

Іван Хоменко

МЕТОД ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ, ЩО ДІЮТЬ НА ДНИЩЕ ПОРШНЯ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Актуальність теми дослідження. Сучасні методи розрахунку машин потребують широкого застосування програмних методів дослідження.

Постановка проблеми. Використання персональних комп'ютерів при проектних роботах, у навчальному процесі – при курсовому й дипломному проектуваннях – дозволяє суттєво скоротити час розрахунків, отримати надійні результати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційно у процесі розрахунку на міцність основних деталей кривошипно-шатунного механізму (КШМ) поршневого двигуна внутрішнього згоряння попередньо визначають сумарну силу, що діє на днище поршня, від тиску газів у надпоршневому просторі й сил інерції, що виникають під час руху деталей КШМ. Далі здійснюють додавання (переважно графічним способом) результуючих сил тиску газів і сил інерції за робочий цикл двигуна.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Недостатня кількість робіт з визначення сумарної сили тиску газів і сил інерції, що діють на днище поршня, в яких використовуються програмні методи вказаного визначення.

Постановка завдання. Метою статті є визначення максимального значення сумарної сили й відповідного кута повороту колінчастого вала за допомогою програмування. При цьому визначення тиску газів у надпоршневому просторі циліндра двигуна здійснюється традиційним методом теплового розрахунку.

Виклад основного матеріалу. Метод викладено у супроводі чисельного розрахунку для дизеля з наддувом, проте він може бути використаний і для бензинового двигуна.

Вихідні дані (основні одиниці виміру – подано в системі СІ).

Наведено алгоритм визначення сил тиску газів, сил інерції й результуючої сили, відповідні формули для використання на персональному комп'ютері, побудовано графіки за допомогою комп'ютера, визначено максимальне значення результуючої сили й кута повороту колінчастого вала для цього випадку.

Висновки. При визначенні результуючої сили від сил тиску газів і сил інерції, що діють на днище поршня двигуна внутрішнього згоряння, алгоритм розрахунку й побудову графіків можна спростити, скориставшись програмуванням і системою MathCad.

Наведений приклад розв'язання поставленої задачі свідчить про доцільність запропонованого методу під час визначення силового навантаження на деталі двигуна й автомобіля. Метод за наведеним алгоритмом може використовуватись як для дизелів, так і для бензинових двигунів.

Ключові слова: комп'ютер; дизель; сили тиску газів і сили інерції.

Рис.: 9. Табл.: 1.

Вступ. Для розрахунку на міцність основних деталей кривошипно-шатунного механізму поршневого двигуна внутрішнього згоряння попередньо визначають сумарну силу, що діє на днище поршня, від тиску газів у надпоршневому просторі й сил інерції, що виникають під час руху деталей кривошипно-шатунного механізму (КШМ).

Щоб визначити результуючу силу від тиску газів проводять тепловий розрахунок двигуна, у результаті чого будують індикаторну діаграму та її розгортку за робочий цикл двигуна (кут повороту колінчастого вала (к.в.) при цьому становить 720°). Для визначення результуючої від сил інерції враховують кінематичні характеристики й масу деталей КШМ, віднесених до поршня, які разом з поршнем здійснюють поступальний рух. Сили інерції також визначають залежно від кута повороту к. в. за робочий цикл двигуна. Далі здійснюють додавання (переважно графічним способом) результуючих сил тиску газів і сил інерції за робочий цикл двигуна.

При подальших розрахунках на міцність деталей двигуна й автомобіля, як правило, необхідно знати максимальне значення сумарної сили й відповідного кута повороту к. в. Для цього використовують підсумкові графік або таблицю.

Метою статті є визначення максимального значення сумарної сили й відповідного кута повороту к. в. за допомогою програмування. При цьому визначення тиску газів у надпоршневому просторі циліндра здійснюється традиційним методом теплового розрахунку.

Виклад основного матеріалу. Метод викладено у супроводі чисельного розрахунку для дизеля, проте він може використовуватись і для бензинового двигуна.

