій на вплив шуму значною мірою залежить з його інформаційних параметрів – ентропії та сигнальної значущості. Ці параметри вносять достовірний та порівняний з енергією внесок у біологічну активність шуму [42]. Також доведено, що основна складність роботи операторів при розпізнаванні та прийнятті сигналів пов'язана з шумовою стомлюваністю і монотонністю сигналів, що надходять, що призводить до підвищеної стомлюваності і відповідно є причиною підвищення

ймовірності аварійно-небезпечних ситуацій. Крім цього, на надійність роботи операторів впливають і інші фактори довкілля. Оскільки органи слуху мають глибоку взаємозв'язок з найголовнішими нервовими центрами мозку, зміни в центральній нервовій системі можуть бути більше глибокими і ранніми, ніж порушення слуху. Як при хронічному, так і короточасному впливі шуму в операторів спостерігається зміна систолічного та діастолічного тиску (частіше відзначається підвищення), частоти серцевих скорочень та ритму дихання, підвищення симпатичного та парасимпатичного тону. Зі збільшенням енергії та ентропії непостійного шуму (стажової експозиційної дози понад 100 дБА, ентропії 2-2,5 біт) функціональний стан організму погіршується. Шум із високою інформаційною значимістю, навіть за відносно невеликої енергії звуку, рівень якого не перевищує ПДК по СН 3203 – 85 для такого роду робіт, здатний навіть при невеликому терміні – до 8 років – контакту з ним викликати стійке зниження порогів слухової чутливості та погіршення загального стану здоров'я оператора.

Таким чином, чим сильніший шум і значніша його експозиція, тим значніші функціональні порушення він викликає, тим більше шкоди завдає він організму.

Інтенсивний шум викликає посилення стомлюваності операторів, погіршується робота серця, порушується нормальне функціонування шлунково-кишкового тракту та центральної нервової системи, тобто. Перевищення рівня шуму призводить до негативних наслідків, роблячи оператора машини в кінцевому підсумку інвалідом.

На основі вищевикладеного розглянемо можливості інформаційних технологій у боротьбі за покращення умов роботи оператора комбайну.

1.2. Інформаційні технології як новий елемент боротьби з шумом

Розвиток інформаційних технологій багато в чому змінив не лише побутову бік життя людини, а й розвиток технологій та техніки. Інформація перетворюється у стратегічний ресурс. Інформатизація – це об'єктивна закономірність розвитку товариства.

Саме тому «...у світовому сільськогосподарському виробництві широко застосовуються космічні інформаційні технології, такі як дистанційне зондування, супутникова навігація (системи GPS). Розвиток мережі Інтернет надає найширші можливості передачі інформації. Таким чином, сьогодні є всі необхідні передумови для впровадження передових технологій у сільськогосподарське виробництво і його інформаційне забезпечення». На рис. 1.3 та 1.4 показані схеми вирішення поставлених ще наприкінці XX століття задач з інформатизації сільськогосподарського виробництва та компоненти цих геоінформаційних (ГІС) систем.

Загалом, як і в 90-і роки XX століття, цілі та завдання інформатизації сільськогосподарства на початку XXI залишилися по суті колишніми: «Інформатизація агропромислового комплексу є процес створення та впровадження нових засобів мікроелектроніки та обчислювальної техніки у всі сфери виробничої, організаційно – економічної, наукової та соціальної діяльності сільського господарства та переробної промисловості з метою отримання високих кінцевих результатів при максимально ефективному використанні природних, трудових, інтелектуальних та матеріальних ресурсів та створення комплексно – автоматизованих систем управління».



Рис. 1.3 – Приклад інформатизації виробничих процесів та їх диспетчеризації



Рис. 1.4 – Елементи геоінформаційної системи та управління виробничими процесами у сільському господарстві

А з появою мережі Internet ще більше розширилися можливості інформатизації сільського господарства. Прикладом такого підходу у сільському господарстві, як зазначалося, є ГІС і створена на його основі система точного землеробства. Інформаційні технології в точному землеробстві охоплюють широке коло понять – експертні та геоінформаційні системи, інформаційно – вимірювальні та обчислювальні комплекси, глобальні системи позиціонування, дистанційні та бортові датчики, а також виконавчі органи сільськогосподарської техніки, пристосовані до роботи у автоматичному режимі під керуванням комп'ютерів. Однак як центральний ланки в системі управління її інтелектуальним ядром є динамічні моделі продукційного процесу та агроєкосистем в цілому.

Наступною функцією ГІС є диспетчеризація, яка здійснює оперативний контроль та координацію управління виробничими процесами. Виконання цих завдань сприяє підвищенню безпеки та точності руху транспортних засобів та самохідних агрегатів. Цей момент розвитку ГІС диспетчеризація та був використаний у даній роботі.

Але в будь-кому випадку найважливішим моментом є цифрова обробка сигналів, що надходять, на чому і заснована вся технологія управління та регулювання шумами на місці оператора технологічного транспорту або машин на відстані. Що в свою черга потребує і моделювання процесів на ПК.

Але в міжповітряний період агрегати та механізми контрольованої машини внаслідок експлуатаційного навантаження можуть з низки причин втрачати свої заявлені показники. Це стосується і акустичних параметрів.

Питанням аналізу шумових характеристик у розрізі діагностики машин присвячено достатньо робіт. Але сама спрямованість акустичної діагностики має метою усунення несправності машини, а не завдання підвищення ефективності роботи підвищення економічної ефективності та охорони праці. У чому полягає одна з відмінностей даної роботи, яка спрямована саме на охорону праці оператора.

Крім того, коректність вимірів ґрунтується на відповідній професійній

підготовки та забезпечується, як правило, застосуванням групи стандартів. То є, в міжпіврічний період контроль шуму на робітничому місці оператора власними силами невеликих підприємств забезпечити проблематично.

Зазначимо, що незначне перевищення шумових характеристик над нормативом при широкосмуговому шумі можна оцінити лише за рахунок інструментального контролю.

Тому потрібно відпрацювати певну технологію оперативного взаємодії виробничих підприємств із установами, що займаються питаннями сервісу та охорони праці.

Ця технологія повинна мати спрощений та недорогий метод попередньої наближеної оцінки шумових характеристик робочих місць.

Подібним питанням присвячені промислові розробки системи дистанційного моніторингу шуму, зокрема, розробка (рис. 1.5)

Ця система доповнюється диктофоном, який синхронізується за часом з комп'ютером з метою доказового встановлення джерела шуму з аудіозапису сигналу. Далі отримані результати вимірювань збираються в передавальній станції і прямують бездротового з'єднання (GPRS) на центральний комп'ютер з метою формування бази даних.



Рис. 1.5 – Система автоматизованого моніторингу шуму, обладнана шумомірами, комп'ютером та адаптером бездротової телеметрії по радіоканалу

Застосування системи реєстрації та аналізу сигналів SQ – 1, дозволяє

дистанційно керувати шумомірами. Тобто за апаратно – програмними рішеннями є приклади вдалого поєднання технічних можливостей та завдань акустичного аналізу. Але складність налаштування обладнання і цінова політика передбачають вузький спектр користувачів, тому розробники обладнання орієнтуються, наприклад, на центри гігієни та епідеміології. Тобто ця та подібні технології не зорієнтовані на невеликі підприємства (фермерські господарства), які зацікавлені у забезпеченні у себе контролю рівнів шуму на робочих місцях у міжповісний період. Ці питання і вирішуються у цій роботі.

1.3. Інформаційно-аналітичні мережі оперативного акустичного контролю робочих місць операторів сільськогосподарських машин

Питанням створення та функціонування систем передачі даних присвячено низку робіт. На основі визначених у цих роботах підходів ми встановили, що інформаційно – аналітична мережа повинна забезпечити:

- регулярний запис та передачу звуку з мобільного пункту контролю;
- попередню (наближену) оцінку шумової ситуації на основі аналізу відмінностей рівнів звукового тиску за спектрами звукових файлів;
- проведення коректних вимірювань рівнів звуку та рівнів звукового тиску на робочому місці оператора сільськогосподарської машини на підставі попередньою наближеною оцінки;
- постійне обґрунтоване уточнення спрощеної (раціональної) методики оцінки шумового дії;
- регулярне метрологічне забезпечення приладів контролю;
- ведення бази шумових вимірювань і звукових файлів в розрізі кожною конкретної сільськогосподарської машини;
- отримання метеорологічної інформації;
- інформаційне повідомлення із установами охорони праці;
- надання відповідному користувачеві звітів з аналізу акустичного навантаження щодо певного машини.

Структурна модель (рис. 1.6) відтворює два етапи звернення інформації:

етап наближеної (попередньої) оцінки шуму;

етап точного аналізу шумової ситуації та коригування спрощеної методики вимірів.

Оскільки досліджується використання Інтернет – доступу з метою онлайн роботи з медіафайлами у будь-якій точці території області, зосередимося на застосуванні швидкісного бездротового Інтернет – доступу.

Бездротовий Інтернет – доступ забезпечує підключення до глобальної мережі в більшості випадків за допомогою радіомодемів або стільникових модемів. Модем або мобільний телефон використовує принаймні один із

наступних стандартів мобільного зв'язку GSM, CDMA 1x, його модифікація CDMA EV – DO, а також UMTS (за технологіями WCDMA та HSDPA).

Визначимо доцільність використання певного стандарту для нашого дослідження за такими критеріями (к1, к2, к3, к4):

а) к1 – безпека застосування;

б) к2 – стабільність онлайн роботи з медіафайлами;

в) к3 – поширеність на території області;

г) к4 – конкурентоспроможність провайдера, яка визначає перспективи розвитку мережі.

Мобільні пункти контролю. Записує звукові файли в кабінах сільськогосподарських машин з використанням обладнання за спрощеними методиками вимірювань.

Мережа Internet. Передача аудіофайлів на центральний пункт інформаційно-аналітичної мережі.

Центральний пункт. Наближена (попередня) оцінка стабільності чи збільшення рівнів звукового тиску.

Акустична лабораторія. Проведення за необхідності уточнюючих вимірів шуму. Коригування спрощеної методики

Рис. 1.6 Структура інформаційно-аналітичної мережі

За критерієм к1 відзначимо наступне:

За даними, отриманими А. Сомовим, при порівнянні еколого – технічних показників мереж CDMA та GSM, можна зробити висновок про більше високому рівні безпеки мереж, які використовують технологію CDMA. Так, потужність електромагнітного навантаження на абонента мережі GSM складає 42.8 мВт. Проти мВт у мережі CDMA. Щільність електромагнітного випромінювання надана рис. 1.7. Максимальні рівні опромінення абонента визначаються максимально випромінюваною потужністю - для систем CDMA2000 – 250 мВт; - для систем GSM-900 – 2 Вт (При використанні GPRS + EDGE). Тобто технології GSM (EDGE) мають найгірші показники за критерієм к1 (безпека застосування) серед стандартів мобільної зв'язку.

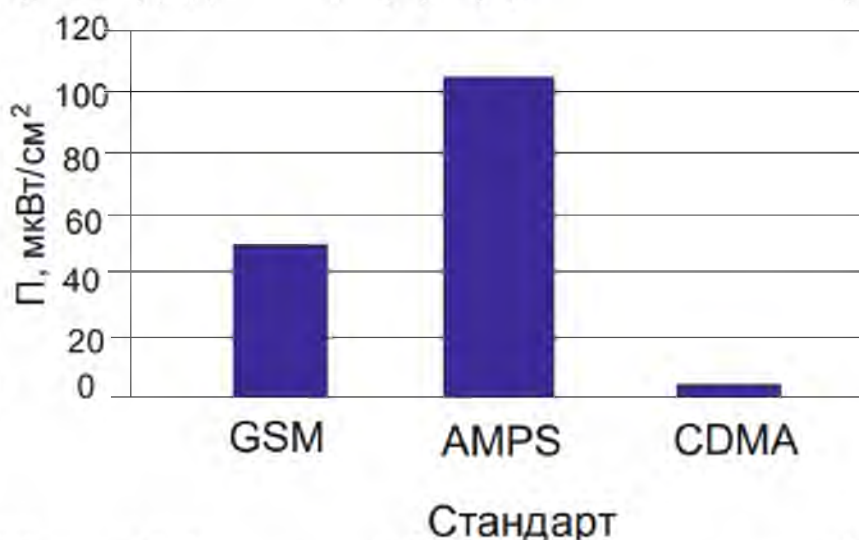


Рис. 1.7 – Електромагнітне випромінювання обладнання технологій порівнюваним стандартам.

За критерієм к2 відзначимо, що стабільна онлайн робота з медіафайлами забезпечується швидкістю передачі. Орієнтовно, за аналогією до поширеною класифікацією 1 – 4 (Г) проведемо таке розподіл. Технології зі швидкістю менше 2 Мбіт/с:

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution – Збільшені швидкості передачі даних для GSM Evolution), працює в TDMA- та GSM-мережах, забезпечує передачу даних зі швидкістю до 474 кбіт/с, частоти 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц

- UMTS із середовищем WCDMA (Wideband CDMA), на частотах 1900-2100 МГц, до 2 мегабіт за секунду (256 кілобайт/сек)

Технології зі швидкістю понад 2 Мбіт/с:

- UMTS із середовищем HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access – Високошвидкісний пакетний доступ по низхідній лінії зв'язку), швидкість до 14,4 мегабіт/сек, з частотою 1885 МГц (2025 МГц)

- CDMA EV-DO ((Evolution-Data Only), фаза розвитку стандарту CDMA2000 1х, швидкість до 3,1 Мбіт/с (Rev.B – до 14,7 Мбіт/с), частота 800 MHz

- RadioEthernet (Wi-Fi), варіанти стандарту IEEE 802.11, швидкість до 4 Мбіт/с, частоти 2,4 ГГц і 5 ГГц, радіус дії обладнання до 160 м, обладнання має мобільний характер розгортання.

Pre-WiMAX (пілка WiMAX, варіанти стандарту IEEE 802.16), швидкість доступу 7 Мбіт/с, частота 5,8 ГГц, радіус дії обладнання до 30 км у прямому полі зору, обладнання має легкопересувний характер розгортання.

Тобто технології GSM (EDGE) мають найнижчі показники за критерієм K2 (стабільність онлайн роботи з медіафайлами). За критерієм K3 проведемо оцінку можливостей основних провайдерів бездротового інтернету області:

1) ОГО! Мобільний;

- Технологія HSDPA;

Карта покриття – майже вся територія області;

2) Київстар 4G;

- Технологія HSDPA (4G), технологія EDGE; працює в мережі

Укртелеком у роумінгу;

3) Інтертелеком;

- Технологія CDMA EV-DO Rev. A-3G

- Технологія pre-WiMax;

5) PEOPLEnet;

- Технологія CDMA EV-DO Revision A;

6) Укртелеком РадіоСпот; технологія Wi-Fi;

Тобто, за критерієм К3 (поширеність на території області) аутсайдерами є провайдери UNTC (pre – WiMax), Укртелеком РадіоСпот (Wi – Fi) та PEOPLEnet (CDMA EV-DO Rev. A).

Таким чином, відкидаючи найбільш слабких провайдерів та їх технології по критеріям К1, К2, К3, визначимо кращу трійку:

- ОГО! Мобільний (технологія HSDPA);

- Київстар 3G (технологія HSDPA),

- Інтертелеком (CDMA EV-DO Rev. A)

За критерієм К4 (конкурентоспроможність провайдера) зазначимо, що

Київстар 3G працює в мережі Укртелекому в роумінгу, наприклад, цінова складова конкурентоспроможності визначає мережу Київстар 4G.

Провайдер ОГО! Мобільний є підрозділом Товариства з обмеженою відповідальністю «ТріМоб», яке у свою чергу є дочірнім підприємством Укртелекому. Крім того, ТОВ «ТріМоб» - Бувай єдиний оператор в Україні, який володіє ліцензією на UMTS/WCDMA.

Тому за критерієм К4 (конкурентоспроможність) провайдер ОГО! Мобільний (технологія HSDPA) має певну перевагу над провайдером Інтертелеком (CDMA EV-DO Rev. A) з погляду перспектив розвитку мережі.

Ціль роботи – зниження шумовий навантаження на оператора комбайна шляхом впровадження інженерно – технічних заходів на основі сучасних інформаційних технологій.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ АКУСТИЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ РОБОЧОГО МІСЦЯ ОПЕРАТОРА КОМБАЙНА

2.1. Метод експертизи робочого місця комбайнера

Для визначення необхідних умов передумов акустичної експертизи робочого місця комбайнера, слід зазначити, що процес розбивається на два періоди – Теоретичний і практичний. До першого відноситься метод кінцевих елементів – скорочено МКЕ. Метод кінцевих елементів (МКЕ) на сьогодні стандартним методом акустичного аналізу. Особливості його застосування обумовлені рядом документів і досліджено в ряді робіт. Ідеологія МКЕ – це перебування рішення функції на максимально допустимій множині кусково-безперервних функцій, визначених на допустимій кількості підобластей. Тобто для визначення безперервної функції будується дискретна модель, у якій геометрія відтворена у послідовності область – підобласть (елемент).

Підобласті між собою мають спільні вузлові точки. Кількість підобластей має кінцеве значення, а невідома безперервна величина апроксимується на кожному елементі поліномом, який набуває певних значень у вузлах. Поліноми різні, але відтворюють безперервність загальної величини вздовж своїх кордонів.

При цьому з технічних особливостей розрахункового процесу, потрібна мінімізація кількості поліномів за критерієм допустимою точності.

Таким чином, наприклад, для тонких твердих пластин і стандартизованого значення рівня звукового тиску 94 дБ (1 Па тиску) для площі поверхні 1 м² структурної моделі за допомогою МКЕ отримаємо опис коливань за дискретизованої сітки вузлів (рис. 2.1).

Для забезпечення максимальної точності розрахунку необхідно знайти значення певної функції у вузлах шляхом вирішення систем лінійних рівнянь алгебри. Оскільки елементів велика кількість, для ефективності розрахунків важлива типізація геометрії елементів з обліком вимірювання моделі (1D, 2D, 3D). Наприклад, в двовірному у разі ефективним вибором геометрії елементів є використання форми трикутника чи чотирикутника. Тоді, залежно від кількості

вузлових точок функції елементів можуть бути або плоскими (Рис. 2.2) поверхнями (якщо для цього елемента застосовано мінімальну кількість вузлових точок), або криволінійними (рис. 2.3). Тобто, перевищення числа вузлів формує елементи з криволінійними межами.

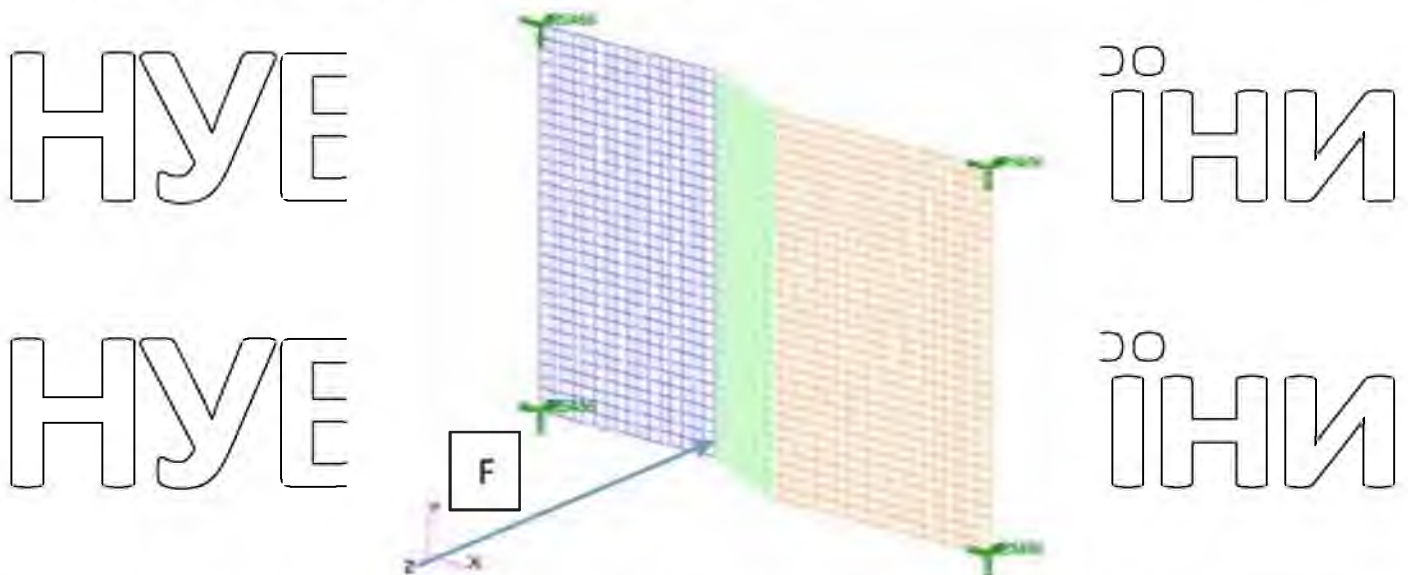


Рис. 2.1 – МКЕ модель частини структури кабіни (твердий лист товщиною 2) мм, закріплений у 4 кутовик точках, що збуджується силою $F = 1 \text{ Н}$)
Точність розрахунків прямо пропорційна щільності сітки МКЕ.

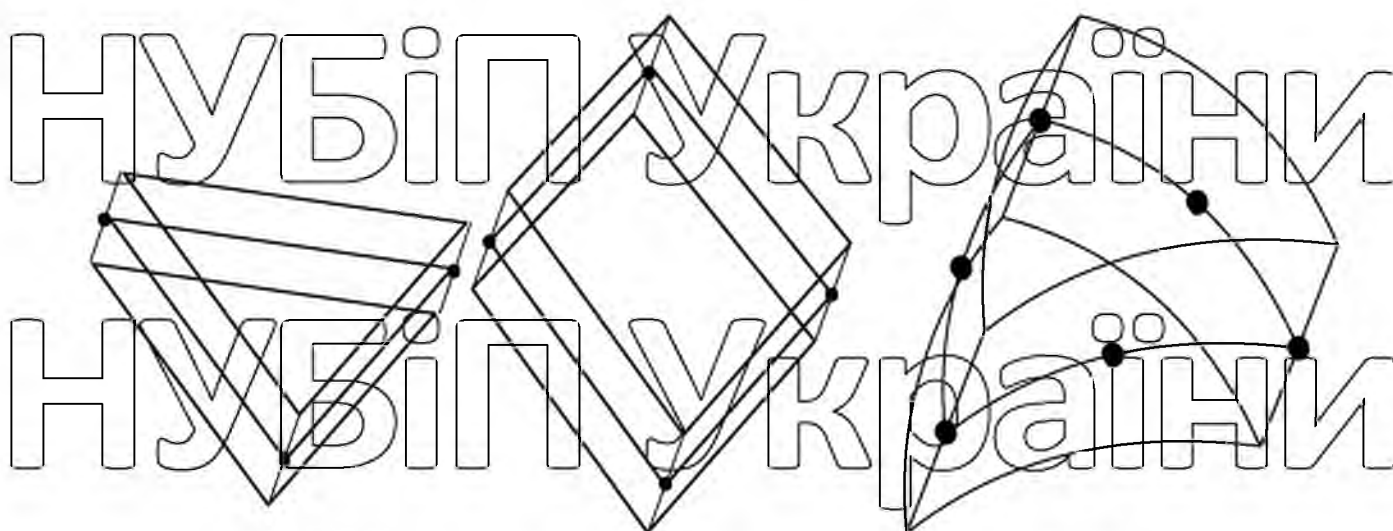


Рис. 2.2 – Плоскі поверхні

Рис. 2.3 – Криволінійна
поверхня

Таким чином, виходить двовимірна безперервна величина як сукупність

визначених у відповідних вузлах шматково-безперервних поверхонь.

Якщо вибрано 3D модель, то для зображення елемента в основному використовується тетраедр та паралелепіпед. Причому при моделюванні простору тетраедром можна використовувати найбільшу кількість елементів.

Більше того, будь-які інші елементи можна, можливо надати у вигляді комбінації тетраедрів, тому поділ області на тетраедри вважається найбільш доцільним.

Алгоритм поділу області починається зі створення на поверхнях необхідної кількості вузлів (за необхідної геометрії базової площини елемента) і

продовжується поєднанням відрізками по черзі, сегментарно, з відповідними

вузлами інших поверхонь. Точки перетину цих відрізків також є вузлами. Вузли

та відрізки мають номери, що впливає на ефективність обчислень. Потрібно

врахувати, що в будь-якому випадку сукупність елементів повинна формувати

геометрію досліджуваного простору (рис. 2.4).

