

**О.Б. Чайковський, доц., канд. техн. наук, В.М. Лушніков, доц., канд. техн. наук,
П.В. Корольов, магістрант**
Кіровоградський національний технічний університет

Проектування оптимальних форм пальців та втулок

В статті описана методика проектування пальців та втулок, основана на застосуванні методу ітерацій.

палець, втулка, навантаження, епюра, метод ітерацій, зовнішня поверхня, внутрішня поверхня

В машинах та механізмах деталі типу втулок, пальців, як правило, знаходяться під впливом складного опору. Значна частина таких деталей здійснює плаваючі зворотно-поступальні рухи та зворотно-обертальні рухи навколо власної осі [1], [2].

Задача проектного розрахунку при складному опорі викликає ряд суттєвих труднощів. Це пов'язано з тим, що одночасне врахування всіх внутрішніх силових факторів, діючих в поперечних перетинах деталей, дає рівняння з кількома невідомими геометричними характеристиками.

Для спрощення розв'язку, на першому етапі спочатку нехтують частиною силових факторів, або діють методом послідовних спроб, поступово досягаючи виконання умови міцності [1], [2].

В даній роботі пропонується методика проектного розрахунку означених вище деталей, яка основана на застосуванні методу ітерації [3]. При цьому легко встановлюється алгоритм врахування будь-якої кількості діючих факторів.

Застосування ЕОМ дає можливість швидко розв'язувати складні рівняння.

Методика більш ефективна для стержнів з одним визначальним розміром поперечного перетину при усіх видах складного опору.

Етапи пропонованої методики проектного розрахунку.

1. Встановлення можливих діючих зовнішніх силових факторів та складання розрахункової моделі. Визначення виду складного опору.

2. Встановлення можливих виникаючих внутрішніх силових факторів.

3. Складання рівнянь Хевісайда для неперервного визначення внутрішніх силових факторів по довжині деталі та побудови їх епюр (наприклад, застосовується програмний пакет MathCAD).

4. Складання ітераційного рівняння для визначення неперервних розмірів поперечних перетинів по довжині деталі.

5. Побудова епюри неперервних розмірів поперечних перетинів (тобто, поздовжнього профілю деталі).

Комп'ютерна обробка розрахунків за вказаною методикою дозволила авторам удосконалити форми поршневого пальця двигунів внутрішнього згоряння, що захищено патентами [4], [5], [6].

Наглядну реалізацію етапів пропонованої методики на даному етапі досліджень можна продемонструвати на прикладі проектування раціонального поршневого пальця сучасного двигуна ВАЗ-2112.

Аналіз показує, що в діючих двигунах застосовують такі конструкції поршневих пальців (рис. 1), [1].

Поршневі пальці автомобільних ДВЗ поділяються на три класи. Для ВАЗ-2112 розміри по класам складають:

$L = 80 \text{ мм};$
 $D_1 = 21,978 \div 21,982 \text{ мм};$
 $D_2 = 21,982 \div 21,986 \text{ мм};$
 $D_1 = 21,976 \div 21,990 \text{ мм};$
 Форма – рис.1 а, в.

