

**Бурлака С.А.**д.ф. з галузевого
машинобудування, старший
викладач**Вінницький національний
аграрний університет****Burlaka S.**

Ph.D., Senior Lecturer

**Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 620.2:534.5****DOI: 10.37128/2306-8744-2024-1-3****ВПЛИВ ВІБРАЦІЙ НА
ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ДВИГУНА
ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ**

Ця стаття присвячена вивченню впливу вібрацій на ефективність та надійність роботи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ). Автори детально розглядають величину вібрацій, яка виникає внаслідок роботи двигуна та її можливі наслідки для різних компонентів.

Стаття розглядає сучасні методи аналізу вібрацій та їх вплив на різні типи технічних систем, включаючи електромеханічне, гідромеханічне та теплоенергетичне обладнання. Досліджуються технології зменшення вібрацій та їхнє впровадження для підвищення ефективності технічних систем.

Дослідження також включає в себе розгляд можливих технологій та інновацій, спрямованих на зменшення впливу вібрацій на роботу двигуна, таких як використання амортизаторів, оптимізація конструкції та використання новітніх матеріалів.

Зокрема, стаття аналізує використання новітніх матеріалів для редукації вібрацій, розробку систем контролю та діагностики, а також вивчає вплив вібрацій на людське здоров'я та навколишнє середовище. Зазначається важливість врахування вібраційних аспектів у процесі дизайну, експлуатації та підтримки технічного обладнання. Висвітлені можливі наслідки для точності вимірювань, електронної стабільності та загальної ефективності управління. Автори пропонують практичні рішення для зменшення цих негативних впливів, зокрема використання інноваційних технологій та розробки вдосконалених систем електроніки.

Ця стаття спрямована на інженерну та наукову спільноту, а також на фахівців, які зацікавлені в підвищенні ефективності технічних систем та розумінні впливу вібрацій на їх функціонування. Висновки та рекомендації, надані в цій статті, можуть бути використані для подальших досліджень та розробок в галузі вібраційної техніки та технологій.

Ключові слова: ефективність, аналіз вібрацій, редукація вібрацій, контроль, матеріали, обладнання

Постановка проблеми. У сучасному індустріальному ландшафті, де технологічні рішення набувають все більшого значення, питання впливу вібрацій на ефективність технічного обладнання стає надзвичайно актуальним. Вібрації, що виникають внаслідок роботи різноманітних машин і механізмів, можуть викликати серйозні проблеми, які впливають як на технічні характеристики обладнання, так і на здоров'я та безпеку працівників.

Потенційні наслідки включають погіршення якості виробництва, скорочення терміну служби технічного обладнання, підвищення ризику аварій та, що не менш важливо, може викликати негативні впливи на фізичне та психічне здоров'я операторів.

Серйозність проблеми підсилюється різноманітністю вібраційних джерел - від транспортних засобів і промислових машин до обладнання для точного позиціонування виробничих процесів. Враховуючи широкий спектр застосувань технічного обладнання, важливо розглядати і оптимізувати вплив вібрацій для забезпечення не тільки ефективності виробництва, але й збереження вартості обладнання та забезпечення безпеки працівників.

Аналіз останніх публікацій і досліджень. Останні наукові дослідження в галузі впливу вібрацій на ефективність технічного обладнання стали важливим етапом у розумінні цієї проблеми та визначенні стратегій для



подолання вібраційних викликів в сучасній промисловості.

Одним з ключових напрямків досліджень є визначення впливу вібрацій на різні типи технічного обладнання. Висвітлені останні досягнення в цьому напрямку дозволяють ліпше розуміти механізми взаємодії між вібраціями та конкретними видами машин, що є ключовим для розробки ефективних стратегій управління вібраціями.

Значний інтерес також викликають дослідження щодо використання новітніх матеріалів для зменшення вібрацій та амортизації. Введення адаптивних матеріалів та підходів до їх застосування в проектуванні технічного обладнання дозволяє зменшити вплив вібрацій на систему, підвищуючи тим самим ефективність та тривалість служби.

Ще однією ключовою темою в останніх дослідженнях є вплив вібрацій на здоров'я працівників та розробка інноваційних методів для зменшення негативних наслідків. Оцінка впливу вібрацій на людський організм та розробка заходів безпеки та захисту стали об'єктом інтенсивного дослідження, спрямованого на створення більш здорових та безпечних умов праці.