Вихідні дані (основні одиниці виміру – в системі СІ):

$D := 0,075$ – діаметр циліндра; $S := 0,082$ – хід поршня; $R := S/2$ – радіус кривошипа; $P_0 := 0,1034$ – атмосферний тиск, МПа; $\epsilon := 20$ – степінь стиску; $\lambda z := 1,26$ – степінь підвищення тиску при згорянні палива; $\lambda := 0,32$ – відношення радіуса кривошипа до довжини шатуна; $\rho p := 1,7$ – степінь попереднього розширення; $n := 4500$, хв^{-1} – частота обертання к. в.; $n_1 := 1,358$ – показник політропи стиску; $n_2 := 1,238$ – показник політропи розширення; $i := 0 \dots 720$ – індекс значення кута повороту к. в. $\phi_i := i$ – поточне значення кута повороту к. в. V_h – робочий об'єм циліндра, м^3 .

$$V_h := \pi \cdot D^2 \cdot S / 4; V_h = 3,623 \times 10^{-4} \text{ м}^3; V_c - \text{об'єм камери згоряння, м}^3; V_c := V_h / (\epsilon - 1).$$

$$V_c = 1,907 \times 10^{-5} \text{ м}^3; V_a - \text{повний об'єм циліндра, м}^3; V_a := V_h + V_c; V_a = 3,813 \times 10^{-4} \text{ м}^3.$$

P_k – тиск наддуву, МПа; $P_k := 1,4 \cdot P_0$. $P_k = 0,145$. P_a – тиск у кінці процесу впуску, МПа.

ΔP_a – втрати тиску в результаті опору у впускному колекторі. Для двигунів з наддувом $\Delta P_a := 0,1 \cdot P_k$. $\Delta P_a = 0,014$. $P_a := P_0 - \Delta P_a$ – для двигунів без наддуву; $P_a := P_k - \Delta P_a$ – для двигунів з наддувом. Для двигуна з наддувом $P_a = 0,13$. P_c – тиск у кінці процесу стиску.

$$P_c := P_a \cdot \epsilon^{n_1}, \text{ МПа. } x := \epsilon, y := n_1, P_c := P_a \cdot x^y. P_c = 7,615.$$

$$P_z - \text{максимальний тиск в циліндрі, МПа. } P_z := P_c \cdot \lambda z. P_z = 0,595$$

$$\delta p := \epsilon / \rho p, \delta p = 11,765.$$

P_b – тиск у кінці процесу розширення, МПа. $P_b := P_z / \epsilon^{n_2}$ – для бензинових двигунів; $P_b := P_z / \delta p^{n_2}$ – для дизелів $P_b = 0,454$.

P_r – тиск залишкових газів, МПа. $P_r := (1,05 \dots 1,25) P_0$ – для автортакторних двигунів без наддуву. $P_r := (0,75 \dots 0,98) P_0$ – для автортакторних двигунів з наддувом.

Прийнявши для дизеля з наддувом значення коефіцієнта 0,98, знаходимо тиск залишкових газів $P_r = 0,142$.

S_0 – умовна відстань між днищем поршня і головкою циліндра при положенні поршня у верхній мертвій точці (ВМТ), м. $S_0 := 2R / (\epsilon - 1)$, $S_0 = 4,316 \times 10^{-3}$.

Позначимо P_r – тиск газів у циліндрі двигуна, МПа. Його значення для різних тактів робочого циклу двигуна визначаються за формулами, наведеними в таблиці.

Таблиця 1

Формули для визначення тиску газів у циліндрі при різних тактах робочого циклу двигуна

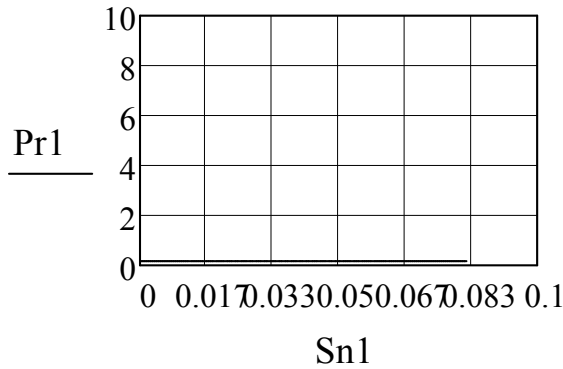
Впуск	0...180	$P_r = P_a = P_0 - 0,98 \cdot P_k = \text{const}$
Стиск	180...360	$P_r = P_c / ((S_n + S_0) / S_0)^{n_1}$
Розширення	360...540	$P_r = P_z / ((S_n + S_0) / \rho p \cdot S_0)^{n_2}$
Випуск	540...720	$P_r = P_r = \text{const}$

Визначаємо значення параметрів і показників відповідно до тактів робочого циклу двигуна; будуємо відповідні графіки й таблиці.

