

4. **Еремеев П. Г.** Обеспечение безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях / П. Г. Еремеев // Совр. промышл. и граждан. строительство. – 2008. – Т. 4. – № 3. – С. 129 – 134.
5. **Кудишин Ю. И.** Живучесть строительных конструкций – важный фактор снижения потерь в условиях аварийных ситуаций / Ю. И. Кудишин, Д. Ю. Дробот // Металеві конструкції. – 2009. – Т. 15. – № 1. – С. 59 – 71.
6. Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований: ДБН В.1.2-14-2009. – Изд. офиц. – К. : Минрегионстрой Украины, 2009. – 38 с.
7. Проектування висотних житлових і громадських будинків: ДБН В.2.2-24-2009. – Офіц. вид. – К. : Міністерство регіонал. розвитку та будівництва України, 2009. – 184 с.
8. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. – М. : НИИЦ, 2006. – 34 с.
9. Рекомендации по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при чрезвычайных ситуациях. – М. : НИИЦ, 2002. – 14 с.
10. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. – М. : НИИЦ, 2002. – 20 с.
11. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. – М. : НИИЦ, 2005. – 24 с.
12. **Ройтман В. М.** Оценка стойкости зданий при прогрессирующем разрушении при комбинированных особых воздействиях с участием пожара / В. М. Ройтман // Жилищное строительство. – 2008. – № 8. – С. 20 – 22.
13. **Руденко Д. В.** Защита каркасных зданий от прогрессирующего обрушения / Д. В. Руденко, В. В. Руденко // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 3. – С. 38 – 41.
14. **Скорук Л. Н.** Расчет высотных зданий и сооружений с учетом сопротивления прогрессирующему обрушению / Л. Н. Скорук, А. А. Орлиогло // Расчет и проектирование конструкций в среде SCAD OFFICE: научно-техн. семинар, 5 – 8 окт. 2009 г. – К., 2009. – С.16.
15. SCAD OFFICE. Вычислительный комплекс SCAD для пользователя / [Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Перельмутер А. В. и др.]. – М. : АСВ, 2006. – 591 с.
16. ASCE 7 – 02. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2002 edition. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2002.
17. ENV 1991 – 2 – 7: 1998. Eurocode 1: Basis of design and action on structures. Accidental actions due to impact and explosions. – Brussels: CEN, 1998.
18. NYC, 1973. Chapter 18, Resistance to Progressive Collapse Under Extreme Local Loads, Appendix A–Rules of the City of New York, Building Code of the New York City. Gould Publications, Binghamton, NY 13901, 2001.
19. **R. Shankar Nair**, Ph. D., P. E., S. E. Progressive Collapse Basics [Электронный ресурс] / R. Shankar Nair // Modern Steel Construction. – 2004. – Режим доступа: <http://www.modernsteel.com>.
20. **Xinzheng Lu**. Numerical Simulation for the Progressive Collapse of Concrete Building due to Earthquake / Xinzheng Lu, Xuchuan Lin, Yuhu Ma, Yi Li, Lieping Ye // Proc. the 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12 – 17, 2008. – Beijing, China. – CD-ROM.
21. **Zdenek P. Bazant**. Mechanics of Progressive Collapse: Learning from World Trade Center and Building Demolitions / Zdenek P. Bazant, Mathieu Verdure // Journal of Engineering Mechanics. – ASCE. – March 2007. – P. 308 – 319.

### УДК621.432.3

## РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСІВ ВПУСКУ І СТИСКУ ДВЗ ІЗ РЕГУЛЬОВАНИМ СТУПЕНЕМ СТИСКУ ТА ЗМІНОЮ НАВАНТАЖЕННЯ ДРОСЕЛЮВАННЯМ СУМІШІ

*В. Г. Заренбін, д. т. н., проф., Т. М. Колеснікова, ас., А. В. Балюра, студ.*

**Ключові слова:** *двигун внутрішнього згорання, змінний ступінь стиску, математична модель, впуск, стискання, процес*

**Постановка проблеми.** Останнім часом усе гостріше стоїть проблема підвищення паливної економічності автомобільних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) і посилюються

законодавчі норми на викиди токсичних речовин із відпрацьованими газами [1; 4]. Підвищення економічних показників автомобілів в експлуатаційних умовах може бути забезпечене шляхом регулювання ступеня стиску на дросельних режимах двигуна. Регулювання ступеня стиску являє собою складну проблему, для рішення якої розробляють різні двигуни, що відрізняються між собою конструкцією, кінематикою, способом регулювання навантаження й зміни ступеня стиску [3].