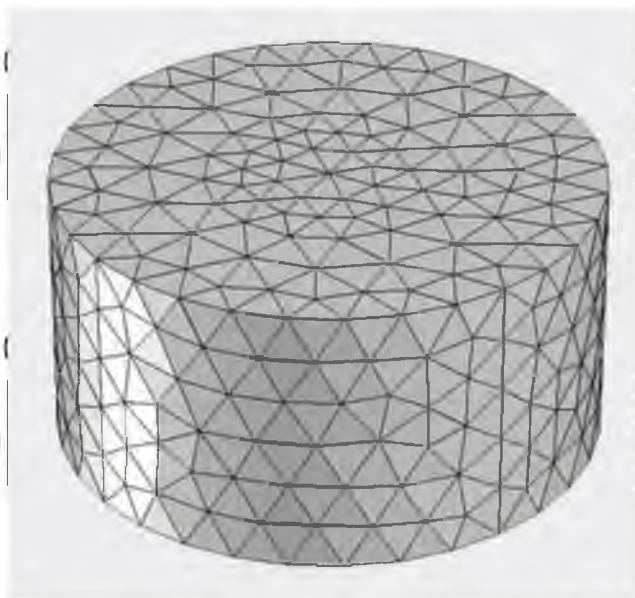


Рис. 2.4 — Формування простору безліччю тетраедрів

Зазначимо таку технологічну обставину: елементи розбиття мають різні розміри, оскільки необхідно не лише точно передавати форму акустичного

простору, а й враховувати змінні за умовами завдання параметри. Для цього

регулюють відстані між граничними вузлами з метою дроблення елементів. То

утворюються області, де розміри елементів визначені змінними параметрами.

Тоді розрахунки набувають великої точності та коректність.

2.2. Математична модель акустичного простору кабіни

Для створення моделі акустичного простору скористаємося підходами, зазначеними у роботах дослідників. Загальна технічна тенденція забезпечення більш точних способів визначення параметрів акустичного поля шляхом побудови адекватних моделей знаходить своє відображення у державних стандартах. Наприклад, для забезпечення відповідності другого ступеня точності (технічний метод, умовах експлуатації обладнання), під час вимірювання для визначення рівнів звукової потужності джерел шуму на основі інтенсивності звуку в дискретних точках, потрібно формувати обвідну поверхню.

Одним з варіантів по даному стандарту є використання паралелепіпеда як обвідна поверхня для обладнання з наступним визначенням дискретних точок вимірювання шуму. Певним чином це можна, можливо розглядати в якості грубого варіанту поділу обвідної поверхні на граничні дискретні елементи.

Тому, за аналогією зі стандартом оберемо для аналізу акустичний простір кабіни у вигляді паралелепіпеда, але з жорсткими гранями. Визначимо граничну верхню площину (рис. 2.5), як $\Omega \nu$.

Тоді $\Omega \nu$ – це всі граничні поверхні акустичного простору кабіни комбайна $V(L_x, L_y, L_z)$. Всередині простору кабіни акустичний тиск характеризується швидкістю звуку c , щільністю ρ і температурою t . Реальні зовнішні поверхні акустичного простору визначають модель як граничну умови. Розглядаючи рух нескінченно малого елемента $v(dx, dy, dz)$, визначимо наступні ймовірні умови:

- у середовищі відсутня в'язкість;

- середній тиск та щільність повітря не залежать від часу;

- сили ззовні діють на простір через граничну поверхню;

- рух не має вихрового характеру, акустичне поле потенційне;

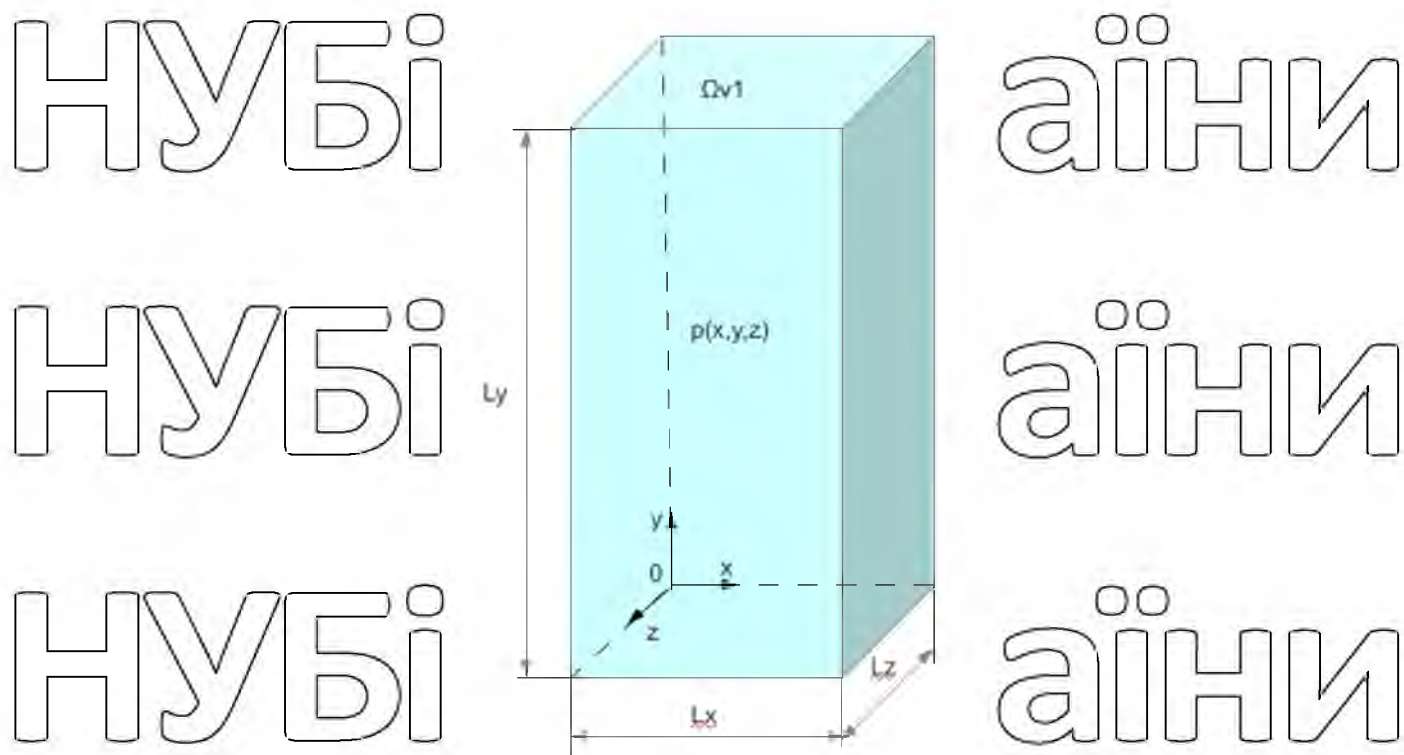


Рис. 2.5 – Акустичний простір V (Lx, Ly, Lz)

швидкості та їх градієнти малі,
 деформації середовища малі та прямо пропорційні збуджуючому сил;
 - середовище однорідне, без фазових переходів в інше форму;
 - збуджуючі коливання мають гармонійний характер;
 окремі хвильові процеси поєднуються за принципом суперпозиції.
 Як зазначалося в роботах науковців, наявність цих припущень мало впливає на погіршення точності розрахунків.

Для декартового акустичного простору рис. 2.5 підлягає аналізу рівнянням

Гемгольця для гармонійних хвиль:

$$\frac{d^2 \hat{p}}{dx^2} + \frac{d^2 \hat{p}}{dy^2} + \frac{d^2 \hat{p}}{dz^2} + k^2 \hat{p} = 0, \quad (2.1)$$

де \hat{p} – комплексна амплітуда звукового тиску, яка залежить від положення точки,

$k = \omega/c$ – акустичне хвильове число (ω – кутова частота коливань, c – швидкість звуку).

На жорстких стінках для нормального градієнта звукового тиску граничні

умови мають вигляд:

$$\frac{d\hat{p}}{dx} = 0 \text{ при } x = \begin{cases} 0 \\ 1_x \end{cases}$$

$$\frac{d\hat{p}}{dy} = 0 \text{ при } y = \begin{cases} 0 \\ 1_y \end{cases}, \quad (2.2)$$

$$\frac{d\hat{p}}{dz} = 0 \text{ при } z = \begin{cases} 0 \\ 1_z \end{cases}$$

Відмітимо, що оскільки:

$$\hat{p}(x, y, z, t) = p_x(x) p_y(y) p_z(z) e^{j\omega t}, \quad (2.3)$$

тоді рівняння (3.1) після поділу на ррриймає вигляд:

$$\frac{1}{p_x(x)} \frac{d^2 p_x(x)}{dx^2} + \frac{1}{p_y(y)} \frac{d^2 p_y(y)}{dy^2} + \frac{1}{p_z(z)} \frac{d^2 p_z(z)}{dz^2} + k^2 = 0, \quad (2.4)$$

Визначимо, що: $k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = k^2$

А після послідовного прирівнювання членів (3.4) до $-k_x^2, -k_y^2, -k_z^2$ отримаємо:

$$\frac{d^2 p_x(x)}{dx^2} + k_x^2 p_x(x) = 0$$

$$\frac{d^2 p_y(y)}{dy^2} + k_y^2 p_y(y) = 0,$$

$$\frac{d^2 p_z(z)}{dz^2} + k_z^2 p_z(z) = 0$$

$$(2.5)$$

Таким чином, рівняння (2.1) було розділено на три однокоординатні рівняння, що мають власне рішення як:

$$p_x(x) = Ae^{-jk_x x} + Be^{jk_x x}$$

$$p_y(y) = Ce^{-jk_y y} + De^{jk_y y}, \quad (2.6)$$

$$p_z(z) = Fe^{-jk_z z} + Fe^{jk_z z}$$

Відповідно, загальне рішення (3.1) пропонується як:

$$\hat{p} = (Ae^{-jk_x x} + Be^{jk_x x}) (Ce^{-jk_y y} + De^{jk_y y}) (Fe^{-jk_z z} + Fe^{jk_z z}) e^{j\omega t}, \quad (2.7)$$

Оскільки враховуються граничні умови (3.2), за $x = 0, y = 0, z = 0$ маємо $A = B, C = D, E = F$.

А тоді:

$$p_x(x) = 2A \cos(k_x x)$$

$$p_y(y) = 2A \cos(k_y y),$$

$$p_z(z) = 2A \cos(k_z z)$$

(2.8)

Граничні умови $x = l_x, y = l_y, z = l_z$ (згідно з малюнком 19 l_x, l_y, l_z відповідають L_x, L_y, L_z , виконуються для:

$$k_x l_x = n_x \pi$$

$$k_y l_y = n_y \pi,$$

$$k_z l_z = n_z \pi$$

(2.9)

за умови, що n_x, n_y, n_z – цілі числа, а k_x, k_y, k_z – дискретні значення. Тоді звуковий тиск:

$$\psi_N(x, y, z) = \Lambda_N \cos\left(\frac{n_x \pi x}{l_x}\right) \cos\left(\frac{n_y \pi y}{l_y}\right) \cos\left(\frac{n_z \pi z}{l_z}\right),$$

(2.10)

$$\Lambda_N = \sqrt{\epsilon_{n_x} \epsilon_{n_y} \epsilon_{n_z}}$$

де N – коефіцієнт, а $\epsilon_0 = 1, \epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3 \dots = 2$. Відповідно,

$$\hat{p}(x, y, z, t) = \sum_N A_N \psi_N(x, y, z, t) e^{j\omega t},$$

(2.11)

Причому N – це цілі числа n_x, n_y, n_z .

$$\sum_N = \sum_{n_x=0}^{\infty} \cdot \sum_{n_y=0}^{\infty} \cdot \sum_{n_z=0}^{\infty},$$

(2.12)

Об'єднавши (2.10) та (2.11), отримаємо рішення для власних частот акустичного простору (Рис. 2.5).

$$\psi_N = k_N c = c \left[\cos\left(\frac{n_x \pi}{L_x}\right)^2 \cos\left(\frac{n_y \pi}{L_y}\right)^2 \cos\left(\frac{n_z \pi}{L_z}\right)^2 \right]^{1/2},$$

(2.13)

Системи рівнянь досить громіздкі, тому важливим є організація перетворень матриць до S – діагональних, хоча в основному матриці коефіцієнтів

такими є (всі коефіцієнти, крім діагональних, є нулі). Подальше обчислення дещо спрощується тому, що при обчисленні нулі не враховуються. Як зазначалося раніше, для елементів моделі МКЕ використовуються поліноми як апроксимаційних функцій.

Для випадку за формулою виправданим буде застосування інтерполяційного полінома:

$$\varphi^{(e)} = N\Phi = \begin{pmatrix} N_1^{(e)} & N_2^{(e)} & \dots & N_n^{(e)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \dots \\ \varphi_n \end{pmatrix}, \quad (2.14)$$

де n – число елементів, а e – індекс елемента

Крім того, оскільки має місце опис модальних векторів, порядок буде збільшено. Як уже зазначалося для більш точного та коректного поділу простору на елементи доцільно використовувати геометрію тетраедрів. Скористаємося для нашого дослідження вибором тетраедрів в якості кінцевого елемента. Орієнтуючись на рис. 2.4, розглянемо утворення поверхневого ансамблю з базових площин, наприклад, 5 тетраедрів (рис. 2.6). Вузли $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_6$ – це ступеня свободи з відомими координатами. Після перетворень отримаємо:

$$\begin{aligned} \varphi^{(1)} &= N_1^{(1)}\varphi_2 + N_3^{(1)}\varphi_3 + N_1^{(1)}\varphi_4 \\ \varphi^{(2)} &= N_2^{(2)}\varphi_3 + N_2^{(2)}\varphi_2 + N_4^{(2)}\varphi_4 \\ \varphi^{(3)} &= N_2^{(3)}\varphi_5 + N_3^{(3)}\varphi_3 + N_4^{(3)}\varphi_4, \\ \varphi^{(4)} &= N_2^{(4)}\varphi_6 + N_3^{(4)}\varphi_3 + N_5^{(4)}\varphi_5 \\ \varphi^{(5)} &= N_1^{(5)}\varphi_1 + N_3^{(5)}\varphi_3 + N_6^{(5)}\varphi_6 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Тобто, за допомогою (2.15) формується сегмент (рис. 2.6), а інтерполяційні функції отримують номери вузлів і їх координати. У матричній формі особливості сегмента (рис. 2.6) визначаються так:

$$\begin{pmatrix} \varphi^{(1)} \\ \varphi^{(2)} \\ \varphi^{(3)} \\ \varphi^{(4)} \\ \varphi^{(5)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_1^{(1)} & N_2^{(1)} & N_3^{(1)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & N_2^{(2)} & N_3^{(2)} & N_4^{(2)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_3^{(3)} & N_4^{(3)} & N_5^{(3)} & 0 \\ 0 & 0 & N_3^{(4)} & 0 & N_5^{(4)} & N_6^{(4)} \\ N_1^{(5)} & 0 & N_3^{(5)} & 0 & 0 & N_6^{(5)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \\ \varphi_5 \end{pmatrix}, \quad (2.16)$$

Далі проводиться натурна перевірка ефективності МКЕ за допомогою спеціальної камери.

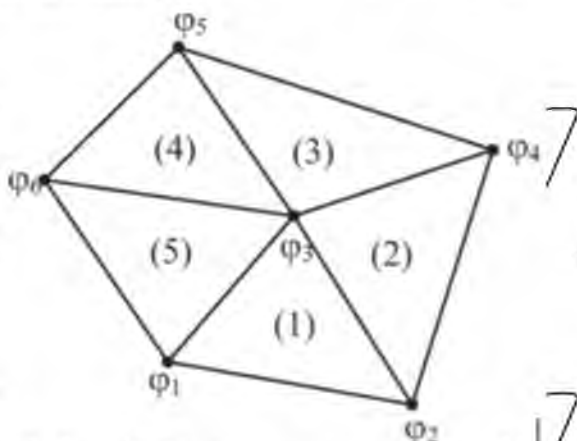


Рис. 2.6 – Сегмент, утворений базовими площинами 5 кінцевих елементів (тетраедрів)

Для проведення натурних експериментів була виготовлено відповідну конструкцію Sound Brick (рис. 2.7), яка приблизно моделює акустичний простір кабінки.

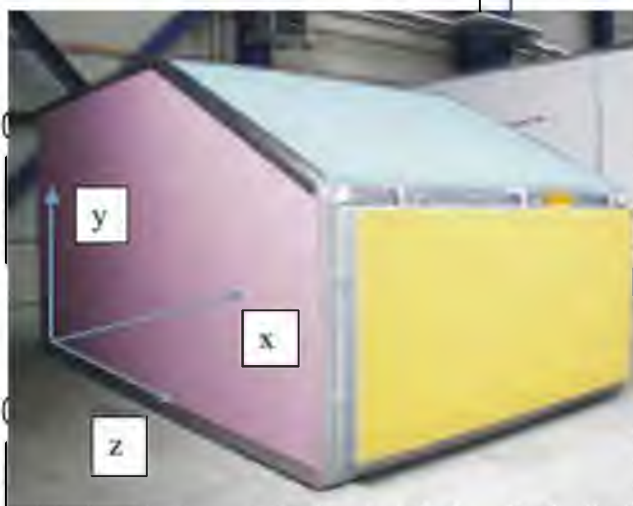


Рис. 2.7 – Камера Sound Brick

Стінки виконані з бетону для забезпечення жорстких граничних умов. Конструкція має такі розміри $L_x = 3$ м, $L_y = 1.4$ м та $L_z = 1.7$ м.

Гучномовець, який вбудований у протилежну стінку від площини YOX (рис. 2.8), випромінює акустичну хвилю майже як теоретично точкове джерело в діапазоні частот 50-500 Гц. Його координати $L_x = 0.21$ м, $L_y = 1.28$ м та $L_z = 1.7$ м.



Рис. 2.8 – Гучномовець у камері Sound Brick моделює точкове джерело звуку

Крапка вимірювання знаходиться в координаті $r = (x, y, z) = (1.34, 0.80, 0.48)$ м. Враховано поправки на поглинання звуку, рівень звукового тиску джерела (одночно, зазначеної коливальної швидкості на протилежній площині 1 м/с) відповідає стандартного значення 94 дБ.

Натурний експеримент по даним підтвердив збіг вимірних (рис. 2.9) та розрахункових за допомогою МКЕ показників акустичного поля в діапазоні 50 – 250 Гц (рис. 2.10), у частотах 250 – 500 Гц є розбіжності, але пікові значення легко визначаються (рис. 2.11).

Тобто відтворення акустичного поля моделюванням за допомогою камери типу Sound Brick достатня.

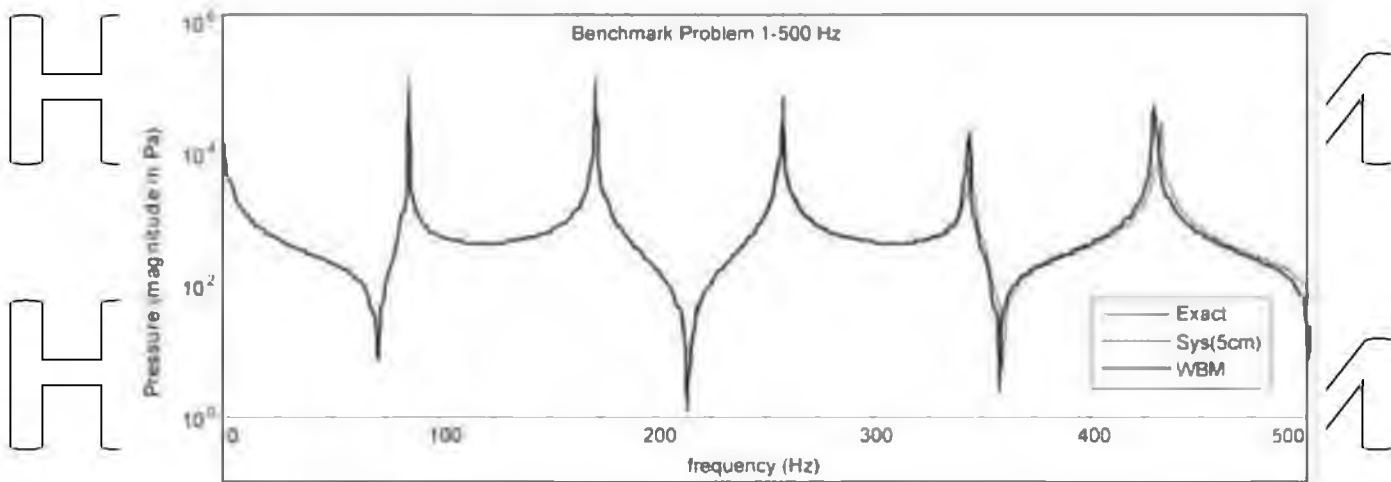


Рис. 2.9 – Результати вимірювання звукового тиску

По осі абсцис – частота Гц, по осі ординат – тиск в Па

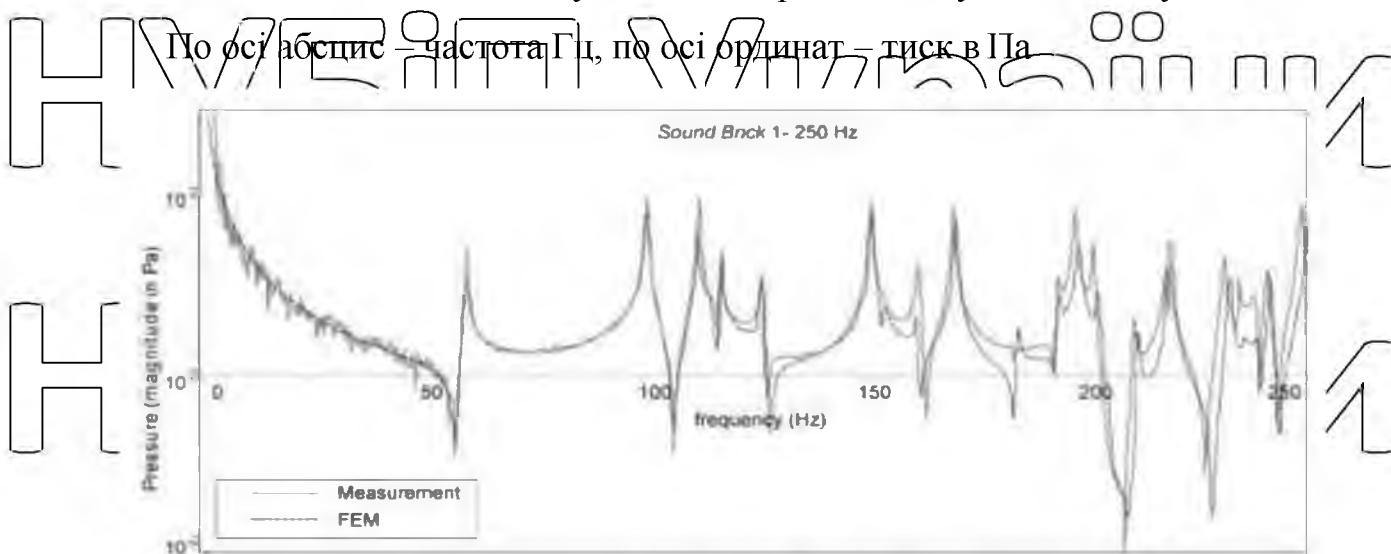


Рис. 2.10 – Результати вимірювання та розрахунку звукового тиску в діапазоні 0 – 250 Гц. По осі абсцис – частота Гц, по осі ординат – тиск в Па

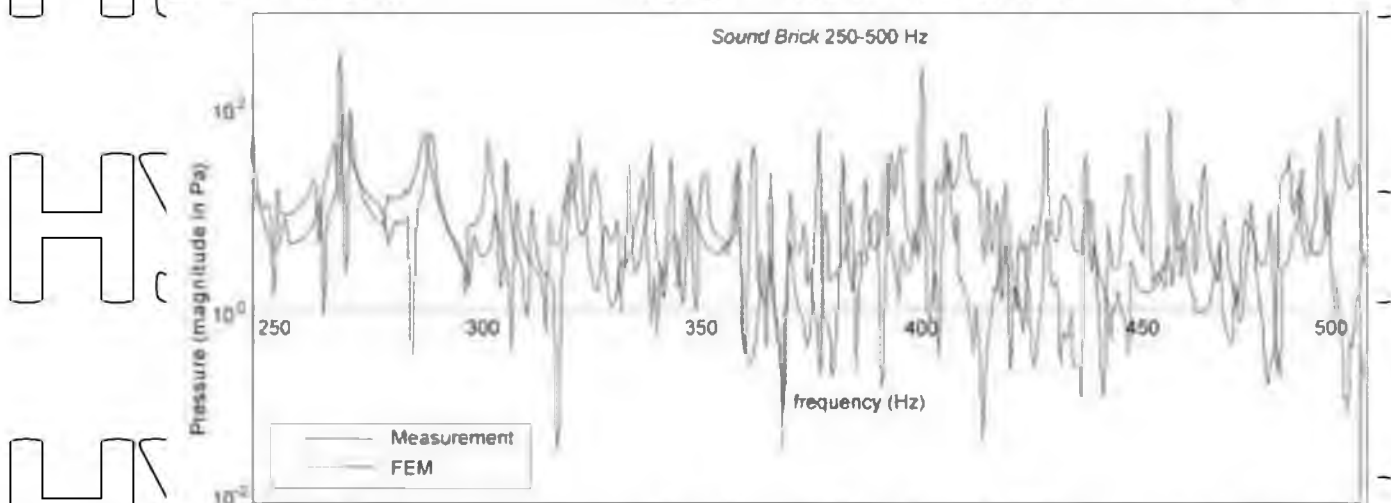


Рис. 2.11 – Результати вимірювання та розрахунку звукового тиску в діапазоні 250 – 500 Гц. По осі абсцис – частота в Гц, по осі ординат – тиск в Па

З метою подальших досліджень було здійснено вибір програмного забезпечення та моделі для побудови акустичного поля за допомогою МКЕ.

