

УДК 628.08

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.258-262](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.258-262)**С. В. Філатов**, доц., канд. техн. наук, **І. С. Водоп'янов***Криворізький державний педагогічний університет, м. Кривий Ріг, Україна**e-mail: felixfilatovsergey@gmail.com, vodopianov.ivans@gmail.com*

Вплив температурних напружень, що виникають в циліндро-поршневій групі при експлуатації автомобілів

Дослідження присвячене ефективності та вдосконаленню конструкцій двигунів автомобільного транспорту, зменшенню обсягу витрат палива при їх роботі. Хронологічні рамки досліджуваних наукових статей – 2020-2024 рр.

Авторами проведений аналіз з досліджуваної теми з посиланням на досвід зарубіжних компаній. У статті наведено короткий опис функціоналу програми для підвищення тягових якостей великовантажних кар'єрних автосамоскидів. Авторами розглянуті і наведені графіки впливу напружень на циліндр, їх концентрацію і значень з використанням методу граничних елементів. Проведений аналіз напружень поршня в залежності від його геометричних форм.

Авторами було проведено математичне дослідження в галузі автомобільного транспорту на основі методу граничних елементів. На основі отриманих результатів доцільно використовувати вказану програму для підвищення ефективності використання палива в секторі автомобільного транспорту з метою енергозбереження та орієнтацію на зниження витрат транспортних підприємств.

граничні контури, граничні елементи, польові точки, напруження, ізолії

Постановка проблеми. Одним із напрямків ефективного використання палива є удосконалення конструкції двигуна, тобто зменшення витрат на тертя в циліндро-поршневій групі. Відомо, що витрати на тертя в циліндро-поршневій групі складають більшу частину від інших витрат двигуна внутрішнього згорання. Це пов'язано із значними механічними і тепловими навантаженнями. Також потрібно враховувати, що поршні рухаючись прямолінійно в циліндрах зазнають знакозмінні навантаження, які призводять до зносу як циліндрів так і поршнів у поздовжньому та поперечному перерізі. Це свідчить про те, що поршень і циліндр двигуна внутрішнього згорання має овальність та конусність. Овальність циліндра спостерігається коли в процесі експлуатації на нього діють значні поперечні сили, які прижимають поршень до дзеркала циліндра. Як правило овальність відбувається по осі, перпендикулярній осі поршневого пальця. [4]

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Посилаючись на американські компанії таких фірм як «CRISS», «VICON MARIO», «WABCO» та «TEREX», які більше звертають увагу на раціональне підвищення тягових якостей великовантажних кар'єрних автосамоскидів, ніж до збільшення питомої потужності двигуна, за рахунок зменшення тертя в циліндро-поршневій групі, хочеться звернути увагу на програму «Taxis», що працює в дослідженні даного напрямку.

«Taxis» - це програма, що розроблена Європейським Союзом для Нових Незалежних держав і Монголії з метою прискорити розвиток гармонічних і взаємовигідних економічних і політичних зв'язків між Європейським Союзом і цими країнами.

З 2020 р. в Україні споживання палива автотранспортом склало близько 6,4 мільйона тон нафтового еквіваленту. Ця цифра може збільшитися у 2,5 рази і досягнути значення, приблизно, 16 мільйонів тон в 2030 р., якщо підтвердяться прогнози енергетичних споживачів. Таким чином, переходячи до вільної ринкової економіки, Україні потрібно здолати додаткові економічні труднощі, що викликані значними додатковими енергетичними витратами у збиток торгівельному балансу.

© С. В. Філатов, І. С. Водоп'янов, 2025

Тому в Україні розпочалося проведення реформ енергетичного сектору, заснованого на застосування цінової політики, що відображає справжню вартість енергії; прийнятті Закону про збереження енергії; створенні Державного Комітету по енергозбереженню. Крім того був розпочатий проект в рамках програми «Tacis»: розробка заходів по підвищенню ефективності використання палива в секторі автотранспорту. Він має метою надання допомоги українському уряду в розробці підходящих рамок для втілення енергозберігаючих акцій, орієнтованих на комерційні транспортні колективні підприємства і власників приватних автомобілів.

Застосовуючи математичну модель за допомогою метода граничних елементів можна визначити напружено-деформований стан елементів циліндро-поршневої групи.