Для такту **впуску** тиск приймається сталим. Значення показників і параметрів наведено на рис. 1.

$$i := 0 \dots 179 \quad \phi_{i1} := i \quad P_{r1i} := P_a$$

$$S_{n1} := R \cdot \left[1 - \cos \left(\frac{\phi_{i1} \cdot \pi}{180} \right) + \frac{\lambda}{4} \cdot \left(1 - \cos \left(2 \cdot \phi_{i1} \cdot \frac{\pi}{180} \right) \right) \right]$$



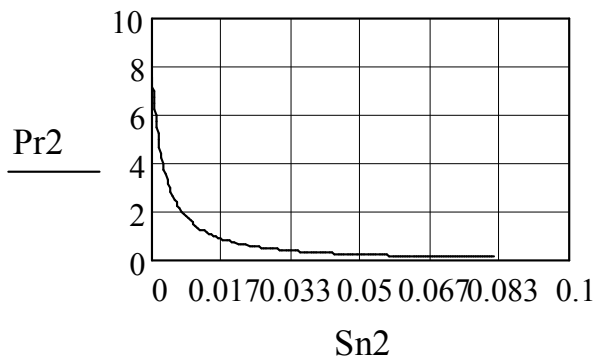
	0
0	0.13
1	0.13
2	0.13
3	0.13
4	0.13
5	0.13
6	0.13
7	0.13
8	0.13
9	0.13
10	0.13
11	0.13
12	0.13
13	0.13
14	0.13
15	...

Рис. 1. Значення показників і параметрів при такті впуску двигуна

При такті **стиску** тиск у циліндрі двигуна змінюється за політропою. Значення показників і параметрів наведено на рис. 2.

$$i := 0..179 \quad \phi2_i := i + 180$$

$$Sn2 := R \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{\phi2 \cdot \pi}{180}\right) + \frac{\lambda}{4} \cdot \left(1 - \cos\left(2 \cdot \phi2 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right) \right]$$



$$Pr2 := \frac{Pc}{\left(\frac{Sn2 + S_0}{S_0}\right)^{n_1}}$$

Рис. 2. Значення показників і параметрів при такті стиску двигуна

При такті **розширення (робочий хід)** тиск в циліндрі двигуна також змінюється за політропою. Значення показників і параметрів наведено на рис. 3.

$$i := 0 .. 179 \quad \phi3_i := i + 360$$

$$Sn3 := R \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{\phi3 \cdot \pi}{180}\right) + \frac{\lambda}{4} \cdot \left(1 - \cos\left(2 \cdot \phi3 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right) \right]$$

$$Pr3a := \frac{Pz}{\left(\frac{Sn3 + S_0}{\rho p \cdot S_0}\right)^{n_2}} \quad Pr3_i := \begin{cases} Pz & \text{if } Pr3a_i \geq Pz \\ Pr3a_i & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Pr3 =$$

0	9.595
1	9.595
2	9.595
3	9.595
4	9.595
5	9.595
6	9.595
7	9.595
8	9.595
9	9.595
10	9.595
11	9.595
12	9.595
13	9.595
14	9.595
15	...

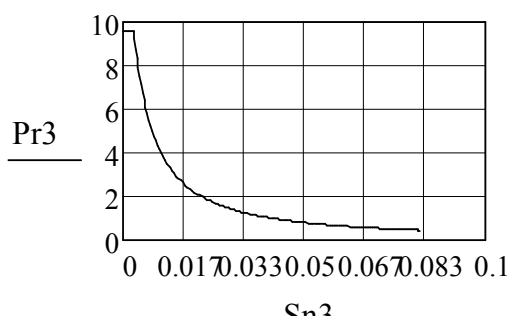


Рис. 3. Значення показників і параметрів при такті розширення двигуна

Для такту **випуску** тиск приймається сталим. Значення показників і параметрів наведено на рис. 4.

$$i := 0 .. 180 \quad \phi4_i := i + 540 \quad Pr4_i := Pr$$

$$Sn4 := R \cdot \left[1 - \cos\left(\phi4 \cdot \frac{\pi}{180}\right) + \frac{\lambda}{4} \cdot \left(1 - \cos\left(2 \cdot \phi4 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right) \right]$$

