

УДК621.431

АНАЛІЗ ТЕПЛОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ СОСТАВНИХ ПОРШНІВ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЄЛЕМЕНТІВ

В.Г. Максимов, канд. техн. наук, **О.Д. Ніцевич**, канд. техн. наук, **О.А. Ткачов**, канд. техн. наук, **П.Є. Вовк** інж.

Одеський національний політехнічний університет

Наведена послідовність задання граничних умов при визначенні теплонапруженого стану, порядок визначення еквівалентних напружень та поля температур составних поршнів вантажних автомобілів агропромислового комплексу методом кінцевих елементів. Розглянуто порядок побудови розрахунку у програмному комплексі ANSYS.

Ключові слова: составні поршні, дизельні двигуни, напружено-деформований стан, метод кінцевих елементів, програмний комплекс ANSYS, розрахунок теплопередачі.

Вступ. Деталі циліндро-поршневої групи (ЦПГ) сучасного дизельного двигуна великовантажного автомобіля повинні забезпечувати високі експлуатаційні властивості, такі як зносостійкість, енергоекономічність двигуна, низький рівень шуму та витрату мастильних матеріалів.

Проблема. З підвищенням ступеня форсованості дизельних двигунів велико вантажних автомобілів суттєво підвищилися теплові та механічні навантаження на деталі ЦПГ. Як наслідок, це призвело до підвищення теплових зазорів, збільшення рівня шуму при роботі та зменшення ресурсу. Для покращення умов роботи основних контактуючих вузлів ЦПГ (компресійних та маслоз'ємних кілець, юбки поршня) використовують поршні составних конструкцій, жарозахисні напилення, масляне охолодження.

Аналіз досліджень. Перспективним напрямком у розробці конструкцій поршнів дизельних двигунів є розробка комбінованих поршнів. До таких конструкцій належать поршні з керамічною, чавунною або сталеву термізолюючою накладкою на голівку поршня та поршні з голівкою з кованої жаростійкої сталі на власних опорах (Ferroterm фірми Mahle). Ідея составного поршня полягає в тому, що деталі виконані з жароміцних сталей, виконують роль теплозахиного бар'єру, а деталі із легких матеріалів виконують – тепловідвідних поверхонь та силових елементів. Такий підхід дозволяє істотно зменшити інерційні навантаження на деталі КШМ, зменшити механічні витрати на тертя, тепловідачу в систему охолодження, що в свою чергу веде до зменшення розмірів обслуговуючих систем двигуна [1]. Поршні із сталевими жарозахисними накладками знайшли активне використання у двигунах спеціалізованої техніки. Накладка 1 із жаростійкої сталі кріпиться за допомогою чотирьох болтів до алюмінієвого

корпусу 6, піджатою пружинами 12 та пакетами із ущільнюючих сферичних шайб 7. Між корпусом поршня (сплави алюмінія з високим вмістом кремнію) та накладкою розташована проставка 3 із жаростійкої сталі. Конструкція поршня дозволяє встановлювати нерозрізне жарове кільце 2 (4X5MФ1С-Ш). Вже на перших зразках дизелів за допомогою таких конструкторських рішень вдалося зменшити перепад температур по висоті поршня з 900 до 150 °С, тепловий потік через поршень склав 8%, що 2...2,5 рази менше у порівнянні із звичайним дизелем.

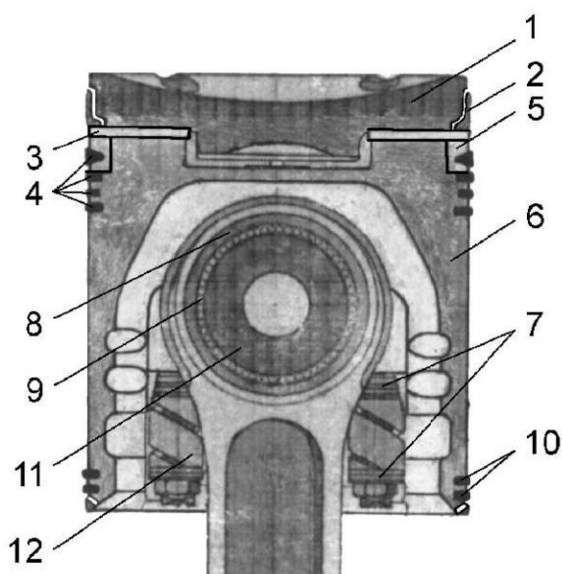


Рис. 1. Поршень двигуна 5ТД.



Рис. 2. Поршень Ferroterm фірми Mahle.