Серед відомого програмного забезпечення МКЕ (NX Nastran, ABAQUS, ANSYS, COMSOL Multiphysics) найбільш придатним для використання у нашому дослідженні є спеціалізованим пакетом в COMSOL Multiphysics, а саме – COMSOL Acoustics Module (COMSOL Акустичний модуль).

Цей пакет забезпечує проведення досліджень акустичного поля з наведеним вище припущенням згідно шляхи рішення системи рівнянь на базі (2.1).

Позитивом COMSOL Acoustics Module є наявність бібліотеки моделей, яка дає можливість змінювати вхідні параметри використовувати апробовану у подібних випадках модель. Модель Car Interior була побудована за результатами досліджень на виробувальному стенді Sound Brick. Важливою особливістю моделі Car Interior є можливість зміни геометричних розмірів та випробувальних частот при моделюванні. За описом моделі, що знаходиться у вбудованій бібліотеці COMSOL Acoustics Module зазначений базовий підхід МКЕ на основі рівняння Гемгольца (рівняння 2.1). Зазначимо, що Car Interior, у свою чергу базується на дослідженнях камери Sound Brick за розмірами $L_x = 3$ м, $L_y = 1.4$ м та $L_z = 1.7$ м.

У програмі COMSOL Multiphysics модель Car Interior знаходиться на шляху: Acoustics Module/Industrial_Models/car_interior. Вихідним результатом застосування моделі Car Interior є побудова із поверхонь звукового тиску в залежності від частоти. Відповідно до [69;70] із поверхні можуть бути відтворені в моделі в діапазоні до 1133 Гц, але в діапазоні 500 – 1133 Гц похибка збільшується. Розглянемо простір моделей як наближене до паралелепіпеда (рис. 2.12).

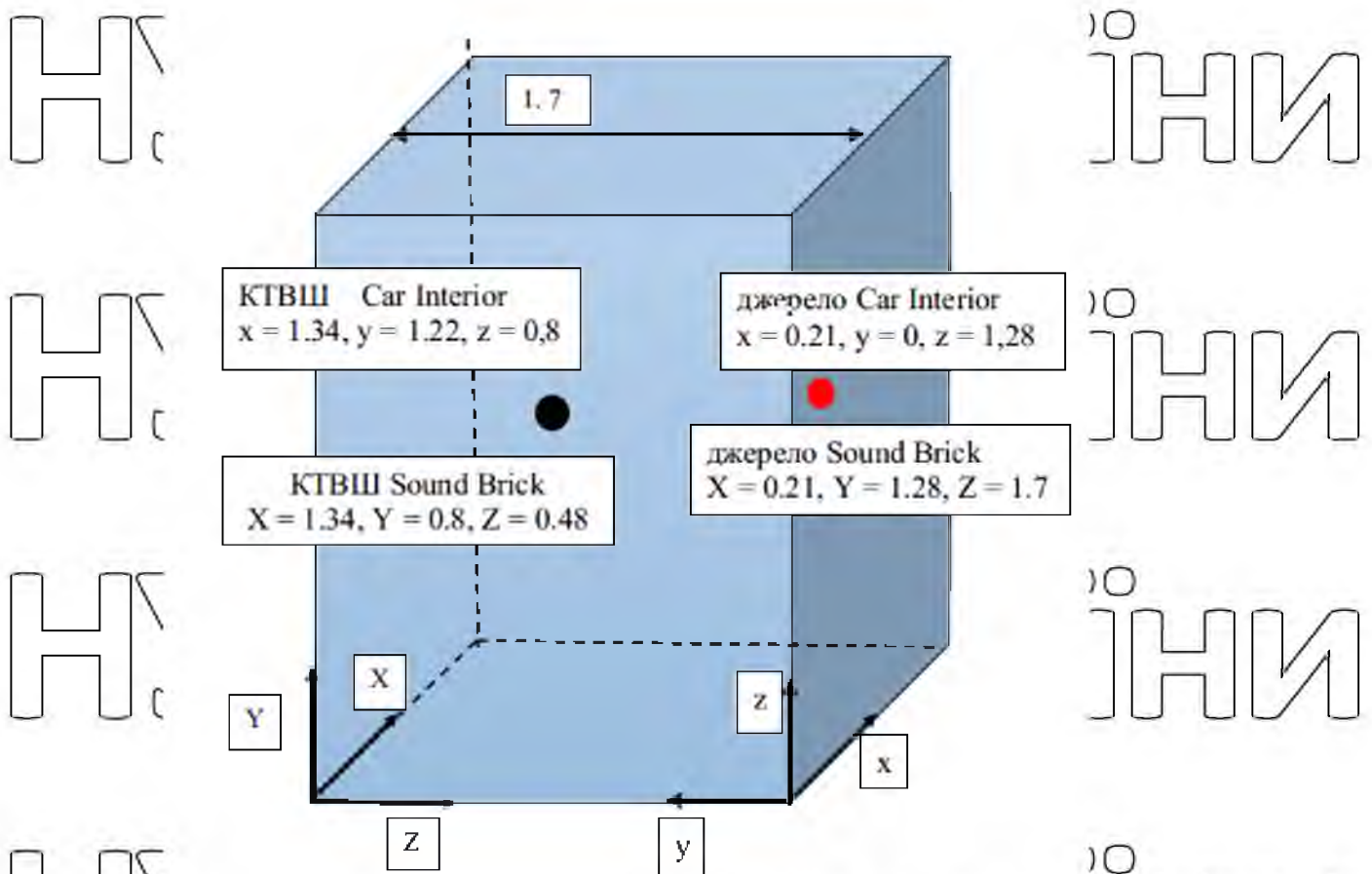


Рис. 2. 12 – Відповідність моделей при $L_x(k) = 3 \text{ м}$, $L_y(l_2) = 1.4 \text{ м}$, $L_z(l_3) = 1.7 \text{ м}$ Car Interior $V(x, y, z)$ та Sound Brick $V(X, Y, Z)$ щодо розмірів та розташування джерел звуку та контрольної точки вимірювання звуку КТВШ

Зазначимо: КТВШ – контрольна точка вимірювання шуму, а джерело шуму знаходиться на площині конструкції кабіни, що дозволяє відтворювати шуми структурного (через конструкцію) походження.

Car Interior має систему координат відмінну від Sound Brick, але при суміщенні точок виміру джерел звуку рис. 2.12 очевидно збіг місцезнаходження КТВШ та джерел. Акустичне простір Car Interior $V(x, y, z)$ містить КТВШ з координатами $x = 1.34 \text{ м}$, $y = 1.22 \text{ м}$, $z = 0.8 \text{ м}$ і джерелом звуку з координатами $x = 0.21 \text{ м}$, $y = 0 \text{ м}$, $z = 1.28 \text{ м}$. Змінивши кут спостереження (поворот на 90 градусів) відтворюємо акустичне місце моделі Car Interior по рис. 2.13.

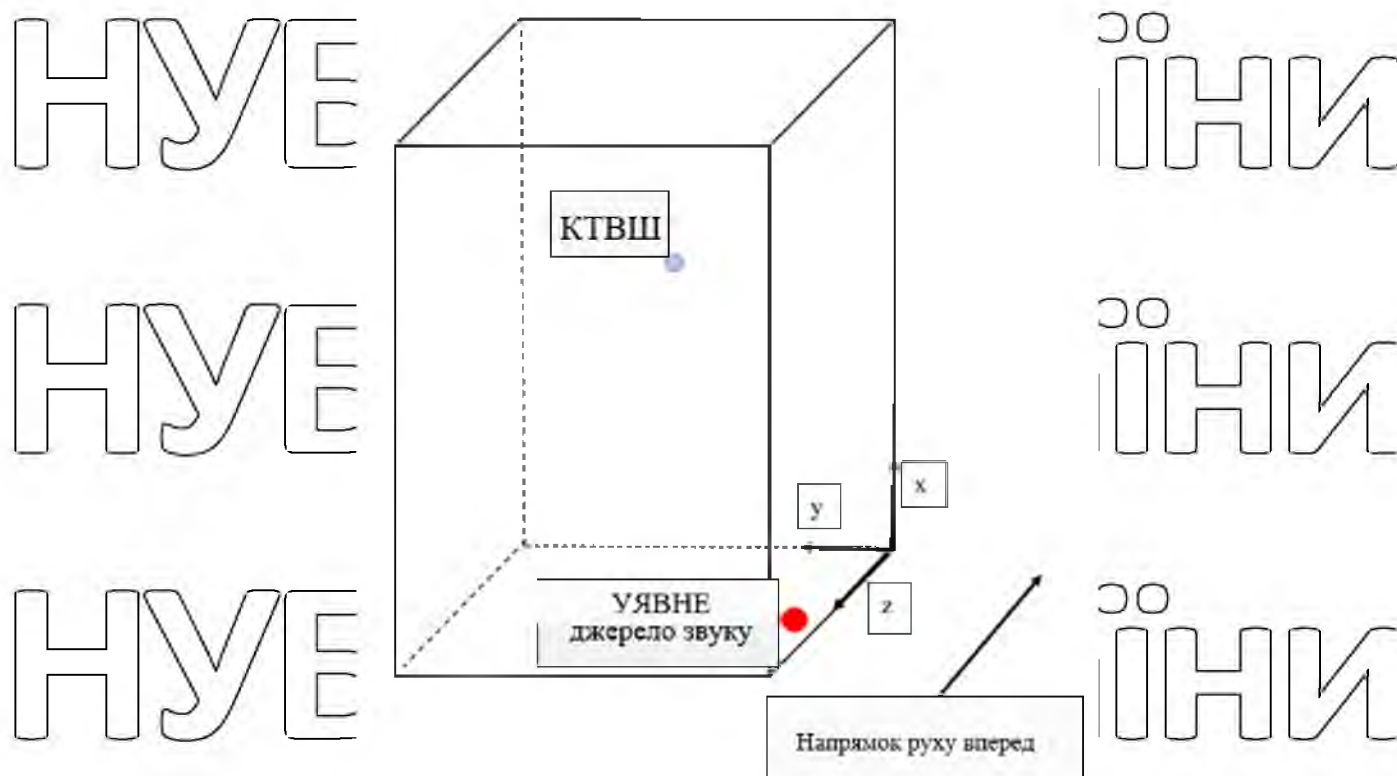


Рис. 2.13 – Акустичне місце моделі Car Interior після перетворень

При вказаному напрямку руху джерело звуку знаходиться поблизу нижнього заднього кута.

Далі знадобилося визначення відповідності акустичного простору кабіни комбайна моделі Car Interior пакету Acoustics Модулі.

Скористаємося для подальшого розгляду наступним аналізом геометричного простору кабіни комбайна КЗС-9-1 «Славутич» (рис. 2.14) згідно «КОМБАЙН ЗЕРНОПРИБИРНИЙ КЗС-9-1 «Славутич». Інструкція з монтажу,

пуску, регулюванню і обкатці Зазначимо, що згідно з конструкцією комбайна

КЗС-9-1 «Славутич» (рис. 2.14) основні потоки звукової енергії W_{zv} надходять в кабіну з напрямів позаду і знизу, а сама кабіна об'єднана з основною конструкцією.



Рис. 2.14 – Основні потоки звукової енергії (показані стрілками) у працюючого комбайна КЗС-9-1 «Славутич», спрямовані на робоче місце оператора

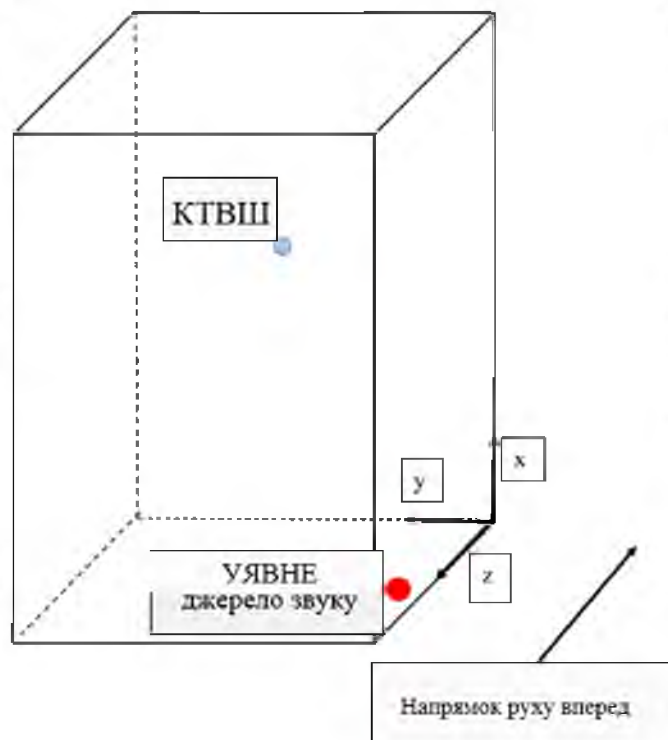


Рис. 2.15 – КТВШ та уявне джерело звуку кабіни комбайну КЗС-9-1

«Славутич»

Тоді, розглядаючи внутрішній простір кабіни комбайна КЗС-9-1

«Славутич» як паралелепіпед $V = f(x, y, z)$ (за аналогією з рис. 2.5) встановимо, що джерело акустичного шуму знаходиться у напрямку за спиною комбайнера (рис. 2.15), біля нижнього правого тригранного кута, що відповідає конструкції комбайна на рис. 2.14 та акустичному простору моделі Car Interior після перетворень (Рис. 2.13). При цьому можна вважати джерело акустичного шуму уявним монополем.

Згідно з вимірами шумоміра найбільш акустично навантаженою є октавна смуга із середньгеометричною частотою 500 Гц, де у всіх вимірах спостерігається перевищення допустимого нормативу рівня звукового тиску.

Зупинимось на аналізі цієї лінії.

2.3. Розрахунки параметрів акустичного поля

За формулою (2.17) для випромінюваної акустичним монополем потужності поставимо наступні параметри:

$$J = \frac{1}{8\pi} \rho c k^2 |V|^2, \quad (2.17)$$

- $\rho = \rho_{\text{ho}}$, щільність повітря = 1.2 кгс/м³;

- $c = c_s$, швидкість звуку повітря = 343 м/с;

- f_0 , висока частота звуку = 710 Гц, визначає хвильове число $k = 2\pi f/c$;

- L , найменша довжина звукової хвилі = c_s/f_0 ;

- $|V|$, повне об'ємне усунення (продуктивність монополій) = S (Flow

source strength – Сила джерела потоку) = 10^{-5} [м³/с] = 10^{-5} м³/с.

Задамо геометрію акустичного простору (рис. 2.16):

- розміри кабіни комбайна $l_x = 1,68$ м, $l_y = 1,25$ м, $l_z = 1,28$ м;

- КТВШ має координати $x_0 = 1,14$ м, $y_0 = 0,375$ м, $z_0 = 0,85$ м.;

- джерело звуку має координати $x = 0,21$ м, $y = 0$ м, $z = 1,28$ м.

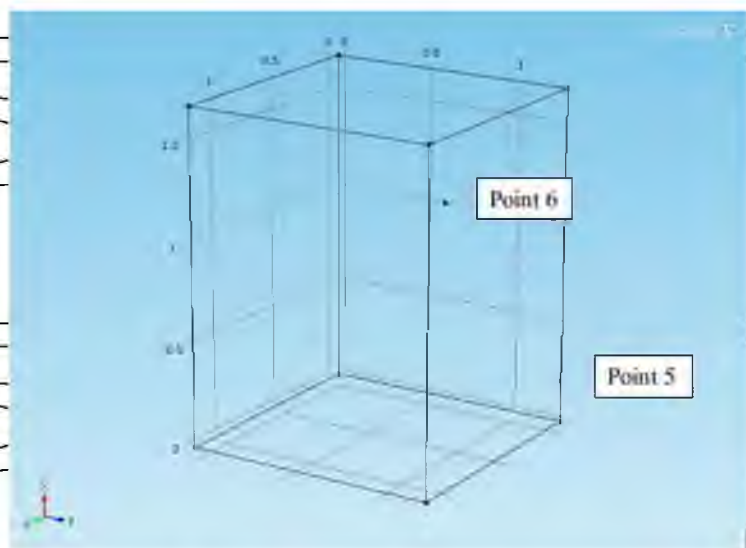


Рис. 2.16 – Геометрія акустичного простору з певними точками: Point 5 – джерело звуку (монополь), Point 6 – КТВЦ

Задамо геометрію кінцевого елемента (рис. 2.17) сітки – тетраедр з максимальним розміром = $L/6$ м, мінімальним розміром = 0,0302 м.

В результаті розрахунку простору встановлено:

- ❖ всього елементів – 49814 шт.;
- ❖ граничних елементів – 3 290 шт.;
- ❖ крайових елементів – 183 шт.

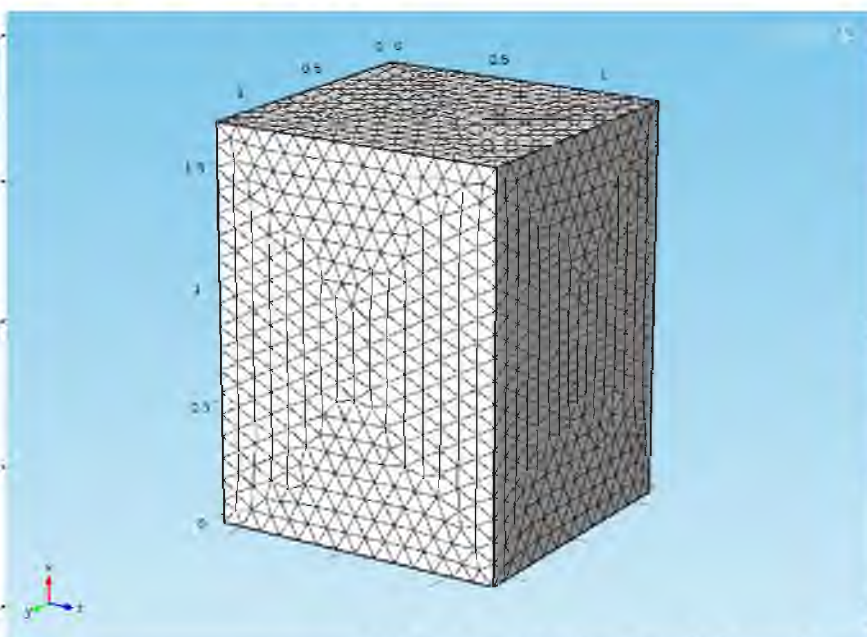


Рис. 2.17 – Акустичний простір із поділом на кінцеві тетраедри

Встановимо частотний діапазон для розрахунку (360-710 Гц, що приблизно відповідає октавній смузі зі середньгеометричної частотою 500 Гц), а також встановимо крок розрахунку = 35 Гц. Розрахуємо із поверхні акустичного простору кабіни (рис. 2.18).

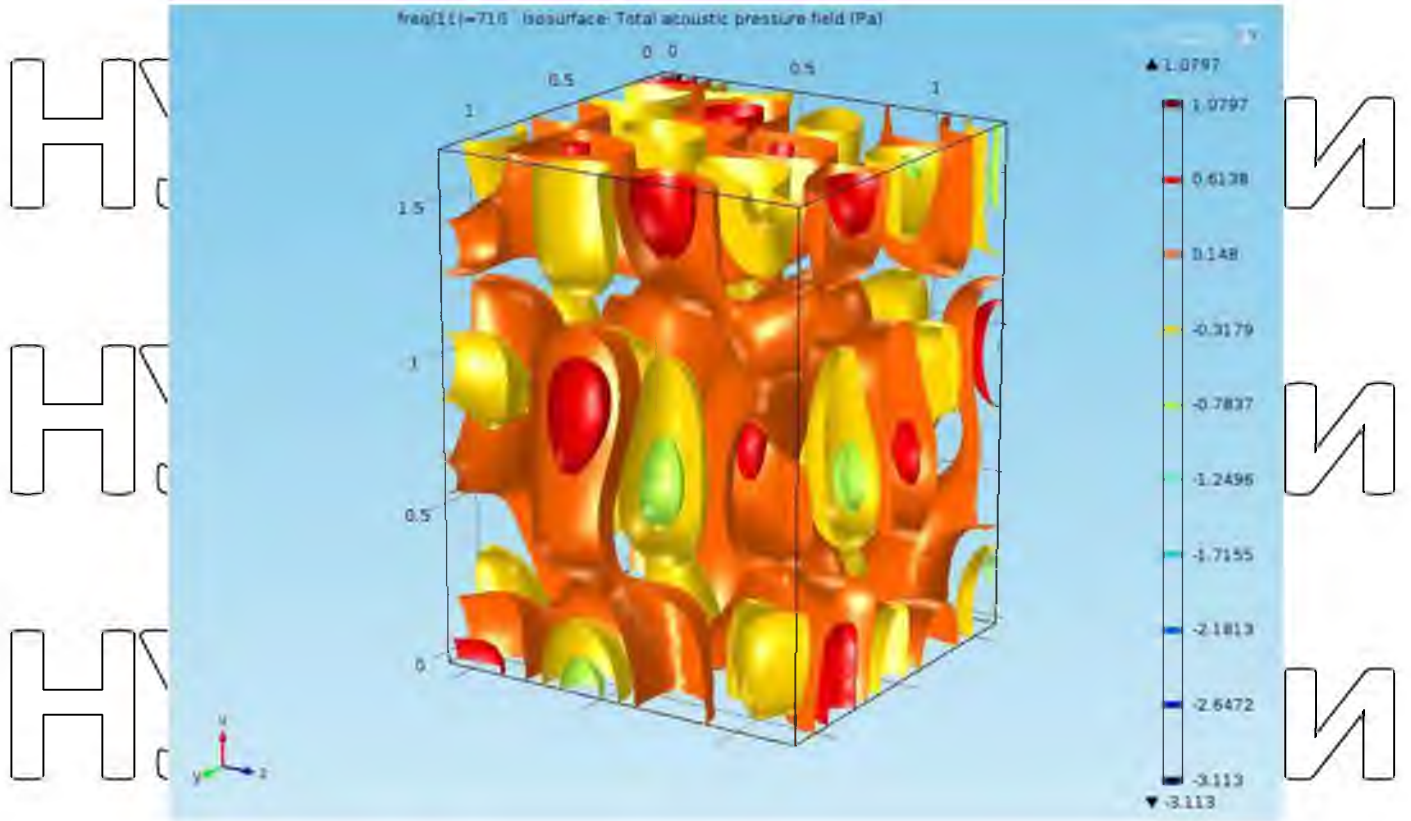


Рис. 2.18 – Ізоповерхня рівнів звукового тиску акустичного простору кабіни комбайна «КЗС-9-1 «Славутич». Показано тиск у Па, справа дана шкала інтенсивності звукового тиску

Побудуємо графік зміни рівня звукового тиску в октавній смузі (рис. 2.19).

Це дозволить визначити відповідність результатів моделювання експериментальним вимірюванням шумових характеристик у кабіні комбайна

Визначимо відповідність досліджуваної моделі за програмою COMSOL Multiphysics (модель Car Interior) результатів вимірювань шумоміром у кабіні комбайну.

Для цього обрахуємо рівень звукового тиску в октавній смузі і порівняємо його з наведеними значеннями згідно з режимами роботи комбайна R1-R6.

