

УДК 621.436

В.І. Мороз, В.С. Тіщенко

Український державний університет залізничного транспорту, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ГАЗОРОЗПОДІЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРОБЛЕНИХ 3D МОДЕЛЕЙ

Обґрунтована доцільність проведення експериментальних досліджень з використанням розроблених 3D моделей елементів конструкції механізму газорозподілу транспортних дизелів. Представлено фрагмент геометричної 3D модель приводу випускних клапанів і виділені відповідні елементи конструкції. В якості найбільш податливого елемента обрано штангу механізму газорозподілу і приведено результати дослідження її спрощеної геометричної моделі. Наведено розроблена уточнена 3D модель штанги, що найбільш відповідає реальній конструкції і проведено її дослідження. Обґрунтована доцільність використання уточнених геометричних моделей як тих що найбільш відповідають експериментальним даним. Наведені рекомендації щодо використання розроблених моделей.

Ключові слова: дизель, механізм газорозподілу, геометрична модель.

Постановка проблеми

Значна частка у задоволенні суспільних потреб у вантажних та пасажирських перевезеннях припадає на мережу залізниць України. Поряд з цим якість здійснення перевезень безпосередньо пов'язана зі станом рухомого стану, який на теперішній час можна оцінити як незадовільний. Разом з тим оновлення локомотивного парку триває досить низькими темпами, що визначає необхідність у підтримці працездатного стану наявного рухомого складу [1]. Ця задача може бути вирішена за рахунок проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, що спрямовані на визначення характеристик функціонування елементів конструкції основних систем локомотивів, серед яких однією з найвідповідальніших є механічна система.

Значну частку локомотивного парку ПАТ «Українська залізниця» складають тепловози серії ТЕП70, 2ТЕ116 в яких багатociліндрова енергетична установка з дизелем типу Д49. Тому задача забезпечення експлуатаційної надійності та довговічності таких дизелів є актуальною.

Механічну систему дизелів Д49 доцільно розглядати у вигляді сукупності взаємодіючих чотирьох підсистем: циліндрових модулів, колінчатого валу, розподільного валу та передавального механізму [2,3]. При цьому найменш дослідженими є кулачкові механізми приводу клапанів відхилення закону руху яких приводять до зміни фаз газорозподілення, погіршення процесів газообміну в циліндрах і показників роботи привода в цілому [4]. Підсистема

розподільного валу відповідає за регулювання режимів роботи всієї механічної системи і складається з ряду кулачкових механізмів газорозподілу (КМГР) та паливних насосів високого тиску. Це визначає актуальність досліджень, спрямованих на визначення напружено-деформованого стану елементів конструкції КМГР розподільного валу енергетичних установок з дизелем типу Д49.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботах [2, 3] представлені результати експериментальних досліджень КМГР чотирьохтактних транспортних дизелів типів Д49 та Д80. Їх головною метою було визначення пружних деформацій найбільш податливих деталей приводу (штанг) за величинами яких оцінювались відхилення законів руху клапанів від теоретичних законів. Разом з тим проведення таких досліджень пов'язане з використанням спеціальних методик, приладів для вимірювання та реєстрації. З урахуванням відміченого в сучасних методах проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт спостерігається стійка тенденція до зменшення експериментальної складової з використанням сучасної обчислювальної техніки та програмного забезпечення. Такий підхід базується на розробці та дослідженні відповідних 3D моделей [5] і відрізняється точністю та достовірністю отриманих результатів. Це позитивно впливає на економічну ефективність у порівнянні з експериментальними дослідженнями.

Метою статті є висвітлення результатів дослідження напружено-деформованого стану елементів

конструкції механізму газорозподілу тепловозного дизеля з використанням розроблених 3D моделей.

Виклад основного матеріалу

В результаті проведення попередніх досліджень була розроблена геометрична модель механізму привода клапанів тепловозного дизеля типу Д49 [6]. Її фрагмент для випускних клапанів показано на рис.1.

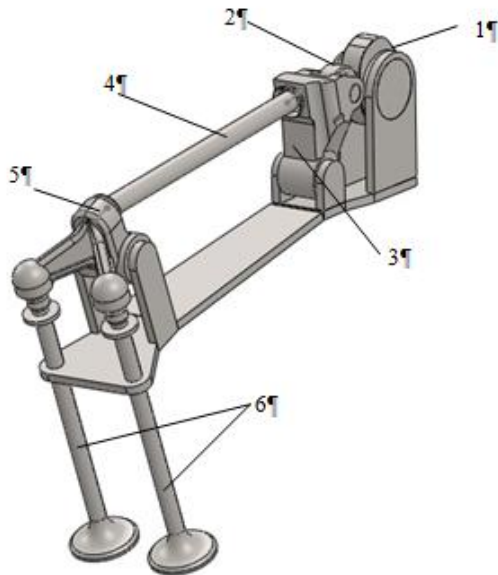


Рис. 1 Фрагмент геометричної 3D моделі механізму привода випускних клапанів дизеля Д49
1 – кулачок, 2 – ролик, 3 – штовхач, 4 – штанга, 5 – траверса, 6 – клапани

