УДК 62-129.1

ДЕМПФУВАННЯ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ КРЕЙЦКОПФНОГО ДИЗЕЛЯ

Самарін О. Є., *к.т.н., доц., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, E-mail: more@tlc.kherson.ua*

Розроблено телескопічний шток поршневого двигуна, що складається з поршневої і циліндричної частин та пружного елементу, у якому пружний елемент виконано у вигляді пружини стискання або тарілчастої пружини, встановленої зовні на поршневу частину штоку. Попередня сила стискання пружини менше максимальної сили газів при згорянні палива, але більше сили стискання газів у циліндрі. На поршневій частині штоку закріплено напрямні кільця з антифрикційного матеріалу, по периметру яких розташовано ущільнювачі. Циліндрична частина штоку має фланець, до якого кріпиться упор. У циліндричній частині штоку між напрямними кільцями виконано отвір. Виконання пружного елементу у вигляді пружини стискання або тарілчастої пружини, встановленої зовні на поршневій частині штоку, дозволяє забезпечити сталість робочих характеристик пружини упродовж усього періоду експлуатації та підібрати пружину необхідної пружності. Забезпечення попередньої сили стискання пружини менше максимальної сили газів при згорянні палива, але більше сили стискання газів у циліндрі дозволяє забезпечити стискання пружини при дії максимальної сили газів, при згорянні палива і зменшення ударного навантаження на деталі кривошипно-шатунного механізму та необхідної жорсткості штока при стисканні газів у циліндрі. Закріплення на поршневій частині штоку напрямних кілець з антифрикційного матеріалу, по периметру яких розташовано ущільнювачі, дозволяє зменшити силу тертя при переміщенні поршневої частини штоку відносно циліндрової частини та запобігти витіканню змащувального масла. Виготовлення на циліндричній частині штоку фланця, до якого кріпиться упор, дозволяє забезпечити збирання деталей штоку та обмежити переміщення поршневої частини штоку відносно циліндрової частини. Виконання у циліндричній частині штоку між напрямними кільцями отвору забезпечує надходження масла до напрямних кілець. Запропоноване технічне рішення дозволяє зменшити динамічне навантаження на вузли та деталі кривошипно-шатунного механізму, знизити швидкість зношування підшипників ковзання і збільшити строк експлуатації крейцкопфного дизеля.

Ключові слова: *телескопічний шток, крейцкопфний дизель, пікове навантаження, сила тертя, підшипник.*

Вступ. Сила дії газів на поршень змінюється періодично від максимальної до мінімальної величини.

При динамічних та міцносних розрахунках деталей дизеля найбільш характерною величиною, яка визначає зовнішнє навантаження на деталі, є максимальна сила. Вона виникає у верхній мертвій точці у момент згоряння палива у циліндрі. Враховуючи те, що на процеси сумішоутворення та згоряння палива у дизелі відводиться відносно короткий проміжок часу 0,005…0,05 с, процес підвищення тиску у циліндрі відбувається миттєво. Це призводить до різкого зростання сили, що діє на деталі кривошипно-шатунного механізму та на підшипники. Відсутність демпфуючих елементів призводить до періодичного ударного навантаження деталей дизеля при кожному оберті колінчастого валу.

Такі умови роботи негативно відбиваються на роботоздатності та довговічності шатунних підшипників і підшипників колінчастого валу.

Враховуючи масове використання поршневих двигунів внутрішнього згоряння, а також високі витрати на технічне обслуговування та ремонт, проблема зменшення навантаження на деталі КШМ, а також підвищення строку служби підшипників набуває практичної значущості.

Механічні навантаження на кривошипно-шатунний механізм. Під час роботи двигуна його вузли і деталі відчувають механічні навантаження, що викликаються, головним чином, силами тиску газів в циліндрах, силами інерції мас, що рухаються поступально та обертаються (відцентрових сил).