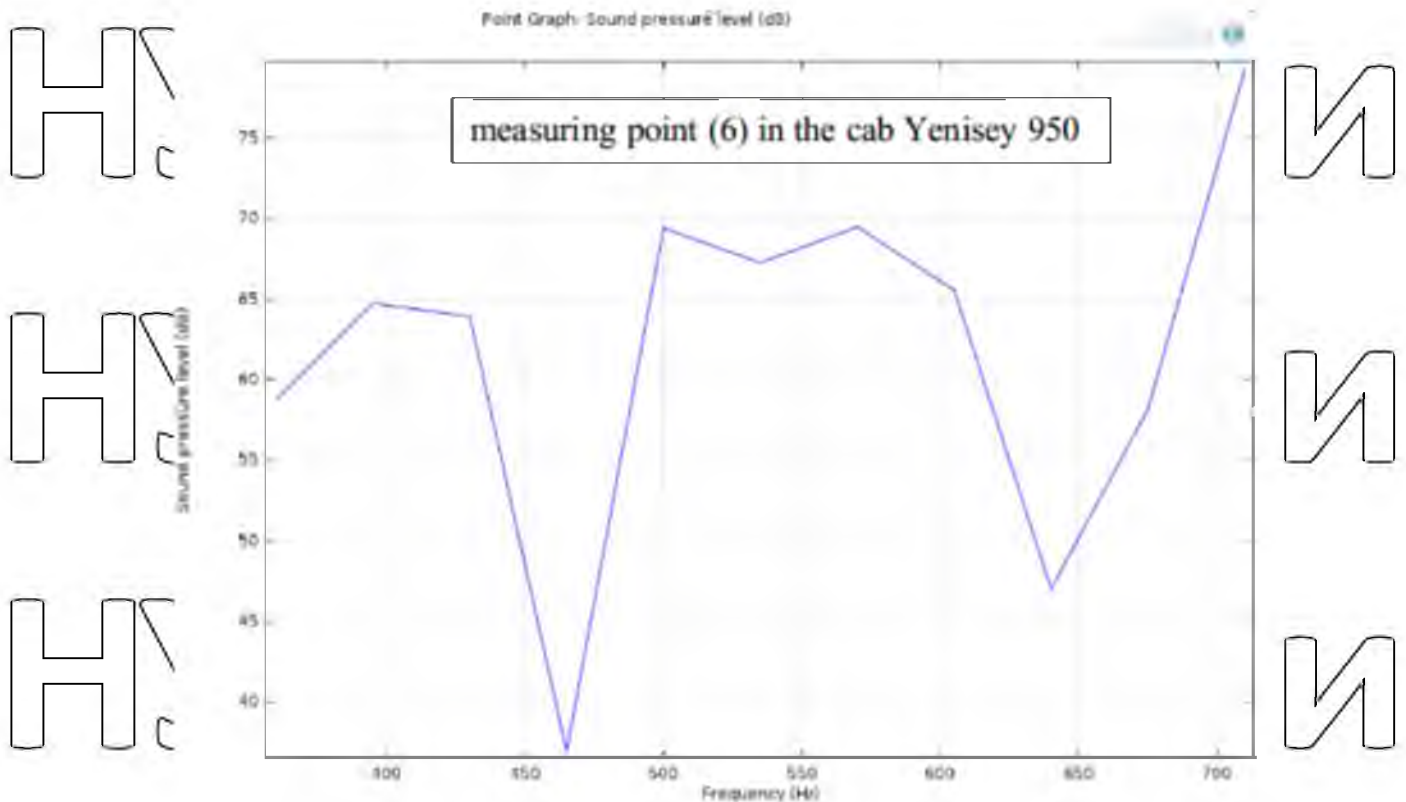


Рис. 2.19 – Графік зміни рівня звукового тиску в КТВШ кабіни комбайна КЗС-9-1 «Славутич» в октавній смужі із середньгеометричною частотою 500 Гц. Зліва – вісь ординат – шкала в дБ, вісь абсцис – шкала в дБ Гц

Зазначимо таке. У вибраній моделі програми COMSOL Multiphysics досліджуваній діапазон частот утворений сумою 10 відрізків (піддіапазонів). Такий піддіапазон є мінімальним дискретним значенням за певних умов розрахунку. То є, отримане розрахунковий значення на цьому піддіапазоні можна, можливо розглядати як результат розрахунку шляхом використання смугового фільтра із шириною пропускання 35 Гц. Для збіжності результатів такий фільтр має відповідати принципам розрахунку при використанні стандартних октавних та долеоктавних фільтрів. Тому отримане для піддіапазону значення рівня звукового тиску є результатом усереднень на цьому відріжку частоти. Оскільки графік рис. 2.19 утворений відрізками прямих ліній, для усереднень можуть бути використані крапка в початку відрізка (кроку розрахунку) та кінцева точка цього відрізка. При цьому обидва значення рівня звукового тиску враховуються як два виміри в одній точці для одного і того ж

значення частотної смуги. У надалі, для визначення рівня звукового тиску по всьому діапазоні (для всієї октавної смуги, розділеної кроками розрахунку) використовується стандартна формула логарифмічного додавання рівнів звукового тиску згідно з різними частотними смугами. Тобто відповідно до стандарту «ГОСТ 12.1.027 – 80. ССБТ. Шум. Визначення шумових характеристик джерел шуму в ревербераційному приміщенні. Технічний метод», обрахуємо середні значення рівнів звукового тиску у відповідних діапазонах, рівних кроку розрахунку (35 Гц). Методи визначення вібраційних та шумових характеристик» для розрахунку рівня звукового тиску у всій октавній смуги.

Визначимо середній рівень звукового тиску як:

$$L_{cp} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (10^{0.1 L_j}) \right), \quad (2.18)$$

де n – кількість вимірів у вибраному інтервалі частот; L_j – значення рівнів звукового тиску за вимірами, дБ

L_{cp} – середній – середнє значення рівня звукового тиску у вибраному інтервалі частот.

За аналогією з формулою 1 додатка 2 «ГОСТ 12.4.095 – 80 Машини сільськогосподарські самохідні. Методи визначення вібраційних та шумових характеристик» позначимо рівень звукового тиску в октавній смугі як:

$$L_{октавний} = 10 \log_{10} \left(\sum_{z=1}^m (10^{0.1 L_{серz}}) \right), \quad (2.19)$$

де – $L_{серz}$ – середнє значення рівня звукового у вибраному інтервалі частот відповідної октави;

m – кількість рівних інтервалів частот, на які розбита октава.

Тоді, октавна смуга із середньгеометричною частотою 500 Гц приблизно утворена сумою наступних інтервалів частот: (360 – 395) Гц, (395 – 430) Гц, (430 – 465) Гц, (465 – 500) Гц, (500 – 535) Гц, (535 – 570) Гц, (570 – 605) Гц, (605 – 640) Гц, (640 – 675) Гц, (675 – 710) Гц.

Відповідно, по даними графіка цим інтервалам відповідають наступні

пари рівнів звукового тиску:

A = (58,65); B = (65,64); C = (64,46); D = (46,69); Y = (69,67);
 F = (67,69); G = (69,66); H = (66,47); J = (47,58); K = (58,79)

Розрахунок проведемо у програмі SmathStudio.

Розрахунок рівня звукового тиску в октавній смузі з середньгеометричною частотою 500 Гц за даними моделі, відтвореної COMSOL Multiphysics (Рис. 2.20):

A:= (58 65) B:= (65 64) C:= (64 46) D:= (46 69) Y:= (69 79)
 F:= (67 69) G:= (69 66) H:= (66 47) I:= (47 58) K:= (58 79)
 a:= 1..2 b:= 1..2 c:= 1..2 d:= 1..2 y:= 1..2
 f:= 1..2 g:= 1..2 h:= 1..2 j:= 1..2 k:= 1..2

$$X_a = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{2} \cdot \sum_{z=1}^z (10^{a1 \cdot a_z}) \right)$$

$$X_b = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{2} \cdot \sum_{z=1}^z (10^{a1 \cdot b_z}) \right)$$

$$X_c = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{2} \cdot \sum_{z=1}^z (10^{a1 \cdot c_z}) \right)$$

$$X_d = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{2} \cdot \sum_{z=1}^z (10^{a1 \cdot d_z}) \right)$$

$$X_y = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{2} \cdot \sum_{z=1}^z (10^{a1 \cdot y_z}) \right)$$

$$X_f = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{2} \cdot \sum_{z=1}^z (10^{a1 \cdot f_z}) \right)$$

$$X_g = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{2} \cdot \sum_{z=1}^z (10^{a1 \cdot g_z}) \right)$$

$$X_h = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{2} \cdot \sum_{z=1}^z (10^{a1 \cdot h_z}) \right)$$

$$X_j = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{2} \cdot \sum_{z=1}^z (10^{a1 \cdot j_z}) \right)$$

$$X_k = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{2} \cdot \sum_{z=1}^z (10^{a1 \cdot k_z}) \right)$$

W:= (Xa Xb Xc Xd Xe Xf Xg Xh Xi Xk)

t:= 1..10

$$p := 10 \cdot \log_{10} \left(\sum_{z=1}^{10} (10^{a1 \cdot w_z}) \right)$$

p:= 78.5313

Рис. 2.20 – Розрахунок рівня звукового тиску на октавній смузі зі середньгеометричною частотою 500 Гц за даними моделі, створеною у COMSOL Multiphysics

Тобто, розрахований згідно з моделлю Car Interior рівень звукового тиску

для октавної смуги із середньгеометричною частотою 500 Гц (78.53 дБ)

практично збігається з виміром в акустичному режимі R2 (78.42 дБ). Це дає

підстави для обліку просторового розташування рівнів звукового тиску за рис.

2.18 та таблиця 2.1.

НУВБІП УКРАЇНИ

Таблиця 2.1 – Порівняння значень рівнів звукового тиску для октавної смуги із середньгеометричною частотою 500 Гц

Середньо-геометрична частота октавної смуги, Гц	Спосіб визначення	Рівень звукового тиску, дБ	Нормований рівень звукового тиску, дБ
500	за розрахунком у моделі Car Interior	78.53/3	78
	Режим R1 (швидкість барабана обмолоту 1090 об/хв., швидкість мотовила 18 про/хв.)	79.55	
	Режим R2 (швидкість барабана обмолоту 1090 об/хв., швидкість мотовила 36 про/хв.)	78.42	
	Режим R3 (швидкість барабана обмолоту 1090 об/хв., швидкість мотовила 46 про/хв.)	80.01	
	Режим R4 (швидкість барабана обмолоту 1240 об/хв., швидкість мотовила 18 про/хв.)	81.56	
	Режим R5 (швидкість барабана обмолоту 1240 об/хв., швидкість мотовила 36 про/хв.)	80.72	
500	Режим R6 (швидкість барабана обмолоту 1240 об/хв., швидкість мотовила 46 про/хв.)	81.79	78

Для адекватного програмного відтворення реального акустичного вимірювання необхідно враховувати спеціалізацію програмних пакетів не тільки щодо використовуваних математичних методів, а головне, за наявності прикладів (бібліотек) розв’язаних аналогічних задач акустичного напрямки.

Це дозволяє (як і в цьому дослідженні) знаходити рішення для просторового розміщення із поверхонь во всім досліджуваному акустичному просторі, а не тільки у обраній відповідно до стандарту контрольній точці.

Отже, дозволить максимально знижувати звукове тиск на органи слуху та організм оператора комбайну.

Таким чином, розрахований згідно з моделлю Car Interior рівень звукового тиску для октавної смуги із середньгеометричною частотою 500 Гц (78.53 дБ) практично збігається з виміром в акустичному режимі R2 (78.42 дБ).

3. ЗАГАЛЬНА ПРОГРАМА І МЕТОДИКА

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНОГО ПРОСТОРУ КАБІНИ

Як зазначалося за текстом, шляхом зіставлення скоригованих різниць рівнів звукового тиску, які визначаються за допомогою шумоміра та різниць рівнів звукозаписного тракту є можливість початкової оцінки змін акустичного поля щодо попереднього опорного вимірювання.

Особливістю є вимога необхідності максимально коректного за нормативами опорного дослідження шумових характеристик на вибраному об'єкті. То є, створення раціональної методики для оцінки акустичних параметрів передбачає:

- 1) точне відтворення вимог нормативних стандартів у опорне дослідження; 2) однозначне визначення максимально навантаженого акустичного режим для конкретної машини; 3) зіставлення скоригованих різниць (при застосуванні спеціальних плагінів) рівнів звукового тиску, отриманих за допомогою шумоміра та звукозаписного тракту під час опорного дослідження.

Тому є необхідність ґрунтовного аналізу існуючої нормативної бази (застосовуваних стандартів) у поєднанні з аналізом математичного забезпечення вимірювальних приладів (Шумоміри).

Крім цього, є необхідність встановлення жорсткої послідовності дій оператора шумоміра, тобто. наявність алгоритму із застосуванням адаптованого до умов експерименту способу відображення інформації

3.1. Обладнання акустичної лабораторії інформаційно – аналітичної мережі оперативного акустичного контролю

Завданням акустичної лабораторії є проведення коректних вимірів за відповідними стандартами (у разі вимірювань акустичних характеристик зернозбирального комбайна за нормативом), зупинимо свій вибір на наступній

конфігурації обладнання:

1) Інтегруючий шумомір Октава 110а, що відповідає вимогам:

ДСТУ 4242: 2003 «Вимірники рівня звуку. Загальні технічні вимоги»,

ГОСТ 17187-81 (клас 1), МЭК 60651/60804 та МЭК 61672-1.

Шумомір, обладнаний 1/1 та 1/3 – октавними фільтрами відповідно до ГОСТ 17168-82 та МЭК 61260, зазначений у реєстрі.

Шумомір Октава 110а обладнаний мікрофоном ВМК 205;

2) Приладдя для розташування шумоміра в контрольній точці

вимірювання шуму;

3) Лазерний вимірник дистанції LDM-100;

4) Тахометр АТ-6 призначений для безконтактного визначення частоти обертання різних об'єктів, що використовується на автосервісних підприємствах.

похибка: $\pm (0,05\% + 1 \text{ знак})$, що відповідає ГОСТ 21339: 2009;

5) Мікрофон виносний;

6) Ноутбук;

7) Персональний комп'ютер, підключений до мережі Wired LAN.

Основне програмне забезпечення: Report XL, SmathStudio 0.96, Comsol

Multiphysics 4.3, Audacity 2.0.3, Matlab R2012.

У нашому випадку знадобиться пункт мобільного контролю ІАС ОАК. Для обладнання пункту застосуємо:

1) Ноутбук Lenovo G550; 2) Модем Huawei; і виберемо мікрофон на основі

наступного аналізу.

Прийнятою практикою для точного відтворення акустичного сигналу та його характеристик передбачається застосування мікрофонів з високою

лінійністю амплітудно – частотних характеристик (АЧХ) у значному діапазоні частот. Так, наприклад, виправданим є використання вимірювальних мікрофонів,

Beyerdynamic MM 1 (нерівномірність АЧХ $\pm 1,5$ дБ), Meyer Sound DPA 4007

SIM Microphone (нерівномірність АЧХ $\pm 0,25$ дБ) і інших по джерелу. Цікавим

підходом є використання високоточного мікрофона USB RTA METER Pro із вбудованими АЦП (аналого – цифровий перетворювач) та USB інтерфейсом для

підключення до персонального комп'ютера. Особливість побудови USB RTA METER Pro (рис. 3.1) складається в наявності вбудованого АЦП, який замінює звукову карту, а відповідно є можливість прямого приєднання до комп'ютера.

Виробником заявлено також відсутність необхідності калібрування мікрофон.



Рис. 3.1 – Високоточний мікрофон USB RTA METER Pro

Але всі ці мікрофони мають високу ціну та вимагають певних називок використання, що є нецільним для обладнання пункту мобільного контролю.

Більше виправданим є підбір мікрофона, що широко використовується необхідними характеристиками у вузькому вибраному діапазоні частот. Вибір потрібного мікрофона для запису шуму в кабіні проведемо на підставі підбору локальної схеми подібності його параметрів із параметрами зразкового приладу – шумоміра Октава 110А. Оскільки особливості схеми шумоміра Октава 110А є інформацією виробника, скористаємося оцінкою параметрів відкритої технічної документації.

Зазначимо, що опорний рівень тиску шумоміру становить 94 дБ щодо порогового значення 20 мкПа. На цьому рівні для плоскої, ортогональної мембрани мікрофона акустичної хвилі частотою 1000 Гц, на характеристиці S (повільно) зазначена похибка $\pm 0,3$ дБА. Крім того, нерівномірність АЧХ шумоміра, обладнаного підсилювачем P-200 та мікрофоном ВМК-205 становить $\pm 2,0$ дБ. Таким чином, вибираючи певний тип мікрофону і звукову плату ПК в якості тракту запису шуму в кабіні комбайна, треба врахувати наступне:

1) Вхідний номінальний рівень SPL, на якому виробник тестує свою модель мікрофона повинен відповідати опорному рівню шумоміра Октава 110А, тобто дорівнювати 94 дБ. Це визначено за стандартами (IEC 60268-4) величиною. На цьому значенні тиску (1Па) визначається чутливість мікрофона, як правило, у

мВ, іноді в мінусовій шкалою дБ щодо 1 Вольта. Цей рівень обирається по 0 дБ електроакустичного тракту.

2) У вибраному діапазоні частот максимальною акустичною енергією, відстаней від точки вимірювання, що мають місце під час роботи шумоміром у кабіні машини, частотна характеристика (ЧХ) мікрофона має бути лінійною. Є бажано, щоб нерівномірність ЧХ мікрофона не перевищувала максимальної суми похибки вимірювання та нерівномірності АЧХ шумоміра.

3) Оскільки акустичне поле в кабіні, очевидно, матиме модальний характер, то для запису звуку у вузлах стоячої хвилі мікрофон повинен бути приймачем, який реагує на характеристики звукового тиску.

Цим вимогам у діапазоні частот 400 - 1 200 Гц (на відстані від точки виміру від 10 до 100 см), в діапазоні рівня звукового тиску наближеному до 94 дБА відповідає мікрофон Beyerdynamic OPUS 39 S з технічними характеристиками за джерелом:

Тип: динамічний;

Операційний принцип: градієнт тиску; Частотний діапазон 50 - 16000 Гц;

Частотний діапазон (на відстані 1 метр): 100 - 14000 Гц;

Спрямованість: суперкардіоїда;

Чутливість (для розімкнутого ланцюга) на частоті 1000 Гц становить 2.4 мВ/Па. Це приблизно дорівнює - 52,5 дБ відносно опорного 1 вольта.

Нерівномірність ЧХ становить до +/- 2.5 дБ для рівня тиску 94 дБ (рис. 3.2).

FREQUENCY RESPONSE & POLAR PATTERN

This polar pattern and frequency response curve (measuring distance ± 2.5 dB) correspond to a typical production sample for this microphone.

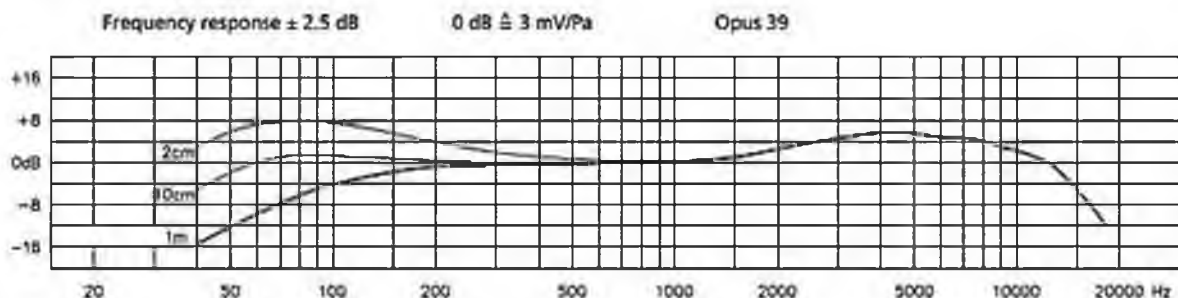


Рис. 3.2 – ЧХ мікрофону Beyerdynamic OPUS 39 S

Мікрофон відноситься до направлених, оскільки вимірювання в куті +/- 67

градусів від осі передній півсфери має більше 20 дБ перевага над іншими напрямками звуку, тобто може бути використаний також для приблизної оцінки напрямки звуку (рис. 3.3). Таким чином, за локальних умов використання мікрофона Beyerdynamic OPUS 39 S, є можливість побудови звукозаписуючого тракту для відтворення реальних (обчислених по вимірам шумоміра Октава 110А) різниць Δ (дБА) в вигляді Δ дБ програмного забезпечення електроакустичного тракту запису звуку. При цьому в комп'ютері використовується звукова карта побутового рівня.

Richtdiagramm / Polar pattern / Diagramme de directivité

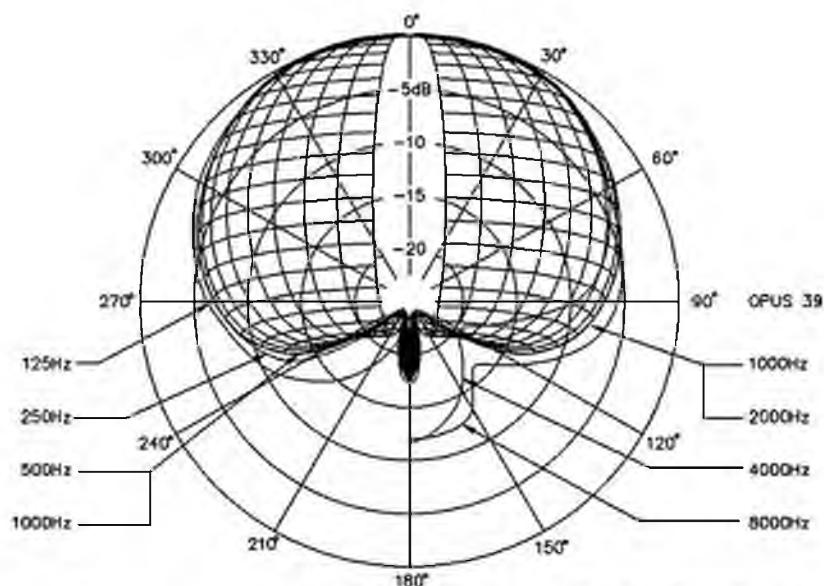


Рис. 3.3 — Спрямованість (суперкардіоїда) мікрофону Beyerdynamic OPUS 39 S.

Тобто є можливість приблизно отримати енергетичний спектр акустичного сигналу в кабіні комбайна за даними звукового файлу мультимедіа, наприклад, за допомогою відомої програми Audacity 2.0.3.

Таким чином, використовуючи найпоширеніші пристрої для акустичної лабораторії та пункту мобільного контролю можна підбором параметрів та граничних умов застосування — визначити необхідну конфігурацію обладнання. А проведення оцінки провайдерів за певними критеріями відбору дозволяє

підібрати найбільш ефективну технологію. Інтернет – доступу до конкретної території застосування.

НУБІП України

3.2. Відповідність стандартам шумомірів особливостям фізіології слуху при формуванні тимчасових характеристик під час вимірювань

НУБІП України

Згідно зі схемою 3 стандарту «ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки» оцінці підлягають рівень звуку L , дБА та еквівалентний рівень звуку $L_{екв}$, дБА. Перевищення рівнів вимагає заходів щодо зниження рівня шуму, а за п. 3.2 позначення знаками безпеки.

НУБІП України

Відповідно до п.16 таблиці, яка наведена у п. 2.3 цього ж стандарту визначено допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях з корекцією за частотною характеристикою А.

НУБІП України

Для робочих місць водіїв самохідних сільськогосподарських машин (до яких відносяться зернозбиральні комбайни) встановлені такі верхні межі (таблиця 3.1).

НУБІП України

Ці норми побудовані на принципі граничних для фізіології людини енергетичних спектрів, а відповідно – гранично допустимих рівнів звукового тиску в октавних смугах частот.

Таблиця 3.1 – Акустичні параметри, які підлягають контролю у кабіні комбайна

Рівні звукового тиску, дБ у октавних смугах із середньгеометричними частотами в Гц									Еквівалентний рівень звуку, дБА
31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

НУБІП України

Тобто, вимірювання за октавними смугами підлягають рівні звукового тиску.

НУБІП України

$$L = 20 \lg \frac{P_x}{P_0} \quad (3.1)$$

де L – рівень звукового тиску в децибелах (ДБ);

P_x – вимірюваний звуковий тиск, Па;

P_0 – найнижча межа звукового тиску (порог чутності для звукового) сигналу

1000 Гц); $P_0 = 20 \cdot 10^{-6}$ Па.

Побудова схеми шумоміра Октава 110А дозволяє провести розрахунок за аналогічною формулою

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right), \quad (3.2)$$

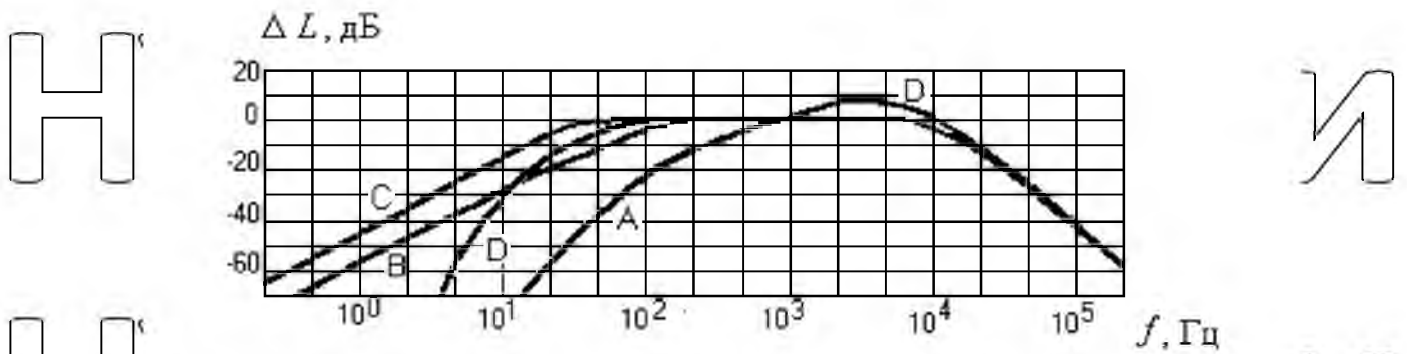
де p – звукове тиск;

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па – опорний рівень.