Поршні з голівкою з кованої жаростійкої сталі на власних опорах, відрізняються тим що тримаючу функцію виконують опори днища поршня, а єдність конструкції поршня забезпечується поршневим пальцем. Використання кованої жаростійкої сталі має на меті тіж самі цілі, що й використання жаростійких накладок, а саме зменшити відвід тепла через днище поршня, зменшити температурний перепад за висотою поршня, зменшити теплові зазори. Також вона має більший модуль пружності поріняно з алюмінієвими сплавами ($2,1-2,2 \cdot 10^5$ МПа проти $0,7 \cdot 10^5$ МПа) підвищити жорсткість конструкції поршня, зменшити теплові зазори за рахунок меншої теплопровідності та теплового розширення (коефіцієнт лінійного теплового розширення для сталі $11,0 -13,0 \cdot 10^{-6}$ °С, для алюмінію $22,2 \cdot 10^{-6}$ °С). Більш жорстка конструкція головки поршня та більша твердість та зносостійкість сталі дозволяє покращити умови роботи компресійних кілець. В поршнях з алюмінієвими гоівками використовують нірезистові вкладки

для підвищення міцності та зносостійкості канавок компресійних кілець. В поршнях Ferroterm цей захід непотрібен. Поршні системи Ferroterm мають масляну галерею 1 (рис. 2.) що утворюється між головкою поршня та юбкою, використання масляного охолодження на поршнях з термоізолюючою накладкою ускладнено через болтові кріплення накладки. Основну тримаючу функцію виконують ніжки поршня 2 (рис. 2.) Поршні составних конструкцій вже використовуються на двигунах Reno, Cummins та ЯМЗ.

Мета досліджень. Вивчення напружено стану составного поршня. Визначення температурних полів.

Результати досліджень. Побудова тривимірної моделі була виконана в SolidWorks. Отримання еквівалентних напружень та полів температур виконано в три етапи за допомогою двох пакетів програмного комплексу ANSYS (ANSYS Steady-State Thermal та ANSYS Static Structural). Граничні умови для розрахунку отримані на основі розрахунку теплового циклу двигуна аналогічного за характеристиками та геометричними параметрами двигуна ЯМЗ 650, до них належать ступінь стиску, діаметр циліндра хід поршня, літрова потужність. На основі виконаного теплового розрахунку (максимальний тиск P_Z та середня температура T_{CP} в камері згоряння) та розрахунку коефіцієнтів теплопередачі та теплопровідності ($\alpha_{Г}, \alpha_{М}, \alpha_{О}$) задаються граничні умови для подальшого розрахунку методом кінцевих елементів (рис. 3.). Коефіцієнти тепловіддачі від газів до поршня розраховано за методикою Розенбліта [3, 4]:

$$\alpha_{Г} = 600 \cdot \sqrt{\frac{\omega_{\tau}}{D}} \cdot \sqrt{\lambda_{m} \cdot c_{pm} \cdot \gamma_{m}} \cdot \left(1 - \frac{x \cdot Q_{o}}{G_{a} \cdot \beta_{x} \cdot c_{pm} \cdot T_{m}} \right)$$

де ω_{τ} — тангенціальна складова швидкості повітря в циліндрі, м/сек;

D — діаметр циліндра, м;

λ_{m} — теплопровідність газу, ккал/м·ч·град;

c_{pm} — теплоємність газу, ккал/кг·ч·град;

γ_{m} — питома вага газу, кг/м

$$\gamma_{m} = \frac{p \cdot 10^4}{R \cdot T_{m}}$$

x — закон повного виділення тепла при стгорянні палива в циліндрі двигуна;

$$Q_{o} - \text{тепло, внесене за цикл, } Q_{o} = V_{o} Q_{H};$$

G_{a} — вага газу в циліндрі до подачі палива:

