

---

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ

---

УДК [629.4.02.002.237].001

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.143.2014.78961>

### БЛОЧНО-ІЄРАРХІЧНЕ ОПИСАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК СУЧАСНИХ ТЕПЛОВОЗІВ

Канд. техн. наук О.В. Братченко

### БЛОЧНО-ИЕРАРХИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОВОЗОВ

Канд. техн. наук А.В. Братченко

### BLOCK-HIERARCHICAL DESCRIPTION TO DESIGNS OF THE ENERGY INSTALLATION MODERN DIESEL LOCOMOTIVE

Cand. of techn. sciences A. Bratchenko

*Відзначено, що найбільш відповідальним етапом робіт, спрямованих на забезпечення високого рівня техніко-економічних показників наявного тягового рухомого складу, є удосконалення конструкції основних систем та агрегатів, до яких належать енергетичні установки тепловозів. Проведення досліджень на сучасному рівні передбачає використання методів оптимізаційного проектування на основі відповідних формалізованих описань. Висвітлено результати досліджень з розроблення блочно-ієрархічного описання конструкції сучасних енергетичних установок тепловозів, яке проводилось у відповідності до нового підходу, що передбачає використання принципів ієрархічності та блочності. Наведена конструкція механічної системи тепловозного дизеля у вигляді ряду взаємопов'язаних і взаємодіючих модулів. Як приклад у статті наводиться використання розробленого формалізованого описання при рішенні задачі удосконалення конструкції розподільного вала тепловозного дизеля типу Д49 для етапу дослідження кінематики випускних клапанів.*

**Ключові слова:** тяговий рухомий склад, оптимізаційне проектування блочно-ієрархічного описання конструкції енергетичної установки тепловоза, механічна система тепловозного дизеля.

*Отмечено, что наиболее ответственным этапом работ, направленных на обеспечение высокого уровня технико-экономических показателей существующего тягового подвижного состава, является усовершенствование конструкции основных систем и агрегатов, к которым относятся энергетические установки тепловозов. Проведение исследований на современном уровне предусматривает использование методов оптимизационного проектирования на основе соответствующих формализованных описаний. Освещаются результаты исследований по разработке блочно-иерархического описания конструкции современных энергетических установок тепловозов, которое проводилось в соответствии с новым подходом, предусматривающим использование принципов иерархичности и блочности. Представлена конструкция механической системы тепловозного дизеля в виде ряда взаимосвязанных и взаимодействующих модулей. В качестве примера в статье приводится использование разработанного формализованного описания при решении задачи усовершенствования конструкции распределительного вала тепловозного дизеля типа Д49 для этапа исследования кинематики выпускных клапанов.*

**Ключевые слова:** тяговый подвижной состав, оптимизационное проектирование, блочно-иерархическое описание конструкции энергетической установки тепловоза, механическая система тепловозного дизеля.

*Motivated urgency research and research and development work, directed on provision high level technical-economic factors existing tractive rolling stock. It Is Noted by that the most responsible stage of such work is an improvement to designs of the main systems and unit, to which pertain energy installation a diesel locomotive. When undertaking the studies on modern level provides use the methods designing on base corresponding to formalized descriptions. Results of the studies are illuminated In article on development block-hierarchical description to designs of the modern energy installation diesel locomotive, which was conducted in accordance with new approach, providing use system principle. The Presented design of the mechanical system diesel in the manner of row interconnected and interacting modules. Such presentation allows to select main modules diesel and develop the corresponding to descriptions in the manner of corresponding to functional, accounting, structured, cinematic, dynamic schemes, mathematical models that has important importance for decision of the difficult problems of the improvement to their designs. As example use happens to in article designed formalized description at decision of the problem of the improvement to designs of the camshaft diesel of the type D49 for stage of the study of the kinematics exhaust valve.*

**The Keywords:** *block-hierarchical description to designs, energy installation, modern diesel locomotive*

**Вступ.** Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Збереження провідних позицій залізничного транспорту України на ринку вантажних і пасажирських перевезень, його подальший розвиток вимагає вирішення цілого ряду проблем, які сформульовані в прийнятих державних програмах.