Вимірювання відносної величини L на базі окресленого в математичному апарат значення $p = f(x, y, z, t)$ пов'язано з тим, що пристрій вуха людини орієнтовано на логарифмічну шкалу сприйняття широкого динамічного діапазону звуків довкілля. Тому нормуванню підлягає не абсолютне значення p , яке відображення для логарифмічної шкали щодо початкового опорного значення p_0 . Оскільки p , p_0 , \lg однозначно поєднуються формулою (3.2), доцільно нормувати параметр L , с допомогою якого є можливість відзначити положення точки вимірювання динамічний діапазон слуху людини.

За наявності значення p (звуковий тиск у відповідній координаті акустичного поля в певний час), отриманого в результаті математичних розрахунків, завжди можна, можливо обчислити L (рівень звукового тиску щодо порогового значення в 20 мкПа. Тобто побудова із поверхонь звукового тиску за допомогою, наприклад, програми *Comsol Multiphysics* надає можливість обчислення рівня звуку L у вибраній точці акустичного простору кабіни.

Також зазначимо, що згідно з фізіологічними дослідженнями слухового апарату людини чутливість слуху до гучності звукового сигналу погіршується з пониженням частоти (рис. 3.4).



А – характеристика, яка у низькому та середньому динамічному діапазоні наближається до частотної характеристики до чутливості людського вуха,

В, С, D – характеристики, що використовуються при вимірі гучних звуків.

Рис. 3.4 – Стандарти частотні характеристики

У шумомірі Октава 110А, як найпоширеніші для практичного використання, застосовуються характеристики А та З.

Оскільки йдеться про безпеку життєдіяльності, треба наблизити результати об'єктивних вимірювань рівнів звукового тиску за формулами (3.1) та (3.2) шляхом запровадження поправок на фізіологію слуху.

То є рівні звуку в октавних смугах програмно коригуються шумоміром за формулою:

$$L_{pA} = L_{pi} + DL_{Ai}, \quad (3.3)$$

де L_{pi} – рівень тиску в октавній смузі за формулою (3.2),

DL_{Ai} – корекція (поправка на гучність) за характеристикою А (таблиця 4).

Поправки DL_{Ai} стандартизовані у міжнародному масштабі.

Зазначимо, що формула (3.3) аналогічна формулі (2) програми 2 стандарту ГОСТ 12.4 (95-80 «Машини сільськогосподарські самосідні. Методи визначення вібраційних та шумових характеристик»).

По таблиці 8 зазначимо, що з частоти 31.5 Гц є розбіжність поправки для вимірювання шумоміром та розрахунку за стандартом на 0, 1 дБА.

Але оскільки виправлення DL_{Ai} для вимірювання шумоміром рівня звуку дБА повністю збігаються з чинним в Україні стандартом («ГОСТ 17187-81 (СТ

РЕВ 1351-78) Шумоміри. Загальні технічні вимоги та методи випробувань»), на який посилається ГОСТ 12.4.095 – 80, вимірювання за допомогою шумоміра Октава 110А вірні.

Таблиця 3.2 – Порівняння частотної поправки на гучність DL_{Ai} програмного забезпечення шумоміра Октава 110А та значень K_{Ai}

Частота, Гц	Корекція K_{Ai} , дБ	Корекція DL_{Ai} , дБ
31.5	- 39.5	-39.4
63	- 26.2	-26.2
125	- 16.1	-16.1
250	- 8.6	-8.6
500	-3.2	-3.2
1000	0	0.0
2000	1.2	+1.2
4000	1	+1.0
8000	-1.1	-1.1

Вимірювання рівнів звукового тиску в октавних смугах проводять без застосування поправок, тобто на характеристики «ЛН», а отримані дані можуть бути використані для побудови спектру акустичного сигналу. Наступна характеристика нормується стандартом («ГОСТ 12.1.003 -83 ССБТ». Шум.

Загальні вимоги безпеки») – еквівалентний рівень звуку $L_{екв}$, дБА.

За визначенням стандарту ((ISO 11204 – 95) Шум машин. – Вимірювання рівнів звукового тиску випромінювання на робочому місці та інших контрольні точки. Метод з кореляціями на акустичні умови») еквівалентний рівень звукового тиску випромінювання – це середній за часом рівень звукового тиску випромінювання, що дорівнює рівню звукового тиску випромінювання постійного шуму, який має таке ж середня значення квадрата звукового тиску, що і даний непостійний шум за той же період часу усереднення.

Тобто еквівалентний рівень звукового тиску випромінювання є енергетичним еквівалентом, що показує, яким повинен бути постійний рівень звукового тиску випромінювання, щоб перенести таку ж кількість енергії, як і вимірюваний нерівномірний шум.

Відповідно до «Посібника з експлуатації, PE 4381 -003-76596538- 06 по прецизійного шумоміру Октава 110А» формула реалізації вимірювання еквівалентного рівня звуку з частотною корекцією A $L_{AeqT}(t_2)$ наступна:

$$L_{AeqT}(t_2) = 101q \left\{ \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt \right] / p_0^2 \right\}, \quad (3.4)$$

де $p_A(t)$ – змінне значення звукового тиску із частотною корекцією A ,

$T = t_1 - t_2$ час інтегрування (вимірювання),

$P_0 = 20$ мкПа – опорний рівень.

Відповідно до ГОСТ 12.4.095 – 80 визначаються умови проведення вимірів, положення контрольної крапки в кабіні, форма і Характеристики протоколу вимірювань, режими роботи двигуна та систем комбайна, величина вибірки вимірювань (3 коректні виміри), оцінка допустимості вимірювань та їх корекція, обладнання, спосіб перевірки результатів, тимчасова характеристика вимірювання шумоміра «повільно», частотна корекція (A).

Зазначимо, що тимчасова характеристика «повільно» (S, Slow) реалізується з допомогою формули експотенційного усереднення:

$$L_{Aeq}(t_2) = 101q \left\{ \left[\frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{t_2} p_A^2(\xi) e^{-(t-\xi)/\tau} d\xi \right] / p_0^2 \right\}, \quad (3.5)$$

де τ – родинна константа, для характеристики Slow = 1 с;

p_A – звуковий тиск із частотною корекцією A ,

p_0 – опорний рівень (20 мкПа).

З метою повторної перевірки вимірних результатів використаний наступний алгоритм:

1. Отримані в ході вимірювань у 9 октавних смугах експотенційно усереднені за тимчасовою характеристикою «повільно» і ще раз усереднені по 3 вимірах в одній октавній смузі, рівні звукового тиску по черзі коригуються на поправку по частотній характеристикі A згідно з формулою (3.3);

2. Отримані 9 результатів L_{pAi} (i від 1 до 9) використовуються для

обчислення рівня звуку або за схемою парного додавання або за формулі:

$$L_{\text{сумм}} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \right), \quad (3.6)$$

де $L_i = L_{pAi}$ є рівнем звуку з частотною корекцією A відповідної частотної смуги.

Як зазначається, логарифмічне додавання рівнів звуку різних ділянок спектра ґрунтується на загальному для аналізу акустичного поля припущенні про суперпозицію звукових коливань.

3. Значення $L_{\text{сум}}$ порівнюється з вимірним значенням $L_{A\tau}(t)$ i , якщо є збіг, то всі отримані виміри заносяться до таблиці додаток В. Якщо збіг відсутня, розрахунки чи весь експеримент повторюється.

Наявність відмінності в частотних поправках для вимірювання шумоміром та розрахунку за стандартом на 0,1 дБА для частоти 31,5 Гц (таблиця 8) також вимагає застосування пунктів 2 та 3 вищезгаданого алгоритму.

3.3. Визначення положення контрольної точки вимірювання шуму (КТВШ) в акустичному просторі кабіни комбайна

Відповідно до п. 12.5 стандарту - «ГОСТ 30683:2003 (ISO 11204 - 95) Шум машин. – Вимірювання рівнів звукового тиску випромінювання на робочому місці та інших контрольні точки. Метод з кореляціями на акустичні умови» потрібно точно, кількісних значеннях описати положення контрольної точки для вимірювання шуму (КТВШ). Саме в нею повинен бути мікрофон шумоміра. Для встановлення КТВШ комбайна КЗС-9-1 «Славутич» розглянемо таке. Відповідно до стандарту як точка відліку (базисної точки) передбачено вибір точки перетину ліній сидіння та спинки. Ця базова точка відповідає точці відліку сидіння (ТВС) рис. 3.5.

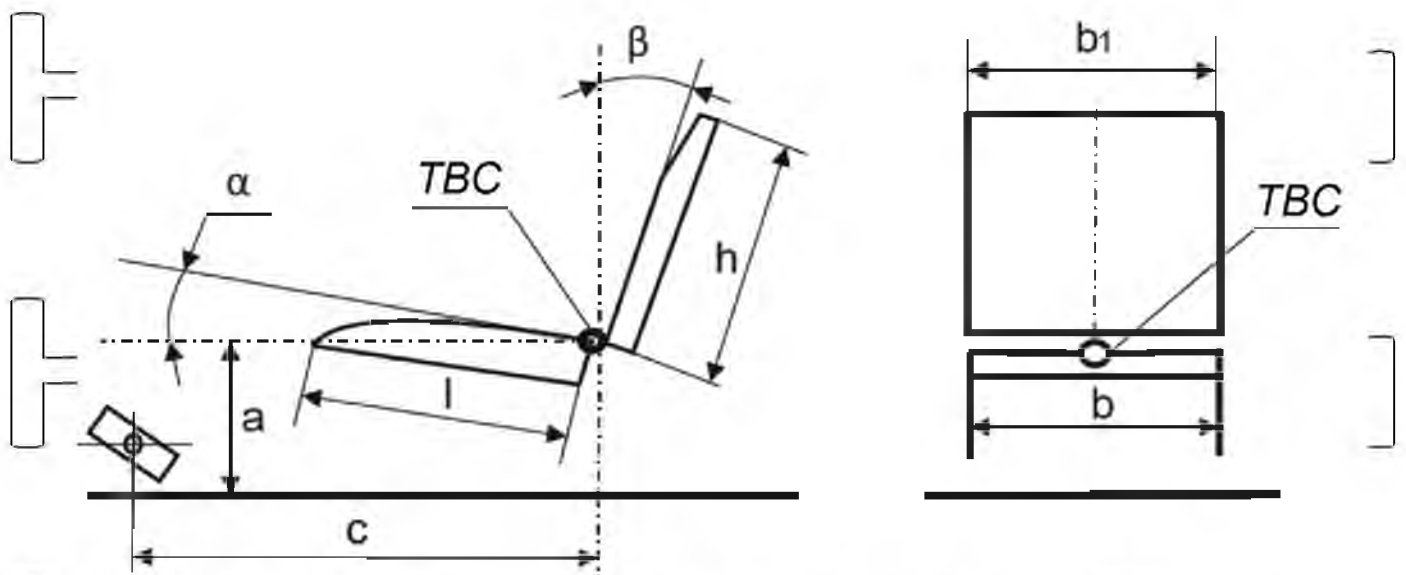
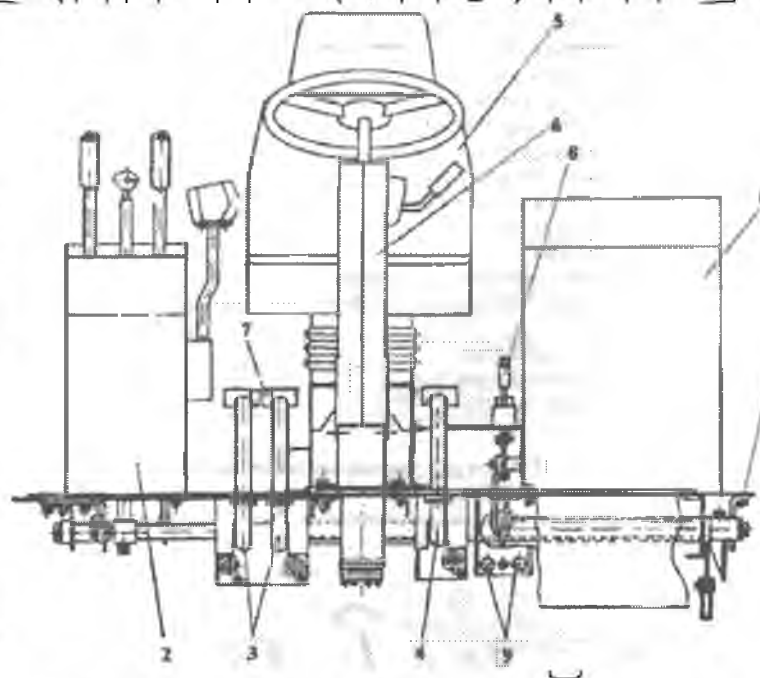


Рис. 3.5 - Точка відліку сидіння

Місце сидіння повинно бути встановлено в середня становище. Значення середнього по висоті положення місця сидіння комбайнера, згідно керівництву з експлуатації комбайна вимагає уточнення (рис. 3.6).



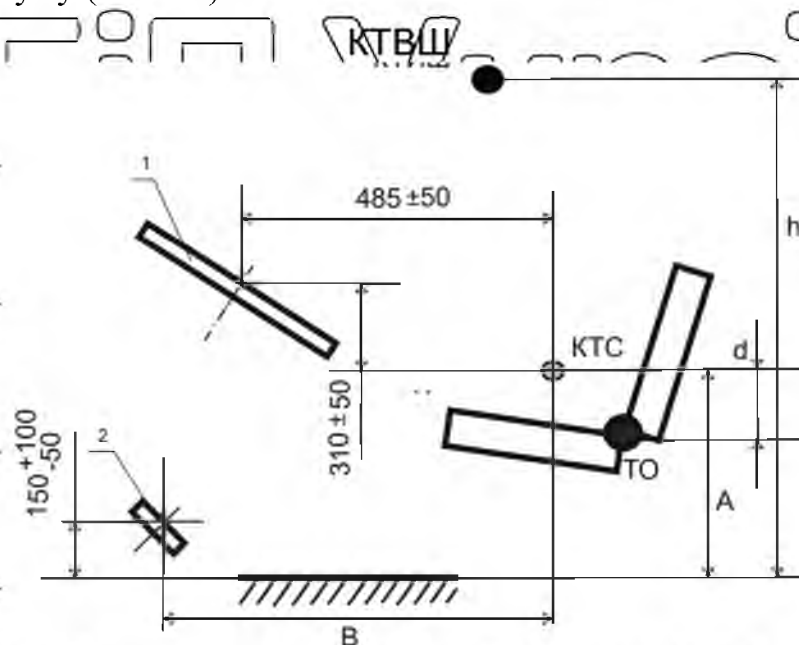
1 – поверхня управління, 2 ÷ 10 – елементи управління

Рис. 3.6 - Робоче місце комбайнера

Зазначимо, що стандарт визначає контрольну точку сидіння КТС (Sip) як

зміщену від точки відліку сидіння (ТОС) вперед на 130 мм та вгору на 97 мм. А від ТГС потрібна контрольна крапка для вимірювання шуму (КТВШ) згідно п. 3.2.1 ГОСТ 12.4.095-80 зміщено на 700 мм вгору по вертикалі.

Тому відстань h від поверхні управління в кабіні комбайна до точки для вимірювання шуму (КТВШ) становить $h = A - d + 700$ мм.



$d = 97$ мм, h - відстань від поверхні, A - регульована висота ТОС сидіння, B - відстань від органів управління.

Рис. 3.7 - Положення по вертикалі контрольної точки для вимірювання шуму (КТВШ)

У комбайні КЗС-9-1 «Славутич» застосовується крісло «Pilot» з регулюванням по висоті, за вагою оператора, за глибиною (Рис. 3.8).

Відповідно до аналізу даних з креслення 3 стандарту і за безпосереднім вимірам середнього за висотою положення ТОС крісла в кабіні комбайна встановимо, що A за малюнком 3М12 становить 535 мм, а значення становить 625 мм (рис. 3.13). Тоді $h = A - d + 700 = 535 - 97 + 700 = +1138$ мм з припуском ± 20 мм. Скористаємося для подальшого розгляду наступним аналізом геометричного простору кабіні комбайна КЗС-9-1 «Славутич» (рис. 3.9) згідно з посібником з експлуатації.

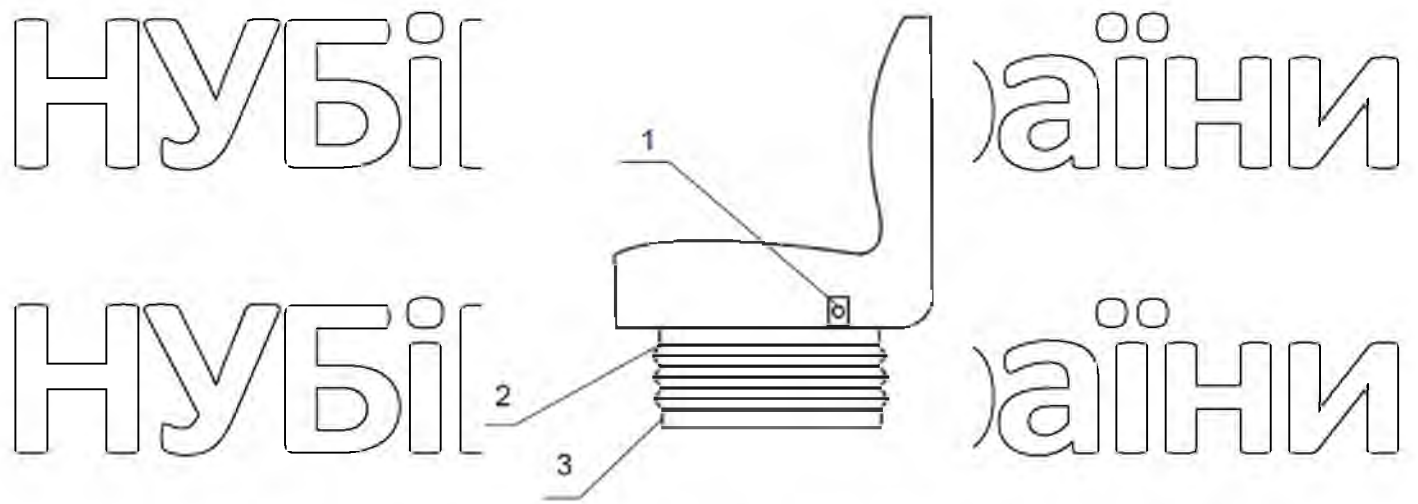
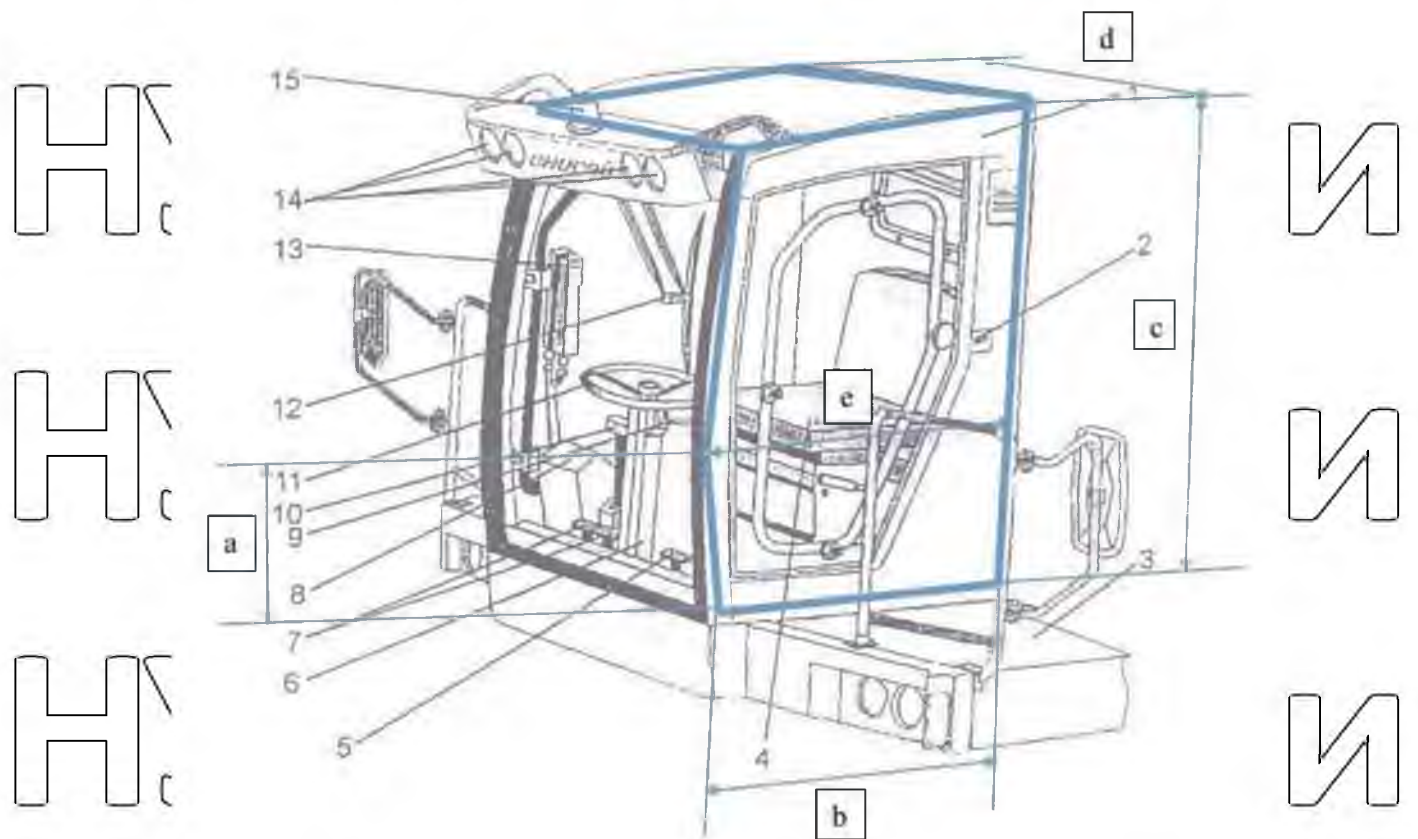


Рис. 3.8 - Крісло оператора комбайна



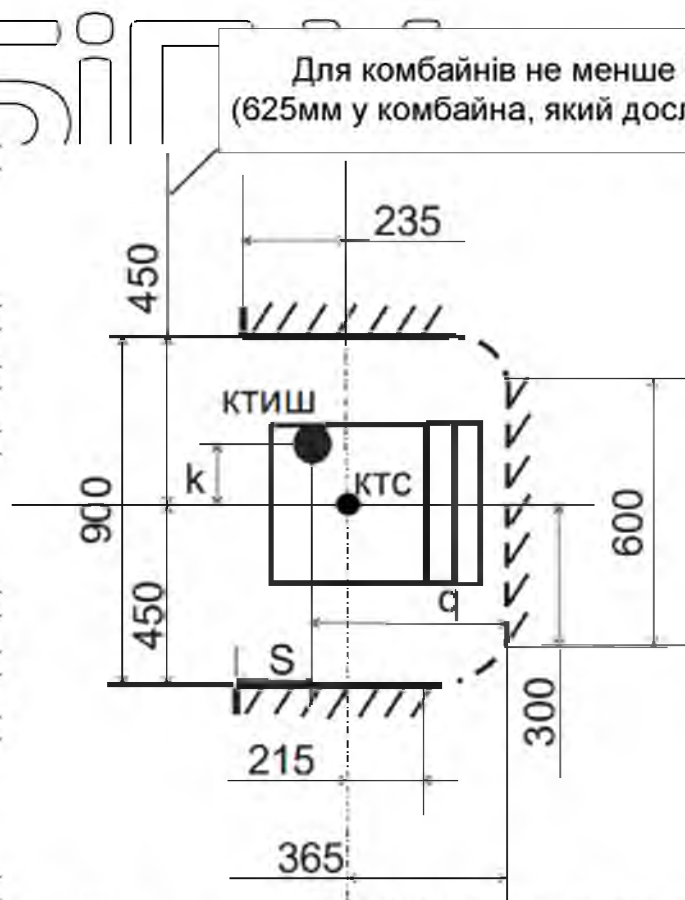
1...15 - елементи конструкції, a = 680 мм, b = 1280 мм, c = 1680 мм, d = 1250 мм, e = 1290 мм.

Рис. 3.9 - Місце керування та кабіна комбайна (внутрішній простір)

Обмір внутрішнього простору кабіни проведемо з допомогою лазерного вимірника дистанцій LDM - 100 з похибкою ± 2 мм.