Всі граничні контури апроксимуються прямолінійними відрізками, що примикають один до одного. По даним у програмі автоматично розраховуються координати центрів, довжини й орієнтації граничних елементів. Програма припускає використання не більше 50 граничних елементів. У цілому кращі результати одержують, коли всі граничні елементи мають приблизно однакову довжину. При завданні координат x , y кінців граничного відрізка необхідно враховувати правило обходу межі; замкнутий контур обходимо проти ходу годинникової стрілки, якщо область, що розглядається, лежить поза контуром, і по ходу годинникової стрілки, якщо область, що розглядається, лежить всередині контуру. [1]

Програма має два обмеження, пов'язані з розташуванням граничних елементів у задачах, що володіють симетрією: граничні елементи не можуть лежати уздовж лінії симетрії і не можуть перетинати її. Наприклад, якщо один кінець елемента лежить на лінії симетрії, то інший повинен лежати поза цією лінією. Польові точки, проте, можуть бути обрані уздовж лінії симетрії.

Програма дозволяє працювати з будь-якою послідовною системою одиниць виміру, наприклад у системі СІ. Вхідні значення для граничних зміщень, якщо вони є, повинні бути задані в тих же одиницях виміру, що використовувалися при завданні координат точок, а вхідні значення напружень на межі і початкових напружень, якщо вони мають у тих же одиницях, у яких задається модуль Юнга. Обчислені значення зміщень і напружень тоді будуть мати відповідні одиниці виміру.

Програма побудована таким чином, що всі необхідні вхідні дані вводяться через текстовий файл даних або безпосередньо в зазначений рядок програми. Файл даних «DATAN. txt» створюється за допомогою будь-якого текстового редактора спроможного зберегти файл у форматі «*. txt». У одному рядку файлу повинно міститися тільки одне значення вихідних даних. Дані вводяться в наступному порядку:

Програма містить головну програму і три підпрограми. Головна програма управляє усіма вхідними і вихідними операціями, а також містить логічні операції, необхідні для визначення положення граничного елемента, побудови системи алгебраїчних рівнянь і обчислення невідомих граничних параметрів, зміщень або зусиль, а також зміщення і напруження в усіх внутрішніх точках через компоненти фіктивних навантажень на усіх граничних елементах. Обчислення коефіцієнтів впливу зміщення та напруження для граничних f_i внутрішніх польових точок реалізуються в підпрограмі COEFF, а результати використовуються в головній програмі. Підпрограма INITL використовується на початку цих обчислень у випадках, коли враховуються умови симетрії, так, що уявлювані граничні елементи породжуються усередині програми. Операції з уявлюваними елементами відбуваються шляхом послідовного звертання до підпрограми COEFF після відповідного визначення координат і орієнтації уявлюваних елементів. Підпрограма SOLVE вирішує систему алгебраїчних рівнянь, побудовану в головній програмі. Процедура розв'язання побудована на методі

виключення Гауса без вибору ведучого елемента.

У кожній задачі визначалися поле напружень і зони можливих руйнувань циліндра, а також максимально досягнуте значення критерію Морю в циліндрі.

Особливості зміни напруженого стану циліндра при дії на нього горизонтальних, вертикальних та дотичних напружень представлені на рис. 1-3.