Особлива увага приділяється використанню сучасних технологій для виявлення та моніторингу вібрацій. Застосування датчиків, систем штучного інтелекту та аналізу даних дозволяє розробити передові методи виявлення та прогнозування вібраційних проблем.

Загальний висновок з останніх досліджень полягає в тому, що розуміння впливу вібрацій на технічне обладнання стає все більш

комплексним та деталізованим завдяки новим технологічним можливостям та глибокому науковому аналізу. Отримані результати мають важливе значення для подальшого розвитку технічних стандартів, стратегій управління та дизайну технічного обладнання для оптимізації його роботи в умовах вібраційного навантаження.

Мета досліджень. Основною метою цього дослідження є ретельний аналіз та систематизація впливу вібрацій на технічне обладнання, визначення ключових факторів, що впливають на цей процес, і вироблення рекомендацій для покращення ефективності роботи технічного обладнання в умовах вібраційного середовища.

Викладення основного матеріалу. Останні дослідження глибоко досліджують динаміку вібрацій та їхній вплив на конкретні види технічного обладнання. Взаємодія між вібраціями та різними компонентами обладнання є складним фізичним процесом, який варто детально вивчити для ефективного управління вібраціями та забезпечення оптимальної працездатності обладнання. Розглянемо основні аспекти цієї взаємодії та наведемо характеристики в табл. 1. Висока інтенсивність вібрацій може спричинити знос та деформації структурних елементів обладнання, що впливає на їхню тривалість служби. Екстремальні вібрації можуть призводити до руйнування конкретних компонентів крім того можуть призводити до розгойдування рухомих частин, що впливає на точність та ефективність роботи механізмів. Також вони спричиняють деградацію електронних компонентів, що може впливати на точність сенсорів та інших електронних систем.

Таблиця 1. Взаємодія між вібраціями та компонентами обладнання

Категорія	Вплив на компоненти обладнання
Структурні елементи	Знос, деформації, поламання
Рухомі частини	Збій механізмів, розгойдування, зрив з'єднань
Електронні компоненти	Деградація, втрати сигналу
Ефективність системи	Погіршення продуктивності, підвищення споживання енергії

Аналіз цих аспектів взаємодії наголошує на необхідності ретельного вивчення та управління вібраціями для забезпечення надійності, ефективності та тривалості служби технічного обладнання.

Математично описати взаємодію між вібраціями та різними компонентами обладнання можна за допомогою рівнянь руху та моделювання механічних та електричних систем. Загальне рівняння руху може бути представлено у формі другого порядку, де m - маса, c - коефіцієнт амортизації, k - жорсткість.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (1)$$

Для опису взаємодії між рухомими частинами можна використовувати рівняння

Ньютона та враховувати взаємодію зовнішніх сил та сил внутрішніх тертя чи жорсткості.

$$m_i \cdot U_i = F_{зовн} + F_{внутр} \quad U_i = F_{зовн} + F_{внутр} \quad (2)$$

Для електричних коліс взаємодію з вібраціями можна виразити через зміну опору чи ємності внаслідок деформацій, використовуючи відповідні рівняння електричного кола.

$$V = I \cdot (R + \Delta R) \quad V = I \cdot (R + \Delta R) \quad (3)$$

Для визначення ефективності системи можна використовувати різноманітні показники, такі як коефіцієнт корисної дії (ККД), який визначається як відношення корисно використаної енергії до всієї вхідної енергії.

$$ККД = \text{Корисна енергія виходу} / \text{Вхідна енергія}$$



Ці формули є загальними підходами та можуть бути адаптовані в залежності від конкретного об'єкта дослідження та його характеристик. Важливо враховувати, що взаємодія між вібраціями та компонентами обладнання може бути дуже складною, і в реальних системах може знадобитися чисельне моделювання для точного аналізу цієї взаємодії.

Математичне визначення величини вібрацій зазвичай включає амплітуду, частоту та вираз для характеристики форми коливань (рис. 1,2). У табл. 2 наведені основні величини вібрацій для різних компонентів двигуна внутрішнього згорання.

