

Лабораторна робота №7

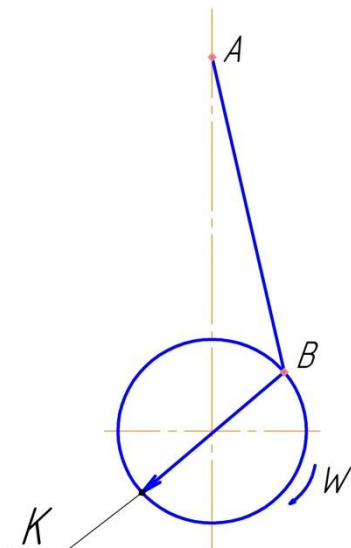
Визначення мас елементів КШМ та зведення мас поршневого ДВЗ.

Мета роботи: визначення вихідних даних для динамічного розрахунку КШМ двигуна, що проектується (маси поршневого комплекту, маси шатуна, розподілу маси шатуна, віднесені до осі поршневого пальця та осі шатунної шийки).

Обладнання: Штангенциркуль; рулетка (лінійка); секундомір; ваги електронні ($l - 50$ Н); пристрій для дослідження маятникових коливань шатуна; поршневі комплекти та шатуни в зборі ДВЗ.

Загальні відомості

За характером руху маси деталей кривошипно-шатунного механізму поділяються на маси, що здійснюють (рис 1):



- зворотно-поступальний рух (поршень, поршневі кільця, поршковий палець, стопорні кільця – маса поршневого комплекту): - точка А;
- обертовий рух (колінчастий вал: корінні шийки, щоки, противаги); - точка В;
- складний плоско-паралельний рух (шатун в зборі).

Вісь поршневого пальця здійснює зворотно-поступальний рух з лінійною швидкістю в діапазоні $V_a = 0 \dots V_{a \max}$, яка визначається за формулою:

$$V_a = \omega R \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right), \text{ м/с} \quad (1)$$

де: ω – частота обертання колінчастого вала, с^{-1} ;

R – радіус кривошипу, м;

φ – кут повороту колінчастого вала, град;

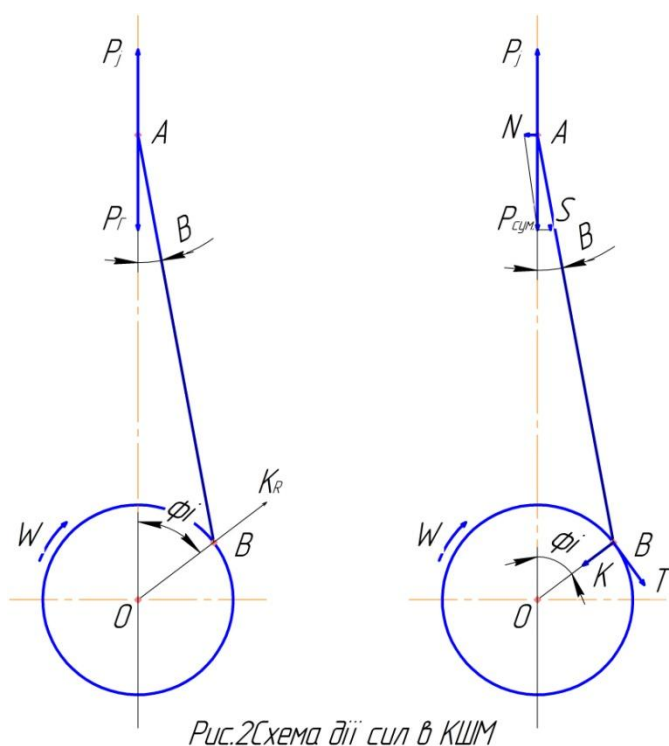
$\lambda = \frac{R}{L}$ – відношення радіуса кривошипа до довжини шатуна.

Змінна лінійна швидкість мас, що відносяться до точки А викликає виникнення сил інерцій, що визначаються за формулою:

$$P_{jA} = -m_{jA}j_A = -m_j R \omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi), \text{ Н} \quad (2)$$

де: m_{jA} – величина маси, що здійснює зворотно-поступальний рух.