Як показали дослідження багатьох фірм і організацій, таких, як Ficht, DaimlerChrysler (Німеччина), SAAB (Швеція), НАМІ (Росія), АДІ ДонНТУ (Україна) та ін., основними перешкодами в застосуванні змінного ступеня стиску в ДВЗ є складність конструкції пристроїв зміни ступеня стиску, їх низька надійність, підвищені механічні втрати у двигуні, значні витрати енергії на привід механізму зміни ступеня стиску, складність конструкції і зрівноважування двигуна, крім того, в ДВЗ із змінним ступенем стиску актуальним є вибір оптимальної конструктивної схеми і параметрів робочого процесу, що можливо шляхом розробки певних методів розрахунку.

Однак досі відомості про розрахунки робочих процесів двигуна зі змінним ступенем стиску були розглянуті тільки в праці [3].

**Мета статті.** Запропонувати розрахунок і знайти залежності основних параметрів процесів впуску і стиску у двигуні з регулюванням навантаження дроселюванням суміші.

**Основний матеріал.** Для розрахунків процесів впуску та стиску та їх подальшого дослідження прийнята математична модель, що включає систему диференціальних рівнянь збереження енергії, маси й тепловіддачі.

Диференціальні рівняння тиску газу в циліндрі з моменту відкриття впускного клапана наведено:

$$dp = \left[ \frac{k}{k-1} \left( \frac{p_{en}}{\rho_{en}} dm_{en} - \frac{p}{\rho} dm_{en} - p dV \right) + dQ \right] \frac{k-1}{V}, \quad (1)$$

де  $dQ = \alpha_{cp}(T_{cp}(\varphi) - T(\varphi))F_{cp}(\varphi)d\tau$ ,  $\alpha(\varphi)$  – середній коефіцієнт тепловіддачі,  $T_{cp}(\varphi)$  – середня температура поверхні внутрішньо циліндрового простору,  $V$  і  $dV$  – поточний обсяг і змінюваний обсяг циліндра,  $dm_{en}$ ,  $d_{m_{en}}$  – зміна мас зарядів, що надійшли у циліндр і минають з нього за кут повороту колінчатого вала  $d\varphi$ ;  $T(\varphi)$  – поточна температура;  $p_{en}$ ,  $\rho_{en}$ ,  $p$ ,  $\rho$  – відповідно тиски й щільність заряду перед впускним клапаном і в циліндрі,  $k$  – показник адіабати,  $n$  – частота обертання.

Поточна температура суміші в циліндрі:

$$T(\varphi) = T_{en} \left( \frac{p}{p_{en}} \right)^{\frac{k-1}{k}}, \quad (2)$$

де  $T_{en}$  – температура у впускному трубопроводі перед впускним клапаном [5].

Коефіцієнт наповнення  $\eta_{Vx}$  на частковому навантаженні двигуна визначимо за формулою

$$\eta_{Vx} = \frac{\Delta p_{\kappa 0} - \Delta p_{\kappa}}{\Delta p_{\kappa 0} - \Delta p_{\kappa 1}} \cdot (\eta_V - \eta_{Vx,x}) + \eta_{Vx,x}, \quad (3)$$

де  $\Delta p_{\kappa 1}$  і  $\Delta p_{\kappa 0}$  – втрати тиску за дросельною заслонкою при навантаженні двигуна відповідно  $\lambda_N = 100\%$  і  $\lambda_N = 0$  (холостий хід);

$\eta_V$ ,  $\eta_{Vx,x}$  – коефіцієнт наповнення на номінальному режимі роботи двигуна і холостому ході.

Величину  $\eta_{Vx}$  необхідно потім уточнити за розрахунковим значенням коефіцієнта наприкінці впуску методом послідовних наближень.