Сила тиску газів $P_г$ діє в робочих циліндрах і навантажує втулки циліндрів, прагнучи їх розірвати за твірною, кришки, викликаючи в них напруги вигину, поршні та

підшипники. Протягом робочого циклу сила змінює свою величину і може бути визначена за індикаторною діаграмою або розрахунком. На рис. 1 наведено розгорнуті по куту повороту вала криві сил тиску газів $P_г$, сил інерції поступально рухомих мас P_j та рушійної сили двотактного двигуна.

Сили тяжіння деталей, тиску наддувного повітря у під поршневій порожнини і сили тертя відносно невеликі і їх впливом можна знехтувати.

Діюча на поршень сила $P_г$ спрямована вниз і разом з силами інерції навантажує сам поршень.

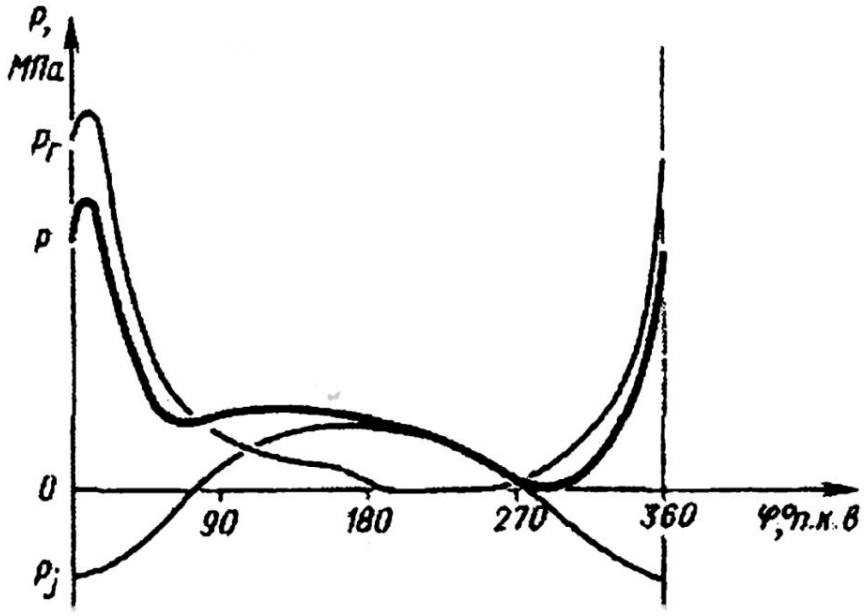


Рисунок 1 – Криві сил тиску газів $P_г$, інерції P_j і рушійної сили P [1]

Сила інерції поступально рухомих мас, являє собою добуток мас поршневої групи і верхньої частини шатуна m_n на прискорення руху поршня a: $P_{jп} = m_n \times a$, діє як і сила тиску газів в напрямку осі циліндра. Сила інерції так само, як і сила тиску газів по ходу поршня змінює свою величину і досягає максимумів у мертвих точках поршня, тому що саме у цих точках швидкості поршня дорівнюють нулю, а прискорення максимальні.

Додавання сил, приведених до площі поршня, дає сумарну силу:

$$P = P_г \pm P_j.$$

Ця сила викликає навантаження на підшипники колінчастого валу.

Сумарна сила P може бути розкладена на дві складові: на силу $P_ш$, що спрямована уздовж шатуна і викликає навантаження шатунних підшипників, та нормальну силу N, спрямовану перпендикулярно до осі циліндра (рис. 1):

$$P_ш = \frac{P}{cos\beta};$$

$$N = P\ tg\beta.$$

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Як видно з проведеного аналізу, сила тиску газів P має максимальне значення у верхній мертвій точці. Короткий проміжок часу, що складає 0,005…0,05 с, за який проходить згоряння палива, викликає появу ударного навантаження на деталі кривошипно-шатунного механізму. Це навантаження передається на шатунні підшипники та підшипники колінчастого валу і викликає їх нерівномірне та прискорене зношування.