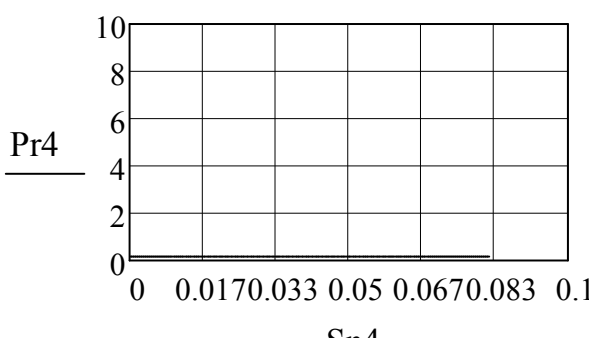
$$Pr = 0.142$$


Рис. 4. Значення показників і параметрів при такті випуску двигуна

Для побудови графіка індикаторної діаграми у згорнутому вигляді в системі MathCad необхідно к्लюкнути по осі ординат наведені вище значення Pr1, Pr2, Pr3, Pr4 (рис. 5).

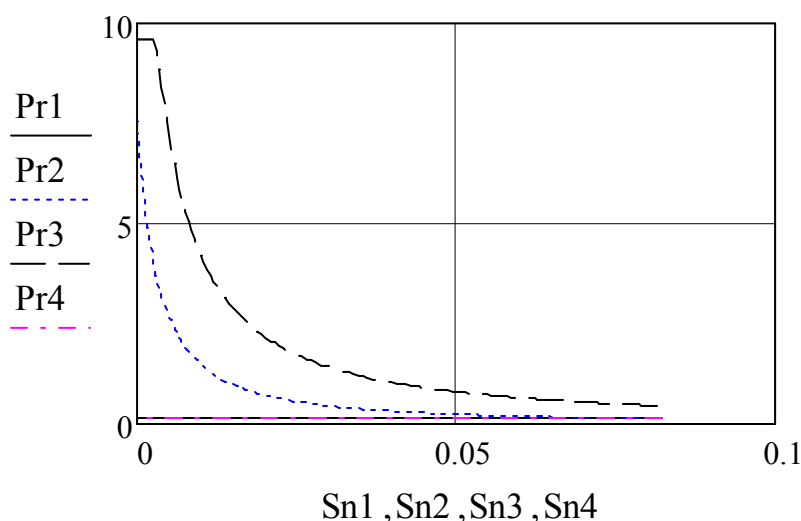


Рис. 5. Індикаторна діаграма у згорнутому вигляді

Для побудови індикаторної діаграми у розгорнутому вигляді вектори газових сил об'єднуємо в один вектор, використовуючи оператор послідовного об'єднання векторів – stack. Перейменовуємо вектор об'єднання.

$$Pr := \text{stack}(Pr1, Pr2, Pr3, Pr4) \quad Pr' := Pr$$

Вектори кутів повороту кривошипу к. в. також об'єднуємо в один вектор та здійснюємо перейменування останнього за тим же оператором.

$$\Phi' := \text{stack}(\Phi1, \Phi2, \Phi3, \Phi4) \quad \Phi := \Phi'$$

Розгорнута індикаторна діаграма показує надлишковий відносно атмосферного тиску, який визначається за формулою, графік якої наведено на рис. 6.

$$Pr := Pr' - P_0$$

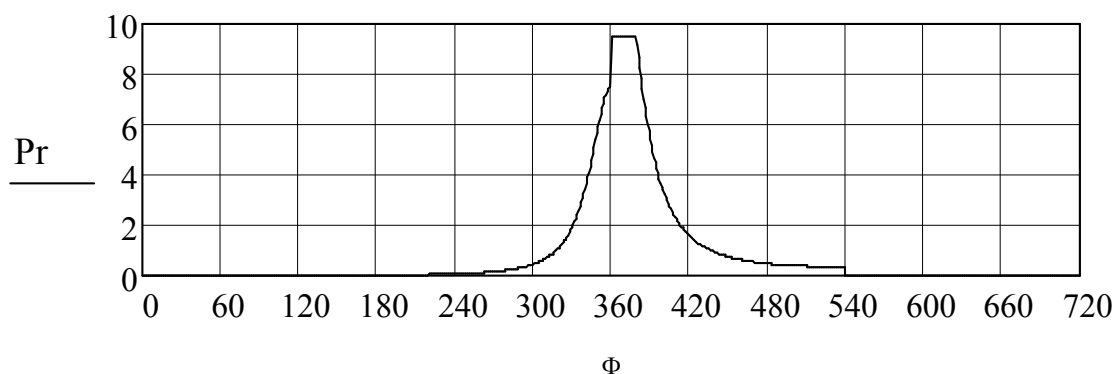


Рис. 6. Розгортка індикаторної діаграми

Сила, що діє на днище поршня від тиску газів, визначається за наведеною нижче формулою, графік якої зображено на рис. 7.