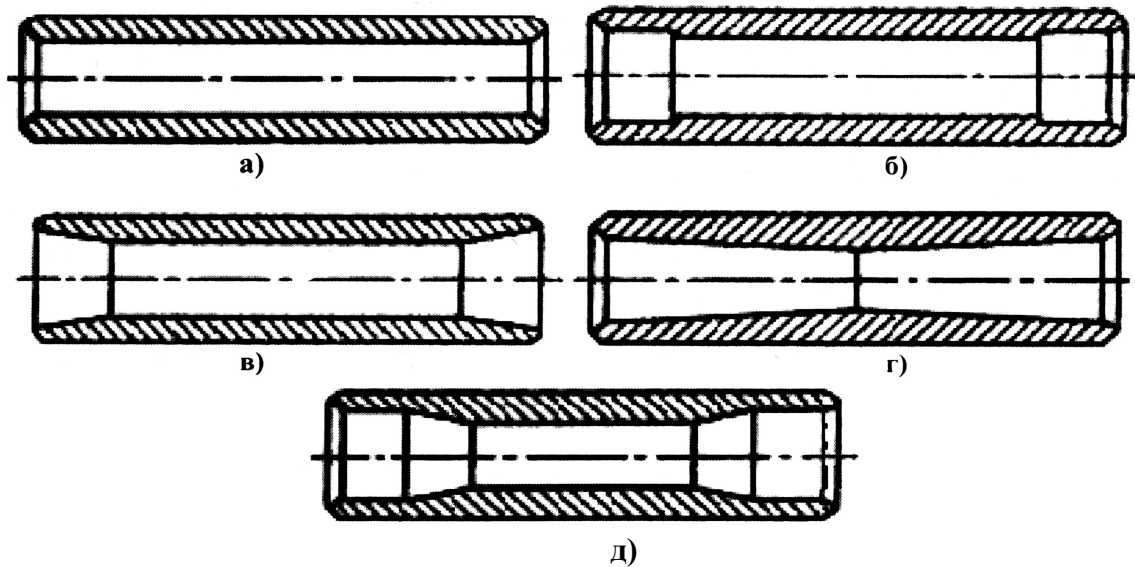


Рисунок 1 – Існуючі конструкції поршневих пальців ДВЗ ([1], рис. 107)

Довідка [1]:

а) поршневі пальці виготовляють з вуглецевих сталей 15 і 20, або з легованих сталей 15ХМ, 38ХА, 12ХН3А, 18Х2Н4МА для форсованих двигунів;

б) допустимі нормальні напруги для вуглецевих сталей $\sigma_{adm} = 120 \div 150 \text{ МПа}$; для легованих – $\sigma_{adm} = 300 \div 500 \text{ МПа}$;

в) допустимі дотичні напруги для вуглецевих сталей $\tau_{adm} = 50 \text{ МПа}$; для легованих – $\tau_{adm} = 120 \div 250 \text{ МПа}$.

Практична реалізація етапів методики.

1-й етап.

- Розрахункове зовнішнє максимальне навантаження на поршень – P (тиск газів та сили інерції).

- Ділянки поршневого пальця

$$L = 2a + b + 2\delta, \quad (1)$$

тут:

a – ділянка під бобишки поршня;

b – ділянка під головку шатуна;

δ – зазор між бобишкою та головкою шатуна.

Прийнята розрахункова схема (модель) наведена на рис. 2 (з урахуванням рекомендацій [1]).

- Складові зовнішніх навантажень на ділянках поршневого пальця

$$\sum Z = 0 \quad R_{III} - 2 \cdot R_{\delta} = 0$$

$$R_{III} - 2 \cdot R_{\delta} = P, \quad (2)$$

$$R_{III} = P, \text{ тоді розподілене по довжині } q_{III} = \frac{R_{III}}{b} = \frac{P}{b}, \quad (3)$$

$$R_{\delta} = \frac{P}{2}, \quad R_{\delta} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a, \text{ звідки } q_{\delta} = \frac{2 \cdot R_{\delta}}{a} = \frac{2 \cdot P}{2 \cdot a} = \frac{P}{a}. \quad (4)$$