При роботі поршневого ДВЗ в кривошипно-шатунному механізмі діють сили тиску газів та інерційні сили, схеми котрих представлені на рис 2а,б:



На вісь шатунної шійки (точка В діє відцентрова сила K_R – сила інерції мас, що обертаються. Її значення визначається за формулою:

$$K_R = -m_e \times R \omega^2, \text{ Н} \quad (3)$$

Ця сила постійна за величиною та діє по радіусу кривошипу m_e спрямована від осі колінчастого валу.

Для спрощення задачі з визначення інерційних сил, що діють в КШМ, шатун, що здійснює складний плоско-

паралельний рух, замінюють жорстким невагомим зв'язком, а його масу в певній пропорції розподіляють лише масами, що здійснюють зворотно-поступальний рух (точка А) та обертовий рух (точка В) тобто можна виконати її у вигляді:

$$m_{шA} = m_{п} + m_{шA}, \quad (5)$$

де: $m_{п}$ – маса поршневого комплекту;

$m_{шA}$ – частина маси шатуна, віднесена до осі поршневого пальця.

- що здійснюють обертовий рух:

$$m_A = m_{шш} + m_{щ} + m_{пр} + m_{шв}, \quad (6)$$

де: $m_{шш}$ – маса шатунної шійки;

$m_{щ}$ – приведена маса щок колінчастого валу;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	
----------------------------	---	--

$m_{пр}$ – приведена маса противаг колінчастого валу;

$m_{шв}$ – частина маси шатуна, віднесена до осі шатунної шійки .

В даній лабораторній роботі розглянуті питання визначення значень мас: $m_{п}$; $m_{ш}$; $m_{ша}$; $m_{шв}$.

Визначення маси поршня та шатуна ($m_{п}$ та $m_{ш}$).

Для приблизного визначення маси поршня двигуна, що проектується, доцільно використовувати конструктивну масу $m'_{п}$, що визначена для поршнів існуючих двигунів та представляє собою умовну масу 1 м^2 днища поршня, тобто:

$$m'_{п} = \frac{m_{п}}{F_{п}} = \frac{4m_{п}}{\pi D^2}, \text{ кг/м}^2 \quad (7)$$

де: $F_{п}$ – площа днища поршня; м^2

D – діаметр циліндра, м

звідки:

$$m_{п} = \frac{m'_{п} \pi D^2}{4}, \text{ кг} \quad (8)$$

Маса шатуна визначається з тих же міркувань з урахуванням конструктивної маси:

$$m'_{ш} = \frac{m_{ш}}{F_{п}}, \text{ кг/м}^2 \quad (9)$$

звідки:

$$m_{ш} = \frac{m'_{ш} \times \pi D^2}{4}, \text{ кг} \quad (10)$$

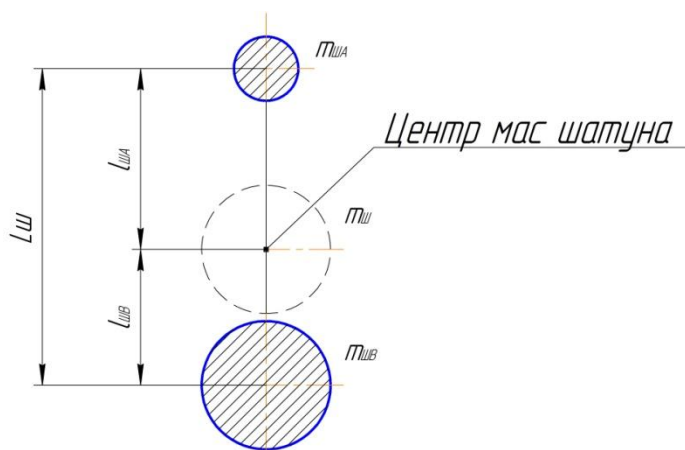
де: $m'_{ш}$ – конструктивна маса шатуна, кг/м^2

Визначення зведених мас шатуна ($m_{шA} + m_{шB}$).

