

УДК 631.372

MEASUREMENT AND ANALYSIS NOISE LEVEL OF THE MINITRACTOR XINGTAI XT 160 DURING TRANSPORT WORK IN THE “HUMAN-MACHINE-FIELD SYSTEM”**ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РІВНЯ ШУМІВ МІНІТРАКТОРА XINGTAI XT 160 ПІД ЧАС ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ У СИСТЕМІ «ЛЮДИНА-МАШИНА-ПОЛЕ»****Berezovetska O.H./ Березовецька О.Г.***Doctor of PhP, as.prof. / доктор філософії., в.о.доц.*

ORCID: 0000-0002-8377-6140

Berezovetskiy S.A./ Березовецький С.А.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-6011-3726

Humenuyk R.V./ Гуменюк Р.В.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-7511-3673

Berezovetskiy A.P./ Березовецький А.П.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-6454-3520

*Lviv National Environmental University, Dublyany, V.VelykoHo, 1, 80382**Львівський національний університет природокористування, Дубляни, В.Великого, 1, 80382*

Анотація. Мінітрактори Xingtai XT 160 використовуються багатьма фермерськими господарствами для польових та транспортних робіт в різних варіантах його виконання (переважно цей трактор експлуатується без кабіни) і є одним з найбільш поширеніших мінітракторів в Україні. Незважаючи на проблеми, спричинені шумом від тракторів, і всі його негативні наслідки для користувачів і спостерігачів, жодних комплексних досліджень щодо них не проводилися. Результати дослідження показують, що рівень шуму під час роботи мінітрактора Xingtai XT 160 за частоти обертання вала двигуна 2250 об/хв становить 90 дБ(А), що у порівнянні зі нормативним значенням 85 дБ(А) є небезпечним для слуху оператора. Також, результати показали, що частота обертання вала двигуна відіграє ключову роль у створенні шуму, і її слід досліджувати на різноманітних сільськогосподарських операціях.

Ключові слова: мінітрактор, шум, рівень звукового тиску, ергономіка.

Вступ.

Разом з розвитком технологій застосування машин у процесах механізації сільськогосподарського виробництва призвело до появи таких факторів, як шум, вібрація, викиди газів тощо, які впливають на тракториста на робочому місці. Щоб підвищити ефективність роботи машин і забезпечити безпеку та комфорт для користувачів, ці машини повинні бути розроблені з урахуванням людських факторів, в іншому випадку це спричиняє збільшення професійних захворювань і нещасних випадків, а з іншого боку, недосягнення очікуваного успіху в роботі [17].

Шум є одним із найважливіших факторів навколишнього середовища, який впливає на здоров'я та працездатність працівників. Шум може збільшити загальне навантаження на операторів під час виконання конкретного завдання та може вплинути на продуктивність. Як наслідок, шум впливає на здоров'я працівників прямо чи опосередковано [1]. Серед негативних наслідків – втома,



біль у спині, нервозність, нудота, необережність тощо. Темі шуму та його впливу на сільське господарство приділяється багато уваги з 1960-х років [2], і дослідження тривають у різних вимірах сьогодні. Miyakita, T., і A.Ueda [3] зібрали великий обсяг інформації про природу та джерело шуму і його вплив на працівників. У наш час широке використання сільськогосподарських тракторів і машин для польових робіт, незважаючи на їх переваги, спричинило певні проблеми з гігієною та безпекою праці для операторів цих машин, прикладом яких є надмірний шум [4-12]. Проте слід продовжити дослідження, щоб визначити, при яких рівнях звукового тиску може виникнути втрата слуху. За даними [13], відомо, що люди, які працюють на сільськогосподарських підприємствах, піддаються впливу деяких джерел шуму, але в останні роки була оцінена проблема шуму сільськогосподарських машин на транспортних роботах [14].

