

**Д. В. Борисюк, к. т. н.; В. Й. Зелінський**  
**ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ**  
**СИСТЕМИ «COMMON RAIL» ДВИГУНІВ СЕРІЇ «ЯМЗ-5340»**

*В Україні для впровадження міжнародної системи якості ISO 9000 необхідно, щоб виробник використовував методи аналізу проєктних рішень. Такому аналізу повинні підлягати як вхідні дані проєкту, так й вихідні. Підприємства, що створюють чи розвивають якісні продукти, обов'язково застосовують або типові технології функціонально-вартісного аналізу, або використовують власні технології. Оскільки функціонально-вартісний аналіз спрямований на забезпечення необхідних споживчих властивостей об'єкта з мінімально можливими затратами ресурсів на всіх стадіях виробничого процесу.*

*У статті представлено функціонально-вартісний аналіз системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340». Розроблено функціональну модель системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» та класифікацію функцій її функціональної моделі.*

*Представлено класифікацію функцій функціональної моделі системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340». Визначено коефіцієнт корисності системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» шляхом побудови матриці пріоритетів за відомою методикою розрахунку.*

*Узагальнюючий критерій витрат при проєктуванні технічних чи виробничих систем враховує витрати на всіх етапах життєвого циклу системи, для оцінки яких будовано матрицю витрат системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340», з якої визначають коефіцієнт витрат.*

*Побудовано діаграму корисності функцій системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340», діаграму ранжування функцій системи відносно коефіцієнта корисності, функціонально-вартісну діаграму системи, діаграму витрат функцій системи, діаграму ранжування функцій системи відносно коефіцієнта витрат, діаграму значень показника функціональної вартості функцій системи, діаграму ранжування функцій системи відносно показника функціональної вартості.*

*За побудованими діаграмами визначено функції системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340», що мають позитивний функціонально-вартісний показник та найбільший рейтинг із розглянутих функцій. Операції або функції, що мають найбільший функціонально-вартісний показник і ранг є тими операціями, вдосконалення яких веде до подальшого розвитку системи або досягнення мети аналізу.*

**Ключові слова:** *функціонально-вартісний аналіз, система, система «Common Rail», функціональна модель, класифікація функцій, коефіцієнт корисності, матриця пріоритетів, коефіцієнт витрат, діаграма корисності функцій, діаграма ранжування функцій, функціонально-вартісна діаграма, діаграма витрат функцій.*

### **Вступ**

Для прийняття раціонального та обґрунтованого рішення доцільно використовувати функціонально-вартісний аналіз, що об'єднує різні методи колективного аналізу систем, творчого пошуку, оптимізації та вибору рішень [1].

В основу функціонально-вартісного аналізу покладено аналіз функціональної досконалості, шляхів поліпшення системи шляхом порівняння корисності окремих її функцій та затрат на її реалізацію.

Мета проведення функціонально-вартісного аналізу – забезпечення необхідної корисності системи за мінімально можливих сукупних затрат.

Отже, прийняття рішення при функціонально-вартісному аналізі здійснюється на основі двох критеріїв – корисності та вартості [2, 3].

В Україні задля впровадження міжнародної системи якості ISO 9000 потрібно, щоб виробник використовував методи аналізу проєктних рішень. Причому такому аналізу повинні підлягати як вхідні дані проєкту, так й вихідні. Тому підприємства, що створюють чи розвивають якісні продукти, обов'язково застосовують або типові технології аналізу, або функціонально-вартісний аналіз, або використовують власні технології.

Таким чином, функціонально-вартісний аналіз спрямований на забезпечення необхідних споживчих властивостей об'єкта з мінімально можливими затратами ресурсів на всіх стадіях виробничого процесу [4].

### **Постановка проблеми**

В оптимізації інженерних проєктів, спрямованих на підвищення ефективності виробництва основна роль відводиться проведенню всебічного аналізу прийнятих рішень. Аналіз, як метод дослідження дозволяє виявити наявні суперечності і невідповідності в прийнятих розробках, об'єктах, системах та способах, встановити причинно-наслідкові зв'язки, забезпечуючи отримання інформації.