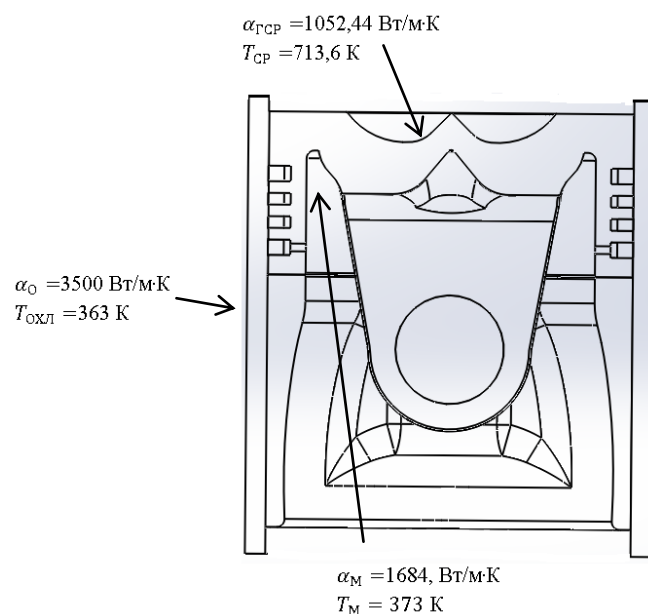


Рис. 3. Граничні умови для розрахунку теплових полів.

$$G_a = \frac{p_a \cdot V_a}{R \cdot T_a};$$

β_x – коефіцієнт молекулярної зміни робочої суміші;

T_m – визначаюча середня температура прикордонного слою:

Коефіцієнти тепловіддачі від поршня к охолоджуючому маслу розраховано за методикою Розенбліта [3, 4]:

$$\alpha_M = 864 \cdot \frac{V_m^{0,63}}{d^{1,63} \cdot i^{0,81} \cdot \nu^{0,25}},$$

де V_m – витрата мастила через сопло л/хв;

d – діаметр сопла, м;

i – кількість сопел, шт;

ν – кінематична вязкість масла, .

Коефіцієнти теплопровідності від гільзи до охолоджуючої рідини розраховано за методикою Розенбліта [3, 4]:

$$\alpha_o = 300 + 1800 \cdot \sqrt{\omega}.$$

Початок розрахунку в програмному комплексі ANSYS починається з побудови структури розрахунку (рис. 4.), задання граничних умов (рис. 3.) та побудови сітки кінцевих елементів.

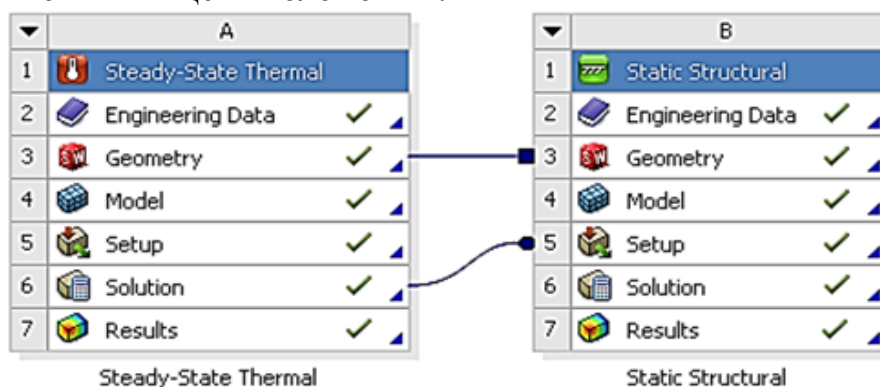


Рис. 4. Структура розрахунку в програмному комплексі ANSYS.

В пакеті ANSYS Steady-State Thermal за відповідними граничними умовами моделюються теплові поля (рис. 5.). Після розрахунку теплових полів отримано максимальну температуру поршня 370 °С.

Перевірка конструкції поршня на міцність починається з перевірки на статичну міцність в програмному комплексі ANSYS за допомогою пакету Static Structural. В програмі вивчається половина поршня за допомогою функції Symmetric та Symmetric Region (конструкція поршня симетрична), це дозволяє зменшити кількість елементів сітки та зменшити обсяг розрахунків. В якості граничних умов

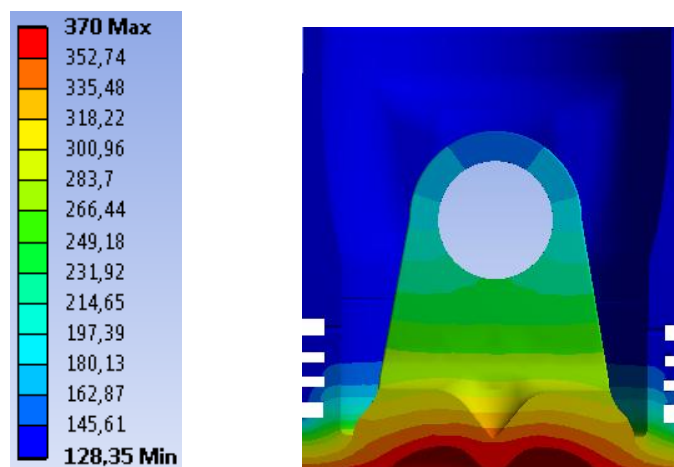


Рис. 5. Теплові поля (Temperature) составноо поршя.