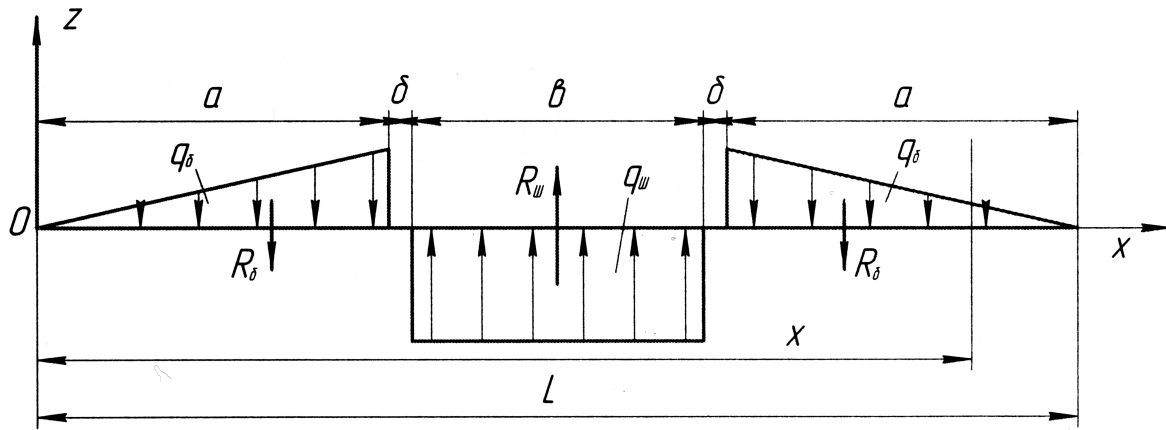


Рисунок 2 – Розрахункова схема (модель)

- Закон зміни зовнішніх навантажень обґрунтований в ([1], рис. 108).

Оберемо наступні дані для розрахунків.

Зовнішній діаметр поршневого пальця

$$D = 21,99 \text{ мм} = 2,199 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Допустима нормальна напружка на поршень

$$\sigma_{adm} = 150 \text{ МПа} = 150 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Зовнішнє максимальне навантаження на поршень

$$P = 15 \text{ кН} = 15 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Ділянка під головку шатуна

$$b = 30 \text{ мм} = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Ділянки під бобишки

$$a = 24 \text{ мм} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Зазори між головкою шатуна і бобишками

$$\delta = 1 \text{ мм} = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Довжина поршневого пальця

$$L = 2 \cdot 24 + 30 + 2 \cdot 1 = 80 \text{ мм} = 8,0 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Поршневий палець знаходиться в умовах дії складного опору-згину зі зсувом (зрізом).

2-й етап. З розрахункової моделі (рис.2) видно, що в поперечних перетинах пальця діють внутрішні поперечні (зсуваючі) сили $Q(x)$ та згинальні моменти $M(x)$.

3-й етап. Для комп'ютерної обробки даних та застосування програмного пакета MathCAD складають рівняння Хевісайда.

Умовні позначки:

$$q_{sh} := \frac{P}{b} \quad q_{sh} = 5 \cdot 10^5 \text{ kg s}^{-2},$$

$$q_{bb} := \frac{P}{a} \quad q_{bb} = 6,25 \cdot 10^5 \text{ kg s}^{-2},$$

$$L := 2a + b + 2\delta \quad L = 0,08 \text{ м,}$$

$$q'b(x) := \frac{x}{a} \cdot q_{bb} \quad q''b(x) := \frac{L-x}{a} \cdot q_{bb};$$

$$Q'(x) := \frac{-1}{2} \cdot q'b(x) \cdot x \cdot \Phi(x) + q_{bb} \cdot (x-a) \cdot \Phi(x-a) + \frac{1}{2} \cdot (q'b(x) - q_{bb}) \cdot (x-a) \cdot \Phi(x-a);$$

$$Q''(x) := q_{sh} \cdot (x-a-\delta) \cdot \Phi(x-a-\delta) - q_{sh} \cdot (x-a-b-\delta) \cdot \Phi(x-a-b-\delta);$$

$$Q'''(x) := -\frac{(q_{bb} - q''b(x)) \cdot (x-a-b-2\delta) \cdot \Phi(x-a-b-2\delta)}{2} - q''b(x) \cdot (x-a-b-2\delta) \cdot \Phi(x-a-b-2\delta);$$

$$M'(x) := \frac{-1}{6} \cdot q'b(x) \cdot x^2 \cdot \Phi(x) + qbb \cdot \frac{(x-a)^2}{2} \cdot \Phi(x-a) + \frac{1}{6} \cdot (q'b(x) - qbb) \cdot (x-a)^2 \cdot \Phi(x-a);$$

$$M''(x) := \frac{1}{2} \cdot qsh \cdot (x-a-\delta)^2 \cdot \Phi(x-a-\delta) - \frac{1}{2} \cdot qsh \cdot (x-a-b-\delta)^2 \cdot \Phi(x-a-b-\delta);$$

$$M'''(x) := -\frac{(qbb - q''b(x)) \cdot (x-a-b-2\delta)^2 \cdot \Phi(x-a-b-2\delta)}{3} - \frac{q''b(x) \cdot (x-a-b-2\delta)^2 \cdot \Phi(x-a-b-2\delta)}{2}.$$