Серед відомих методів аналізу (інженерний, техніко-економічний, економічний, екологічний) особливе місце відведено функціонально-вартісному аналізу, який рекомендується використовувати при проєктуванні нових виробів і технологій, модернізації техніки і освоєних виробів, реконструкції виробничих об'єктів, зниженні виробничих затрат тощо.

Сутність методу функціонально-вартісного аналізу полягає в практичному розчленуванні об'єкту (конструкції, технології, управління виробничими процесами) на складові частини для визначення їх ролі та вартості в загальній системі, оцінки їх функцій та зниженні всіх зайвих затрат.

Досвід використання функціонально-вартісного аналізу в автомобілебудівній промисловості засвідчує [4]:

- на основні елементи (функції) системи, які складають 20 % від їх загального числа, припадає 85 % загальної вартості системи, тому розгляд згаданих елементів повинен бути першочерговим;

- похибки підсумкової калькуляції при виконанні функціонально-вартісного аналізу повинні бути на порядок менші від обсягу зниження собівартості.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

У джерел утворення методу функціонально-вартісного аналізу майже одночасно стояли дві людини: співробітник компанії «General Electric» – інженер Лоуренс Д. Майлс [5] та Юрій Михайлович Соболев – інженер-конструктор Пермського телефонного заводу [6]. Вони вважаються засновниками функціонально-вартісного аналізу. Особлива увага значенню цього виду аналізу в системі методів підвищення якості виробів та ефективності виробництва приділялася у працях радянських економістів.

В Україні функціонально-вартісний аналіз розглядали як складову крементації – науки, що вивчає методи активізації творчого мислення. Найбільш помітними вітчизняними фахівцями, які зробили значний вклад у розвиток функціонально-вартісного аналізу є: М. Іванов [2], Н. Веселовська [3], З. Литвин [4], І. Цигилик [7], І. Прокопенко [8] та ін.

### **Мета дослідження**

Мета функціонально-вартісного аналізу – мінімізація затрат об'єкта на стадіях проєктування, виробництва й експлуатації при збереженні чи підвищенні використання ним своїх функцій та збільшення його корисності для споживачів.

Отже, метою цього дослідження є розробка функціонально-вартісного аналізу системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» для визначення функцій складових системи, які доцільно удосконалювати.

### Основна частина

Двигуни виробництва ПАТ «Автодизель» (ЯМЗ) – це двигуни багатоцільового призначення. Технічні характеристики, універсальність, висока ступінь уніфікації і ремонтпридатність сприяють їх широкому застосуванню на тракторах і автомобілях та інших енергетичних засобах різного призначення [9].

Широкого поширення серед двигунів ПАТ «Автодизель» (ЯМЗ) набула серія дизелів ЯМЗ-5340.

Двигун ЯМЗ-5340 (рис. 1, а) екологічного класу «Євро-4» являє собою базову чотирициліндрову модель рядного чотиритактного двигуна з турбонаддувом.