Мета та задачі проведення досліджень. Розробити такий шток крейцкопфного двигуна, у якому сила, що виникає при згорянні палива у циліндрі та діє на поршень, частково демпфується та передається на підшипники рухомої частини двигуна поступово, що зменшує ударне навантаження та збільшує їх довговічність. Пружний елемент повинен мати стабільні характеристики упродовж всього строку експлуатації та не вимагати періодичної заміни. Його розташування має забезпечити необхідну пружність та хід телескопічного штоку.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз конструкції штоку, нерухомих і рухомих частин двигуна та встановити причину виникнення ударного навантаження підшипників.

Рішення поставленої задачі. Для забезпечення рішення поставленої задачі у крейцкопфному двигуні замість жорсткого штоку пропонується встановити телескопічний шток із пружинним елементом (рис. 2).

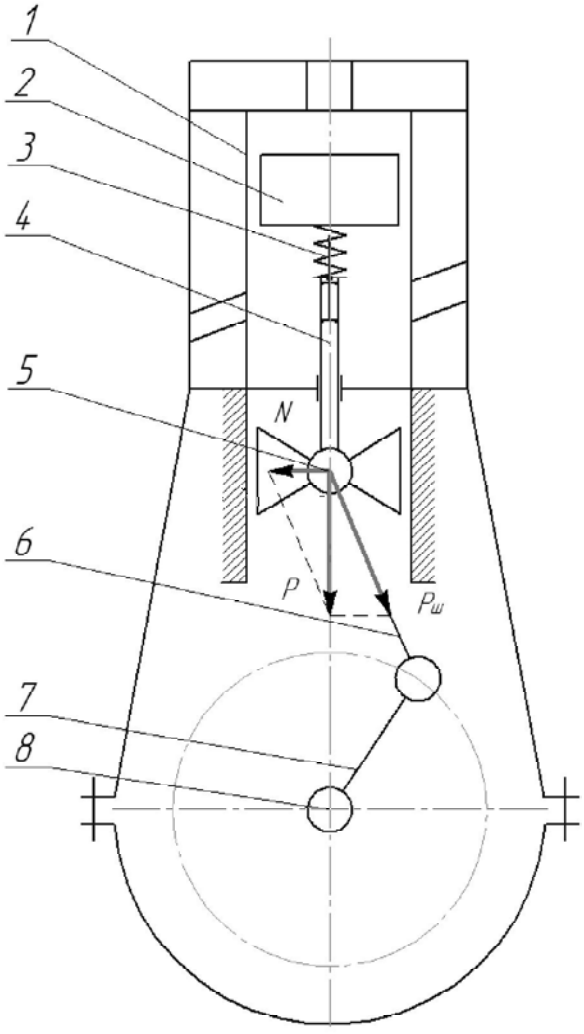
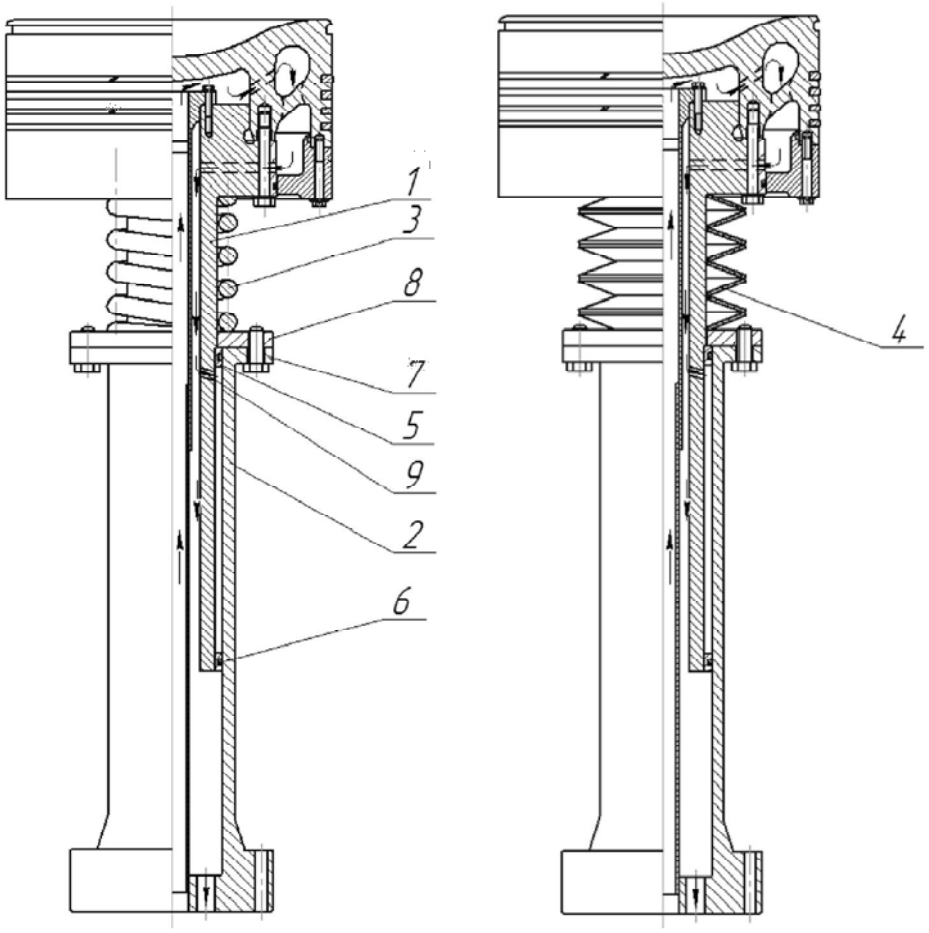