Таблиця 2. Вплив вібрацій на частини двигуна внутрішнього згорання

Компонент двигуна	Амплітуда вібрацій (мм)	Частота вібрацій (Гц)	Форма коливань
Корпус двигуна	0.1 - 1.0	5 - 50	Синусоїдальна, можливі резонансні ефекти.
Поршні та поршневі кільця	0.05 - 0.5	10 - 100	Синусоїдальна, можливі амплітудні та фазові коливання.
Колінчастий вал	0.2 - 2.0	20 - 200	Синусоїдальна, можливі гармоніки.
Підшипники	0.05 - 0.2	50 - 500	Синусоїдальна, можливі амплітудні та фазові коливання.
Система змащення	0.1 - 0.5	5 - 50	Синусоїдальна, можливі резонанси.
Впускна та випускна системи	0.05 - 0.3	10 - 100	Синусоїдальна, можливі амплітудні та фазові коливання.
Електроніка та датчики	0.01 - 0.1	100 - 1000	Амплітуда може бути низькою, але можлива висока частота.

Ці величини є лише загальними орієнтирами та можуть змінюватися в залежності від типу двигуна, його робочих умов, конструкції та інших факторів. Важливо

враховувати, що величина вібрацій може бути розглянута в контексті стандартів безпеки та нормативів для конкретного застосування.

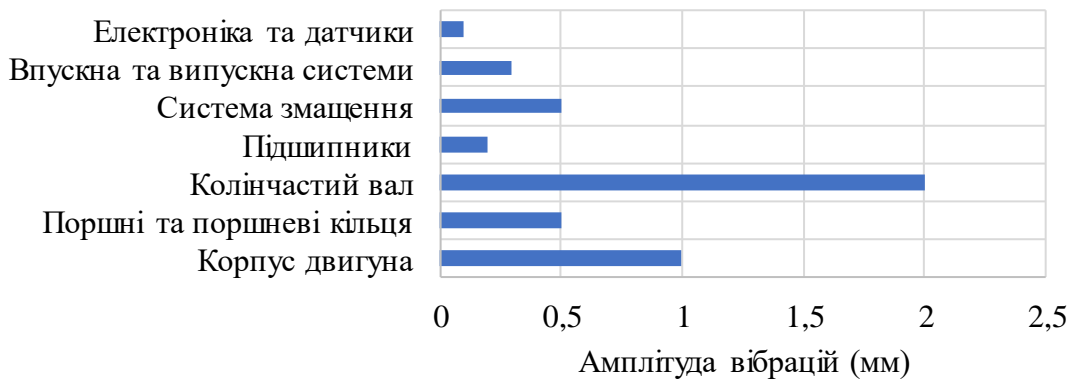


Рис. 1. Максимальні значення амплітуди коливань компонентів двигуна внутрішнього згорання

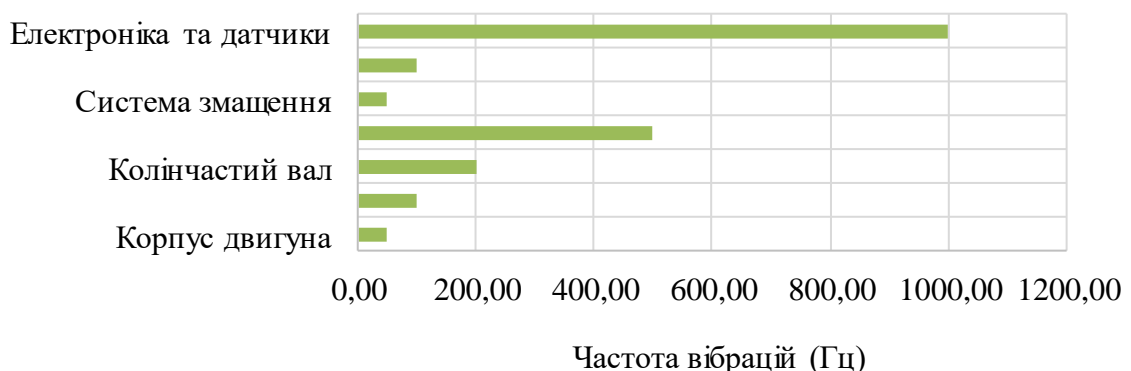


Рис. 2. Максимальні значення частоти вібрацій компонентів двигуна внутрішнього згорання



Вплив виходу за робочі межі показників амплітуди і вібрацій:

1. Зростання амплітуди вібрацій:
 - збільшення ризику пошкодження компонентів двигуна.
 - може спричинити резонансні ефекти та збоїв в роботі.
 - зменшення тривалості служби елементів конструкції.
2. Збільшення частоти вібрацій:
 - вплив на роботу систем управління та датчиків.
 - може призводити до резонансів та втрати ефективності.
3. Форма коливань:
 - різні форми коливань можуть викликати різні типи навантажень та відповіді системи.
 - негативний вплив на точність та стабільність роботи двигуна.