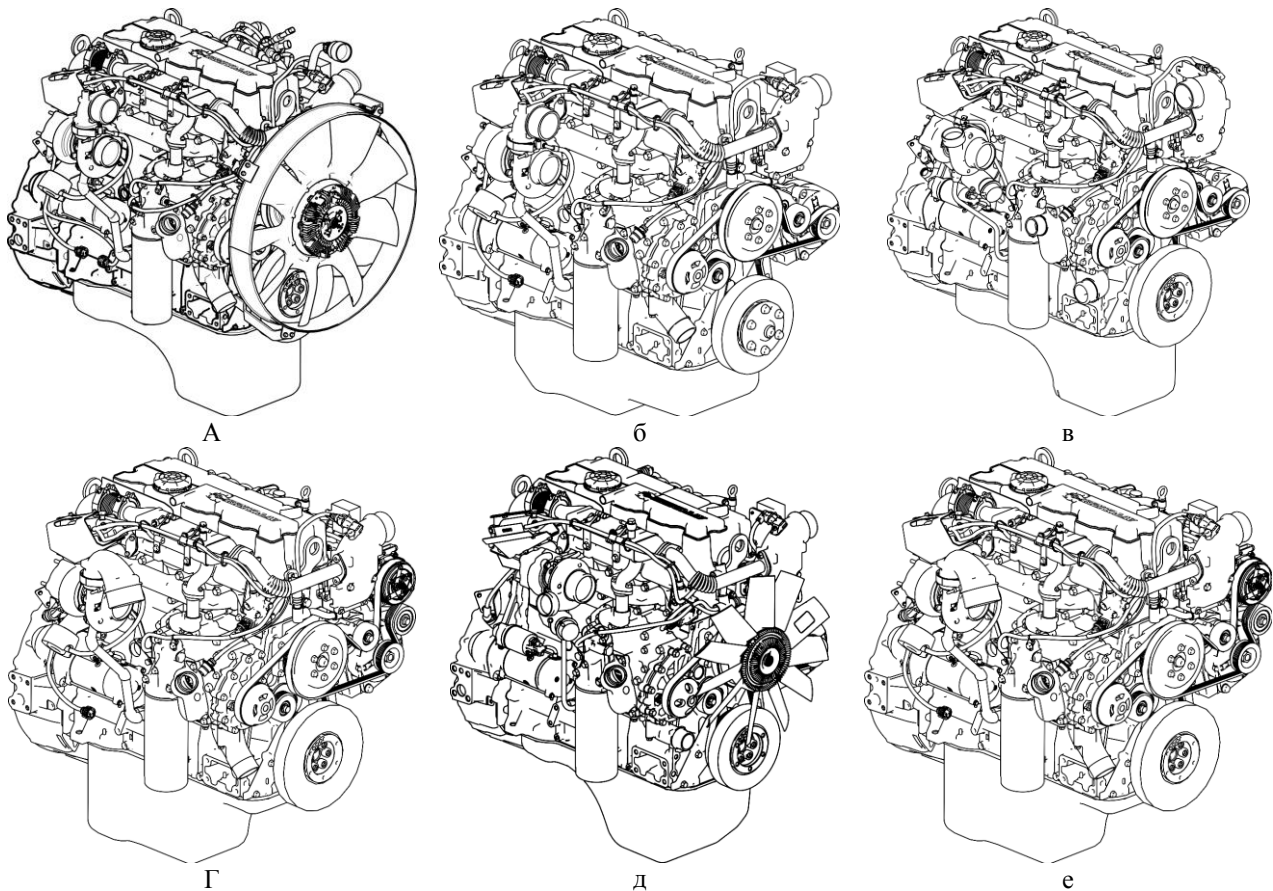


Рис. 1. Серія дизелів ЯМЗ-5340 [9]:  
а – ЯМЗ-5340 (базова модель); б – ЯМЗ-5341-10; в – ЯМЗ-5344;  
г – ЯМЗ-53402; д – ЯМЗ-53441-20; е – ЯМЗ-53423

Двигуни ЯМЗ-5341, ЯМЗ-5341-10 (рис. 1, б), ЯМЗ-5342, ЯМЗ-5344 (рис. 1, в), ЯМЗ-5344-10 та їх комплектації екологічного класу «Євро-4» є модифікаціями двигуна ЯМЗ-5340, конструктивно виконані аналогічно базовій моделі, відрізняються регулюваннями параметрів налаштування електронного блоку управління.

Двигуни ЯМЗ-53402 (рис. 1, г), ЯМЗ-53422, ЯМЗ-53442 та їх комплектації екологічного класу «Євро-4» конструктивно виконані аналогічно базовій моделі, що відрізняються регулюваннями паливної апаратури за рахунок зміни параметрів налаштування електронного блоку управління, не комплектуються системою рециркуляції відпрацьованих газів (EGR).

Двигуни ЯМЗ-53411, ЯМЗ-53421, ЯМЗ-53431, ЯМЗ-53441-20 (рис. 1, д), ЯМЗ-5346 та їх

комплектації екологічного класу Євро-4 конструктивно виконані аналогічно базовій моделі, відрізняються регулюваннями паливної апаратури за рахунок зміни параметрів налаштування електронного блоку управління, наявністю системи контролю емісії EOBD стадії II (бортової діагностики), для якої на двигунах встановлюється додатково давач температури повітря і до системи випуску відпрацьованих газів споживач підключає давач диференціального тиску.