Рисунок 2 – Схема крейцкопфного двигуна з телескопічним штоком:
1 – циліндр; 2 – поршень; 3 – пружина; 4 – телескопічний шток; 5 – крейцкопфний механізм; 6 – шатун; 7 – колінчастий вал; 8 – підшипник колінчастого валу

Запропонований телескопічний шток поршневого двигуна складається з поршневої 1 і циліндричної 2 частин та пружного елементу, який виконано у вигляді пружини стискання 3 (рис. 3а) або тарілчастої пружини 4 (рис. 3б), встановленої зовні на поршневу частину 1 штоку.



а) б)

Рисунок 3 – Телескопічний шток крейцкопфного двигуна з пружиною стискання (а) і тарілчастою пружиною (б):
1 – поршнева частина; 2 – циліндрична частина; 3 – пружина стискання; 4 – тарілчаста пружина; 5 – напрямне кільце; 6 – ущільнювач; 7 – фланець; 8 – упор; 9 – отвір

Попередня сила стискання пружини 3 або 4 менше максимальної сили газів при згорянні палива, але більше сили стикання газів у циліндрі.

На поршневій частині 1 штоку закріплено напрямні кільця 5 із антифрикційного матеріалу, по периметру яких розташовано ущільнювачі 6.

Циліндрична частина 2 штоку має фланець 7, до якого кріпиться упор 8.

У циліндричній частині 2 штоку між напрямними кільцями 5 виконано отвір 9.

Виконання пружного елементу у вигляді пружини стискання або тарілчастої пружини, встановленої зовні на поршневій частині штоку, дозволяє забезпечити сталість робочих характеристик пружини упродовж всього періоду експлуатації та підібрати пружину необхідної пружності.

Забезпечення попередньої сили стискання пружини менше максимальної сили газів при згорянні палива, але більше сили стискання газів у циліндрі, що дозволяє забезпечити стискання пружини при дії максимальної сили газів при згорянні палива і зменшення ударного навантаження на деталі кривошипно-шатунної групи та необхідної жорсткості штока при стисканні газів у циліндрі.

Закріплення на поршневій частині штоку напрямних кілець з антифрикційного матеріалу, по периметру яких розташовано ущільнювачі, дозволяє зменшити силу тертя при переміщенні поршневої частини штоку відносно циліндрової частини та запобігти витіканню змащувального масла.

Виготовлення на циліндричній частині штоку фланця, до якого кріпиться упор, дозволяє забезпечити збирання деталей штоку та обмежити переміщення поршневої частини штоку відносно циліндрової частини.