Через те, що чутливість вуха для кожної частоти різна, розподіл частоти повинен бути відомий для вивчення впливу шуму. Вивчаючи отриманий частотний розподіл і рівні чутливості вуха, можна оцінити вплив шуму на організм людини. Тривалість впливу також враховується, а також частотний вміст і А-вагова крива використовується в практичних застосуваннях, позначається дБ(А), а 85–90 дБ(А) були запропоновані як граничні значення для 8 годинного впливу [1]. Зниження чутливості слуху зазвичай починається в районі 4 кГц, і якщо стан стає важким, вухо стає чутливим до ширшого діапазону частот, включаючи також набагато нижчі та набагато вищі частоти [1]. Частоти, що викликають втрату слуху, не опускаються нижче 1 кГц. Було показано, що спричинена шумом втрата слуху зростає до 7 дБ протягом перших 10 років при 1000 Гц і 100 дБ(А), а потім поступово збільшується до 12 дБ протягом 40 років впливу [20]. Втрата слуху становить близько 30 дБ за перші десять років впливу на 4 кГц і 100 дБ(А). Зрозуміло, що при 100 дБ(А) вухо набагато чутливіше до 4 кГц порівняно з 1 кГц. Прийнято, що максимальний SPL для впливу протягом 8 годин на день становить 85 дБ(А) на частотах вище 1000 Гц. На рівнях, нижчих за це значення, ризик шуму стає найменшим. Міжнародна організація праці приймає 85 дБ(А) як межу попередження та 90 дБ(А) як межу небезпеки для безперервної роботи протягом 8 годин. А-зважений еквівалент SPL 85 дБ(А) призводить до тимчасової втрати слуху, а 90 дБ(А) підвищує артеріальний тиск, прискорює пульс і дихання, знижує тиск мозкової рідини, викликає напругу в м'язах і відтік крові від шкіри. Однак немає жодного розширеного дослідження рівнів звукового тиску, що виникають у сільськогосподарських машинах.

Основний текст

У цьому експерименті було досліджено шум трактора Xingtai XT 160, який є одним із найбільш часто використовуваних в Україні, і зазвичай, він використовується без кабіни [19]. Це є причиною вибору саме такого типу мінітракторів для даного дослідження. Перед випробуванням на тракторі були проведені всі необхідні технічні огляди. Для чистоти експерименту до трактора був прикріплений причіп (рисунок 1). Вантажопідйомність і вага причепа становили 3000 кг і 820 кг відповідно [22].



Майданчик для проведення досліджень був підготовлений відповідно стандартам вимірювання звуку ISO (ISO1992; ISO1996). Випробувальна зона складалася з відкритого майданчика, вільного від перешкод і шкідливого впливу вивісок, будівель і схилів на відстані щонайменше 20 м від зони вимірювання [15, 16].

Під час вимірювань враховували запропоновану швидкість вітру та інші кліматичні обмеження. Рівень фонового шуму був принаймні на 30 дБ(А) нижчим, ніж у трактора [21].



Рисунок 1 – Причіп 7CX-3, який використовувався в експерименті.

Джерело: [22]

На рисунку 2 показано розміри ділянки, на якій проводилося вимірювання шуму трактора. Відтак, мінімальні значення R - відстані від перешкод до зони вимірювання; L - довжини зони вимірювання; W - ширини зони вимірювання становили 40 м, 20 м і 20 м відповідно.