Двигуни ЯМЗ-53403, ЯМЗ-53423 (рис. 1, е), ЯМЗ-53443 та їх комплектації екологічного класу «Євро-5» конструктивно виконані аналогічно базовій моделі, відрізняються паливною апаратурою, електронним блоком управління, зміною ряду установок вузлів та деталей двигуна, наявністю системи бортової діагностики (EOBD), для якої на двигуні встановлюється додатково давач температури повітря і до системи випуску відпрацьованих газів споживач підключає давач диференціального тиску.

Двигуни серії «ЯМЗ-5340» оснащуються паливною системою акумуляторного типу «Common Rail System» (рис. 2) з електронним керуванням подачею палива виробництва фірми «Robert Bosch» (Німеччина).

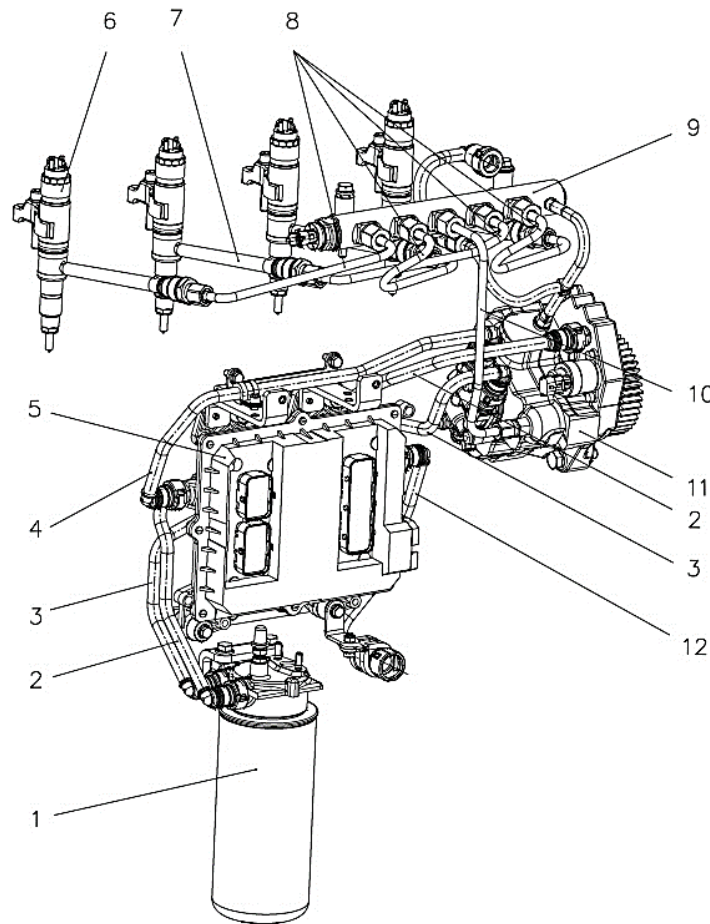


Рис. 2. Паливна система «Common Rail» дизелів серії «ЯМЗ-5340» [9]:

- 1 – фільтр тонкого очищення палива; 2 – трубка підведення палива до паливного насоса високого тиску;
- 3 – трубка підведення палива до фільтра; 4 – трубка підведення палива до насоса низького тиску;
- 5 – електронний блок управління; 6 – форсунка; 7 – штуцер бічний; 8 – трубки високого тиску; 9 – рампа;
- 10 – трубка високого тиску підведення палива до рамп; 11 – паливний насос високого тиску із насосом низького тиску; 12 – трубка підведення палива до двигуна

Система «Common Rail» з електронним блоком керування забезпечує:

- точне дозування циклової подачі палива для кожного робочого режиму та багатофазне упорскування;
- регулювання кутів випередження упорскування палива залежно від частоти обертання, навантаження, температури;

- гнучке регулювання тиску впорскування палива в широкому діапазоні;
- легкий пуск двигуна з мінімальним викидом шкідливих речовин в атмосферу за будь-яких температурних умов;
- коригування процесу паливоподачі в залежності від умов доквілля з метою зниження викидів шкідливих речовин;
- сумісність з електронними системами автомобіля та бортовою системою контролю і діагностування по каналу CAN, забезпечує процес діагностування, виконує функції обмеження швидкості, аварійного захисту двигуна, круїз-контролю та дублювання управління від додаткового органу з пульта оператора.