До однієї з таких проблем слід віднести необхідність оновлення активної частини виробничої бази залізничного транспорту України, що в першу чергу передбачає придбання та використання нового тягового рухомого складу (ТРС). Тривалість такого процесу, що обумовлена необхідністю інвестування значних обсягів коштів, визначає актуальність науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на забезпечення високого рівня техніко-економічних показників наявного ТРС – економічності, надійності й екологічності в експлуатації [1]. Найбільш відповідальним етапом таких робіт є удосконалення конструкції основних систем та агрегатів ТРС, до яких належать енергетичні установки тепловозів (ЕУТ). При цьому проведення досліджень на сучасному рівні передбачає використання методів оптимізаційного проектування на основі відповідних формалізованих описань [2,3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На нинішній час у спеціальній науково-технічній літературі [4,5] висвітлюються переважно тільки окремі

елементи сучасної методології оптимізаційного проектування, які базуються на формалізованих описаннях конструкції окремих деталей та вузлів. Відсутні рекомендації до розроблення формалізованих описань конструкції транспортних технічних засобів (ТЗ) у цілому. Тому в Українській державній академії залізничного транспорту був розроблений новий підхід до формалізованого описання конструкції ТЗ залізничного транспорту, який передбачає використання принципів ієрархічності та блочності (декомпозиції) [6]. У роботах [7,8] розглянуто використання запропонованого підходу в дослідженнях з удосконалення конструкції тягових приводів і струмозмінальних пристроїв сучасного електрорухомого складу. Отримані результати підтверджують доцільність реалізації таких підходів у дослідженнях основних модулів конструкції тепловозів. Зокрема їх енергетичних установок.

**Визначення мети і задачі дослідження.** Метою статті є висвітлення результатів досліджень з розроблення блочно-ієрархічного описання конструкції сучасних ЕУТ, яке проводилось у відповідності до запропонованого підходу.

**Основна частина дослідження.** Основою дослідження стало наведене в роботі [9] блочно-ієрархічне описання загальної конструкції сучасного тепловоза з виділенням чотирьох ієрархічних рівнів, кожен з яких розділено на відповідні декомпозиційні модулі. Для прикладу на рис. 1 подано фрагмент декомпозиційного складу модуля  $M_{12}$  (ЕУТ) на

2-му і 3-му рівнях. Другий ієрархічний рівень складають укрупнені декомпозиційні елементи  $M_{121}$  і  $M_{122}$  кожного з модулів  $M_{12}$ . Слід зазначити, що характеристики функціонування модуля конструкції  $M_{121}$  безпосередньо впливають на показники економічності, надійності й екологічності сучасних тепловозів в експлуатації. Третій ієрархічний рівень містить складові конструкцій  $M_{12ij}$  елементів 2-го рівня.

При вирішенні задачі поліпшення експлуатаційних показників сучасних тепловозів виникає необхідність у дослідженні особливостей конструкції ЕУТ, її структури та взаємозв'язків між відповідними системами, серед яких особливу роль відіграє саме механічна система (МС) дизеля (виділений модуль конструкції ЕУТ  $M_{1211}$ ). Використання запропонованого підходу до формалізованого

описання конструкції ТЗ залізничного транспорту [6] дало змогу подати МС тепловозного дизеля у вигляді ряду взаємопов'язаних і взаємодіючих модулів. Так, у МС V-подібного багатоциліндрового дизеля типу Д49 (16ЧН26/26)  $M_{1211}$  запропоновано виділити такі модулі на 4-му та 5-му ієрархічних рівнях (рис. 2): розподільного вала (МРВ)  $M_{12111}$ , у який входять лоток, вал з підшипниками і приводною втулкою, знімні паливні і газорозподільні кулачки, роликові штовхачі з осями, штанги та ін.; циліндрових модулів (МЦМ)  $M_{12112}$ , у який входять кришка циліндра з клапанами, вилчастими важелями з гідроштовхачами, втулки циліндрів, поршні правого та лівого ряду та ін.; колінчатого вала (МКВ), передавального механізму (МПМ), а також допоміжного обладнання (МДО).