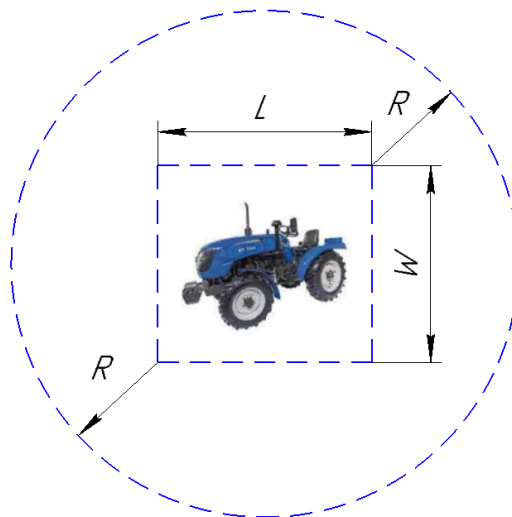
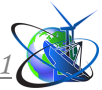


Рисунок 2 – Схема розмірів дослідного майданчика

Авторська розробка

Важливо правильно підібрати вимірювальне обладнання для контролю та вимірювання звукових властивостей. У базовій ситуації, коли необхідно оцінити рівень шуму в навколишньому середовищі, можливо, знадобиться виміряти лише загальний SPL або А-зважений рівень, використовуючи простий



шумомір. У цьому дослідженні SLM (шумомір рівня TES-52) був встановлений на висоті 1,5 м над поверхнею землі та на відстані 7,5 м від центру траєкторії трактора в горизонтальному положенні та спрямований у напрямку руху.

Для вимірювання шуму біля вух оператора до одягу оператора кріпили мікрофон дозиметра (модель TEC-1354/1355). Калібрування SLM і дозиметра проводилося за допомогою калібратора рівня звуку TEC-1356 безпосередньо перед збором даних. Більшість шумомірів мають три «зважувальні» мережі, які називаються шкалами А, В і С. Шкала А широко використовується як єдиний показник можливого пошкодження слуху, роздратування, спричинене шумом, і дотримання різних норм щодо шуму. Рівні звуку, визначені за шкалою А, позначаються LA, а одиниці позначаються дБ(А). Нам необхідно було вибрати діапазон змінних, перш ніж спробувати виконати тести, тобто частоти обертання двигуна, передачі КПП та розташування мікрофона. Діапазони змінних були обрані для дотримання більшості умов роботи трактора Xingtai XT 160. Після визначення діапазону змінних було розроблено табличний тест на основі повністю рандомізованого факторного тесту розділеної ділянки (таблиця 1). Усі тести проводились з трикратним повторюванням.

Таблиця 1. Матриця експерименту

Параметри	Рівні параметрів		
	1	2	3
Оберти двигуна, об/хв	1500	2000	2250
Передача КПП	IV	III	II
Положення мікрофона	Дозиметр	SLM	-

Авторська розробка

Дані, отримані в цьому дослідженні, були проаналізовані за допомогою програмного забезпечення Statistics 19.0. Аналіз дисперсії для SPL (дБ) при А-зваженому еквіваленті SPL (дБ(А)) проводився для кожної з умов роботи. Для багаторазового порівняння середніх значень рівня звукового тиску використовувався тест Дункана.

Таблиця 2. Дисперсійний аналіз рівня звуку дозиметра

Джерело	Середнє квадратичне відхилення σ	df	Сума квадратів	F
Передача КПП	48,652	2	24,326	48,619**
Частота обертання двигуна, об/хв	119,24	2	59,620	119,153**
Частота обертання двигуна на передачі, об/хв	0,912	4	0,228	0,912*
Похибка	9,72	18	0,540	-
Разом	178,524	26	-	-

Примітка: ** - статистично значущий; * - статистично не значущий

Авторська розробка



Таблиця 3. Дисперсійний аналіз рівня звуку SLM

Джерело	Середнє квадратичне відхилення	df	Сума квадратів	F
Передача КПП	37,831	2	18,916	14,6**
Частота обертання двигуна, об/хв	95,138	2	47,569	35,558**
Частота обертання двигуна на передачі, об/хв	2,811	4	0,703	0,586*
Похибка	25,182	18	1,399	-
Разом	160,962	26	-	-

Примітка: ** - статистично значущий; * - статистично не значущий

Авторська розробка

Дисперсійний аналіз загального шуму трактора Xingtai XT 160 наведено в таблиці 2 і таблиці 3. Як видно, дисперсійний аналіз показав, що частота обертання двигуна на значення загального рівня шуму для трактора були статистично значущими, але взаємодія частоти обертання двигуна та передачі КПП для рівнів звукового тиску не була статистично значущою.