Коефіцієнт наповнення  $\eta_V$  для двигунів з різним способом регулювання ступеня стиску можна попередньо визначити за наближеною формулою, широко застосовуваною в теорії традиційних ДВЗ:

$$\eta_V = \frac{1}{\varepsilon - 1} \left( \varepsilon \frac{p_a}{p_0} - \frac{p_r}{p_0} \right) \frac{T_0}{T_0 + \Delta T}. \quad (4)$$

Величини, що входять у це рівняння, належать до режиму номінальної потужності двигуна:  $\varepsilon$  – ступінь стиску, призначуваний заводом-виготовлювачем;

$p_a$  – тиск суміші наприкінці впуску (початку стиску);

$p_r$  – тиск залишкових газів;

$\Delta T$  – підігрів свіжого заряду за весь процес впуску.

Перед початком розрахунків і побудови графіків була задана залежність коефіцієнта навантаження  $\lambda_N$  від кута відкриття дросельної заслінки фдр на різноманітних обертах колінчастого вала (рис. 1).

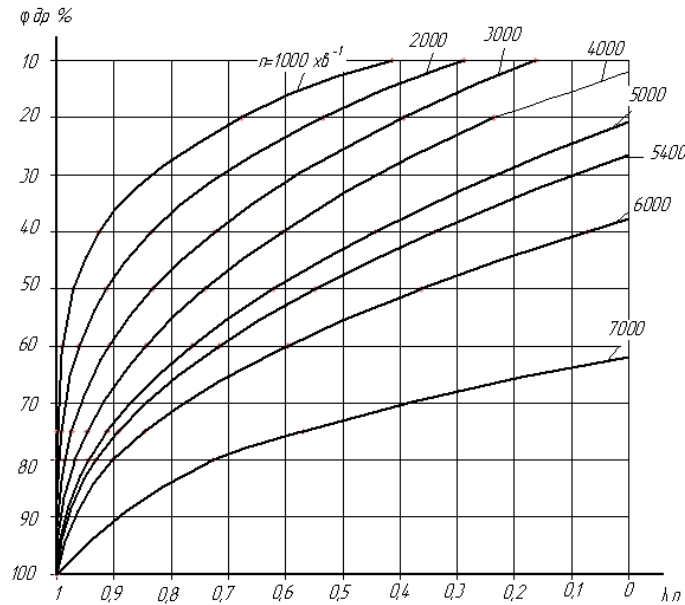


Рис. 1. Графік залежності коефіцієнта навантаження  $\lambda_N$  від кута відкриття дросельної заслінки  $\phi_{др}$  на різноманітних обертах колінчастого вала

Залежність температури  $T_a$  та тиску  $p_a$  в кінці процесу впуску від обертів при різноманітних кутах відкриття дросельної заслінки незначна. При аналізі розрахунків є можливість сказати, що температура в кінці впуску  $T_a$  та тиск  $p_a$  при різних  $\phi_{др}$  змінюються майже з однаковою інтенсивністю.

Ступінь стиску на часткових навантаженнях двигуна визначається за формулою

$$\varepsilon_x := \varepsilon^{\frac{n1}{n1x}} \cdot \left( \frac{\eta V}{\eta V_x} \right)^{\frac{1}{n1x}}, \quad (5)$$

де

$$n1x := n1 - M \cdot (1 - \lambda N)^2 - (nN - n) \left[ N + K \cdot (1 - \lambda N)^{0.25} \right] \quad (6)$$

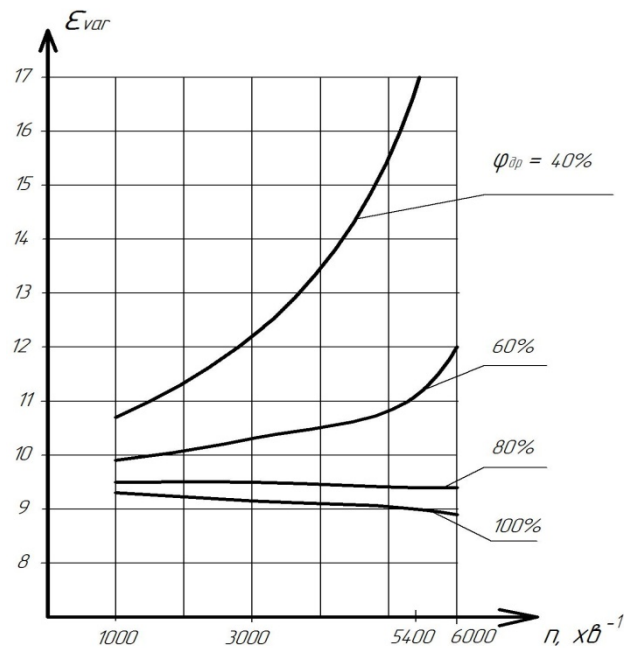


Рис. 2. Графік залежності ступеня стиску від відкриття дросельної заслінки та обертів колінчастого вала

Значна зміна ступеня стиску спостерігається при відкритті дросельної заслінки на 40 %, а при 80 % ступінь стиску змінюється несуттєво.