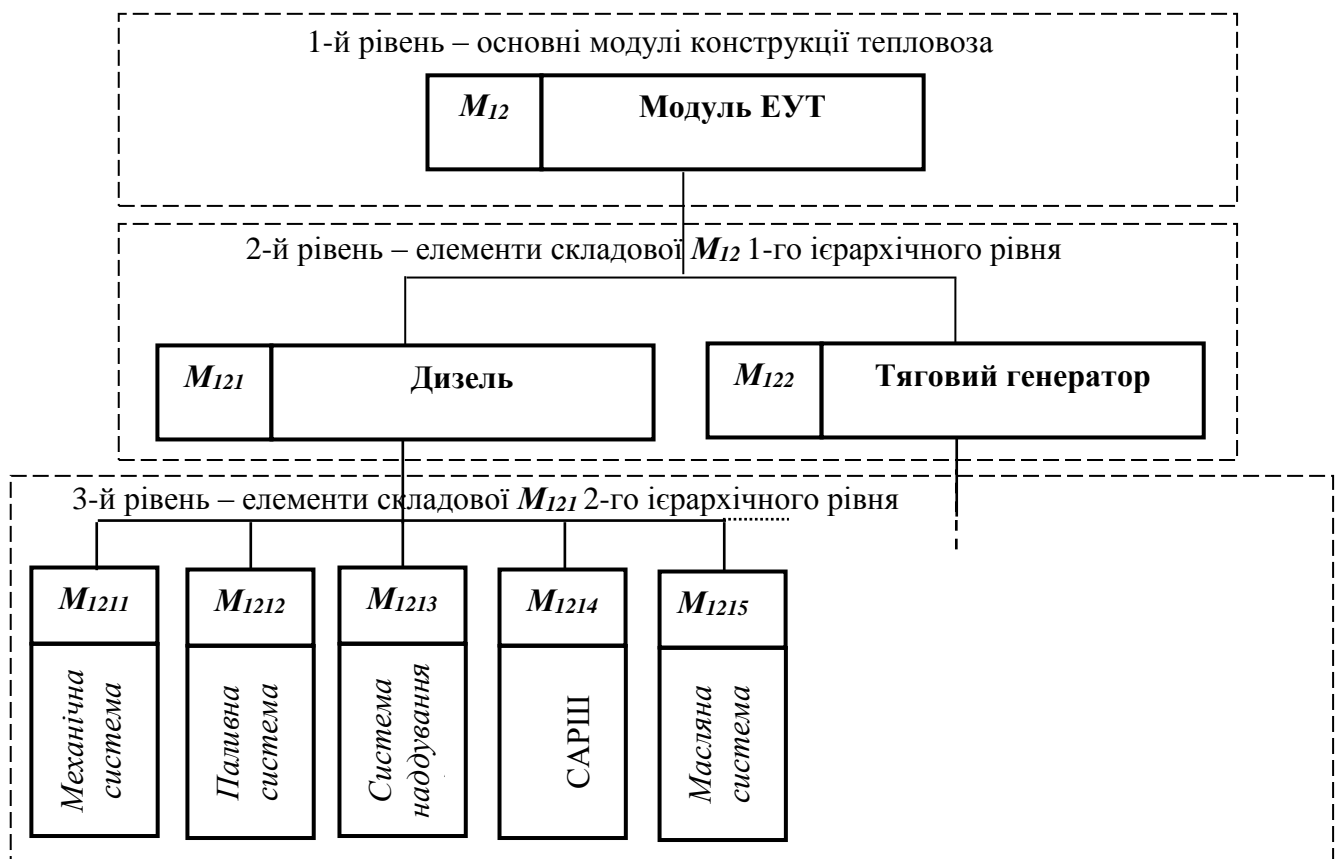


Рис. 1. Декомпозиційний склад модуля ЕУТ на 2-му ієрархічному рівні

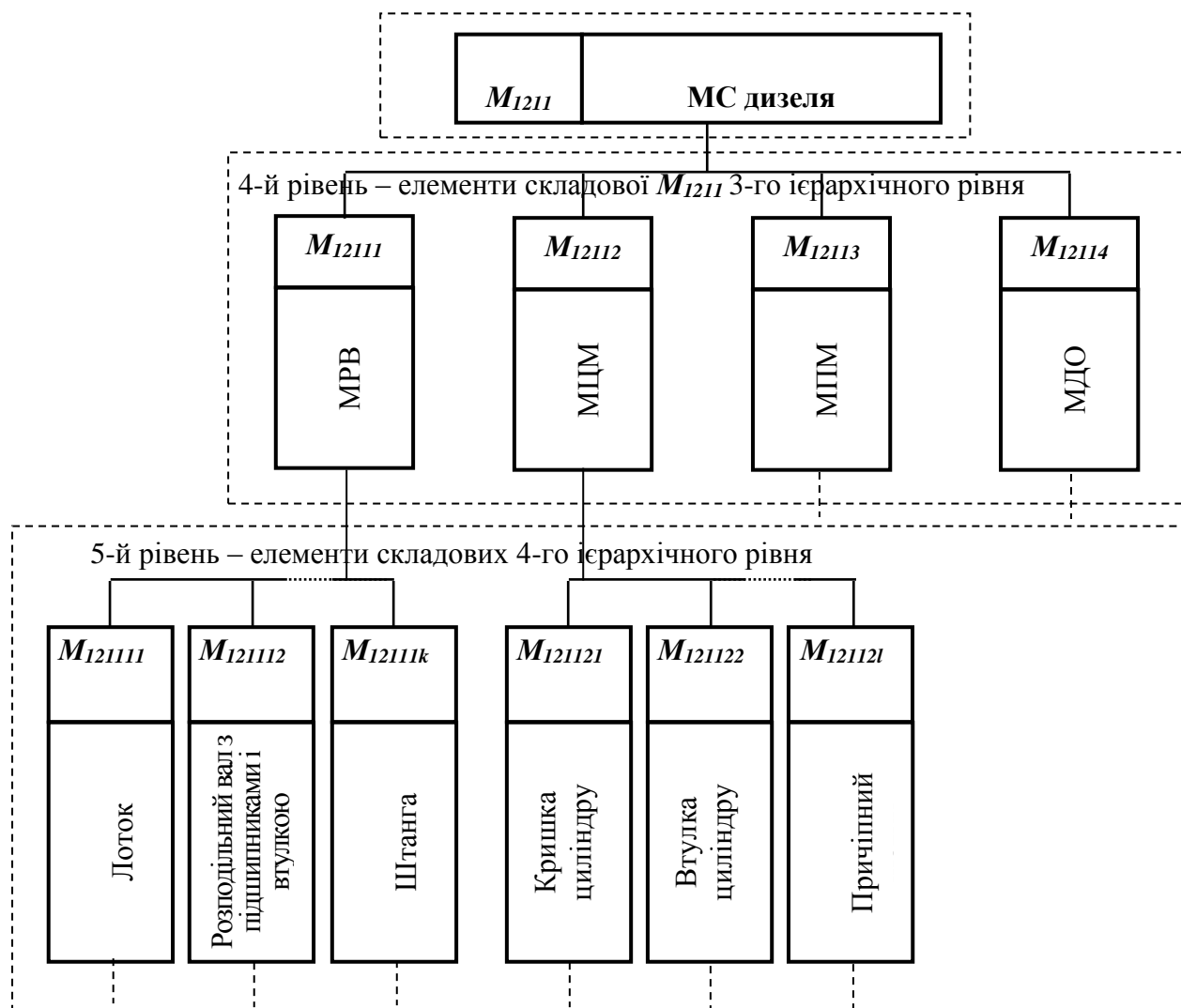


Рис. 2. Фрагмент декомпозиційного складу модуля МС ЕУТ на 4-му і 5-му ієрархічних рівнях

Таке подання дає змогу виділити основні декомпозиційні модулі тепловозного дизеля та розробити відповідні описання у вигляді відповідних функціональних, розрахункових, узагальнених, структурних, кінематичних, динамічних схем, математичних моделей, що має важливе значення для вирішення складних задач удосконалення їх конструкції.

Як приклад у статті наводиться використання розробленого формалізованого описання при вирішенні задачі удосконалення конструкції РВ тепловозного дизеля типу Д49 для етапу дослідження кінематики випускних клапанів. На рис. 3, а подана кінематична схема просторового механізму привода випускних клапанів. Її використання дало змогу отримати

математичні описання для моделювання теоретичних законів руху клапанів.