Вплив взаємодії частоти обертання двигуна та положення мікрофона на значення рівня звуку наведено у таблиці 4. Збільшуючи середнє значення частоти обертання двигуна, було збільшено середнє значення рівня звуку в положеннях дозиметра та SLM. Крім того, відмінності між трьома рівнями частоти обертання двигуна були статистично значущими ($P < 0,01$), за винятком середнього значення, пов'язаного з частотою обертання двигуна 1500 і 2000 об/хв у положенні SLM. Крім того, максимальне значущє збільшення загального SPL через збільшення частоти обертання двигуна (з 1500 до 2250 об/хв) для дозиметра та SLM становило 5,23 дБ(А) та 4,00 дБ(А), відповідно.

Передача КПП та положення мікрофона наведено у таблиці 5 з якої видно, що різниця між середнім SPL трактора Xingtai XT 160 для II і III передачі КПП, а також III і IV не є статистично значущою, тоді як різниця, пов'язана з передачами II і IV, є статистично значущою.

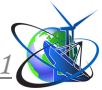
Таблиця 4 Результати випробування щодо впливу положення мікрофона та частоти обертання двигуна на загальний рівень звуку в дБ(А)

Параметри	Частота обертання двигуна, об/хв		
	1500	2000	2250
Дозиметр	83,19(с)	85,93(б)	88,42(а)
SLM	78,82(б)	81,55(а)	82,82(а)

Примітка: значення з однаковою буквою не мають статистично значущої різниці.

Авторська розробка

Різниця між середнім рівнем звуку SLM, пов'язаного з III і IV передачами КПП, не є статистично значущою ($P < 0,01$). При цьому існує статистично



значуща різниця між середніми значеннями рівня звуку передачі II з іншими передачами. Дані в таблиці 5 показують, що максимальні відмінності середнього значення SPL для положень дозиметра та SLM для різних передач КПП становили 3,74 дБ(А) та 1,81 дБ(А) відповідно.

Таблиця 5. Результати випробування щодо впливу положення мікрофона та передачі КПП на загальний рівень звуку в дБ(А)

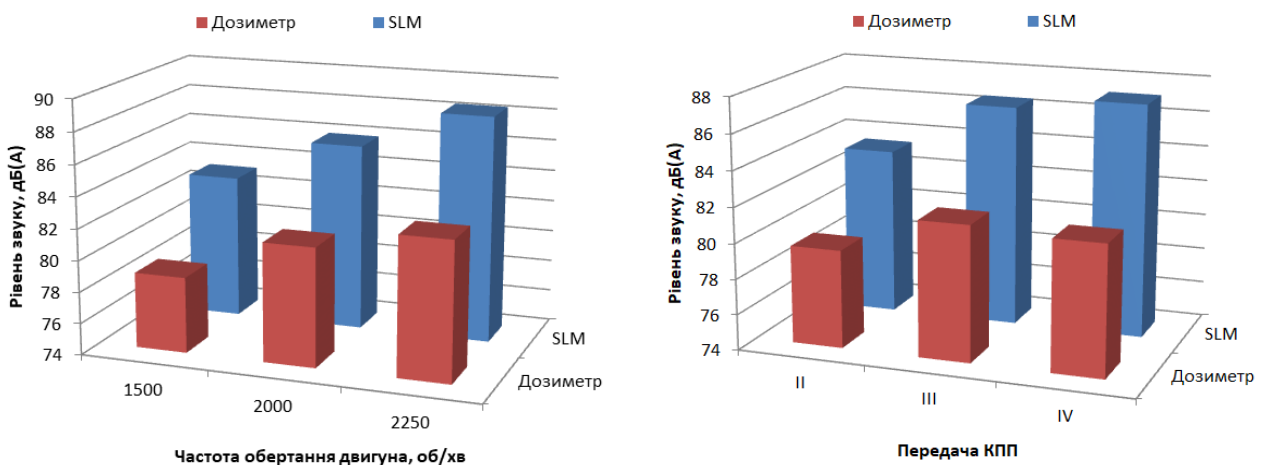
Параметри	Передача КПП		
	II	III	IV
Дозиметр	83,42(b)	86,49(ab)	87,16(a)
SLM	79,52(b)	81,63(a)	81,33(a)