Тиск наприкінці процесу стиску визначається за формулою

$$p_c := p_{ax} \cdot \varepsilon^{n1x} \quad (7)$$

На рисунку 3 зображені графіки залежності тиску  $p_c$  в кінці стиску, від обертів  $n$  при дроселюванні. При аналізі даних графіків треба зазначити, що при куті відкривання дросельної заслони 100 % тиск зменшується від 2,15 до 1,98 МПа, і більш інтенсивно після 4 500  $хв^{-1}$ . При 40 відсотках відкриття дросельної заслінки тиск зменшується в діапазоні 2,14...1,82 МПа. Треба зазначити, що тиск після 4 000  $хв^{-1}$  майже не змінюється (як і при інших кутах відкривання дросельної заслінки).

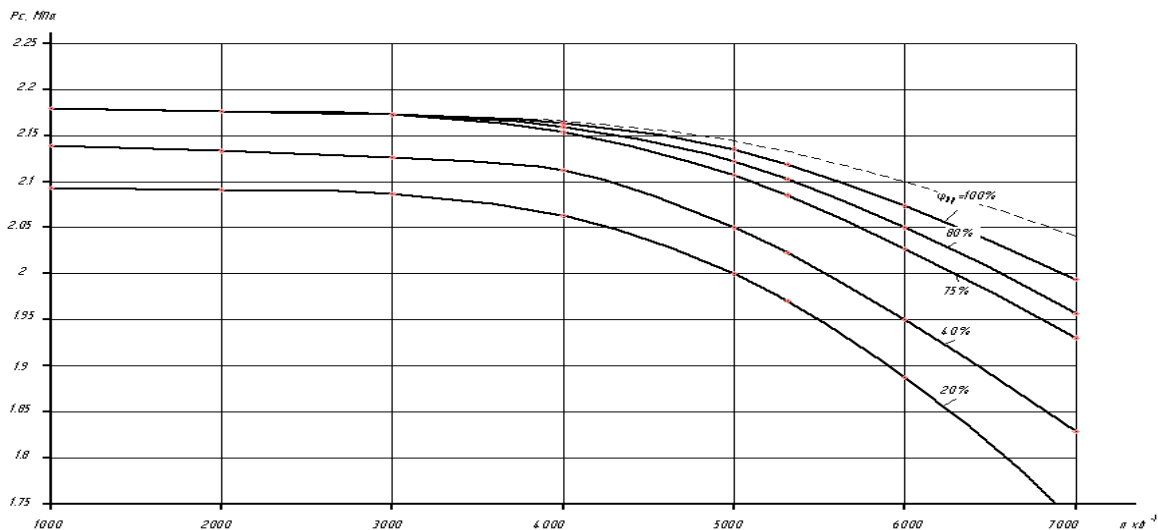


Рис. 3. Графік залежності  $p_c$  від обертів при дроселюванні

$$T_c := T_{ax} \cdot \varepsilon^{n1x-1} \quad (8)$$

Графіки залежності температури  $T_c$  в кінці стиску від обертів  $n$  при дроселюванні – (рис. 4) відображають більш інтенсивне падіння температури при обертах до 4 000  $хв^{-1}$ . При 100 %

відкритті дросельної заслінки температура зменшується в діапазоні 1170 ...870°C. Треба зазначити, що температура після 4 000 хв<sup>-1</sup> майже не змінюється (як і при інших кутах відкривання дросельної заслінки). При 40 % відкриття дросельної заслінки температура в кінці стиску змінюється від 1 010 до 845°C, і також має характеристику більш інтенсивного зменшення при обертах до 4 000 хв<sup>-1</sup> і майже пряму після.