Важливо враховувати ці параметри під час конструювання та експлуатації двигуна, оскільки правильне управління вібраціями може покращити ефективність та забезпечити довгий термін служби.

Заходи для зменшення впливу вібрацій при роботі двигуна внутрішнього згорання включають в себе ряд технічних рішень та інженерних заходів. Зокрема, використання спеціальних амортизаторів та поглиблювачів вібрацій дозволяє знизити амплітуду та ефективно поглибити коливання.

Оптимізація конструкції є ще одним ключовим кроком, де важливо внести конструктивні зміни, спрямовані на зменшення вібрацій, зокрема оптимізацію маси та жорсткості компонентів. Застосування антивібраційних матеріалів також грає важливу роль у покращенні амортизації та зниженні передачі вібрацій.

Балансування рухомих частин двигуна, таких як поршні та колінчасті вали, спрямоване на уникнення неврівноважених мас і генерації непотрібних вібрацій. Удосконалення системи змащення, зокрема в областях, де можуть виникати високі вібрації, також важливо для зменшення тертя та амортизації.

Системи контролю та моніторингу в реальному часі дозволяють виявляти аномальні вібрації та негайно реагувати на них. Впровадження систем активного керування вібраціями дозволяє реагувати та компенсувати вібрації для забезпечення стабільної роботи.

Регулювання параметрів роботи двигуна, таких як час спалаху, може зменшити внутрішні нерівномірності та вібрації. Використання сучасних технологій управління та систем штучного інтелекту для передбачення та регулювання впливу вібрацій є також ефективним підходом.

Нарешті, постійні дослідження та впровадження інновацій в сфері технологій та

методів зменшення впливу вібрацій на роботу двигуна внутрішнього згорання є важливим етапом для постійного вдосконалення ефективності та тривалості служби двигунів.

Висновки:

Можна відзначити, що зменшення впливу вібрацій при роботі двигуна внутрішнього згорання визначається комплексом інженерних та технічних рішень. Використання амортизаторів, оптимізація конструкції, застосування антивібраційних матеріалів, балансування компонентів та інші заходи спрямовані на досягнення двох основних цілей: забезпечення комфортної роботи двигуна та підвищення його ефективності та тривалості служби.

Контроль та моніторинг в реальному часі разом із системами активного керування вібраціями відіграють ключову роль у реагуванні на зміни та компенсації вібрацій, забезпечуючи стабільність та безперебійну роботу двигуна. Оптимізація параметрів роботи, сучасні технології управління та постійні дослідження є необхідними елементами для досягнення високої ефективності та вдосконалення управління вібраціями.

Загалом, інтеграція цих заходів у виробничий процес може призвести до суттєвого покращення роботи двигуна внутрішнього згорання, зниження впливу вібрацій та забезпечення високого рівня надійності та продуктивності. Розробка нових технологій та постійне вдосконалення існуючих є важливим напрямком для подальшого розвитку сучасних двигунів.

Список використаних джерел

1. Evin, E.; Tomáš, M. (2017). The Influence of Laser Welding on the Mechanical Properties of Dual Phase and Trip Steels. *Metals*. 7, 239.
2. Planter. *Int.J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 8(4): 2432–2440. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.804.283
3. Михалевич В. М., Добранюк Ю. В., Краєвський В. О. (2018). Порівняльне дослідження моделей граничних пластичних деформацій. *Вісник машинобудування та транспорту*. Вінниця. № 2. С. 56-64.
4. Сивак Р. І., Гунько І. В., Залізняк Р.О. (2021). Застосування ліній току при визначенні кінематичних характеристик в стаціонарних процесах пластичної течії металу. *Вібрації в техніці і технологіях*. Вінниця. №2 (97). С. 157-163.
5. Solona O., Derevenko I., Kupchuk I. (2019). Determination of plasticity for pre-deformed billet. *Solid State Phenomena*. Vol. 291. P. 110–120.
6. Мазур М. П. (2018). Основи теорії різання матеріалів : підручник - 3-є вид. перероб. і доп. Львів : Новий Світ-2000. 471 с.
7. Pulupec M., Shvets L. (2019) Characteristics and thermomechanical modes of aluminum alloys hot deformation. *Current Problems of*



Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference. *Ternopil Ivan Puluji National Technical University and Scientific Publishing House «SciView»*. Ternopil, 2019. Pp 195-204.