Дослідження системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» при функціонально-вартісному аналізі спирається на функціональний підхід, за якого систему розглядають як сукупність функцій, що нею виконуються. Далі здійснюються пошуки ліпшого принципу реалізації цих функцій. Функціонально-вартісний аналіз провадиться на базі функціональної моделі [3, 4, 10].

Функціональна модель представляє собою графічне або математичне відображення впорядкованої сукупності функцій системи і зв'язків між ними. Графічне зображення функціональної моделі може бути наведене у вигляді графа (дерево функцій) або технологічного ланцюжка. Функціональна модель системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» наведена на рис. 3.

Побудова функціональної моделі є лише початковими етапами функціонально-вартісного аналізу, кінцевою метою якого є встановлення аналітичних зв'язків між окремими факторами, що впливають на перебіг процесу і кінцеві показники роботи системи [10].

Після побудови функціональної моделі здійснюється класифікація функцій.

Функція являє собою зовнішній прояв властивостей об'єкту, який зумовлений певними діями щодо перетворення вхідних впливів у вихідні результати. Функція може мати як динамічний характер, тобто бути спрямованою на виконання певної роботи, так і статичний.

Структуризація й аналіз функціональної моделі передбачають виділення головної функції, що визначає мету і призначення системи та основних функцій, без яких не може виконуватися головна. А також виділення допоміжних і надлишкових (шкідливих) функцій.

Класифікація функцій системи здійснюється за двома критеріями – характером та властивостями функції. Класифікація функцій функціональної моделі системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» наведена в табл. 1.

Зовнішня функція реалізується системою або її елементом при взаємодії з середовищем (надсистемою).

Внутрішня функція є результатом взаємодій у системі.

Головна функція – це зовнішня функція, яка відображає мету і призначення системи.

Основна функція – внутрішня функція, що забезпечує реалізацію споживчих вартостей об'єкту, його функціональну придатність.

Допоміжна функція сприяє реалізації основних і також є внутрішньою.

Корисні функції – функції, що задовольняють вимогам людини щодо їх корисності.

Надлишкові функції – необов'язкові функції, але їх виконання підвищує якість роботи системи.

Нейтральні функції – це функції, які не виконують функціонального навантаження, проте забезпечують місцезнаходження об'єкта в певному місці, в певний час.

Шкідливі функції – це функції, які можуть бути одночасно корисними, проте мають обов'язковий елемент шкідливої дії.