За аналізом креслення 1 встановимо, що КТВЩ у горизонтальній площині зміщена від КТС вправо (щодо руху вперед комбайна) на $k = 250$ мм і вперед на $s = 20$ мм (рис. 3.10) і з використанням прямих вимірювань на $q = 430$ мм від задньої стінки кабіни. Тобто для координатного простору кабіни КТВЩ має координати $(x_0, y_0, z_0) = (h, d/2 - k, bq) = (1140 \text{ мм}, 375 \text{ мм}, 850 \text{ мм})$.

На рис. 3.11 напрями координат дещо видозмінені згідно умов дослідження..



Розмірність дана в мм; КТС - контрольна точка сидіння.

$k = 250$ мм, $s = 20$ мм, $q = 430$ мм

Рис. 3.10 - Положення на горизонті контрольної точки для вимірювання шуму (КТВЩ)

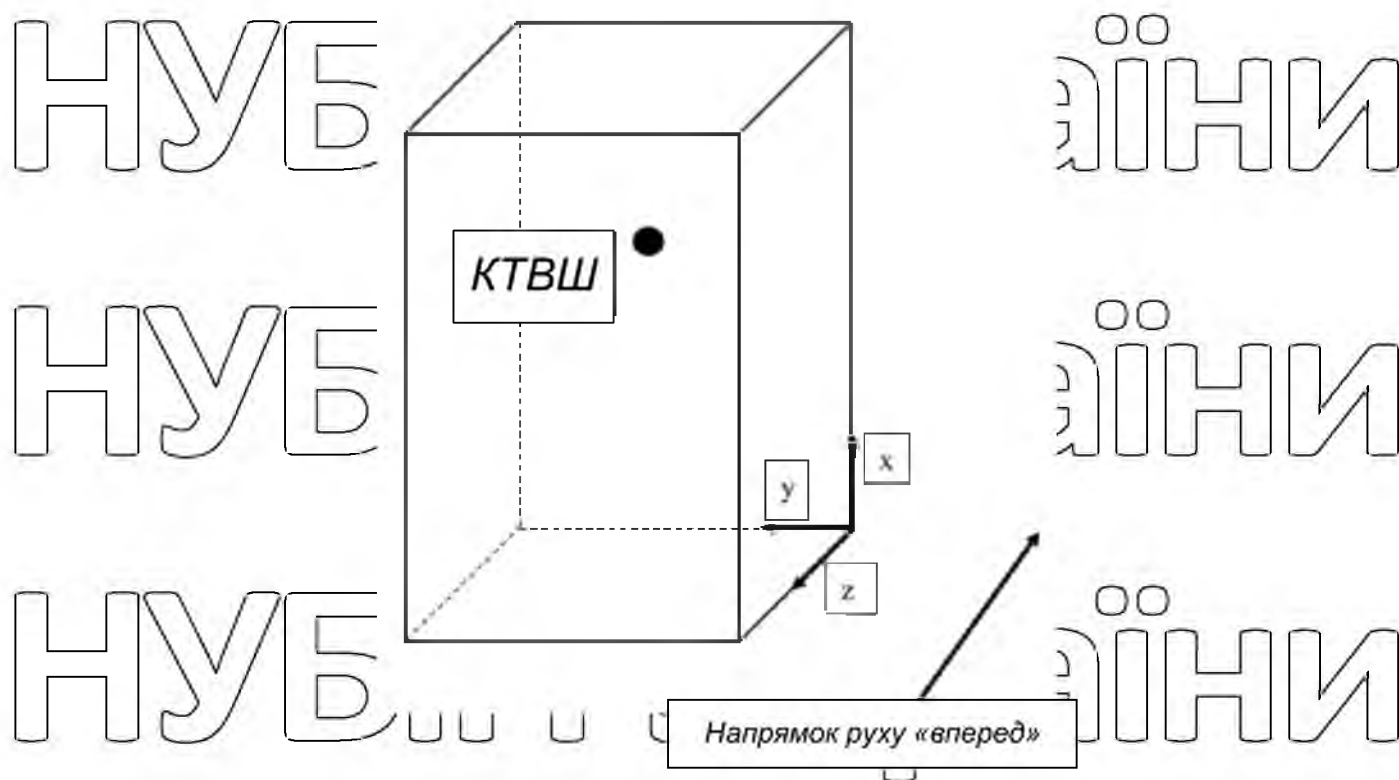


Рис. 3.11 - КТВШ (x_0, y_0, z_0) в акустичному просторі кабіни комбайна

3.4. Проведення вимірів шумових характеристик

Експеримент проводився на виробничій базі господарства Луганської області протягом 2021 року. У черговий день виміру 26.07.2021 року зареєстровано такі параметри

- температура повітря - $+24^{\circ}\text{C}$
- атмосферний тиск - 754 мм рт.ст.;
- вітер - 3 м/с;
- вологість повітря - 48%.

Комбайн КЗС-9-1 «Славутич» розташований на твердому покритті (асфальтований майданчик) на відстані 37 метрів до перших звуковідбивних поверхонь (рис. 3.12).

Вимірювання шуму по програмі для режимів R1 - R7 проводились в контрольній точці для вимірювання шуму (КТВШ) шляхом використання шумомира (рис. 3.13). Після цього інший (студійний) мікрофон приєднувався до

комп'ютера, що знаходився зовні кабіни, і проводився запис звуку з КТВШ за допомогою звукозаписного тракту для порівняння звукових спектрів.



Рис. 3. 2 - Комбайн на майданчику вимірювань

Вимірювання проводились безпосередньо оператором, який керував режимами роботи комбайну.

Агрегати жнивarki встановлені на висоті зрізу, при якій вони не стикаються з поверхнею землі під час запуску – 150 мм

Бункер для зерна порожній;

Кабіна герметично закрита, система мікроклімату кабіни (Вентиляція) виведено на максимальний шумовий режим.

Паливний бак комбайна заправлений, тиск у шинах 0.17 МПа, гідросистеми заповнені. Усі дані занесені до офіційного протоколу вимірювання шуму на робочому місці.

Встановлено, що шум, який спостерігається, відноситься до широкосмугових, та постійним.

Поодинокі удари на шумовому тлі (імпульсний шум) не прослуховувалися,

вимірам на характеристиках "Slow" та "IMPULSE", корекція А за спектром на дисплеї шумоміра "Октава 110" різниця рівнів менше 10 дБ, тому імпульсних шумів ні



Рис. 3.13 – Встановлення вимірювального обладнання та записуючого пристрою (з ноутбуком) у контрольній точці вимірювання шуму

Вимірюванням в третоктавних смугах частот перевищення рівня звуку в одній смузі над сусідніми в 10 дБ і більше не спостерігається, тому зазначимо, що тональні шуми відсутні.

Значення вимірювань занесені в програми Б-К; значення вимірювань по режиму R1 (швидкість барабана обмоту 1090 об./хв., швидкість мотовила 18 об./хв.) занесені додаток Ж; значення вимірювань за режимом R2 (швидкість барабана обмоту 1090 об./хв., швидкість мотовила 36 об./хв.) занесені додаток З; значення вимірювань за режимом R3 (швидкість барабана обмоту 1090 об./хв., швидкість мотовила 46 об./хв.) занесені додаток І; значення вимірювань за режимом R4 (швидкість барабана обмоту 1240 об./хв., швидкість мотовила 18 про./хв.) занесені в додаток Н; значення вимірювань по режиму R5 (швидкість барабана обмоту 1240 об./хв., швидкість мотовила 36 об./хв.) занесені в додаток З; значення вимірювань по режиму R6 (швидкість барабана обмоту 1240 об./хв., швидкість мотовила 46 об./хв.).

Встановлено, що у всіх режимах спостерігається невідповідність ГОСТ 12.1.003-83 за рівнем звукового тиску в октавії смузі із середньоквадратичною частотою 500 Гц.

На режимах R4 та R6 встановлено незначне перевищення рівня звуку (ДБА). Щодо перевищення рівня звуку можна зазначити, що згідно з п.3.2 («Прецизійний шумомір Октава 110А. – Посібник з експлуатації, РЕ 4381-003-76596538-06») Шумомір 1 класу "Октава 110А" має власну похибку вимірювання на характеристиці "повільно" ± 0.3 дБ. А найбільше перевищення нормативного рівня звуку з виміром згідно таблиці 8 і програми Ж складає 0.44 дБА. То є, максимальне вимірне перевищення з урахуванням можливої похибки виміру становить не більше 0.2% від нормативного значення 80 дБА.

Крім того, є приклад, коли навіть заявлені шумові Характеристики найкращих зарубіжних комбайнів також не відповідають вимогам ГОСТ 12.1.003-83.

Так, для комбайнів John Deere W540, W550, W650, W660, T550, T560, T660, T670, S670 згідно експлуатаційним документам, рівні шуму в кабіні знаходяться в діапазоні 74,3 - 80,1 дБ (А) в залежності від навантаження двигуна, налаштувань сепаратора, зернозбиральних умов, а також типу жнивarki.

Оскільки основним недоліком на всіх режимах роботи комбайна є перевищення нормативного звукового тиску в смузі зі середньоквадратичною частотою 500 Гц, акустичне поле саме в цій смузі підлягає докладному аналізу допомогою прикладного програмного забезпечення. Встановлено, що максимально навантаженим акустичним режимом за рівнем звуку є режим R4 (швидкість барабана обмолоту) – 1240 об./хв., швидкість мотовила – 18 об./хв.), тобто максимальна швидкість барабана обмолоту при мінімальній швидкості мотовила, що відповідає режиму збирання вологої пшениці за умов мінімальних втрат зерна від вибивання. На базі режиму R4 створено режим R7 (швидкість барабана обмолоту – 1240 об./хв., швидкість мотовила – 18 об./хв., двері кабіни відчинені). Результати вимірювань за режимом R7 (швидкість барабана 1240 об./хв., швидкість мотовила 18 об./хв., двері кабіни відкриті) занесені в додаток До; значення шумових характеристик, отриманих на режимі R7 можуть бути використані для оцінки шумоізоляційних властивостей кабіни.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1. Структура відтворення спектра шуму за допомогою звукозаписуючого тракту

Розглянемо процедуру відтворення спектру шуму за допомогою звукозаписуючого тракту (рис. 4.1).

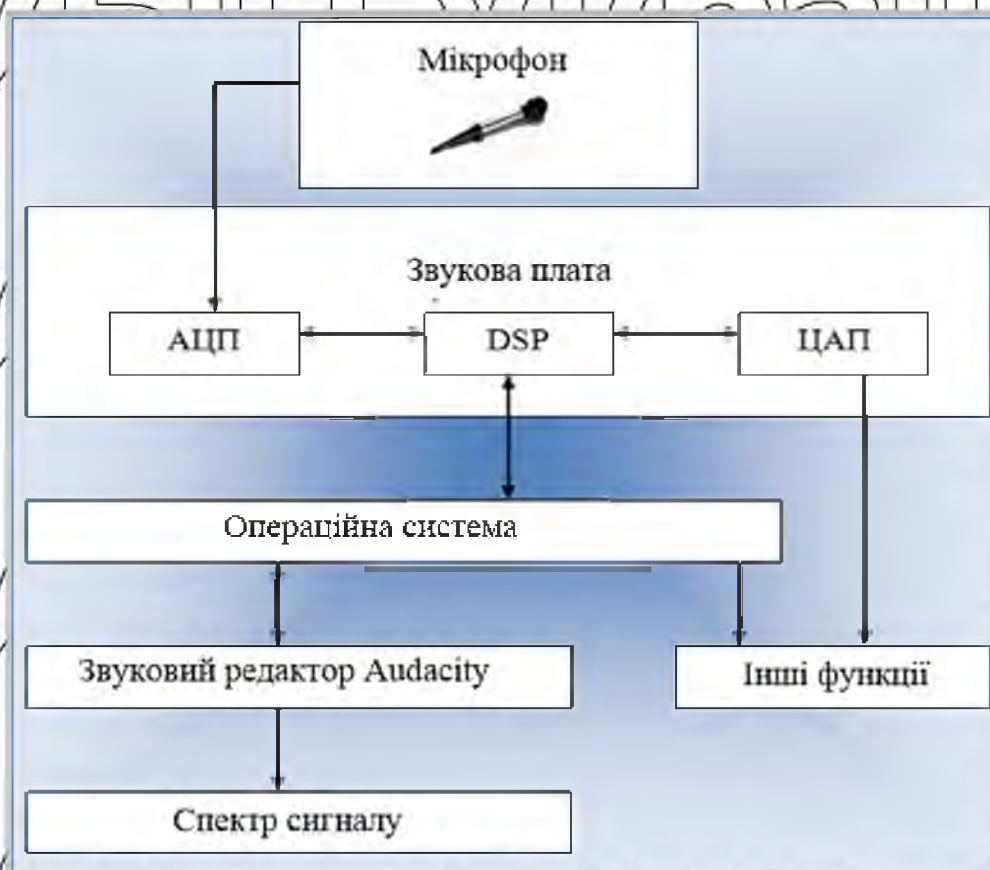


Рис. 4.1. Відтворення спектра шуму комбайна за допомогою

звукозаписного тракту: АЦП – аналого – цифровий перетворювач, DSP (Digital signal processor) - мікропроцесор цифрових сигналів, ЦАП - цифро - аналоговий перетворювач

Цифрова обробка аудіосигналів згідно з подібними (рис. 4.1) схемами досліджувалися у роботах дослідників.

4.2. Технологічні особливості створення аналогового спектру сигналу

Процес створення спектру аналогового сигналу складається в наступному.

З мікрофону на відповідний вхід звукової плати комп'ютера надходить

аналоговий сигнал напруження у вигляді $u_a = f(t)$. У аналого-цифровому перетворювачі цей сигнал вимірюється в строго відповідних точках згідно з встановленою розрядністю АЦП (кількість Q) з кроком у часі, рівним кроку дискретизації T (рис. 4.2). Ця послідовність вимірювань використовується програмою Audacity (можна іншими редакторами) для побудови спектру (Графік квантованих рівнів в звуку від частоти звуку). Оскільки АЦП працює у звукозаписному форматі, то для нього, як і для попередньо аналізованого мікрофона важливе питання - точне перетворення вхідного звукового сигналу.

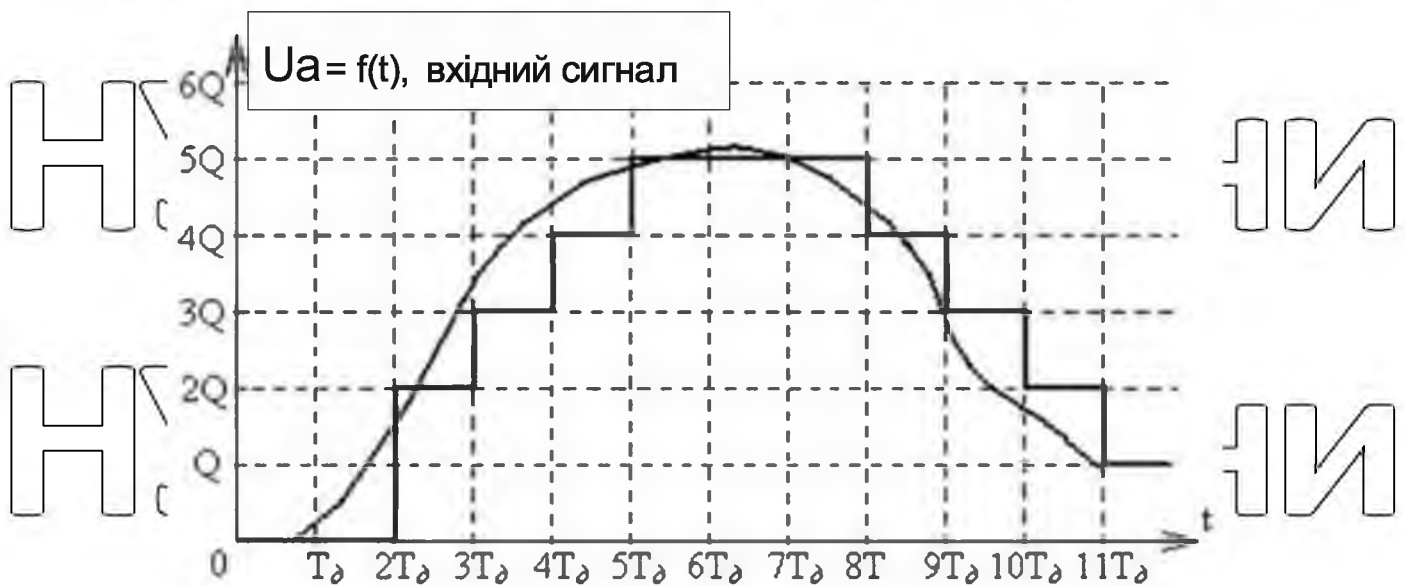


Рис. 4.2 - Вимірювання аналогового сигналу в АЦП

Визначимо необхідні параметри аудіофрагменту для перетворення аналогового сигналу в цифровий.

Для точного відтворення аналогового сигналу у цифровому варіанті потрібно визначити максимальну кількість відліків вхідного сигналу, що виконуються перетворювачем за одиницю часу тобто частоту дискретизації $f_c = 1/T$.

Як зазначалося вище для нашого випадку декартового акустичного простору (рис. 2.5) підлягає аналізу наступне рівняння Гемгольца для гармонічних хвиль (2.1)

$$\frac{d^2 \hat{p}}{dx^2} + \frac{d^2 \hat{p}}{dy^2} + \frac{d^2 \hat{p}}{dz^2} + k^2 \hat{p} = 0.$$

де \hat{p} – комплексна амплітуда звукового тиску, який залежить від положення точки $k = \omega/c$ – акустичне хвильове число (ω – кутова частота коливань, c – швидкість звуку).

Оскільки, за припущеннями, використаними при визначенні умов акустичного аналізу вхідний аналоговий сигнал АЦП можна подати у вигляді суперпозиції гармонічних складових (кінцевим частотним спектром).

$$u(t) = \sum_{i=1}^i U_i \sin(\omega_i t + \varphi_i), \quad (4.1)$$

Вибір f_s визначається теоремою Котельникова.

$$f_s \geq 2f_t, \quad (4.2)$$

де $f_t = \frac{\omega}{2\pi}$, ω – кутова частота.

Стандартним вибором частоти дискретизації є $f_s = 44100$ Гц, що, згідно з формулою (2.2), дозволяє оцифровувати аналоговий сигнал в діапазоні до $f_k = 22000$ Гц.

Щодо розрядності АЦП відзначимо, що для недорогих звукових карт побутового класу стандартом є $n = 16$. Годі максимальна кількість рівнів Q визначається як $\max Q = 2^n$.

То є, при використанні частоти дискретизації 48000 Гц і 16 розрядного методу квантування рівня вхідного аналогового сигналу можна принципово отримати достатню точність перетворення.

Уточнимо процеси, що визначають суміщення сітки вимірювання рівнів звукового тиску та сітки повного сигналу аудіоредактора.

Далі визначимо відповідність рівнів звуку по вимірам шумоміром і по вихідному спектру програми Audacity (спектру звукозаписуючого тракту).

Зазначимо, що згідно рівних лінійних параметрів (рівень звукового тиску, напруженні і т.д.) у логарифмічній шкалі визначаються за формулі:

$$N = 20 \lg \left(\frac{k}{k_0} \right) \quad (4.3)$$
 де k – вимірюваний параметр, k_0 – рівень нуля.

У разі звукового тиску формула (4.3) приймає вигляд:

$$N = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right) \text{ що відповідає формулі (3.1).}$$

Це використовується для вимірювання рівнів звукового тиску шумоміром

Октава 110А.

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right), \text{ де } p - \text{ звуковий тиск, } p_0 - \text{ опорний рівень } 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па.}$$

За загальноприйнятим підходом, ці виміри відбиваються в шкалі dB SPL (від

англ. Sound Pressure Level – рівень звукового тиску), причому “0” дБ відповідає p_0 – межа чутності.

Надалі ці рівні звукового тиску відтворюються мікрофоном та відповідним

трактом шумоміру за власною передавальною функцією у вигляді формули:

$$N_E(t_1) = 20 \lg \frac{u(t_1)}{U_0} \quad (4.4)$$
 де $N_E(t_1)$ – Рівень електричного сигналу (напруження) в момент часу t_1 :

U_0 – опорний рівень;

$\overline{u(t_1)}$ – усереднений рівень в момент часу t_1 за попередній проміжок часу.

Особливості усереднення визначають часові характеристики шумоміру:

S(Slow) – повільно, Fast – швидко, Impulse – імпульс, Leq – еквівалентний рівень шуму.

При цьому рівні вихідного напруження мікрофону Beyerdynamic OPUS

39 S тракту звукозапису за переданими функціями також відповідають рівням звукового тиску і можуть бути заявлені за аналогією з формулою (4.4) як:

$N_u = 201g\left(\frac{u_a}{u_0}\right), \quad (4.5)$

Але, на відміну від шумоміра, тимчасове усереднення не використовується, тобто. $u_a = f(t)$ – дійсний аналоговий сигнал, який потрапляє на оцифрування в АЦП. Врахуємо, що характеристики мікрофона ВК 205 шумоміра, і мікрофона звукозаписуючого тракту Beyerdynamic OPUS 39 S (як вже зазначалося вище) вимірювалися при стандартному значення джерела звуку 94 дБ (1Па) і стандартної шкали частот. Для програми Audacity по використовується шкала dBFS (від англ. Full Scale - «повна шкала»), причому 0 dBFS відповідає максимальний розряд АЦП, тобто, наприклад, для розглянутого вище варіанта побутовий звуковий карти розряд дорівнює 16. Оскільки, для лінійного цифрового коду кожен розряд відповідає 6 дБ, то вся шкала становить $16 \cdot 6 = 96$ дБ. Це і є "0" dBFS. Тобто сигнали з рівнем менше від максимального мають негативні значення. Крім того, в редактору Audacity передбачена можливість побудови спектра у логарифмічній шкалі частот. Тобто, оскільки шкали dB SPL і dBFS по побудови схожі, а відрізняються точками відліку (відповідно, знаками рівнів), а методики калібрування мікрофонів мають певні збіги, можна зробити висновок про можливість поєднання спектрограми dB SPL (шумомір) та dBFS (програма Audacity). Таке поєднання відбувається шляхом прив'язки (порівняння) рівнів на тих самих частотах. Тоді різниці рівнів для певних смуг частот по сітці dB SPL має певний збіг з відмінностями рівнів для відповідних смуг частот із сіткою dBFS.

Розглянемо похибки вимірювань при суміщенні сіток dB SPL та dBFS. Поєднання рівнів має методичні похибки внаслідок:

- 1) відмінності усереднених значень шумоміра від значень оцифрованого сигналу $u_a(t)$;
- 2) певного розбіжності відображення частот спектрів (внаслідок відмінностей у програмному забезпеченні);
- 3) наявності похибок мікрофону звукозаписуючого тракту щодо еталонного мікрофона шумоміра;
- 4) наявності підвищеного рівня похибок в АЦП звукових карт побутового рівня тобто відповідність рівнів звукового тиску на одних і тих же частотах у шкалах dB SPL

та dBFS отримати складно, але можливо якісне зіставлення, якого достатньо для попереднього аналізу.

4.3. Похибки раціональної методики оцінки шумової навантаження

Основна похибка методики утворюється за рахунок неточного відтворення частотних діапазонів октавних смуг сумою піддіапазонів згідно умов відтворення спектра програмою Audacity.

Тобто, має місце розбіжність граничних частот октавних смуг по замрам шумоміра в сітці dB SPL та згідно з розрахунком аудіоредактора Audacity у сітці dBFS.

Крім цього, для порівняння у цьому дослідженні було необхідно обмеження частотами до 1400 Гц, так як на більш високим частотам передбачаються значні відхилення за рахунок:

а) похибок мікрофона, оскільки згідно з попереднім розглядом вибір мікрофону Beyerdynamic OPUS 39 S передбачений в вузькому діапазоні частот 400 - 1200 Гц, коли його частотна характеристика близька до лінійної (рис. 2.2);

б) похибок АЦП, оскільки у звукових картах побутового рівня набуває підвищеного рівень:

- похибка округлення, яка визначається величиною $\pm Q/2$;
- похибка встановлення нульової точки напруження на вході АЦП ($U_{зм0}$) (Похибки установки нульового коду);

- абсолютна похибка перетворення (відхилення реальної максимальної вхідної напруження для АЦП або вихідної для ЦАП від ідеальної значення);

- похибка за рахунок інтегральної нелінійності (можливе відхилення реальної передавальної характеристики АЦП (ЦАП) від заданої ідеальної при $U_{зм0}$);

- похибка за рахунок диференціальної нелінійності (максимальне відхилення величини одного із квантів АЦП (ЦАП) від ідеального аналогового значення Q).

Наявність зазначених похибок є причиною визначення способу оцінки

рівнів звукового тиску згідно даними аудіофайлів як наближеного і має якісний характер.