Тоді зведені рівняння Хавісайда:

$$Q(x) := Q'(x) + Q''(x) + Q'''(x); \quad M(x) := M'(x) + M''(x) + M'''(x). \quad (5)$$

Відповідні епюри $Q(x)$ та $M(x)$ наведені на рис. 3.

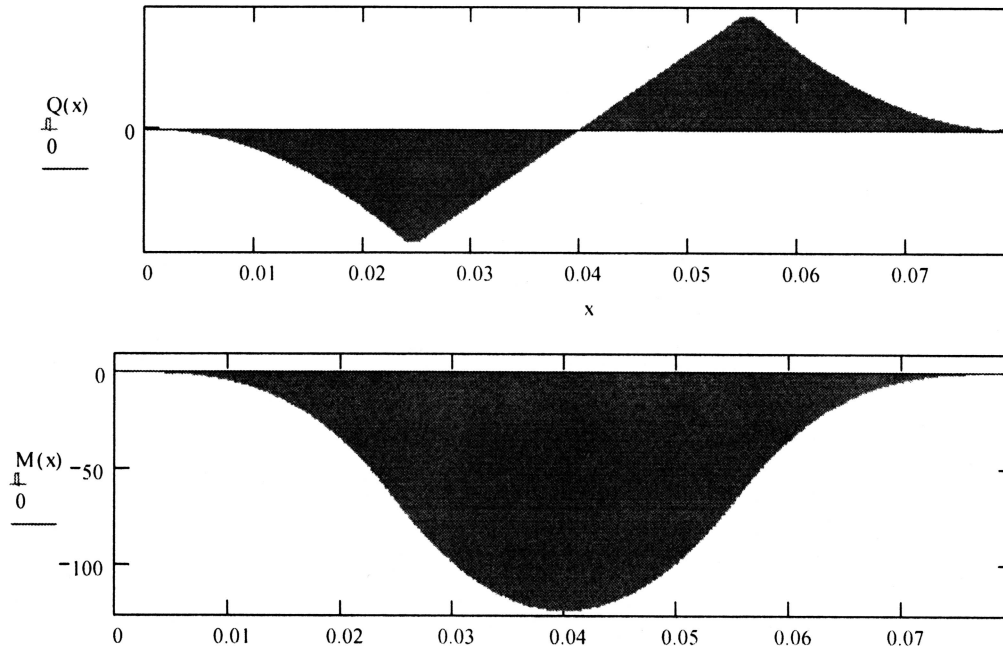


Рисунок 3 – Епюри внутрішніх силових факторів

4-й етап. Щоб не застосовувати трудомісткий принцип суперпозиції складають ітераційне рівняння для побудови епюри (профілограми) неперервних розмірів поперечних перетинів по довжині поршневого пальця (наприклад, за III теорією міцності):

$$\sigma_{еквIII} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} \leq \sigma_{adm}, \quad (6)$$

$$\sigma(x) = \frac{M(x)}{W(x)_y} = \frac{32 \cdot M(x)}{\pi \cdot D^3 (1 - c(x)^4)}, \quad \text{де } c(x) = \frac{d(x)}{D}, \quad (7)$$

$$\tau = \frac{4}{3} \cdot \frac{Q(x)}{A(x)} = \frac{16 \cdot Q(x)}{3 \cdot \pi \cdot D^2 (1 - c(x)^2)}. \quad (8)$$

Підставивши (7), (8) у (6), отримаємо:

$$\sigma_{еквIII} = \sqrt{\left[\frac{32 \cdot M(x)}{\pi \cdot D^3 (1 - c(x)^4)} \right]^2 + 4 \left[\frac{16 \cdot Q(x)}{3 \cdot \pi \cdot D^2 (1 - c(x)^2)} \right]^2} \leq \sigma_{adm}.$$