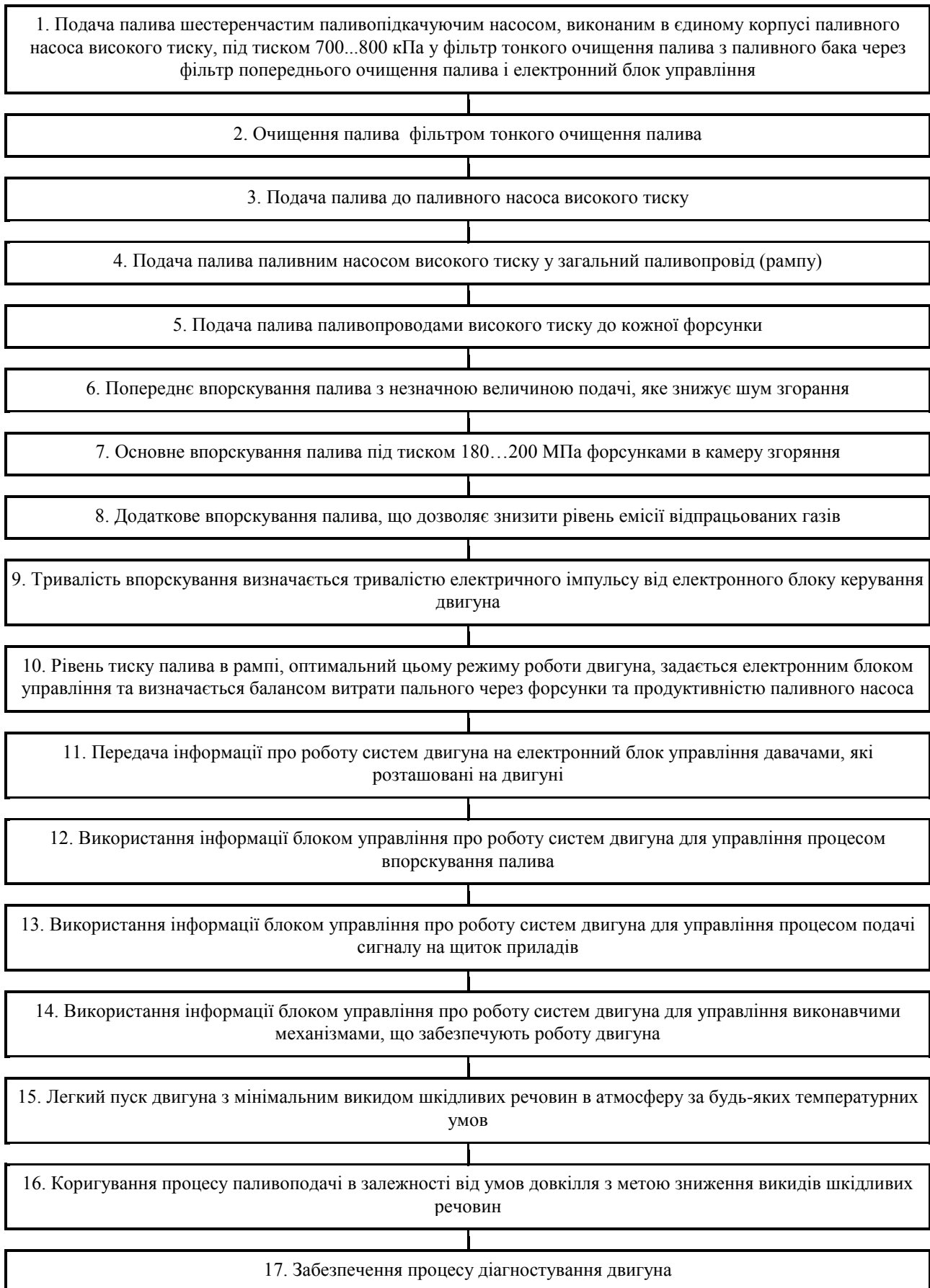


Рис. 3. Функціональна модель системи «Common Rail» двигунів серії «JM3-5340»

Наступним кроком проведення функціонально-вартісного аналізу є визначення коефіцієнтів корисності кожної функції. Коефіцієнт корисності визначали шляхом побудови матриці пріоритетів (табл. 2) за відомою методикою розрахунку [1, 3, 10].

Таблиця 1

**Класифікація функцій функціональної моделі системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340»**

| № функції | Назва функції   | Характер функції    | Властивості функції |
|-----------|---|---------------------|---------------------|
| 1         | Подача палива шестеренчастим паливопідкачуючим насосом, виконаним в єдиному корпусі паливного насоса високого тиску, під тиском 700...800 кПа у фільтр тонкого очищення палива з паливного бака через фільтр попереднього очищення палива і електронний блок управління | Внутрішня допоміжна | Нейтральна          |
| 2         | Очищення палива фільтром тонкого очищення палива  | Внутрішня допоміжна | Нейтральна          |
| 3         | Подача палива до паливного насоса високого тиску  | Внутрішня допоміжна | Нейтральна          |
| 4         | Подача палива паливним насосом високого тиску у загальний паливопровід (рампу)  | Внутрішня допоміжна | Нейтральна          |
| 5         | Подача палива паливопроводами високого тиску до кожної форсунки   | Внутрішня допоміжна | Нейтральна          |
| 6         | Попереднє впорскування палива з незначною величиною подачі, яке знижує шум згорання   | Зовнішня допоміжна  | Надлишкова          |
| 7         | Основне впорскування палива під тиском 180...200 МПа форсунками в камеру згорання   | Зовнішня головна    | Корисна             |
| 8         | Додаткове впорскування палива, що дозволяє знизити рівень емісії відпрацьованих газів   | Зовнішня допоміжна  | Надлишкова          |
| 9         | Тривалість впорскування визначається тривалістю електричного імпульсу від електронного блоку керування двигуна  | Зовнішня основна    | Корисна             |
| 10        | Рівень тиску палива в рампі, оптимальний цьому режиму роботи двигуна, задається електронним блоком управління та визначається балансом витрати пального через форсунки та продуктивністю паливного насоса   | Зовнішня основна    | Корисна             |
| 11        | Передача інформації про роботу систем двигуна на електронний блок управління давачами, які розташовані на двигуні   | Зовнішня допоміжна  | Надлишкова          |
| 12        | Використання інформації блоком управління про роботу систем двигуна для управління процесом впорскування палива   | Зовнішня допоміжна  | Корисна             |
| 13        | Використання інформації блоком управління про роботу систем двигуна для управління процесом подачі сигналу на щиток приладів  | Зовнішня допоміжна  | Шкідлива            |
| 14        | Використання інформації блоком управління про роботу систем двигуна для управління виконавчими механізмами, що забезпечують роботу двигуна  | Зовнішня допоміжна  | Корисна             |
| 15        | Легкий пуск двигуна з мінімальним викидом шкідливих речовин в атмосферу за будь-яких температурних умов   | Зовнішня допоміжна  | Корисна             |
| 16        | Коригування процесу паливоподачі в залежності від умов довкілля з метою зниження викидів шкідливих речовин  | Зовнішня допоміжна  | Корисна             |
| 17        | Забезпечення процесу діагностування двигуна   | Зовнішня допоміжна  | Корисна             |