В ході попередніх досліджень [7] встановлено, що найбільш податливим елементом конструкції механізму привода клапанів є штанга. Тому за мету досліджень було поставлено розробку описання напружено-деформованого стану штанги. На першому етапі геометрична модель штанги представлена в спрощеному вигляді у виді стержня циліндричної форми. З використанням сучасного програмного забезпечення (Solid Works [8]) отримано скінчено-елементну модель та проведено дослідження її напружено-деформованого стану під дією робочого навантаження 14500 Н. (Рис. 2).

Для описання напружено-деформованого стану було використано додаток COSMOS Simulation, що працює в середовищі Solid Works. Основні параметри (за винятком додаткових вимкнених) проведення дослідження наведені нижче:

- тип аналізу – статичний аналіз;
- тип сітки – сітка на твердому тілі;
- тип програми, що вирішує – FFEPlus;
- вплив навантажень на власні коливання – вимк.;
- матеріал – легована сталь 15Х.

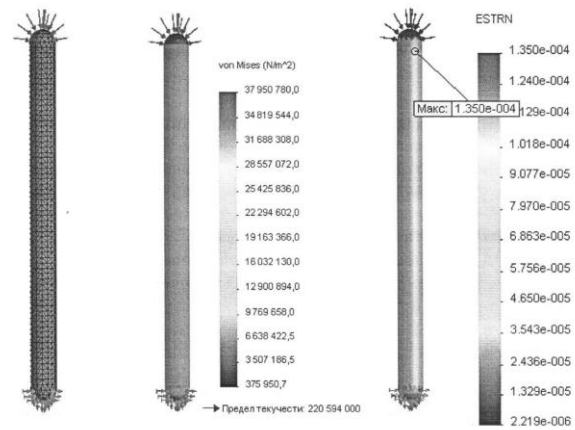


Рис. 2 Сітка та напружено-деформований стан спрощеної геометричної 3D моделі штанги КМГР.

Основні параметри сітки:

- використане розбиття – стандартна сітка;
- точки Якобіана – 4 точки;
- розмір елемента – 4,45243 мм;
- допуск – 0,222622 мм;
- якість сітки – висока;
- усього вузлів – 12488;
- усього елементів – 7186;
- максимальне співвідношення сторін – 4.2881;
- відсоток елементів з співвідношенням сторін < 3 – 99,7;
- відсоток елементів з співвідношенням сторін > 10 – 0;
- відсоток спотворених елементів (якобіан) – 0.

За результатами аналізу отриманих результатів моделювання спрощеної 3D моделі штанги встановлено що найбільші нормальні напруження не перевищують 38 МПа і мають місце на кінцях штанги (зона її контакту з траверсою та штовхачем, темні зони на рис.2) при цьому найбільші лінійні деформації дорівнюють 0,135 мм.

На другому етапі досліджень була розроблена найбільш наближена до реальної конструкції геометрична 3D модель штанги в зборі [9-11]. При її формуванні використовувались представлені на рис.3 моделі усіх складових елементів конструкції штанги (двох різних за конструкцією упорів, корпуса та контргайки) складанням яких за допомогою операцій спряженого збирання в середовищі Solid Works отримана уточнена 3D модель штанги.

По аналогії з попереднім розрахунками дослідження напружено-деформованого стану уточненої геометричної 3D моделі штанги проводились для робочого навантаження 14500Н при наведених нижче параметрах:

- Параметри проведення дослідження наступні:
- тип аналізу – статичний аналіз;
- тип сітки – сітка на твердому тілі;

- тип програми, що вирішує – FFEPlus;
- матеріал – легувана сталь 15X.

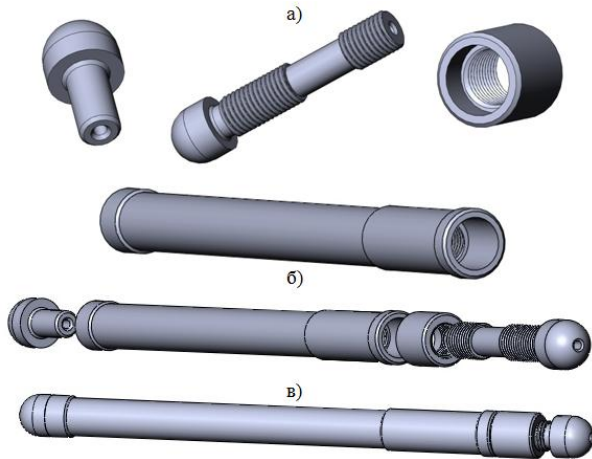


Рис 3 Удосконалені геометричні 3D моделі:
 а) елементів конструкції штанги;
 б) збирання удосконаленої моделі;
 в) зібраної моделі штанги.