Після перетворень та скорочень робоче ітераційне рівняння має вигляд:

$$c(x)_{n+1} \geq \sqrt[4]{1 - \sqrt{\left(\frac{32}{\pi \cdot \sigma_{adm}} \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{M(x)}{D^3} \right) + \left(\frac{Q(x)}{3 \cdot D^2} \right)^2 \cdot (1 + c(x)_n^2)^2 \right]}}. \quad (9)$$

5-й етап. Графічна реалізація процесу ітерації в пакеті MathCAD дає змогу побудувати епюру (профілограму) неперервних розмірів поперечних перетинів (поздовжній профіль пальця) – рис. 4а. Конструкція пальця однакового опору наведена на рис. 4б.

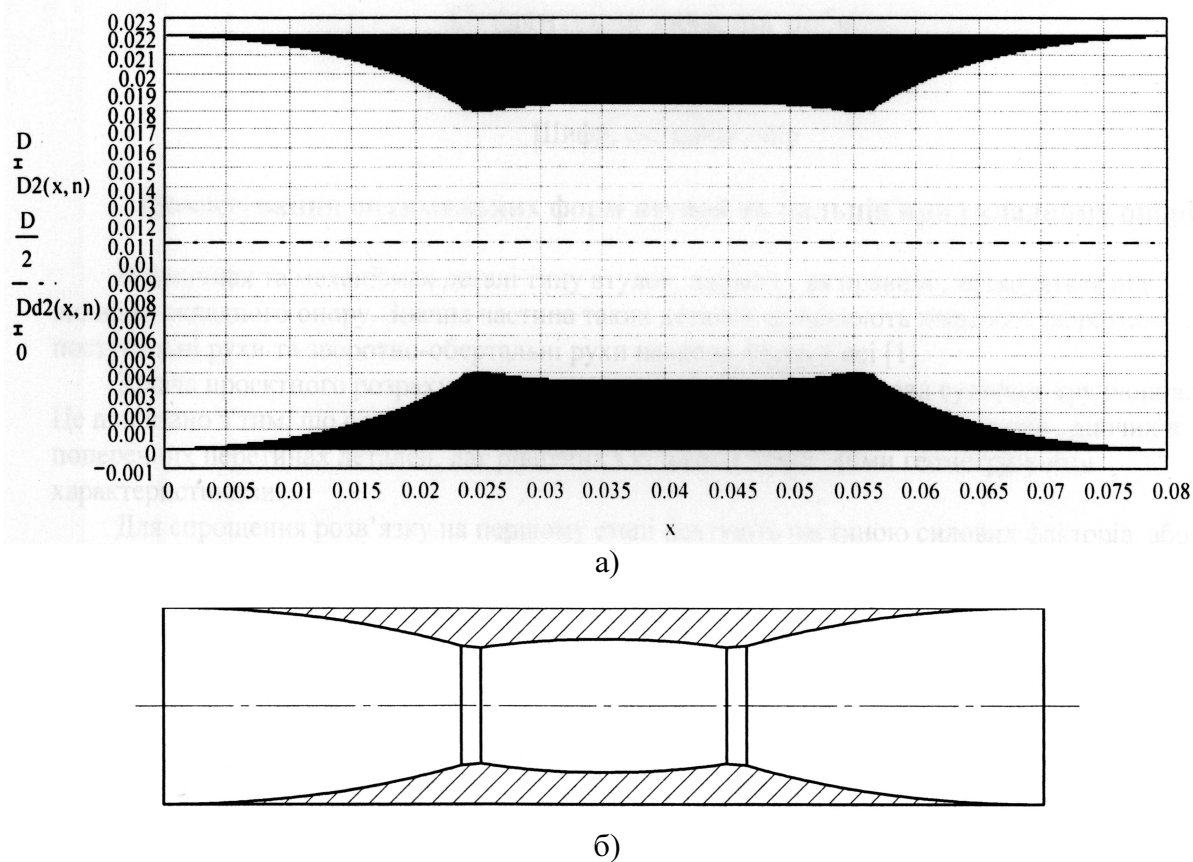


Рисунок 4 – Поздовжній профіль пальця та його конструкція за результатами ітерацій

Дослідження залежності поздовжнього профілю пальця від інтенсивності навантажень дає епюри, наведені на рис. 5.