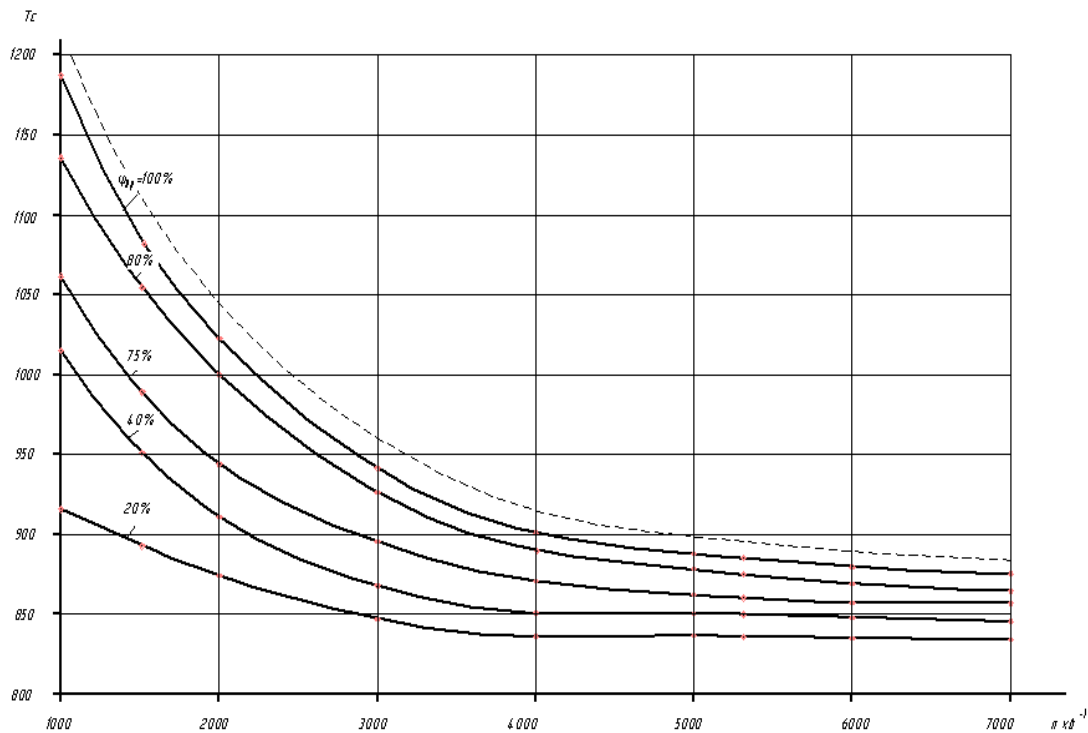


Рис. 4. Графік залежності температури  $T_c$  від обертів при різноманітних кутах відкривання дросельної заслінки

**Висновки.** 1. При відкритті дросельної заслінки від 20 до 100 %, при різних частотах обертання колінчастого вала ступінь стиску змінюється у межах від 9 до 24. Значна зміна ступеня стиску спостерігається при відкритті дросельної заслінки на 40 %, а при 80 % ступінь стиску змінюється несуттєво.

2. Особливе значення підвищення тиску  $p_c$  і температури  $T_c$  наприкінці процесу стиску отримане при 4 000 хв<sup>-1</sup> і при відкритті дросельної заслінки від 75 – 100 %.

3. Для оцінки поліпшення паливної економічності двигуна необхідна подальша розробка математичної моделі інших процесів робочого циклу двигуна зі змінним ступенем стиску.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Демидов В. П. Двигатели с переменной степенью сжатия. – М. : Машиностроение, 1978. – 136 с.

2. Зленко М. А., Кутенев В. Ф., Тер-Мкртчян Г. Г. Некоторые вопросы создания бензинового двигателя с регулируемой степенью сжатия // Проблемы конструкции двигателей и экология: сб. науч. тр. – М. : ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 1999. – Вып. 224. – С. 21 – 38.

3. Зленко М. А. Теория и практика создания двигателей внутреннего сгорания с регулируемым рабочим объемом: дис. ... д-ра техн. наук : 05.04.02. – М. : РГБ, 2006. – 276 с.

4. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Д. Н. Вырубов, М. А. Ивашенко, В. И. Ивин и др. ; Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 372 с.