Параметри сітки:

- використане розбиття – стандартна сітка;
 - точки Якобіана – 4 точки;
 - розмір елемента – 4,45243 мм;
 - допуск – 0,222622 мм;
 - якість сітки – висока;
 - усього вузлів – 20107;
 - усього елементів – 11172;
 - максимальне співвідношення сторін – 24,798;
 - відсоток елементів з співвідношенням сторін < 3 – 89,8;
 - відсоток елементів з співвідношенням сторін > 10 – 1,33;
 - відсоток спотворених елементів (якобіан) – 0;
- Результати моделювання представлено на рис. 4.

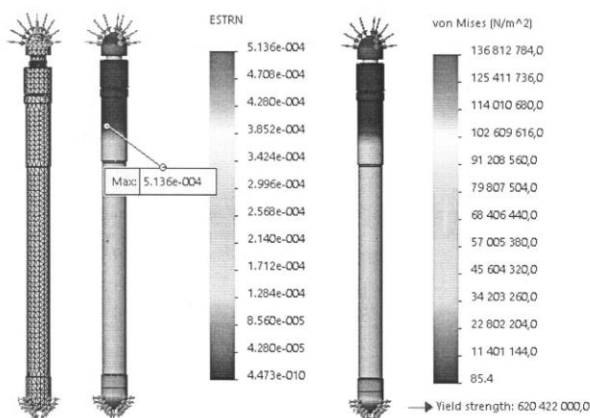


Рис. 4 Сітка та результати дослідження напружено-деформованого стану штанги з використанням удосконаленої 3D моделі.

Видно, що на відміну від попередніх результатів максимальні нормальні напруження мають місце ще в містах різьбових з'єднань (концентратори напружень) елементів конструкції штанги. До того ж рівень напружень значно більше (до 140 МПа) в порівнянні з результатами досліджень спрощеної геометричної моделі.

При цьому збільшилась величина лінійної деформації штанги з 0,135 мм до 0,513 мм. Останнє дозволяє більш точно прогнозувати відхилення законів руху клапанів і їх вплив на показники робочого процесу дизеля.

Висновки

Висвітлені в статті результати досліджень та використаний підхід до дослідження напружено-деформованого стану елементів конструкції механізму газорозподілу тепловозного дизеля з використанням розроблених 3D моделей можуть бути використані при оцінці та уточненні законів руху ланок в механічній системі енергетичних установок локомотивів.

Література

1. Державна програма оновлення рухомого складу на 2017-2021 роки. [Текст] Затверджена на засіданні ПАТ Укрзалізниці від 29 листопада 2016 р.
2. Братченко, О.В. Блочно-ієрархічне описання конструкції сучасних тепловозів [Текст] / О.В. Братченко // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2010 – Вип. 119. – С. 136-141.
3. Тищенко, В.С. Новий підхід до розрахункових досліджень механізмів локомотивної енергетичної установки з V-подібним дизелем. [Текст] / В.С. Тищенко // 36. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 86. – С. 122 – 128.
4. Тепловозные дизели Д49 [Текст] / Е.А. Никитин, В.М. Ширяев и др. – М.: Транспорт, 1982. – 255 с.
5. Мороз, В.І. Особливості побудови геометричних моделей елементів модулів підсистеми розподільного вала тепловозного дизеля Д49. [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, В.С. Тищенко // 36. наук. праць. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 160. – С. 128 – 134.
6. Мороз, В.І. Геометрична модель механізму приводу клапанів тепловозного дизеля Д49. [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, В.С. Тищенко // 36. наук. праць. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 166. – С. 30 – 38.
7. Астахова, К.В. Удосконалення технології проектування і ремонту розподільних валів енергетичних установок тепловозів [Текст]: автореф. дис. ... канд. тех. наук. 05.22.07. / К.В. Астахова. - Дніпропетровськ, 2012. - 20с.
8. Тику, Ш. Эффективная работа : SolidWorks 2004. [Текст] / Ш. Тику — СПб.: Питер, 2005. — 768 с.
9. Володин, А.И. Локомотивные двигатели внутреннего сгорания. [Текст] / А.И. Володин. - М.: Транспорт, 1990. – 256 с.
10. Володин, Л.И. Локомотивные энергетические установки [Текст]: учебник для вузов жс.-д. трансп. / Л.И.