На рис. 3, б показана тримасова динамічна модель (ДМ) механізму привода випускних клапанів дизеля типу Д49 [10]. Для багатомасової динамічної моделі рівняння руху кожної виділеної маси можуть бути складені на основі другого закону динаміки і подані у вигляді

$$m\ddot{x} + k\dot{x} + cx = F_{\Sigma}, \quad (1)$$

де  $m$  – маса, рух якої розглядається. У нашому випадку – зведена маса відповідної частини ланок механізму;

$k, c$  – зведені коефіцієнти демпфірування та жорсткості відповідної частини кінематичного ланцюга;

$q, \dot{q}, \ddot{q}$  – відповідні переміщення (рухомість), швидкості та прискорення маси, що розглядається;

$F_{\Sigma}$  – зведена сила, діюча на відповідну масу.

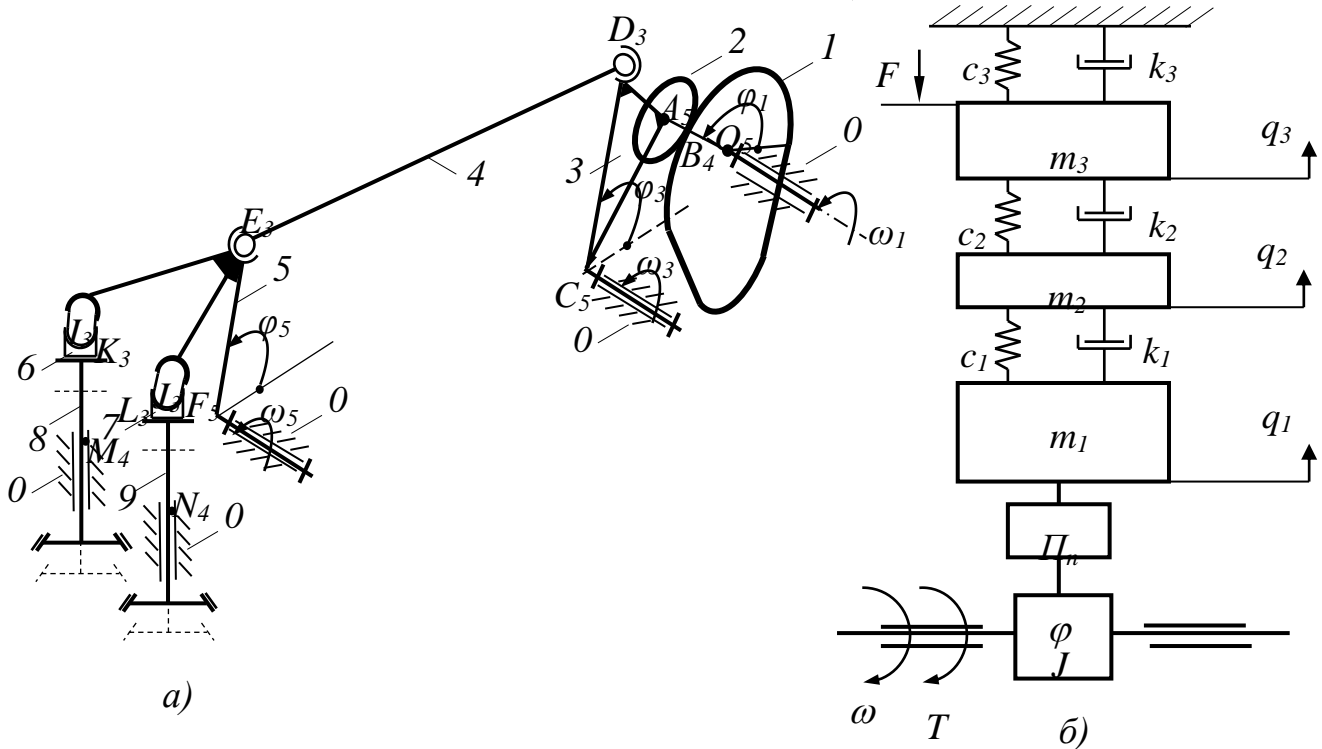


Рис. 3. Особливості дослідження кінематичних характеристик випускних клапанів дизелів типу Д49: а – схема кінематичного ланцюга привода випускних клапанів; б – тримасова динамічна модель