Виконання у циліндричній частині штоку між напрямними кільцями отвору забезпечує надходження масла до напрямних кілець.

Телескопічний шток поршневого двигуна працює наступним чином.

При згорянні палива у циліндрі виникає максимальна сила, що діє на поршневу частину 1 телескопічного штоку. У зв'язку з тим, що попередня сила стискання пружини 3 або 4 менше максимальної сили газів при згорянні палива, поршнева частина 1 стискає пружину 3 або 4 і рухається вздовж осі штока по напрямних кільцях 6, зменшуючи його довжину. При цьому частина максимальної сили тиску газів акумулюється у пружині 3 або 4 і на циліндричну частину 2 штоку передається поступово.

Після зменшення максимальної сили тиску газів телескопічний шток під дією пружини 3 або 4 розпрямляється. При цьому поршнева частина 1 рухається вздовж осі штоку до впирання напрямного кільця 5 в упор 8, що притискається до фланця 7.

Змащування напрямних кілець 5 відбувається за рахунок охолоджувального масла, що циркулює через телескопічний шток та отвір 9.

У запропонованому двигуні сила, що діє уздовж штока Р дорівнює:

$$\mathrm{P} = \mathrm{P_г} \pm \mathrm{P}_j - \mathrm{P_п}.$$

де $\mathrm{P_п}$ – сила стискання пружини.

Відповідно сила $\mathrm{P_ш}$, що спрямована уздовж шатуна та нормальна сила N, спрямовану перпендикулярно до осі циліндра будуть дорівнювати:

$$\mathrm{P_ш} = \frac{\mathrm{P} - \mathrm{P_п}}{cos\beta};$$

$$N = (\mathrm{P} - \mathrm{P_п})tg\beta.$$

Висновки та рекомендації. Запропоноване технічне рішення дозволяє зменшити динамічне навантаження на вузли та деталі кривошипно-шатунного механізму, знизити швидкість зношування підшипників ковзання і збільшити строк експлуатації крейцкопфного двигуна.

Зменшення пікового навантаження у циліндрі та пролонгація його у часі забезпечує розподіл тиску в підшипниках по більшій площині. Це дозволяє забезпечити більш рівномірне зношування поверхонь тертя у підшипниках та знизити температуру їх нагрівання. Крім того, зменшується ударний вплив на деталі кривошипно-шатунного механізму.

Застосування пружини стискання або тарілчастої пружини дозволяє підбирати відповідну силу попереднього стискання та необхідну жорсткість згідно з характеристиками двигуна. Це дозволяє охопити двигуни всіх типорозмірів.

Конструктивне виконання показано на базі вузлів двигунів, що випускаються фірмою MAN B&W Diesel. Тому воно легко може бути використане у двотактних крейцкопфних двигунах вказаного виробника.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания / И. В. Возницкий. – Том 1. – М. : Моркнига, 2008. – 282 с.

2. Гоц А. Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей : учеб. пособие / А. Н. Гоц ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Редакционно-издательский комплекс ВлГУ, 2005. – 124 с.

3. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – М. : Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 401 с.

4. Патент РФ №2200857от 29.05.2000, Двигатель внутреннего сгорания.

REFERENCES

1. Voznickiyj I. V. (2008). *Sudovihe dvigateli vnutrennego sgoraniya*. Tom 1. M. : Morkniga.

2. Goc A. N. (2005)ю *Kinematika i dinamika krivoshipno-shatunnogo mekhanizma porshnevihkh dvigateleyj : ucheb. Posobie.* Vladimir : Redakcionno-izdateljskiyj kompleks VlGU.

3. Targ S. M. (1961). *Kratkiyj kurs teoreticheskoyj mekhaniki*. M. : Gosudarstvennoe izdateljstvo fiziko-matematicheskoyj literaturih.

4. *Patent RF №2200857*ot 29.05.2000, Dvigatelj vnutrennego sgoraniya.