На основні характеристики мікрофону Beyerdynamic OPUS 39 S (глава 3, розділ 3.1) та 16-ти бітної розрядності аналогового цифрового перетворювача нами були розраховані максимальні величини похибок, що виникають у вимірній системі за наступною методикою (4.6):

$$\sum \varepsilon = \Delta\varepsilon_{\text{АЦП}} + \Delta\varepsilon_{\text{мікроф.}} \quad (4.6)$$

Розраховуємо 16-ти бітну розрядність, при вимірюванні звукового тиску до 104 дБ (Нормоване напруження мікрофону 1В = 52 дБ), тобто напруження вимірювання 2В = 104 дБ. Мінімальне напруження дорівнює розрядності АЦП в 16 біт (мінімальна величина оцифрування):

$$V_{\text{min АЦП}} = \frac{2В}{2^{16}} = \frac{2В}{65536} = 0.0000305176В \quad (\text{на один розряд}).$$

Дізнаємось, скільки дБ ми можемо виміряти на 1 розряд: скільки вольт складає 1 дБ, дізнаємось з нормованої характеристики мікрофону:

$$V_{1\text{дБ}} = \frac{1В}{52\text{дБ}} = 0.019047619 \frac{В}{\text{дБ}}$$

Отже, похибка вимірювання 16-ти бітним АЦП складе:

$$\Delta\varepsilon_{\text{АЦП}} = \frac{V_{\text{min АЦП}}}{V_{1\text{дБ}}} = \frac{0,0000305176}{0,019047619} = 0,001602174\text{дБ}$$

$$\sum \varepsilon = \Delta\varepsilon_{\text{АЦП}} + \Delta\varepsilon_{\text{мікроф.}} = 0,001602174\text{дБ} + 0,6\text{дБ}$$

За характеристикою мікрофона його похибка становить ±0,3 дБ. Отже, сумарна похибка складає:

$$\text{Отже, } E = \frac{\sum \varepsilon}{P_{\text{min}}} = \frac{0,60160217}{56,6} \cdot 100\% = 1,0629\%$$

Проведемо розрахунок мінімальної повторності експериментальних досліджень. Для цього проведемо розрахунок, користуючись критерієм Стьюдента у наступному послідовності.

1.В зв'язку зі складністю вимірювань в початку приймаємо серію дослідів

в кількості 20 штук.

2. Розрахуємо середньоквадратичне відхилення:

$$\delta = \sqrt{\sum \frac{(x_i - x_{cp})^2}{n - 1}} = 0.0401$$

3. Розрахуємо середньоарифметичне значення середньоквадратичного відхилення:

$$\delta_0 = \frac{\delta}{\sqrt{n}} = \frac{0.0401}{\sqrt{20}} = 0.0091$$

4. Точність вимірювань:

$$\Delta = \frac{\delta_0}{x_{cp}} 100\% = \frac{0.0091}{0.8739} 100\% = 1.04\%$$

5. Встановимо нормативне відхилення t (гарантійний коефіцієнт) $t = 2,16$ при

$\alpha = 0,95$.

6. Коефіцієнт варіації:

$$K = \frac{\delta}{x_{cp}} = \frac{0.0408}{0.8739} = 0.0467$$

7. Знаходимо через α_{cm} – коефіцієнт Стьюдента величину та значення

$$\mu_{cm} = \alpha_{cm} \delta_0 = 0,95 \cdot 0,0091 = 0,008645$$

$$X_{д} = x_{cp} \pm \mu_{cm} = 0,8739 \pm 0,008645$$

8. Знаходимо мінімально необхідну повторність дослідів:

$$N_{\min} = \frac{\nu^2 t^2}{m^2} = \frac{0.0467^2 \cdot 2.06^2}{0.05^2} = 4$$

4.4. Технічна реалізація систем активного гасіння шуму

Відповідно до пункту стандарту «Шум. Загальні вимоги безпеки» необхідно

визначити план шумозахисних заходів. Згідно ГОСТ 12.1.029-80 засоби та методи

захисту від шуму поділяються на колективні та індивідуальні. При цьому до

колективних засобів відноситься зменшення рівня шуму на його шляху до

оператору.

Крім цього, залежно від використання додаткового джерела енергії, засоби зменшення шуму поділяються на активні та пасивні. В свою чергу, засоби індивідуального захисту, додатково до певних стандартів навушників, вкладишів та шоломів, визначають можливість застосування протишумових костюмів.

У умовах цього дослідження цікавим могло б бути використання в як протишум засобу активного гасіння згідно з відомим патентом П. Луйго на рис. 4.3.

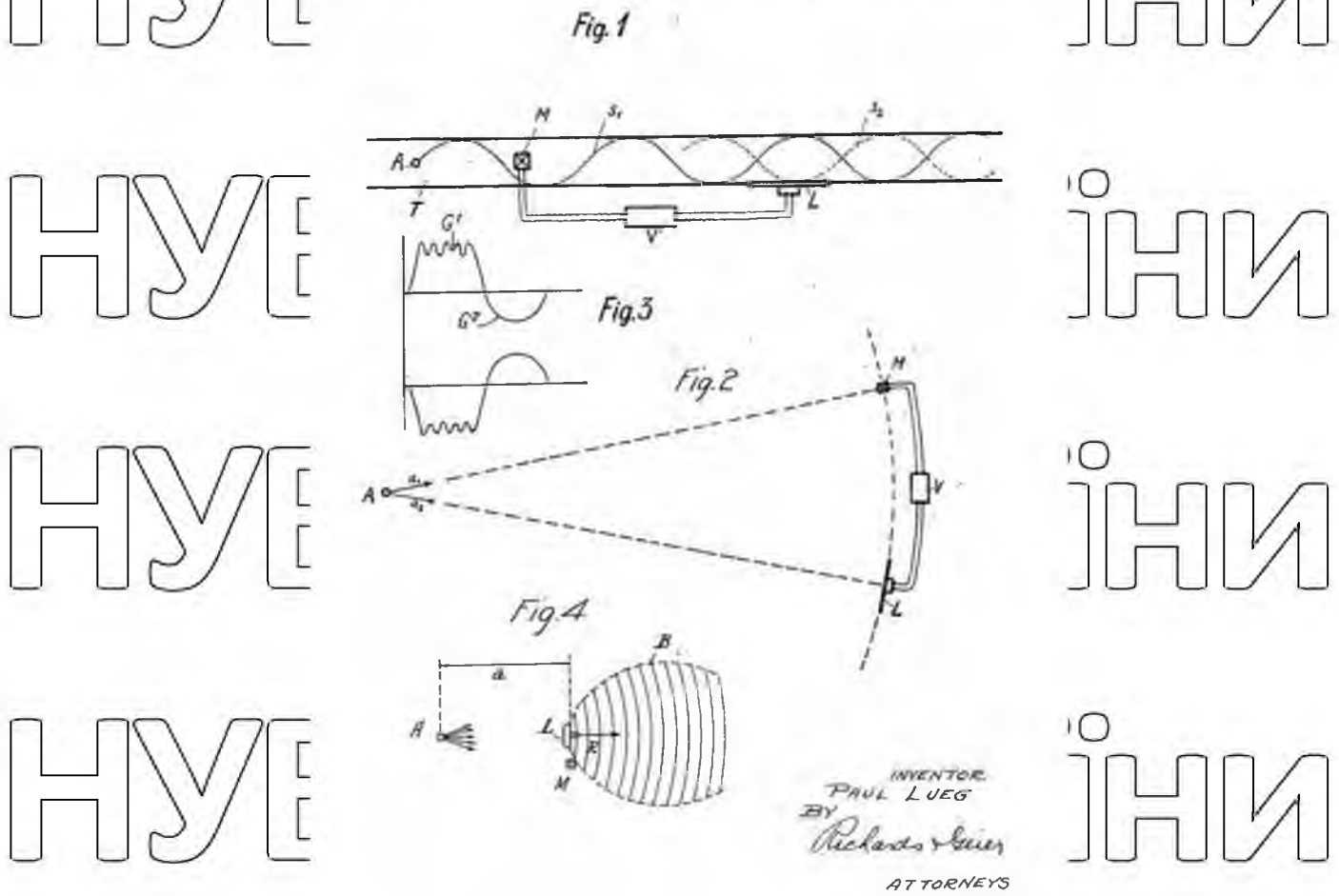


Рис. 4.3 – Схема активного гасіння шуму

Підходи до застосування цього принципу вказані у роботах.

Приклади технічної реалізації систем активного гасіння шуму загальновідомі розробки автомобільних концернів Toyota, Lotus, Mazda, Форд.

Крім цього в наявності є досить широкий спектр навушників з активним гасінням шуму, які застосовуються як у промисловості, так і у спортивній промисловості.

Тобто, використовуючи розраховані із поверхні рівнів звукового тиску для акустичного простору кабіни комбайна, можна вибрати місцезнаходження джерела протिशумового акустичного сигналу (рис. 4.7 на задній стінці кабіни).

Позитивом є те, що встановлюваний джерело (наприклад, гучномовець) не буде заважати роботі комбайнера і, перебуваючи з відривом $l_x - x_0 = 1.68 - 1.14 = 0.54$ м навпаки КТВШ, не має на шляху розповсюдження антишумового сигналу перешкод.

Тоді згідно Fig. 2 з рис 4.3 «Схема активного гасіння шуму» алгоритм роботи схеми активного гасіння шуму у тому, щоб прийняти сигнал дійсного шуму, посилити його, розгорнути фазу на 180 градусів, врахувати затримку сигналу та випромінювати антишумовий звук.

За попередніми підрахунками це під силу пристрою, обладнаному 200 МГц спеціалізованим процесором. Позитивом є ще й те, що за результатами дослідження встановлена найбільш акустично навантажена у всіх режимах октавна смуга (середньогометрична частота 500 Гц), яка впливає на загальне перевищення рівня звуку. Тобто алгоритми оцінки спектра вхідного шумового сигналу можуть бути спрощені.

У дослідженні надано можливість створення малобюджетної схеми взаємодії невеликих господарств із зацікавленими організаціями у сфері охорони праці операторів комбайнів.

Оперативна взаємодія шляхом використання технологій мобільного інтернет доступу, особливості якого досить легко розраховуються під обрану територію, є конкурентоспроможною позитивом.

Незначна вартість системи дозволяє знайти широкий ринок збуту.

Наданий у дослідженні алгоритм можна адаптувати під створення та використання раціональних методик оцінки шумового навантаження на будь-які транспортні засоби, обладнані кабінами.

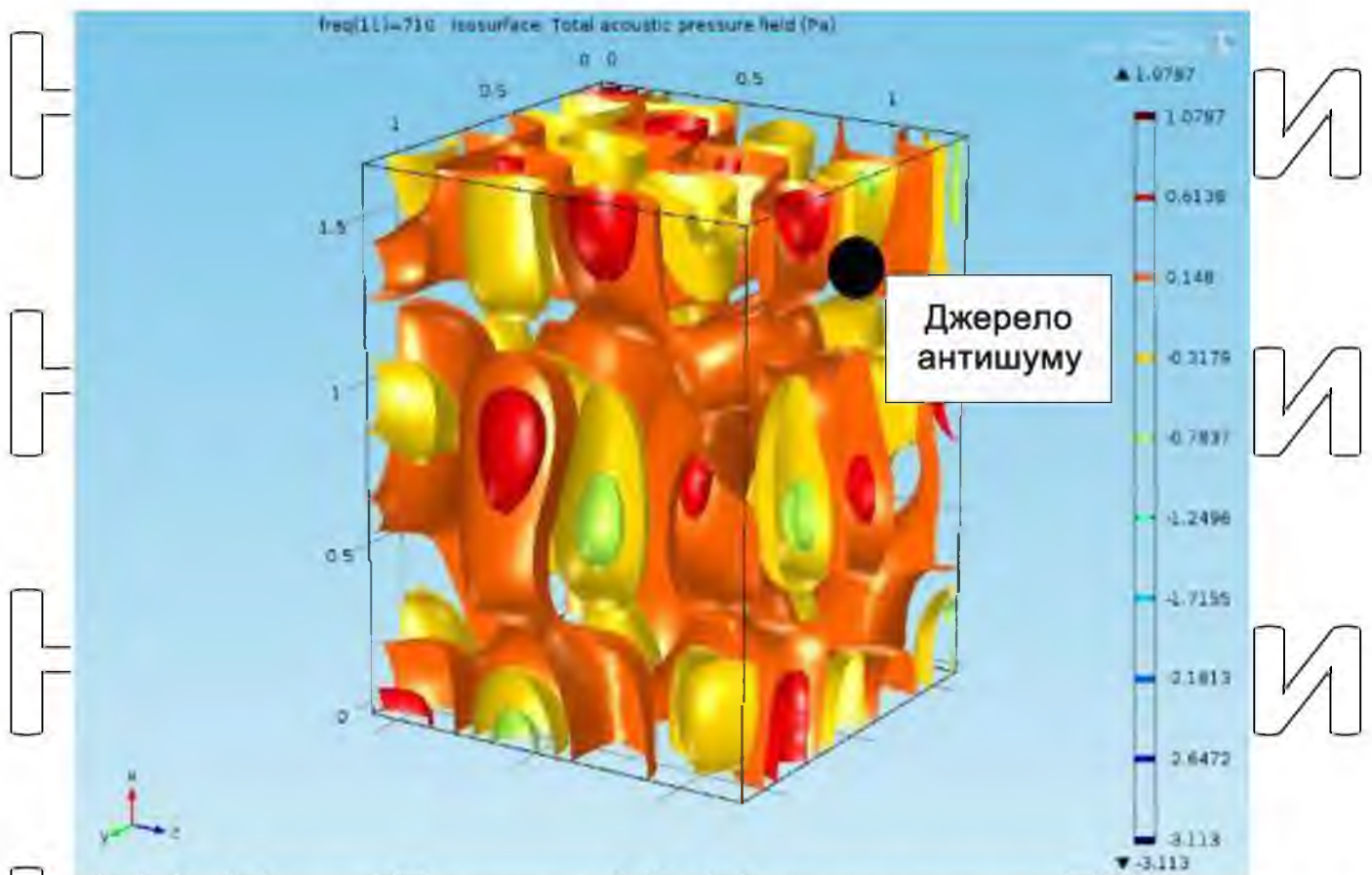


Рис. 4.4 – Розміщення джерела схеми активного гасіння шуму в кабіні.
 Справа на рис розміщена шкала за якою можна визначати інтенсивність шумового тиску в Па

Більш того, особливості будівництва ІАС ОАК дозволяють значно розширити спектр організацій, які могли б містити центральні пункти та акустичні лабораторії на госпрозрахункових засадах. Правильним у цьому сенсі буде використання технічних можливостей вищих навчальних закладів.

А алгоритм роботи схеми активного гасіння шуму полягає в тому, щоб прийняти сигнал дійсного шуму, посилити його, розгорнути фазу на 180 градусів, врахувати затримку сигналу та випромінювати антишумовий звук дозволях повністю вирішити питання гасіння шуму в кабіні оператора комбайну.

Встановлено, що максимальна величина інструментальної похибки вимірювання (16- ти біт АЦП + мікрофон Beuerdynamіc OPUS 39 S) склала 1,0629%.

Обгрунтовано, що згідно з критерієм Стьюдента, мінімальна повторність проведення дослідів дорівнює 4.

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

5.1. Оптимізація вибору способу шумозахисту

Як і для більшості технічних рішень, питання вибору схеми шумозахисту – це питання оптимізації. Вважаємо, що майбутнє – за схемами активного гасіння шуму з адаптивними алгоритмами. Але навіть для розгляду досить вдалих результатів, отриманих у цьому дослідженні, визначається необхідність окремої програми випробувань (але це за межами даного дослідження). Крім цього невизначеність нормативної бази стандартів щодо способів активного шумопогащення визначає необхідність застосування іншого способу шумозахисту. Оскільки перевищення нормативних значень рівнів звукового тиску на акустичні режими R1 - R6 незначно, а перевищення рівня звуку (дБА) також незначно і спостерігається тільки на режимах R4, R6, характерних для збирання вологої пшениці, доцільним є застосування найбільш простих та недорогих шумозахисних навушників, наприклад, ЗМ Peltor P1 Optime I польського виробництва сертифіковані в Україні. Шумозахисні навушники ЗМ Peltor P1 Optime I (Зниження рівня звукового тиску в діапазоні низьких частот на 15 дБ, в діапазоні середніх частот на 24 дБ).

Така міра зниження рівня звукового тиску є цілком достатньою та впроваджена відповідно до стандарту у господарстві.

5.2. Економічна доцільність пропонованих заходів

Зауважимо, що питання економічної оцінки заходів, спрямованих на покращення умов праці, попередження травматизму та охорони здоров'я оператора сільськогосподарських машин досить актуальний у сучасних умовах та має наукове опрацювання.

Визначення економічної ефективності заходів щодо зниження рівня шуму виробляється уряді галузей шляхом встановлення: 1) загальної та 2) порівняльної економічної ефективності та 3) чистого економічного ефекту. Показник загальної

економічної ефективності заходів щодо зниження рівня шуму визначається на стадіях планування та розробки заходів щодо зменшення впливу шуму.

Показник порівняльної економічної ефективності визначається в тих випадках, коли необхідно вибрати такий варіант заходу, який забезпечує досягнення необхідного рівня шуму із мінімальними витратами. Показник чистого економічного ефекту є критерієм вибору варіанта у тих випадках, коли заходи не зіставні за досягнутими рівнями шуму у виробничих умовах.

Зрештою, боротьба з шумом – це метод зменшення вартості змісту виробничого середовища, що визначається з умов шуму. Однак у нашому випадку розглянуті підходи можна застосовувати лише частково.

Існує ряд стандартів для економічної оцінки сільськогосподарської техніки. У тому числі «ГОСТ 23728 -88 – ГОСТ 23730 -88 Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки»; «ГОСТ Р 53056 - 2008 Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки».

Однак тільки в ГОСТ 53057-2008 **Машини сільськогосподарські. Методи оцінки конкурентоспроможності** зазначається, що інтегральний показник конкурентоспроможності машин визначають з використанням наступних техніко-економічних показників: **ціни машини; прямих витрат коштів при виконанні технологічної операції; продуктивність праці; комплексного показника безпеки праці механізатора; значення збитку від зниження продуктивності та пошкодження сільськогосподарського продукту**.

Що може бути опорою для розробки оригінальних і одночасно раціональних підходів для оцінки заходів по покращення умов трудового процесу операторів комбайнів стосовно нашого випадку. При цьому необхідно в насамперед враховувати такі показники, як падіння працездатності та зниження продуктивності праці, збільшення випадків травматизму в силу більшої стомлюваності комбайнерів і розсіювання їхньої уваги, як результат дії шуму, необхідність компенсації операторам втрати слуху, плинність кадрів.

Матеріальні збитки від інтенсивного шуму завжди були значними], наприклад, у США ще наприкінці 60-х років ХХ століття зниження

продуктивності праці через шуму оцінювалося в 4 млн доларів на день, що у 2020 році вже дорівнювало 31825306.12 доларів США (близько 32 млн).

Загалом же існують два основні питання економіки зменшення шуму:

перший – визначення загальної економічної ефективності заходів: розрахунок показників зростання продуктивності праці, визначення зміни собівартості продукції, річного економічного ефекту, строків окупності капітальних вкладень, спрямованих на покращення умов праці, і *другий* – економічне порівняння методів та конструкцій, які застосовуються при шумозахисту. Для нас актуальний другий підхід.

Виходячи з сказаного вище, **при оцінці ефективності захисту від шуму розрахунки будуться: А) на підвищенні продуктивності праці та в окремих випадках Б) на підвищенні якості виконуваних робіт та продукції.** При цьому слід зазначити ще раз, що боротьба з шумом починається з конструкторського бюро.

Виходячи з цього, може бути кілька шляхів в економічній оцінці захисту від шуму оператора комбайну.

Підхід №1. Побудований на шкоді, що завдається, або її попередження.

У нашому випадку необхідно виділити основні показники, згідно з якими можна оцінити захист від шуму. До таких показників можна віднести: 1) зниження продуктивності праці та 2) рівень можливої захворюваності операторів. Перший пункт для нас найбільш актуальний.

Порівняємо два однакові комбайни, до одного з них застосовані методи шумозахисту, до іншого не застосовано. Спостереження було проведено в період жнив 2021 року. Комбайни «Єнісей 950», 2-а аналогічних комбайна з навантаженням на оператора 80дБА та 73дБА.

Різниця 7,6% у бік зменшення намолота зерна для комбайна без відповідного шумозахисту оператора. Раніше такий порядок цифр було підтверджено Б.Ч. Месхі. З робіт Б.Ч. Месхі відомо, що при використанні індивідуальних засобів, що знижують шум, що сприймається оператором, з 93 до 73 дБА, продуктивність праці зростає на 7%. Зниження ж рівня шуму машини з

96 до 83 дБА наводить до збільшенню продуктивності праці на 12%.

Таблиця 5.1 - Порівняльний аналіз кабіні комбайнів з застосуванням і відсутністю шумозахисту, т/зміна (3- та),

№ п/п доба	Комбайн 1. (80дБА)		Комбайн 2 (73дБА)	
	т/га	т/га	т/га	т/га
1	29,7	29,7	29,7	29,7
2	25,8	29,6	29,6	29,6
3	26,8	29,8	29,8	29,8
4	28,8	30,5	30,5	30,5
5	26,9	28,4	28,4	28,4
6	25,8	29,8	29,8	29,8
7	26,4	28,9	28,9	28,9
8	28,9	30,1	30,1	30,1
9	27,3	31,4	31,4	31,4
10	27,9	28,9	28,9	28,9
Всього:	274,3	296,8	296,8	296,8
У %	-7,6	100	100	100

Якщо виходити з даних постулатів і в наших подальших розрахунках. То є, таким чином, можна припустити, що в нашому випадку продуктивність праці може зростати до 10% і, як мінімум, і не зменшуватись.

Також відомо, що собівартість збирання комбайном «Єнісей 950» складає від 1,9 - 2,3 тис. грн./га, а рівень рентабельності - 476-1025 %. Таким чином, вже на якісному рівні аналізу, можна, можливо припустити, що при падінні продуктивності праці значно погіршуватиметься і зазначені економічні параметри, тобто. собівартість зростатиме, а рентабельність – падати.

А при зростанні продуктивності зазначені показники покращуватимуться. Таким чином, при продуктивності 9,9 т/год падіння продуктивності комбайна на 10%, пов'язане із самопочуттям оператора комбайна, станом його здоров'я, приведе до зниження вироблення при прибирання зерна пшениці в година на 0,9 тони. А за зміну, рівну 8 годин, втрати становитимуть (зерна пшениці) – 7,2 тонни. За 10 днів це становитиме 72 тонни зерна. Що в вартісному виразі в цінах 2016 року 11000 грн./т (3 - й клас зерно озимої пшениці) без ПДВ становитиме

відповідно 792000 грн.

Таким чином, лише за 10 днів роботи одного комбайна може заощаджуватися до мільйона рублів при роботі в одну зміну. Цим встановлений порядок цифр як можливих втрат, і можливої економії – це 792000 крб. І це лише за одну зміну. За три зміни цей показник втрат може мати порядок 2376000 грн.

Підхід №2. Побудований на основі стандартів серії ISO (ІСО).

Відомо, що стандарти ISO 9001:2000 і ISO 9004:2000 можуть використовуватися як разом, так і окремо. Вони засновані на одних принципах, але призначення та сфера їх застосування - різні. Перший стандарт призначений для цілей сертифікації і містить набір вимог створення системи управління якістю. Другий - покликаний допомогти підприємствам різних форм власності, видів і масштабів діяльності безперервно вдосконалювати свої виробничі та бізнес - процеси та підвищувати ефективність роботи. Стандарт ISO 9004:2000 носить рекомендаційний характер і не призначений для цілей сертифікації.

Фактично його мета - перехід підприємства на наступну Сходи́нка до вершини *якості* - на концепцію глобального управління якістю (TQM, Total Quality Management).

Слід зазначити, що є методи виміру якості. Вимірювання якості

- принцип TQM, основне призначення якого - визначити склад показників оцінки бізнес - процесів, розподілити показники між рівнями управління, створити, так зване,

«табло якості», контролювати та проводити порівняльний аналіз значень показників за певні періоди часу, визначити причини та сформувавши рекомендації та рішення щодо покращення показників діяльності. Такі показники доцільно об'єднати в систему.

Сума всіх витрат на якість складає Загальні Витрати на Якість.

Взаємозв'язок між усіма витратами на якість, загальними витратами на якість та рівнем досягнутої якості зазвичай уявляють так, як це показано на рис. 5.1:

Загальні витрати на якість складаються із витрат на запобіжні заходи, витрат на контроль та втрат (зовнішніх та внутрішніх). Зі зміною досягнутого

рівня якості змінюються і величини складових витрат, і, відповідно, їх сума - загальні витрати на якість.