Володин, В.З. Зюбанов, В.Д.Кузьмич и др.; под ред. А.И. Володина. - М.; ИПК «Желдориздат», 2002. —718 с.
 11. Собенин, Л.А. Устройство и ремонт тепловозов [Текст]: учебник для нач. проф. образования / Л.А.Собенин, В.И.Бахолдин, О.В.Зинченко, А. А. Воробьев. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 416 с.

References

1. State program for the renewal of rolling stock for 2017-2021. (2016) *Approved at the meeting of PJSC Ukrzaliznytsia of November 29.*
2. Bratchenko, A.V. (2010) Block-hierarchical description of the construction of modern diesel locomotives. *Collection of scientific works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport, 119*, 136-141.
3. Tishchenko, V.S. (2010) A new approach to the computational studies of the mechanisms of a locomotive power plant with a V-shaped diesel engine. *Sb. sciences. Works, 86*, 122 - 128.
4. Nikitin, E.A., Shiryayev, V.M. and others (1982) Diesel locomotives D49. *M.: Transport, 255.*
5. Moroz, VI, Bratchenko, AV, Tishchenko, VS (2016) Features of construction of geometrical models of elements of modules of a subsystem of a camshaft of diesel diesel engine D49. *Sat. sciences. Works, 160*, 128 - 134.
6. Moroz, VI, Bratchenko, AV, Tishchenko, VS (2016) Geometrical model of the drive mechanism of diesel locomotive diesel valves D49. *Sat. sciences. Works, 166*, 30 - 38.
7. Astakhova, K.V. (2012) Improving the technology of designing and repairing the distribution shafts of diesel locomotive power plants: *Author's abstract. dis. ... Candidate. Tech .Sciences: 05.22.07. Dnepropetrovsk, 20.*

8. Tiku, Sh. (2005) *Effective work: SolidWorks 2004. St. Petersburg: Peter, 768.*
9. Volodin, A.I. (1990) *Locomotive internal combustion engines. M.: Transport, 256.*
10. Volodin, L.I., Zyubanov, V.Z., Kuzmich, VD and others (2002) *Locomotive power plants: textbook for high schools. transp. M.; ИПК "Zheldorizdat", 718.*
11. Sobenin, L.A., Bakholdin, V. I., Zinchenko, OV, Vorobiev, A. A. (2004) *The device and repair of diesel locomotives: a textbook for the beginning. prof. education. M.: Publishing Center "Academy", 416.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.А. Тимофеева, Український державний університет залізничного транспорту, Україна.

Автор: МОРОЗ Володимир Ілліч
 доктор технічних наук, професор
 Український державний університет залізничного транспорту
 E-mail – mpmkafedra@gmail.com
 ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2497-3053>

Автор: ПІЩЕНКО Вадим Сергійович
 кандидат технічних наук, доцент
 Український державний університет залізничного транспорту
 E-mail – mpmkafedra@gmail.com
 ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2401-1746>

RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE GAS DISTRIBUTION MECHANISM DESIGN ELEMENTS USING THE DEVELOPED 3D MODELS

V.I. Moroz, V.S. Tishchenko

Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine

The necessity of maintaining the existing fleet of rolling stock in a reliable and efficient condition is substantiated due to the implementation of experimental and calculation studies of the units and parts of the mechanical system of locomotives. In the mechanical system of the locomotive, as one of the most important, the cam mechanism of the gas distribution of the locomotive power plant is allocated, which is responsible for regulating the operation of the entire mechanical system.

The aim of the research, which consists in describing the stress-strain state of the elements of the design of the gas distribution mechanism, is singled out.

The expediency of carrying out experimental studies using the developed 3D models of the design elements of the mechanism of the gas distribution of transport diesels is substantiated. The economic feasibility of the proposed approach for carrying out experimental studies using modern software is noted. This approach does not require special techniques, measuring and recording equipment.

A fragment of the geometric 3D model of the exhaust valve drive is presented and the corresponding structural elements, among which are cams, a roller, a pusher, a bar, a traverse and valves are selected. As the most compliant element, the rod of the gas distribution mechanism of the internal combustion engine was chosen.

The results of the study of a simplified geometric model of the rod, conducted using modern software, as well as the parameters of the research and grid parameters, are presented.

The elaborated refined 3D model of the rod is presented, which most corresponds to the real design, as well as the results of investigation of its stress-strain state in the form of linear strains and normal stresses.

The expediency of using refined geometric models as those that most correspond to experimental data is substantiated.

The recommendations on the use of the developed models in the assessment and refinement of the laws of motion of links in the mechanical system of power plants of locomotives are given.

Keywords: diesel engine, valve actuator, a geometric model.