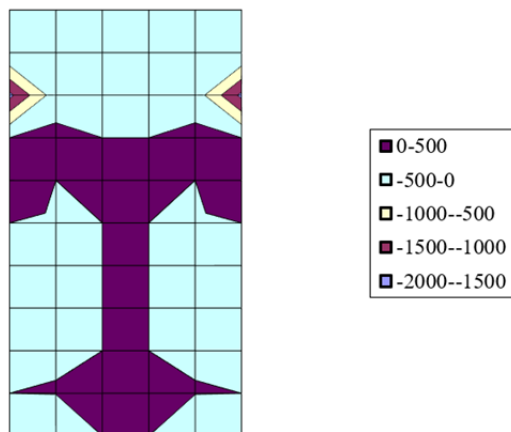


Рисунок 1 – Ізолінії горизонтальних напружень, що діють на циліндр

Джерело: розроблено авторами

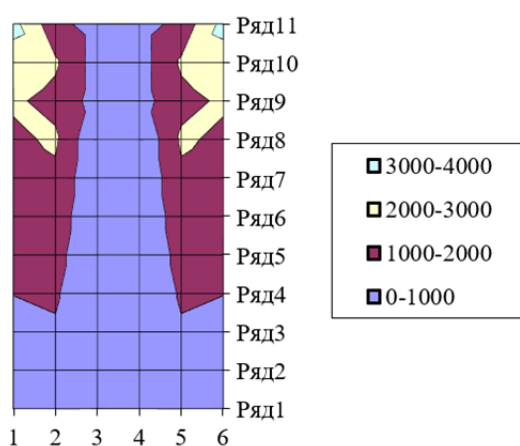


Рисунок 2 – Ізолінії вертикальних напружень, що діють на циліндр

Джерело: розроблено авторами

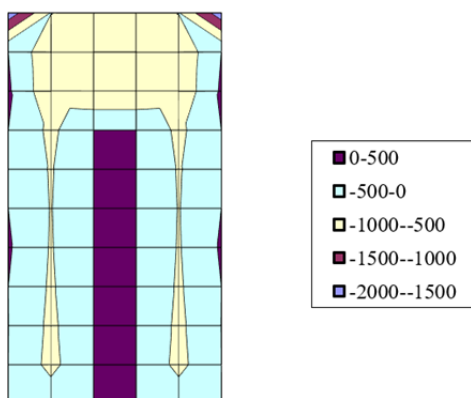


Рисунок 3 – Ізолінії дотичних напружень, що діють на циліндр

Джерело: розроблено авторами

Аналіз розподілу горизонтального компонента напружень усередині циліндра показує, що вони симетричні щодо вертикальної осі (рис.1). У центральній частині спостерігається їхня концентрація до рівня 500МПа, а на деяких ділянках концентрація напружень збільшується до величини 1500-2000МПа.

Аналіз розподілу вертикального компонента напружень усередині циліндра також показує, що вони симетричні щодо вертикальної осі (рис.2). Максимальні напруження знаходяться на верхніх бічних частинах циліндра і мають максимальне значення 3000-4000МПа, а при віддаленні від країв до центру відбувається зниження їхньої концентрації до 1000МПа.

Аналіз розподілу дотичного компонента напружень усередині циліндра, як у випадку з горизонтальним та вертикальним показує, що вони симетричні щодо вертикальної осі (рис.3.). У верхніх кутах спостерігаються критичні напруження, що досягають значення 1500-2000МПа. Також у верхній частині знаходиться значна концентрація напружень 500-1000МПа, які зсуваються у напрямку низу циліндра.

Отже, зображені на рис.1-3 ізолінії дають змогу проаналізувати вплив напружень на циліндр, їх концентрацію і значення. Аналогічно методом граничних елементів можна проаналізувати і поршень. Це дасть більш детальне зображення впливу сил та напружень, що діють у циліндро-поршневій групі, а також можливість розробки нових методів по зменшенню тертя.

Одним із напрямків зміни напружень є конструктивний метод, тобто заміна форми поршня і циліндра з круглої на еліпсоподібну. Але це може призвести до значних затрат і незручностей в розробці цих форм. Слід також розглядати метод зміни напружень за допомогою застосування інших поршневих кілець, тобто іншої їх конфігурації або напilenня, наприклад керамічного. [6]

Висновки. Спираючись на результати даного дослідження вперше показано вплив температурних напружень, що виникають в циліндро-поршневій групі на експлуатацію автомобільного транспорту, також створено методологічні засади подальшого удосконалення роботи двигунів внутрішнього згорання. Розроблена математична модель визначення температури нагріву циліндро-поршневої групи описує вплив на техніко-експлуатаційні показники роботи двигунів внутрішнього згорання.

Вперше показані горизонтальні, вертикальні і дотичні напруження що виникають в циліндро-поршневій групі двигинів внутрішнього згорання. Завдяки розробленій математичній моделі можна також визначити і напруження, що виникають у поршні, поршневому пальці та у поршневих кільцях і таким чином оптимізувати геометричні параметри всіх деталей циліндро-поршневої групи з метою зменшення витрат на тертя у двигуна внутрішнього згорання.

Розглядаючи результати досліджень на основі ізоліній напружень, можна зробити висновок, що двигуни внутрішнього згорання мають резерв потужності шляхом виділення її за допомогою зниження тертя в циліндро-поршневій групі. Але на наш погляд, так як двигуни внутрішнього згорання є основним джерелом викидів шкідливих речовин в атмосферу, то більш раціональним і доцільним буде перехід на електричні або гібридні двигуни, за прикладом закордонних фірм.