Самарин А. Е. ДЕМПФИРОВАНИЕ ПИКОВЫХ НАГРУЗОК КРЕЙЦКОПФНОГО ДИЗЕЛЯ

Разработан телескопический шток поршневого двигателя, состоящий из поршневой и цилиндрической частей и упругого элемента, в котором упругий элемент выполнен в виде пружины сжатия или тарельчатой пружины, установленной снаружи на поршневую часть штока. Предварительная сила сжатия пружины меньше максимальной силы газов при сгорании топлива, но больше силы сжатия газов в цилиндре. На поршневой части штока закреплены направляющие кольца из антифрикционного материала, по периметру которых расположены уплотнители. Цилиндрическая часть штока имеет фланец, к которому крепится упор. В цилиндрической части штока между направляющими кольцами выполнено отверстие. Выполнение упругого элемента в виде пружины сжатия или тарельчатой пружины, установленной снаружи на поршневой части штока, позволяет обеспечить постоянство рабочих характеристик пружины в течение всего периода эксплуатации и подобрать пружину необходимой упругости. Обеспечение предварительной силы сжатия пружины меньше максимальной силы газов при сгорании топлива, но больше силы сжатия газов в цилиндре позволяет обеспечить сжатие пружины при действии максимальной силы газов при сгорании топлива, уменьшение ударной нагрузки на детали кривошипно-шатунного механизма и необходимой жесткости штока при сжатии газов в цилиндре. Закрепление на поршневой части штока направляющих колец из антифрикционного материала, по периметру которых расположены уплотнители, позволяет уменьшить силу трения при перемещении поршневой части штока относительно цилиндрической части и предотвратить утечку смазочного масла. Изготовление на цилиндрической части штока фланца, к которому крепится упор, позволяет обеспечить сборку деталей штока и ограничить перемещение поршневой части штока относительно цилиндрической части. Выполнение в цилиндрической части штока между направляющими кольцами отверстия обеспечивает поступление масла к направляющим кольцам. Предложенное техническое решение позволяет уменьшить динамическую нагрузку на узлы и детали кривошипно-шатунного механизма, снизить скорость износа подшипников скольжения и увеличить срок эксплуатации крейцкопфного дизеля.

Ключевые слова: *телескопический шток, крейцкопфный дизель, пиковая нагрузка, сила трения, подшипник.*

Samarin O. E. THE DAMPING PEAK KREYTSKOPFNOHO DIESEL

Developed telescopic rod piston engine, consisting of a piston and cylinder units and an elastic element, in which the elastic element is designed as a compression spring or plate springs installed on the outside of piston rod. Previous compression spring force less than the maximum power emissions during the combustion of fuel, but more power osculation gas in the cylinder. On the piston rod of the fixed guide ring of antifriction material, which are located on the perimeter seals. The cylindrical part of the rod has a flange, which is fixed focus. In the cylindrical portion between the rod guide rings made hole. Implementation of the elastic element in the form of compression springs or plate springs installed on the outside of the piston rod, allows the sustainability performance springs throughout the period of operation and pick up the necessary spring elasticity. Providing preliminary force of compression springs less maximum power emissions from the combustion of fuel, but more power compression of gas in the cylinder allows for compression springs under the influence of maximum strength gases from the combustion of fuel and reduce the shock loads on parts crank groups and the required stiffness of the rod compression of gases in cylinder. Fixing on piston rod of the guide rings antifriction material, which are located on the perimeter seals, can reduce the friction force when moving the piston rod of relatively cylindrical parts and prevent leakage of lubricating oil. Production on a cylindrical flange of the rod, which is fixed focus, can provide cleaning rod parts and limit movement of the piston rod relative to cylindrical parts. Implementation of the cylindrical portion between the rod guide rings opening ensures the supply of oil to the guide rings. The proposed technical solution can reduce the dynamic loads on components and parts crank mechanism, reduce the rate of wear of bearings and increase lifetime kreytskopfnoho engine.

Keywords: *telescopic rod kreytskopfnyy diesel, peak load, the force of friction bearing.*

© Самарін О. Є.

Статтю прийнято
до редакції 05.04.16