Примітка: значення з однаковою буквою не мають статистично значущої різниці.

Авторська розробка

Загалом можна констатувати, що зміна положення мікрофона призвела до зниження рівня звуку на всіх рівнях частот обертання двигуна та передач КПП. Це може бути пов'язано зі збільшенням відстані від джерела шуму до мікрофона та демпфуючим ефектом навколишнього середовища та дороги.

Зі збільшенням частоти обертання двигуна було отримано статистично значущий рівень шуму трактора Xingtai XT 160 (рисунок 3, а).



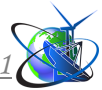
а) на різній частоті обертання двигуна (на II передачі)

б) на різних передачах КПП (при 2250 об/хв)

Рисунок 1 – Рівень загального шуму

Авторська розробка

Незважаючи на те, що загальний рівень шуму зростає з вибором передач КПП (рисунок 3, б), вплив передачі на рівень звуку не був статистично значущим. Значення загального рівня шуму, виміряні в цьому дослідженні, показали, що рівень звуку в положенні вуха тракториста на всіх передачах КПП та частотах обертання двигуна вищий за стандартний рівень звуку 85 дБ(А) [15, 16]. Тому трактористу рекомендується використовувати засоби захисту органів слуху. Крім того, дослідження показали, що рівень звуку з позиції спостерігача



на всіх рівнях частоти обертання двигуна та передач КПП часто нижчий за 85 дБ(А). Тому рекомендується, щоб працівники фермерських господарств, прилеглих до сільських доріг, які не користуються засобами захисту органів слуху, а також тим, хто проходить повз трактор Xingtai ХТ 160, знаходилися принаймні на відстані 5 м від даного трактора.

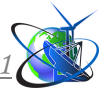
Висновки

Були проведено дисперсійний аналіз звукових частот для визначення впливу частоти обертання двигуна на відповідних передачах КПП на рівні звукового тиску та еквівалентні рівні звукового тиску, виміряні за шкалою А.

Отримано наступні результати: SPL збільшився зі збільшенням частоти обертання двигуна; Низькі оберти двигуна слід використовувати якомога частіше, щоб уникнути високого рівня шуму та шум, особливо під час роботи на тракторах без використання засобів захисту органів слуху; Для захисту від шуму на тракторах Xingtai ХТ 160 без кабін слід використовувати засоби індивідуального захисту, такі як беруші чи навушники.