8. Малаков О. І., Бурлака С. А., Михальова Ю. О. (2019). Математичне моделювання та основи конструювання вібраційних змішувачів. *Вісник Хмельницького національного університету*. № 5 (277). С. 30–33.

References

1. Evin, E.; Tomáš, M. (2017). The Influence of Laser Welding on the Mechanical Properties of Dual Phase and Trip Steels. *Metals*. 7, 239.

2. Planter. *Int.J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 8(4): 2432–2440. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.804.283

3. Myhalevich V. M., Dobranyuk Yu. V., Kraevsky V. O. (2018). Comparative study of models of limit plastic deformations. *Herald of mechanical engineering and transport*. Vinnitsa. No. 2. P. 56-64.

4. Sivak R.I., Gunko I.V., Zaliznyak R.O. (2021). Application of streamlines in determining kinematic characteristics in stationary processes of plastic flow of metal. *Vibrations in engineering and technology*. Vinnitsa. #2 (97). P. 157-163.

5. Solona O., Derevenko I., Kupchuk I. (2019). Determination of plasticity for pre-deformed billet. *Solid State Phenomena*. Vol. 291. P. 110–120.

6. Mazur M. P. (2018). Fundamentals of the theory of cutting materials: textbook - 3rd edition. processing and additional Lviv: Novy Svit-2000. 471 p.

7. Pulupec M., Shvets L. (2019) Characteristics and thermomechanical modes of aluminum alloys hot deformation. *Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference. Ternopil Ivan Puluji National Technical University and Scientific Publishing House "SciView"*. Ternopil, 2019. Pp 195-204.

8. Malakov O. I., Burlaka S. A., Mikhalova Yu. O. (2019). Mathematical modeling and fundamentals of construction of vibrating mixers. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University*. No. 5 (277). P. 30–33.

THE INFLUENCE OF VIBRATIONS ON THE EFFICIENCY OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

This article is devoted to the study of the influence of vibrations on the efficiency and reliability of the internal combustion engine (ICE). The authors consider in detail the amount of vibration that occurs as a result of engine operation and its possible consequences for various components.

The article examines modern methods of vibration analysis and their impact on various types of technical systems, including electromechanical, hydromechanical, and thermal energy equipment. Vibration reduction technologies and their implementation to increase the efficiency of technical systems are being studied.

The study also includes consideration of possible technologies and innovations aimed at reducing the impact of vibration on engine performance, such as the use of shock absorbers, design optimization and the use of new materials.

In particular, the article analyzes the use of the latest materials for vibration reduction, the development of control and diagnostic systems, and also studies the impact of vibrations on human health and the environment. The importance of considering vibration aspects in the process of design, operation and maintenance of technical equipment is noted. Possible implications for measurement accuracy, electronic stability, and overall control efficiency are highlighted. The authors offer practical solutions to reduce these negative impacts, including the use of innovative technologies and the development of improved electronics systems.

This article is aimed at the engineering and scientific community, as well as at professionals who are interested in improving the efficiency of technical systems and understanding the effect of vibrations on their functioning. The conclusions and recommendations presented in this paper can be used for further research and development in the field of vibration engineering and technology.

Key words: efficiency, vibration analysis, vibration reduction, control, materials, equipment

Відомості про автора

Бурлака Сергій Андрійович – доктор філософії з галузевого машинобудування, старший викладач кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: ipserhiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4079-4867>)

Burlaka Serhii - Doctor of Philosophy in Industrial Mechanical Engineering, Senior Lecturer at the Department of Technological Processes and Equipment of Processing and Food Industries of the Vinnytsia National Agrarian University (Sonyachna St., 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: ipserhiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4079-4867>)