приймається максимальний тиск згоряння для двигуна ЯМЗ 650. В якості матеріала голівки поршня використана сталь Сталь 35ХМ, в якості матеріала юбки використаний алюмінієвий сплав АК4 - 1.

В програмному комплексі обраховувалися еквівалентні напруження (Equivalent Stress) (рис. 6.) в тілі поршя та юбки поршя. В якості навантаження задавався тиск газів на днище поршя. Тиск газів відповідав максимальному тиску згоряння двигуна ЯМЗ 650 та складав 10,7 МПа.

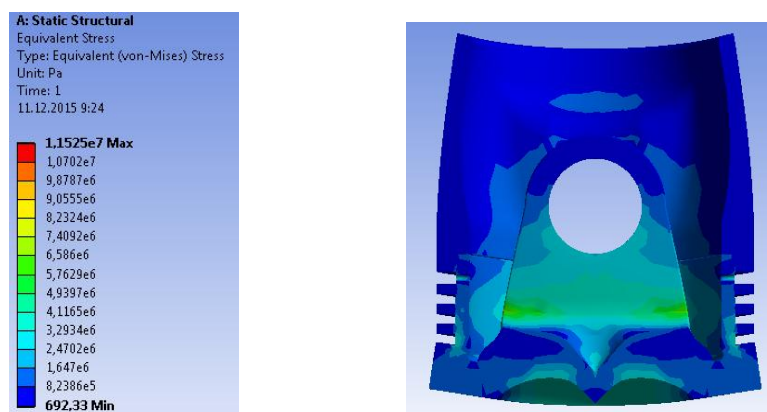


Рис. 6. Еквівалентні напруження (Equivalent Stress) в составному поршні.

Висновки. Найбільші напруження виникають у ніжках голівки поршя (рис. 6.). Основну тримаючу функцію виконує голівка поршя, юбка виконує роль направляючого елемента. Також наявний істотний нагрів ніжок поршя (рис. 5.).

ЛІТЕРАТУРА

- 1.С.В. Лыков «Шатунно-поршневая группа двигателей для бронетанковой техники».
<http://www.kpi.kharkov.ua/archive/%D0%9D%D0%B0%D1%BA%D0%93.PDF>
- 2.Н.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровский Н.Г. Гармаш, Т.В. Протасова «Развитие расчетных моделей для исследования теплового и

- термонапряженного состояний составных поршней ДВС»
http://www.kpi.kharkov.ua/archive/B8%D0%BA%D0%B0/Dvs/2004_2/26.PDF
3.В. В. Бирюк, А. А. Горшкалёв, С. С Каюков , Е. А. Сайгаков «Расчёт на прочность элементов двс с помощью ansys с учётом тепловых процессов в камере сгорания» © 2015.
.journals.ssau.ru/index.php/vestnik/article/download/2651/2659
4.Розенблит Г.Б.Теплопередача в дизелях. М.,«Машиностроение» 1977, 216 с.
5.В. В. Водолажченко, и др. Проектирование тепловозных двигателей. Изд-во «Транспорт», 1972, стр. I-224.

АНАЛИЗ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СОСТАВНЫХ ПОРШНЕЙ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА МЕТОДОМ КОНЦЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Максимов В.Г., Ницевич А.Д., Ткачов О.А., Вовк П.Є.

Ключевые слова: составные поршни, дизельный двигатель, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, программный комплекс ANSYS, расчет теплопередачи.

Резюме

Приведена последовательность задания граничных условий при определении теплонапряженного состояния, порядок определения эквивалентных напряжений и поля температур составных поршней грузовых автомобилей агропромышленного комплекса методом конечных элементов. Рассмотрено порядок построения расчетов в программном комплексе ANSYS.

ANALYSIS HEAT STRESS CONDITION COMBINE PISTONS OF TRUCKS AGROINDUSTRIAL COMPLEX BY FINITE ELEMENT METHOD

Maksimov V.G., Nitsevich A.D., Tkach'ov O.A., Vovk P. E.

Key words: compound pistons, the diesel engine, is intense - deformed a condition, a method of final elements, complex ANSYS, calculation of a heat transfer.

Summary

The sequence of the task of boundary conditions is given at definition of a heat-stressed condition, the order of definition pressur and a field of temperatures of compound pistons of lorries of agriculture by a method of final elements. It is considered the order of construction of calculations in complex ANSYS.