$$Pr := \text{stack}(Pr1, Pr2, Pr3, Pr4) \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot 10^6}{4} \quad \Phi := \text{stack}(\Phi1, \Phi2, \Phi3, \Phi4)$$

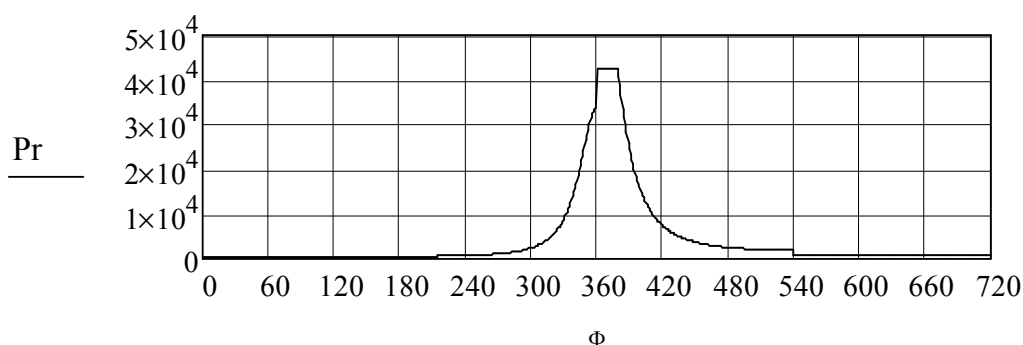


Рис. 7. Графік сили, що діє на днище поршня

Нижче наведено формули для визначення сили інерції P_j , а також графік її зміни за робочий цикл двигуна (рис. 8). Для побудови графіка P_j – натиснути мишкою.

$$m := 0.500 \quad n := 4500 \quad \omega := \frac{\pi \cdot n}{30} \quad j := 0..720$$

$$P_j := -m \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \left(\cos\left(\Phi_j \cdot \frac{\pi}{180}\right) + \lambda \cdot \cos\left(2 \cdot \Phi_j \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right)$$

$$P_j := P$$

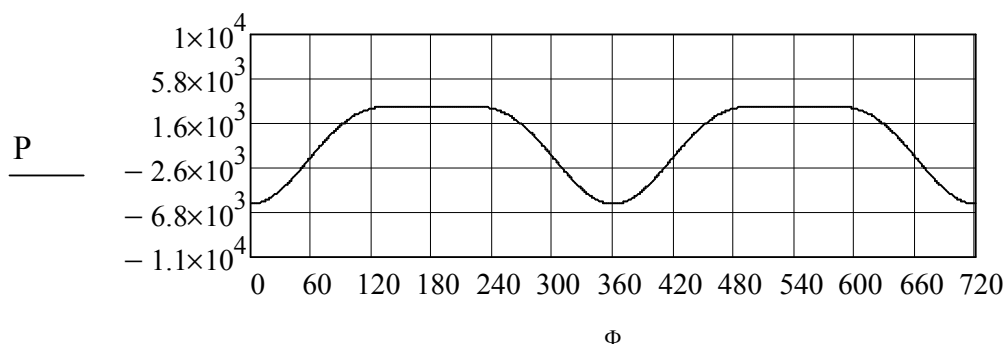


Рис. 8. Графік зміни сил інерції за робочий цикл двигуна

Сумарна сила від тиску газів і сил інерції визначається за такою формулою

$$Pr := \text{stack}(Pr1, Pr2, Pr3, Pr4) \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot 10^6}{4} + P$$

$$\Phi := \text{stack}(\Phi1, \Phi2, \Phi3, \Phi4)$$

Графік сумарної сили від тиску газів і сил інерції, що діють на днище поршня, наведено на рис. 9 (на рисунку натиснути мишкою по Pr).