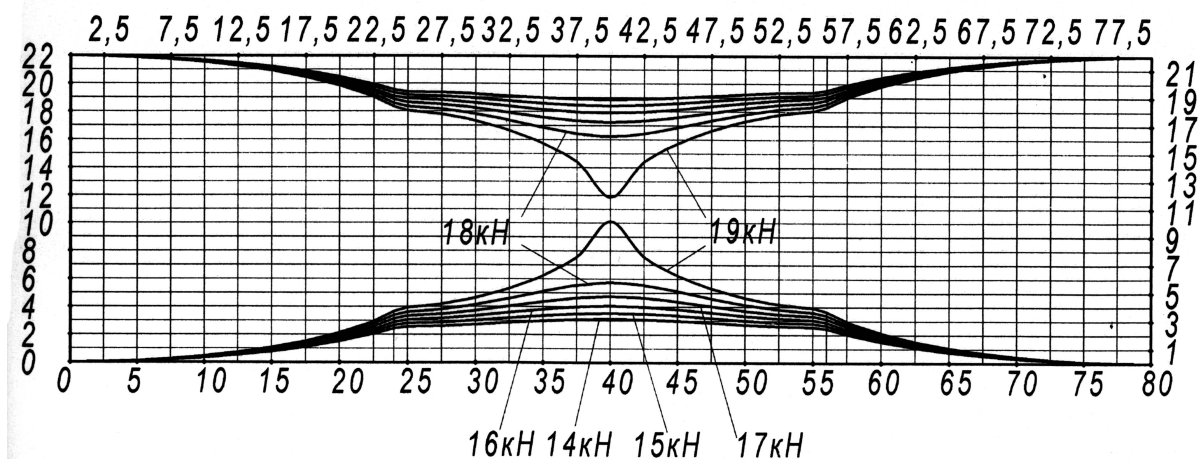


Рисунок 5 – Поздовжні профілі пальця при різній інтенсивності навантажень

Результати досліджень та обчислень дали можливість авторам даної роботи доповнити класичний перелік конструкцій, пальців новими оптимізованими конструкціями, захищеними патентами [4], [5], [6].

Figure 1 consists of two schematic diagrams of a two-stage gas turbine engine. Diagram (a) shows the general layout with dimensions: total length L , inlet duct length c , compressor length a , combustion chamber length b , turbine length c , and outlet duct length c . Diameters are labeled d_1 , d_2 , and d . Diagram (b) shows a detailed view of the combustion chamber and turbine section, with reaction forces R_1 , R_2 , and R_3 , and distances $A'B'$ and O_3 .

Викладена методика проектного розрахунку може бути корисною у навчальному процесі, у конструкторських та науково-дослідних розробках.

1. Двигатель внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д.Н. Вырубов, С.И. Ефимов, Н.А. Ивашенко и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.
2. Бюргер И.А. Шорр Б.Ф., Шнейдерович Р.М. Расчет на прочность деталей машин. Справочное пособие. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1966. – 616 с.
3. Опір матеріалів. Розв'язання задач з допомогою ПЕОМ. Навч. посібник. / Г.Б. Філімоніхін, О.Б. Чайковський. – Кіровоград, 2002. – 207 с.
4. Декларацийний патент на корисну модель №15793 від 17.07.2006 р., Бюл. №7. Авт.: Лушніков В.М., Чайковський О.Б., Олійниченко А.В. та ін.
5. Патент на корисну модель №26900 від 10.10.2007 р., Бюл. №16. Авт.: Лушніков В.М., Чайковський О.Б., Корольов П.В. та ін.
6. Патент на корисну модель №36977 від 10.11.2008 р., Бюл. №21. Авт.: Лушніков В.М., Чайковський О.Б., Корольов П.В. та ін.

In article it is described methods projection of the digit and ejector build on the method of iteration.