Для отримання динамічної еквівалентної системи, що замінює,

необхідно дотриматись наступних умов:

- сума еквівалентних мас повинна дорівнювати масі шатуна:



$$m_{\text{ш}} = m_{\text{шA}} + m_{\text{шB}}, \quad (11)$$

- спільний центр мас еквівалентних мас повинен співпадати з центром мас шатуна:

$$\sum m_i \times m_i, \text{ або } m_{\text{шA}} \times l_{\text{шA}} - m_{\text{шB}} \times l_{\text{шB}} = 0 \quad (12)$$

- сума моментів інерції еквівалентних мас відносно центру мас шатуна повинна дорівнювати моменту інерції маси шатуна відносно тієї ж точки:

$$m_{\text{шA}} \times l_{\text{шA}}^2 + m_{\text{шB}} \times l_{\text{шB}}^2 = m_{\text{ш}} \times l_{\text{шA}} \times m_{\text{шB}} \quad (13)$$

Однак остання умова на практиці не виконується внаслідок невідповідності двомасової заміщеної системи параметрам реальних шатунів, але це не здійснює суттєвого впливу на точність результатів розрахунку, тому цією умовою звичайно зневажають.

З перших двох умов (11 та 12):

$$m_{\text{шA}} = m_{\text{ш}} \frac{l_{\text{шB}}}{l_{\text{ш}}}, \quad (14)$$

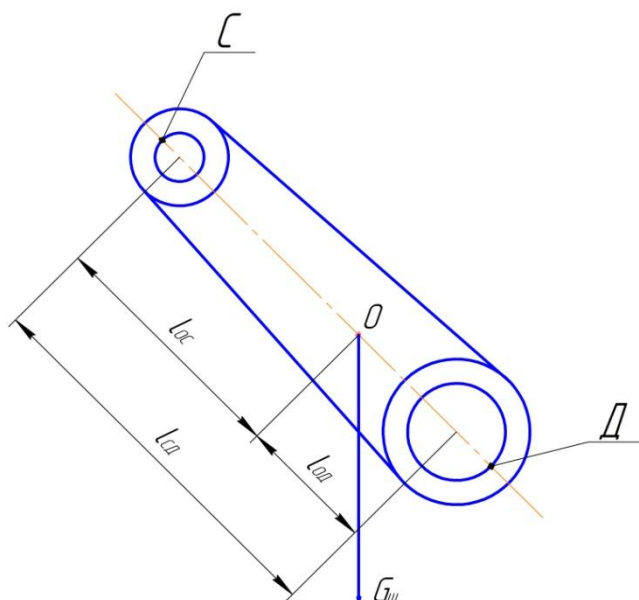
$$m_{\text{шB}} = m_{\text{ш}} \frac{l_{\text{шA}}}{l_{\text{ш}}} \quad (15)$$

Виходячи із залежностей (14,15) для визначення еквівалентних мас шатуна $m_{\text{шA}}$ та $m_{\text{шB}}$ необхідно знайти величину відрізків:

- $l_{\text{шA}}$ – відстань від центру мас шатуна до осі його верхньої головки;
- $l_{\text{шB}}$ – відстань від центру мас шатуна до осі його нижньої головки.

Для визначення величин $l_{\text{шA}}$, $l_{\text{шB}}$, $m_{\text{шA}}$, $m_{\text{шB}}$, використовують аналогічний метод (з використанням креслення шатуна) та експериментальні методи (зважування та качання).

Розглянемо метод качання, заснований на використанні теорії коливань математичного маятника. За допомогою цього методу визначають положення



центру мас шатуна та за формулами 14 та 15 – приведені маси: $m_{\text{шA}}$ та $m_{\text{шB}}$. Зазначені дії виконують в наступній послідовності:

- після підвішування в точці С верхньої головки

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	
----------------------------	---	--

- визначають період власних малих ($5...7^\circ$) коливань шатуна T_C ;
- аналогічно визначають період коливань T_D (при підвішуванні на призмі на точці D нижньої головки шатуна);
 - за визначеними параметрами T_C , T_D та l_{CD} за наведеною нижче формулою визначають положення центру мас шатуна:

$$l_C = l_{CD} \frac{4\pi^2 l_{CD} - T_D^2 \times g}{8\pi^2 l_{CD} - (T_C^2 + T_D^2)g}, \quad (16)$$

та за формулами 14 та 15 приведені маси шатуна $m_{шA}$ та $m_{шB}$.

Контрольні питання

1. Нарисувати і пояснити схему сил і моментів, що діють в кривошипно-шатунному механізмі ДВЗ.
2. Пояснити, з якою метою і яким чином здійснюється зведення мас деталей КШМ ДВЗ.
3. Пояснити суть методів зведення мас шатуна.
4. Яким чином можливо наближено визначити приведені маси шатуна ?
5. Пояснити, яким чином можливо підвищити точність експериментального визначення приведених мас шатуна?