В узагальненому описанні для багатомасових динамічних моделей у сучасній постановці на базі наведеного вище рівняння складаються рівняння руху у матричній формі

$$M\{\ddot{q}\} + K\{\dot{q}\} + C\{q\} = \{F\}, \quad (2)$$

де  $\{q\}, \{\dot{q}\}, \{\ddot{q}\}$  – матриці-стовпці переміщень

(рухомостей), швидкостей та прискорень відповідних мас;

$\{F\}$  – узагальнені сили, які відповідають координатам  $\{q\}$ ;

$M, K, C$  – відповідно матриці мас (інерційна матриця), коефіцієнтів демпфірування і коефіцієнтів жорсткості

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & \dots & m_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ m_{n1} & \dots & m_{nn} \end{bmatrix}; K = \begin{bmatrix} k_{11} & \dots & k_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}.$$

Для наведеної трьохмасової ДМ

$$\{q\} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix}; \quad \{\phi\} = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{bmatrix}; \quad \{\psi\} = \begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \end{bmatrix};$$

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}; \quad K = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 \end{bmatrix}; \quad C = \begin{bmatrix} c_1 & -c_1 & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 + c_3 \end{bmatrix}.$$

Для використання описаного рівняння при моделюванні динамічних процесів у приводі клапанів необхідно визначити елементи наведених вище матриць. Визначення елементів матриць  $M, \{F\}$  при наявних параметрах конструкції привода клапанів виконувалось за допомогою загальновідомих методів і не викликало труднощів. Елементи матриць  $\{q\}, \{\phi\}, \{\psi\}$  визначались за результатами моделювання теоретичних законів руху клапанів з використанням розроблених математичних описань. Елементи матриць  $C$  і  $K$  (коефіцієнтів  $c_1, c_2, c_3$  та

$k_1, k_2, k_3$ ) визначались у ході експериментально-розрахункових досліджень, поданих у роботі [10].

Отримані значення елементів матриць дали змогу на основі розв'язання наведеного раніше рівняння руху (1) провести математичне моделювання динамічних характеристик привода випускних клапанів дизеля Д49 з тангенціальними газорозподільними кулачками. На їх основі отримані графіки зміни переміщень  $s$ , швидкостей  $v$  і прискорень  $a$  випускних клапанів у залежності від кута обертання кулачка  $\varphi$  (рис.4).