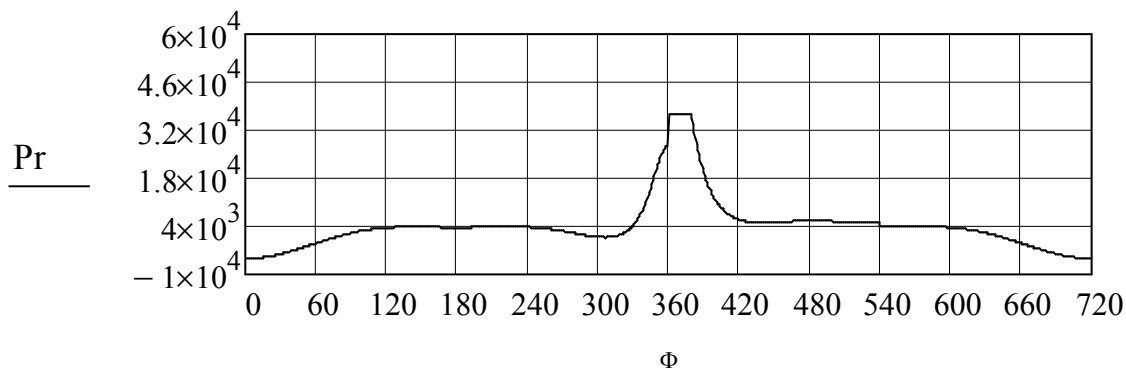


Рис. 9. Графік сумарної сили від тиску газів і сил інерції, які діють на днище поршня

Максимальне значення сумарної сили, що діє на днище поршня, дорівнює 3694 Н при значенні кута повороту к. в. $\Phi = 379^0$ (визначається з таблиці $Pr=f(\Phi)$).

Висновки. При визначенні результуючої сили від сил тиску газів і сил інерції, що діють на днище поршня двигуна внутрішнього згорання, алгоритм розрахунку й побудову графіків можна спростити, скориставшись програмуванням і системою MathCad.

Наведений приклад розв'язання поставленої задачі свідчить про доцільність запропонованого методу при визначенні силового навантаження на деталі двигуна й автомобіля. Метод за наведеним алгоритмом може використовуватись як для дизелів, так і для бензинових двигунів.

UDK 621.822.3

Ivan Khomenko

THE METHOD OF PROGRAMMING TO DETERMINE THE FORCES ACTING ON THE BOTTOM OF THE PISTON OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Actuality of research theme. The modern methods of calculation of machines require wide use of programmatic methods of research.

Problem setting. Using of personal computer for project works, in an educational process - at the course and diploma planning - allows shortening the time of calculations substantially, getting reliable results.

Analysis of the last researches and publications. Traditionally at a calculation on durability of basic details of crank-type-piston-rod mechanism (CTM) of reciprocator of internal combustion preliminary determine total force, that operates on the bottom of piston from pressure of gases in super piston space and forces of inertia, which arise up at motion of details CTM. Farther carry out addition (by a mainly graphic method) of resulting them forces to pressure of gases and forces of inertia for the duty cycle of engine.

Selection of unexplored parts of general issue. Insufficient amount of works on determination of total force of pressure of gases and forces of inertia, that operate on the bottom of piston, the programmatic methods of the indicated determination are used in that.

Task setting. The aim of the article is determination of maximal value of total force and corresponding corner of turn of crankshaft by means of programming. Thus determination of pressure of gases in superpiston space to the cylinder of engine comes true by the traditional method of thermal calculation.

Exposition of basic material. A method is expounded escorted by numeral calculation for a diesel with a supercharge, however he can be used for a petrol engine. A weekend is given (basic units - it is given in the si-system) : An algorithm over of determination of forces of pressure of gases, forces of inertia and resulting force is brought, corresponding formulas for the use on personal computer, graphic arts are built by means of computer, the maximal value of resulting force and corner of turn is certain.

Conclusions. At determination of resulting force from forces of pressure of gases and forces of inertia, that operate it is possible to simplify on the bottom of piston of engine of internal combustion, algorithm of calculation and construction of charts, taking advantage of programming and system Math Cad. Made an example of decision of the put task testifies about expedience of the offered method at determination of the power loading on the detail of engine and car. A method after the brought algorithm over can be used both for diesels and for petrol engines.

Key words: Computer; Diesel; force of pressure of gases and forces of inertia.

Fig.: 9. Tabl.: 1.

УДК 621.822.3

Иван Хоменко

МЕТОД ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ДНИЩЕ ПОРШНЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В работе приведен метод расчета и построения диаграмм сил давления газов и сил инерции, которые действуют на днище поршня при работе поршневого двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: компьютер; дизель; силы давления газов и силы инерции.

Рис.: 9. Табл.: 1.

Хоменко Иван Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Хоменко Иван Михайлович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Khomenko Ivan – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Motor Transport and Branch Engineer Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: Ivan.Khomenko@gmail.com