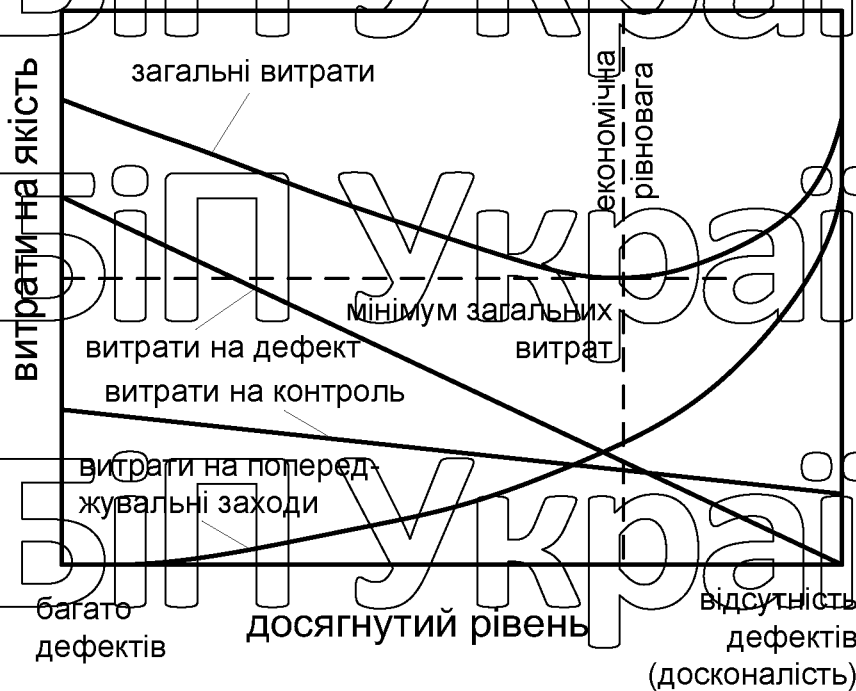


Рис. 5.1 – Взаємозв'язок між витратами на якість та досягнутим рівнем якості

У нашому прикладі, на рис. 5.1 видно, що рівень якості, що досягається, вимірюється у категорії "багато дефектів" - "немає дефектів" або "досконалість".

Розглядаючи ліву сторону номограми («багато дефектів»), ми бачимо, що загальні витрати на якість високі, в основному тому, що високі витрати на дефект. Витрати на попереджувальні заходи дуже малі.

Якщо ми рухатимемося вправо по номограмі, то рівень якості, що досягається, збільшуватиметься (зниження дефектів). Це відбувається за рахунок збільшення обсягу запобіжних заходів та витрати на них зростають. Втрати (витрати на дефекти), очевидно падають, як наслідок запобіжних дій. Як показано на номограмі, на цій стадії витрати на втрати падають швидше, ніж зростають витрати на попереджувальні події. Як результат - загальні витрати на якість зменшуються. Вплив зниження рівня витрат на контроль незначно.

Таким чином, приходимо до висновків: запропонована та апробована у роботі система контролю за роботою оператора комбайна з використанням можливостей інформаційних технологій не тільки дає можливість уникнути за

10 робочих днів втрат в сумі не менш ніж 792000 грн., але й повністю відповідає найкращим світовим зразкам в області якості, що підтверджується відповідністю стандартам серії ISO. І наводить до висновків про тому, що слід ширше використовувати у фермерських господарствах принципи TQM, Total Quality Management - тотального менеджменту якості, по суті апробованого нами в окремо взяте фермерське господарство, що підтверджує унікальність проведених досліджень.

Встановлено, що зниження звукового навантаження в межах 7 дБА збільшує продуктивність комбайна за доба на 7,3%, що відповідає в натуральному вираженні 22,4 т за тризмінну роботу протягом 10 днів.

А при зростанні продуктивності зазначені показники покращуватимуться. Таким чином, при продуктивності 9,9 т/год надіння продуктивності комбайна на 10%, пов'язане із самопочуттям оператора комбайна, станом його здоров'я, приведе до зниження вироблення при прибирання зерна пшениці в година на 0,9 тони. А за зміну, рівну 8 годин, втрати становитимуть (зерна пшениці) 7,2 тони. За 10 днів це становитиме 72 тони зерна. Що в вартієному виразі в цінах 2021 року 11000 грн./т (3-й клас зерно озимої пшениці) без ПДВ становитиме відповідно 792000 грн.

Таким чином, лише за 10 днів роботи одного комбайна може заощаджуватися до мільйона гривень при роботі в одну зміну. Цим встановлений порядок цифр як можливих втрат, і можливої економії – це 792000 грн. І це лише за одну зміну. За три зміни цей показник втрат може мати порядок 2376000 грн.

Аналіз виконаної роботи з точки зору концепції глобального управління якістю – TQM, Total Quality Management показує їхню відповідність, стандартам якості ISO в галузі охорони праці, збереження здоров'я операторів комбайнів.

ВИСНОВКИ

1. Завдання дослідження досягнуто шляхом адекватного програмного відтворення проведених акустичних вимірювань, що дозволило знизити шумове навантаження на оператора комбайна КЗС-9-1 «Славутич» шляхом впровадження раціональних інженерно-технічних заходів, здійснених з урахуванням сучасних інформаційних технологій. Це дозволило максимально зменшити звуковий тиск на органи слуху та організм комбайнера та досягти показників розрахунковий моделі, згідно моделі Car Interior при рівні звукового тиску для октавної смуги із середньгеометричною частотою 500 Гц (78.53 дБ), що практично збігається з виміром в акустичному режимі R2 (78.42 дБ).

2. Розроблено і апробована в реальних умовах технологія оперативної взаємодії сільгоспідприємств із установами, займаються питаннями охорони праці, що передбачає простий та недорогий метод стабільної оцінки шумових характеристик робочих місць ОСМ.

3. Розроблено математичну модель акустичного простору кабіни комбайна, вирішення якої дозволяє знаходити способи для просторового розміщення із поверхонь во всім досліджуваному акустичному просторі, а не тільки в обраній відповідно до стандарту контрольної точки, і дозволила визначити найбільш раціональний спосіб шумового захисту оператора комбайну.

4. Розроблено селективний алгоритм дій аналітичної мережі оперативний акустичний контроль при отриманні даних від мобільного пункту контролю. У рамках ІАС ОАК розроблено методику оцінки акустичних параметрів, яка передбачає точне відтворення вимог нормативних стандартів та однозначне визначення максимально навантаженого акустичного режиму для конкретної сільськогосподарської машини.

5. На підставі проведених досліджень встановлено, що максимально навантаженим акустичним режимом за рівнем звуку є R4 (швидкість) барабана обмолоту - /1240 об./хв., швидкість мотовила - 18 об./хв.), то є максимальна швидкість барабана обмолоту при мінімальній швидкості мотовила, що відповідає режиму збирання вологої пшениці за умов мінімальних втрат зерна

від вибивання. На базі режиму R4 створено режим R7 (швидкість барабана обмолоту – 1240 об/хв, швидкість мотовила – 18 об/хв., двері кабіни відчинені).

Результати вимірювань за режимом R7 (швидкість барабана 1240 об./хв., швидкість мотовила 18 про./хв., двері кабіни відкриті; значення шумових характеристик, отриманих на режимі R7 можуть бути використані для оцінки шумоізоляційних властивостей кабіни.

6. Розрахована економічна ефективність методу показала, що при роботі двох аналогічних комбайнів при триміній роботі втрати зерна пшениці склали за відсутності шумозахисту 21,5 т у 2021 році. Водночас розрахунки показали, що при однозмінній роботі запобігання втрат в цінах 2021 року склало - 11000 грн./т (3-й клас зерно озимої пшениці) без ПДВ становила 792 000 грн. Так само виконана по шумозахисті оператора комбайна робота відповідає концепції глобального управління якістю – TQM, Total Quality Management, тобто. стандартам якості ISO.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузьмінський Р. Д. Системно-функціональні засади синтезу технологічних лій і дійниць ремонту вузлів та агрегатів мобільної техніки рльництва : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ратехн. наук : 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Глеваха, 2013. 40 с.
2. Кухтов В. Г. Методи оцінки довговічності конструкцій шасі колісних тракторів: Дис... д-р техн. наук: 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту. Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Харків, 2006. 329 с.
3. Марін О. М. Теоретичні основи оцінки працездатності шин легкового автотобіля в експлуатації: Дис... д-р техн. наук: 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту. Академія пожежної безпеки України. Львів, 2001. 344 с.
4. Лобода А. В. Розробка організаційної структури забезпечення якості в автосервісі: Дис... канд. техн. наук: 05.13.22. Національний транспортний ун-т. Київ, 2004. 162 с. Гайда, А.С. Методичні засади дослідження шуму [Текст]/О.С. Гайда. – науковий вісник Луганського національного аграрного університету. - Серія: Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2013. - №51. - 311. С. - С.121-126.
5. Гайда А.С. Основи дослідження вібрації [Текст]/О.С. Гайда – Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. – Серія: Технічні науки.- Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2013. - №51. - 311. С. - С.127-134.
6. Аулін В. В., Гриньків А. В., Замота Т. М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості. Вісник інженерної академії України. 2015. №3. С. 66–72.
7. Аулін В. В., Лисенко С. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Мартиненко О. Д. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. Вісник

Харківського національного технічного університету сільського господарства. Харків. 2015. Вип. 158. С. 252–262.

8. Дулін В. В., Лисенко С. В., Кузик О. В., Гриньків А. В., Голуб Д. В. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення: монографія. Кропивницький, 2016. 304 с.

9. Бабаїнін О. Б. Наукові основи вдосконалення технології контролю, діагностування та матеріально-технічного забезпечення при технічному обслуговуванні локомотивів: Дис... докт. техн. наук: 05.22.07 Рухомий склад залізниць та тяга поїздів. Харківська державна академія залізничного транспорту. Харків, 2001. 288 с.

10. Кириченко, В. Є. Методи боротьби з шумом і вібрацією при експлуатації зернозбиральних комбайнів [Текст] / В. Є. Кириченко, З. У. Бологашвілі, А. С. Гайда. – технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка. Випуск 145. "Технічний сервіс машин для рослинництва". -

Харків: Вид - в А. П. «Апостроф», 2014. – 224 с. – С. 193–197.

11. Гайда, А. С. Можливості зниження шуму під час роботи комбайнів [Текст] / А. С. Гайда / Збірник тез доповідей науково - практичної конференції Луганського Національний аграрний університет. 14 – 23 січня 2013 р. –

Луганськ: Вид - у ЛНАУ, 2013. – 42 с. - С. 27-28.

12. Агєєва І. В. Розвиток системи інженерно-технічного обслуговування. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2007. Вип. 54. С. 160–168.

13. Демко О. А. Вплив кваліфікації операторів на ефективність використання машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2009. Вип. 134, Ч. 2. С. 159–169.

14. Васильєва І. К. Економіко-математичне моделювання системного інноваційного оновлення аграрного виробництва : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра екон. наук : 08.00.11 Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці / Київ. 2007. 36 с.

15. Войтюк В. Д. Техніко-технологічний розвиток системи сервісу енергонасиченої сільськогосподарської техніки : автореф. дис. на здобуття

наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Мелітополь, 2012. 39 с.

16.

17. Гайда, А.С. Інформаційний вплив шуму на організм [Текст]/О.С. Гайда

Актуальні проблеми професійної освіти і за кордоном: матеріали IV

Міжнародної науково-практичної конференції, К: 9-12-х год. /

Міжнародного університету; редкол.: А.Д. Дедінкін (гол. ред.) [та ін.]

2017. – Ч.2. – 409 с. – С. 335-337.

18. Наумов, А.В. Удосконалення засобів підвищення екологічної безпеки

тракторів шляхом зниження рівня шуму [Текст]: автореф. дис. ... канд.

техн. наук. 05.20.01. / А. В. Наумов. - 2011. - 20 с.

19. Поливаєв, О.І. Визначення зони ефективності активного придушення

шуму, що поширюється по осесиметричним конструкціям [Текст]/О.І.

Поливаєв, О.М. Кузнецов // Актуальні напрямки наукових досліджень

XXI століття: теорія і практика. - ВІО - 2014. - Т. 2, № 3-4 (8-4). - С. 451-

455.

20. Шапров, М.М. Способи підвищення комфортності роботи механізаторів

рахунок зниження шуму в кабіні трактора [Текст]/М. Н. Шапров, І.С.

Мартинов // Збірник агроуніверситетського комплексу наука та вища

професійна освіта. Розділ Агропромислового інженерія. Вип. 3(16) / ПІК

"Нива", 2011. - С. 207-213.

21. Реунов, С.В. Зниження вібронавантаженості та структурного шуму

каркасних кабін тракторів [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук:

05.05.03/С.В. Реунів. - К, 2001. - 20 с.

22. Ляшенко, М.В. Формування повітряного шуму в кабіні трактора К-700А

[Текст] / М.В. Ляшенко, А.В. Переможець, В.В. Шехівців, А.А. Долгов,

А.І. Іскалієв, А.В. Соломатін // Фундаментальні дослідження. - 2014. - №9-

11.

23. Олянич, Ю.Д. До питання зниження шуму та вібрації в кабінах

зернозбиральних комбайнів [Текст]/Ю.Д. Олянич, В.М. Тимошенко, В.М.

24. Зернозбиральні комбайни провідних виробників. [Електронний ресурс]. – Сучасні закордонні комбайни. – Спосіб доступу: http://kat.ua/sxt/5-komb_2import/index.shtml - Звернення: 07.07.23.

25. Воробйов В.І. Зернозбиральні комбайни: історія розвитку та загальна будова: навчальний посібник [Текст]/В.І. Воробйов, О.М. Капустін, В.П. Демидів. - К.: Вид-во політехнічного університету, 2010. - 110 с.

26. Рівень шуму. [Електронний ресурс]. - Сайт: Deere & Company, All Rights Reserved. - Режим доступу: http://manuals.deere.com/omview/OMHXE17691_59/ZX08994,000014C_59_20020515.html. - Звернення: 10.05.23.

27. Вітчизняний та зарубіжний досвід піленічного нормування факторів виробничого середовища [Електронний ресурс] - К.: «НДІ охорони та економіки праці» Мінпраці України. - PDF. - 48 с. - Режим доступу: www.tuadcontrol.ua. - Звернення: 10.05.22.

28. Орешкін, М.В. Вплив шуму на організм [Текст]/М.В. Орешкін, А.С. Гайда /Нові матеріали та перспективні технології, охорона праці та професійна освіта: матеріали Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. з міжнар. участю (м. Луганськ, 4 кв. 2014 р.). – [Стаття]. – Луганськ: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2014. – 196 с. - С.168-170.

29. Орешкін, М.В. Вплив шуму на організм [Текст]/М.В. Орешкін, А.С. Гайда /Науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності та цивільний захист: шляхи удосконалення викладання». - Матеріали конференції. - 15 квітня 2014 року. - [Тези]. – Луганськ: Навчально-методичний центр цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Луганської області. - 2014. - С.122-123.

30. Колганов, А.В. Роль неінструментальних сигналів у діяльності оператора [Текст] / О.В. Колганов // Сучасні проблеми сталого соціального розвитку регіону: пріоритети та шляхи вирішення: Тематичний збірник наукових праць. - В 2. - Донецьк: ВІРСЦ, 2012. - С.73-76.

31. Колганов, А.В. Психофізіологічні особливості впливу шуму на організм

людини [Текст]/О.В. Колганів. - Донецьк: Норд-Прес - ДІРСН, 2013. - 248

с.

32. Технічна акустика транспортних машин Довідник [Текст]/Ред. Н.І. Іванов.
СПб.: Політехніка, 1992. - 365 с.

33. Київстар 4G – [Електронний ресурс]. Офіційний сайт КИЇВСТАР. –
Режим доступу: <http://www.kyivstar.ua>. – Звернення: 15.06.2022.

34. UNTC – [Електронний ресурс]. Офіційний сайт UNTC. – Режим доступу:
<http://www.untc.ua>. – Звернення: 15.06.2022.

35. Засоби вимірювальної техніки, занесені до Державного реєстру України.

Показник [Текст]/Укладачі: К. Савченко, Л. Базік, І. Молева, Б. Марков, М.
Жалдак, О. Леонова, Н. Двірник – Київ: Держспоживстандарт України,
2004. – 326 с.

36. Мікрофони Beyerdynamic MM 1, Meyer Sound DPA 4007 SIM Microphone .

- [Електронний ресурс]. – Офіційний сайт MusicLife™ ЦА. - Розділ:
Вимірювальні мікрофони. Режим доступу:
<http://www.musiclife.kiev.ua/shop/zvukovoje-obladnennja/mikrofoni/izmeritelnyie-mikrofonyi.html> . - Звернення: 10.06.22.

37. Прецизійний шумомір Октава 110А. - [Електронний ресурс]. –
Керівництво з експлуатації, РЕ 4381-003-76596538-06, 2006 р. - Режим
доступу: <http://ua.convdocs.org/docs/index-171788.html> . - Звернення:
10.06.22.

38. Липкович І.Е. Математична модель акустичного простору кабіни
оператора сільськогосподарських машин/І.Е. Липкович, А.С. Гайда /
Проблеми розвитку наукової конкуренції у галузі високих технологій:
збірник статей Міжнародної науково-практичної конференції. - У - 2019.
- 37 с. - С.9-16.

39. Мікрофон Beyerdynamic OPUS 39 S. – [Електронний ресурс]. - Офіційний
сайт фірми Hills (Австралія та Нова Зеландія) – Режим доступу:
<http://www.hillssvl.com.au/assets/Uploads/Catalogues/Beyerdynamic/>

40. Міждержавний стандарт ISO 3411-82, ISO 3449-80, ISO 3457-79, ISO 3471-

80, ISO 3789-1-81, ISO 3789-2-82, ISO 4252-83, ISO 4253-77, ISO 5353-78, ISO 5700-84, ISO 6011-78, ISO 6405-82, ISO 6682-86, ISO 6683-81)

[Текст]. Система стандартів безпеки праці. Кабіни та робочі місця операторів тракторів, самохідних будівельно-дорожніх машин, одновісних тягачів, кар'єрних самоскидів та самохідних сільськогосподарських машин. Загальні вимоги до безпеки. - К.: Вид-во стандартів, 2003. - 12 с.

41. ISO 4254-7:2008 [Текст] Машини сільськогосподарські. Вимоги безпеки. Частина 7. Комбайни зернозбиральні, кормозбиральні та бавовняні. - К.: Стандартінформ, 2011. - 37 с.

42. ISO 4871-96 Шум машин. - [Електронний ресурс]. - Заява і контроль значень шумових характеристик. Дата введення в дію: 01.07.2004р. - Сайт DOKUMENT®.UA. - Режим доступу: <http://document.ua/shum-mashin-zajava-i-kontrol-znachen-shumovih-harakteristik-std6357.html> . - Звернення:

20.06.12.

43. Посібник з експлуатації комбайнів John Deere W540, W550, W650, W660, T550, T560, T660, T670, S670. - [Електронний ресурс]. - Рівень шуму. - Режим доступу: http://manuals.deere.com/omview/OMHXE24324_59/ZX08994_000014C_59_20020515.html //

Офіційний сайт компанії John Deere - Режим доступу: http://www.deere.com/en_US/SiteMap.page - Звернення: 20.06.22.

44. Розрахунок зміни цін через інфляцію за довільний період. Інфляція калькулятор в США. - [Електронний ресурс]. - Сайт СтатБюро. - Режим доступу: <https://www.statbureau.org/ua/united-states/inflation-calculators?dateBack=1960-1-1&dateTo=2018-4-1&amount=4000000> . - Звернення: 02.01.2014.

45. Rentzch, I. [Текст]/ I. Rentzch // Hensch-Maschine. Dresden, 1984. 2011 SAE NVC Структура Borne Noise Workshop. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <http://www.sae.org/events/nvc/workshops/2011/AlanEDuncan.pdf>. - Звернення: 07.12.13.

46. TRANSFER PATH ANALYSIS Цінування і quantification of vibro-acoustic

transfer paths. - [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.lmsintl.com/download.Asp?id=A5AF1B71301F4DB2992F-D8A213AE37F2> – Звернення: 07.12.13.

47.Lipkovich I.E Influence of the human-machine systems (HMS) operation mode on наростання плодonoсних агрегатів продуктивності / Ігор Е. Ліпковіч,

Грина В. Егорова, Надежда V. Petrenko, Anna S. Gayda // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments (JM ERD) 42(3) (2019) 10-14; DOI : <http://doi.org/10.26480/jmerd.03.2019.10.14>.

48.Janser, C. Uber die Wirkung des Lärms [Текст] / C. Janser // Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz, Prophaxe und Ergonomie. - 2011. - Dd.31, N6. - S.220-224.

49.SINUS Messtechnik GmbH . - [Електронний ресурс] . - Сайт: SINUS Messtechnik GmbH . – Режим доступу: <http://www.sinusmess.de/> . - Звернення: 10.03.2023.

50.Application of Wave Based Method for Steady-state Acoustic Response Prediction of Car Cavity в Mid-frequency Range. - [Електронний ресурс] // A. Herberger, H.-H. Priebisch, W. Desmet, B. van Hal, B. Pluymers, P. Sas. –

Режим доступу : www.ismaisaac.be/publications/PMA_MOD_publications/ISMA2002/877_884.pdf . Звернення: 20.06.23.

51.Erfassung und Auswertung von Indikator diagrammen. 2015. № 2. P.33–38.

52.Latino M. A. Behavioral based reliability. Machinery Reliability Conference. 2020. April. <http://reliability.com/industry/articles/article36.pdf>.

53.Smykov S. V., Seregin A. A., Nikitchenko S. L., Kurochkin V. N., Valuev N. V. Hinged aggregate for technical maintenance of machines: Modeling, test-ing and conditions of application. Journal of Mechanical Science and Technology. 2018. T. 32. № 8. C. 3807-3815.

54.Wegrzyn, J. Liquefid Natural Gas for Trucks and Buses. SAE Technical Paper Series. 2018. № 2000-01-2210.

55.Zehn Prozent Biokraftstoff für Alle. Verein Deutscher Ingenieure. VDI Nachrichten. 2015. Jg. 59. № 47. 8 p.

56. Hunt D. Farm power and machinery management. Tenth edition. Agricultural Engineering. 2013. Dubli. Vol. 3. P. 1703-1709.

57. Onwualu A. P., Akubuo C. O., Ahaneku I. E. Fundamentals of Engineering for Agriculture Immaculate Publications Limited. 2 Aku stree, Ogui New Layout, Enugu, Nigeria. 2006. 186 p.

58. Jessel, MIM La question des absorbeus actifs [Текст] / MIM Jessel // Revue d'acoustique. - 2012. - V5. - N18. - P.37-42.

59. Gulyas, K. KULeuven, Департамент механічної інженерії, Celestijnenlaan 300 B, B- 3001, Heverlee, Belgium. Active noise control in agricultural

machines. - [Електронний ресурс] / К. Gulyas, G. Pinte, F. Augusztinovicz,

W. Desmet, P. Sas. - Режим доступу: [http://www.isma-](http://www.isma-isaac.be/publications/PMA_MOD_publications/ISMA2002/11_22.pdf)

[isaac.be/publications/PMA_MOD_publications/ISMA2002/11_22.pdf](http://www.isma-isaac.be/publications/PMA_MOD_publications/ISMA2002/11_22.pdf)

Звернення: 20.06.22.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ОСНОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ І СКОРОЧЕННЯ

НУБІП України

АЦП - аналого-цифровий перетворювач;

ІАС ОАК - інформаційно - аналітична мережа оперативного акустичного контролю;

МКЕ - метод кінцевих елементів;

КТВП - контрольна точка вимірювання шуму;

Сітка dB SPL - шкала рівнів звукового тиску щодо опорного значення P_0 ;

Сітка dBFS - шкала рівнів аудіосигналу щодо опорного значення, яке відповідає повній шкалі (максимуму сигналу);

L - рівень звукового тиску в децибелах (ДБ);

K_{Ai} - поправка за частотною корекцією A;

L_{pAi} - рівень звуку (обліку частотної корекції A до рівня звукового тиску) відповідно до частотної смуги;

P_x - вимірюваний звуковий тиск, Па;

P_0 - найнижча межа звукового тиску (порог чутливості для звукового сигналу 1000 Гц) = $20 \cdot 10^{-6}$ Па, опорне значення;

p_A - звуковий тиск із частотною корекцією A;

τ - годинна константа експотенційного

усереднення; β - значення фонового шуму під час вимірювання;

δ - значення рівня звукового тиску під час вимірювання;

\hat{p} - комплексна амплітуда звукового тиску, що залежить від положення точки;

k - акустичне хвильове число = $\omega/c = 2\pi f/c$ (ω - кутова частота коливань,

z - швидкість звуку);

Δ - оператор Лапласа; ρ

- густина повітря;

c - швидкість звуку повітрі;

$|M|$ - повне об'ємне усунення (продуктивність монополю), m^3

/с; $He(t_1)$ - рівень електросигналу (напружень) у момент часу

t_1 ; U_0 - опорний рівень напружень, В;

$u(t_1)$ - усереднений рівень напружень в момент часу t_1 за попередній проміжок часу;

$u_a = f(t)$ - дійсний аналоговий сигнал, який надходить на оцифрування АЦП.

НУБІП України