Перелік літератури

1. Parsons, K.C. Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models. *Applied Ergonomics*, 31(6): 2000. 581–594. DOI: 10.1016/S0003-6870(00)00044-2.
2. Matthews, J. Measurements of environmental noise in agriculture. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 13 (2): 1968. 157–167. DOI: 10.1016/0021-8634(68)90092-9.
3. Miyakita, T., A. Ueda. Estimates of workers with noise-induced hearing loss and population at risk. *Journal of Sound and Vibration*, 205 (4), 1997. 441–449. DOI: 10.1006/JSVI.1997.1010
4. Sieswerda, V., J.C. Dekker. Deafness caused by tractor noise. *Landbouwmecanisatia*, 29: 1978, 1001–1003.
5. Maring, J. Tractor Noise, Field Measurements of Noise at Ear Level, Research Report of Wageningen University, Wageningen, the Netherlands. 1979.
6. Talamo, J.D.C. Noise problems in the agricultural industry. In *Proc. the Institute of Acoustics*, 9: 1987. 399–402.
7. Suggs, C.W. Noise Characteristics of Field Equipment, ASAE Paper No. 87-1598. St. Joseph, Mich, ASAE, 1987.
8. Brown, R.H. *Handbook of Engineering in Agriculture*, Vol. 2: 1st ed. London: Prentice – Hall, Inc. 1988.
9. Crocker, M.J. *Handbook of acoustics*. 1st ed., New York: John Wiley & Sons, 1998.
10. Solecki, L. Occupational hearing loss among selected farm tractor operators employed on large multi-production farm in Poland. *Int. J. Occup. Med. Env. Health*, 11(1): 1998. 69–80.
11. Solecki, L. Duration of exposure to noise among farmers as an important factor of occupational risk. *Agric. Env. Med.*, 7(2): 2000, 89–93.
12. Aybek. A, H. Kamer, S. Arslan. Personal noise exposures of operators of agricultural tractors. *Applied Ergonomics*, 41(2): 2010, 274–281.



13. McBride, D.I., H.M. Firth, G.P. Herbison. Noise exposure and hearing loss in agriculture: a survey of farmers and farm workers in the southland region of New Zealand. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 45 (12): 2003. 1281–1288.
14. Hassan-Beygi S.R., B. Ghobadian, M.H. Kianmehr, R.A Chayjan. Prediction of a Power Tiller Sound Pressure Levels in Octave Frequency Bands Using Artificial Neural Networks. *Int J Agric & Biol Eng*, 9(3): 2007. 494–498.
15. Санітарні правила по обладнанню та влаштуванню тракторів і сільськогосподарських машин. Державні санітарні правила. ДСП 3.3.2.041-99/<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0041588-99#Text>
16. Трактори сільськогосподарські, причеи та напівпричеи тракторні. Експлуатаційні вимоги до технічного стану ДСТУ 7324:2013. Національний стандарт України. Київ, Мінекономрозвитку України, 2014.
17. Белоконь Я. Умови ефективної роботи тракторів-універсалів. Практичний посібник. Видавництво "Ранок", 2004. - 128 с. ISBN: 966-8185-10-2
18. Сукач М.К. Технічний сервіс машин. Ліра-К, 2017. – 288 с. ISBN: 978-617-7320-72-1
19. Иллюстрированный каталог запчастей серии колесных тракторов марки Xingtai XT-120/160, XT-180/200, XT-220HG, XT-220KT. Тата AGRO-MOTO.
20. Белый И.Ф., Богданова И.А. Шум в кабине гусеничного сельскохозяйственного трактора // Тракторы и сельхозмашины. - 2016. - Т. 83. - №10. - С. 50-52. doi: 10.17816/0321-4443-66245
21. <https://agrotimes.ua/tehnika/ukrayinski-naukovczi-doslidyly-riven-shumu-vid-htz-z-dvygunom-volvo/>
22. https://gardenshop.ua/ukr/prichep_7cx_3.html

Abstract: *Minitractors have been used for transportation on roads by many farmers in addition to use in the field operations. Xingtai XT 160 minitractor is the popular kind of minitractor in Ukraine and almost this minitractor has been used without cabin. Despite the problems caused by noise from the tractors and all its adverse effects on users and observers, no comprehensive research has been done on them. The result of this research indicate that the noise level of Xingtai XT 160 minitractor, in 2250 r/min engine speed, will be 90 dB(A) which in comparison with the standard value, 85 dB(A), is dangerous for operator's ears. Also, result showed the speed of engine has a pivotal role in the production of noise and should be investigated in different operations.*

Key words: *minitractor, noise, sound pressure level, ergonomics*

Стаття відправлена: 24.02.2024 р.

© Березовецька О.Г.