$a, \text{ м/с}^2$      $s, \text{ мм}$

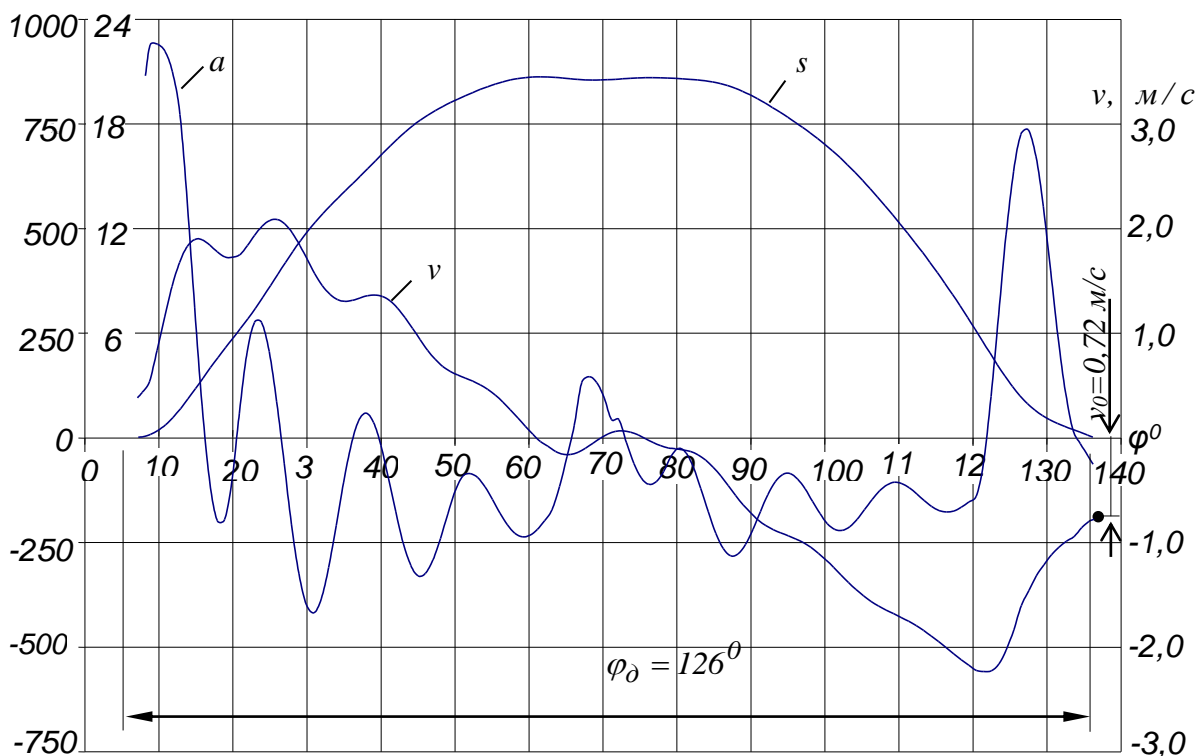


Рис. 4. Кінематичні характеристики руху випускних клапанів дизеля типу Д49 з тангенціальним газорозподільним кулачком РВ

Такі результати дають можливість уточнювати час-переріз клапанів, фази газорозподілу дизеля, механічні напруження, динамічні навантаження, швидкість посадки клапанів на сидло. Вони мають велике значення в розв'язанні задачі удосконалення конструкції тепловозних дизелів типу Д49 з метою поліпшення їх техніко-економічних показників.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Наведені в статті матеріали підтверджують доцільність використання блочно-ієрархічних описань основних модулів сучасних ЕУТ. Їх доцільно використовувати в дослідженнях, спрямованих на удосконалення їх конструкції.

### *Список використаних джерел*

1. Тартаковський, Е.Д. Пріоритетні напрямки досліджень у галузі тягового рухомого складу [Текст] / Е.Д. Тартаковський // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 64. – С. 5-12.
2. Мороз, В.І. Генетичний та методологічний аспект створення технічних засобів нового покоління для залізничного транспорту [Текст] / В.І. Мороз // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 5-6. – С. 61-62.
3. Мороз, В.І. Методологічний аспект формалізованого описання і оцінювання механічної досконалості конструкції транспортних технічних засобів [Текст] / В.І. Мороз // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 64. – С. 31-38.
4. Пильов, В.О. Автоматизоване проектування поршнів швидкохідних дизелів із заданим рівнем тривалої міцності [Текст] / В.О. Пильов. – Харків: Видавничий центр НТУ «ХПІ», 2001. – 332 с.
5. Капустин, Н.М. Системы автоматизированного проектирования: Автоматизация конструкторского и технологического проектирования [Текст] / Н.М. Капустин, Г.Н. Васильев. – Минск: Вышейш. шк., 1988. – 191 с.
6. Мороз, В.І. Новий підхід до формалізованого описання конструкції технічних засобів залізничного транспорту [Текст] // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 4. – С. 41-42.
7. Мороз, В.І. Новий підхід до класифікації тягових приводів рухомого складу залізниць [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, С.В. Бобрицький // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2012. – Вип. 29. – С. 162-166.
8. Мороз, В.І. Модульно-декомпозиційна класифікація струмознімальних пристроїв сучасного електричного тягового рухомого складу залізниць [Текст] / В.І. Мороз, Н.П. Карпенко, А.В. Павшенко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 86. – С. 114-121.
9. Братченко, О.В. Блочно-ієрархічне описання конструкції сучасних тепловозів [Текст] / О.В. Братченко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 136-141.
10. Мороз, В.І. Результати експериментального дослідження механізму газорозподілу локомотивної енергетичної установки типу Д49 [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, О.А. Логвіненко, К.В. Астахова // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 129. – С. 13-19.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.В. Устенко

---

Братченко Олександр Васильович, канд. техн. наук, доцент кафедри механіки і проектування машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел.057-730-10-53.

Bratchenko Aleksandr Vasilevich candidate techn. Sciences, assistant professor of mechanics and Designing machines Ukrainian State Academy of Railway Transport. Pin tel.057-730-10-53.