Список літератури

1. Бреббія К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методи граничних елементів / пер. з англ. Л. Г. Корнійчука. 1987. 524 с.
2. Головач Н. П., Дзяк І. І. Застосування прямого методу граничних елементів для чисельного дослідження деяких прикладних задач. Волинський математичний вісник. 1996. Вип. 2. С. 67-69.

3. Захарчук В. І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів : навч. посіб. Київ : Каравела, 2022. 232 с.
4. Канарчук В. С., Лудченко О. А., Чигиринець А. Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Київ : Вища школа, 1994.
5. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова і експлуатація автомобілів. Київ : Либідь, 2018. 400 с.
6. Крауч С., Старфілд А. Методи граничних елементів в механіці твердого тіла. 1987. 328 с.
7. Волокита А. М., Селіванов В. Л. Основи теорії планування експерименту. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 41 с.
8. Артюх О. М., Дударенко О. В., Кузьмін В. В. та ін. Основи САПР в автомобілебудуванні : навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 168 с.
9. Мітрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Харків : Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2018. 152 с.
10. Костюшко І. А., Любашенко Н. Д., Третиник В. В. Методи обчислень : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Видво «Політехніка», 2021. 243 с.

References

1. Brebbia, C., Telles, J., & Wrobel, L. (1987). Boundary element methods (L. G. Korniychuk, Trans.).
2. Holovach, N. P., & Diyak, I. I. (1996). Application of the direct boundary element method for numerical study of some applied problems. *Volyn Mathematical Bulletin*, (2), 67–69 [in Ukrainian].
3. Zakharchuk, V. I. (2022). Fundamentals of the theory and design of automobile engines (Educational manual). Kyiv: Karavela [in Ukrainian].
4. Kanarchuk, V. Ye., Ludchenko, O. A., & Chyhyrynets, A. D. (1994). Fundamentals of automobile maintenance and repair (Textbook in 3 vols.). Kyiv: Vyshcha shkola. (599 pp.) [in Ukrainian].
5. Kyslykov, V. F., & Lushchik, V. V. (2018). Structure and operation of automobiles. Kyiv: Lybid.
6. Crouch, S., & Starfield, A. (1987). Boundary element methods in solid mechanics (Translated from English) [in Ukrainian].
7. Volokyta, A. M., & Selivanov, V. L. (2022). Fundamentals of experimental planning theory: Educational manual for students of the educational program "Computer systems and networks," specialty 123 "Computer engineering" [Electronic resource]. Kyiv: Igor Sikorsky KPI [in Ukrainian].
8. Artiukh, O. M., Dudarenko, O. V., Kuzmin, V. V., et al. (2021). Fundamentals of CAD in automotive engineering: Educational manual. Zaporizhzhia: NU "Zaporizka Politekhnikha" [in Ukrainian].
9. Mitrofanov, O. S., & Proskurin, A. Yu. (2018). Fundamentals of operation, maintenance, and repair of internal combustion engines: Kharkiv: NTU "KhPI" Publishing Center [in Ukrainian].
10. Kostyushko, I. A., Liubashenko, N. D., & Tretynik, V. V. (2021). Computational methods: Textbook. Kyiv: Igor Sikorsky KPI, Politekhnikha Publishing House [in Ukrainian].

Serhii Filatov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ivan Vodopianov**
Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine

The Influence of Temperature Stresses Arising in the Cylinder-Piston Group During the Operation Of Cars

The research topic is aimed at improving the efficiency and design of motor transport engines and reducing fuel consumption during their operation. The chronological framework of the researched scientific articles is 2020-2024. The authors conducted an analysis of the researched topic with reference to the experience of foreign companies. The article provides a brief description of the functionality of the program for improving the traction qualities of heavy-duty quarry dump trucks. The authors considered and presented graphs of the influence of stresses on the cylinder, their concentration and values using the boundary element method. An analysis of piston stresses depending on its geometric shapes was conducted.

The authors conducted a mathematical study in the field of motor transport based on the boundary element method. Based on the results obtained, it is advisable to use the specified program to increase the efficiency of fuel use in the motor transport sector for the purpose of energy conservation and focusing on reducing the costs of transport enterprises.

boundary contours, boundary elements, field points, stresses, isolines

Одержано (Received) 06.03.2025

Прорецензовано (Reviewed) 11.03.2025

Прийнято до друку (Approved) 14.03.2025