Таблиця 2

Матриця пріоритетів системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340»

| № функції           | Номери функції |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Сума коефіцієнтів переваг | Абсолютний пріоритет | Коефіцієнт корисності | Ранг функції |  |
|---------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------------|----------------------|-----------------------|--------------|--|
|                     | 1              | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  |                           |                      |                       |              |  |
| Коефіцієнти переваг |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |                           |                      |                       |              |  |
| 1                   | 1              | 1   | 1   | 1   | 1   | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 15                        | 231                  | 0,05038               | 11           |  |
| 2                   | 1              | 1   | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 1   | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 13                        | 203                  | 0,04426               | 13           |  |
| 3                   | 1              | 1,5 | 1   | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 12,5                      | 191                  | 0,04180               | 15           |  |
| 4                   | 1              | 0,5 | 1,5 | 1   | 1,5 | 1   | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 13                        | 199                  | 0,04349               | 14           |  |
| 5                   | 1              | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 1   | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 13,5                      | 204                  | 0,04464               | 12           |  |
| 6                   | 0,5            | 1   | 0,5 | 1   | 0,5 | 1   | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 11                        | 172                  | 0,03759               | 16           |  |
| 7                   | 1,5            | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1   | 1,5 | 1,5 | 1   | 1   | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 24                        | 402                  | 0,08791               | 1            |  |
| 8                   | 0,5            | 0,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 1   | 1,5 | 1,5 | 1   | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 16,5                      | 265                  | 0,05797               | 9            |  |
| 9                   | 1,5            | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 1   | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 23                        | 382                  | 0,08338               | 2            |  |
| 10                  | 1,5            | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1   | 0,5 | 0,5 | 1   | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 22,5                      | 371                  | 0,08103               | 3            |  |
| 11                  | 0,5            | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1   | 1   | 0,5 | 0,5 | 1   | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 16                        | 245                  | 0,05349               | 10           |  |
| 12                  | 1,5            | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 1   | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 22                        | 353                  | 0,07715               | 4            |  |
| 13                  | 0,5            | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1   | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 9                         | 149                  | 0,03256               | 17           |  |
| 14                  | 1,5            | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 1   | 1   | 1,5 | 1   | 20                        | 312                  | 0,06824               | 6            |  |
| 15                  | 1,5            | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 1   | 1   | 1   | 0,5 | 19                        | 293                  | 0,06398               | 7            |  |
| 16                  | 1,5            | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 1   | 1   | 0,5 | 18,5                      | 283                  | 0,06180               | 8            |  |
| 17                  | 1,5            | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 0,5 | 1,5 | 1   | 1,5 | 1,5 | 1   | 20,5                      | 322                  | 0,07032               | 5            |  |
| Сума                |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |                           | 4576                 | 1                     | -            |  |

Для побудови матриці пріоритетів на перетині рядка та стовпчика записують коефіцієнт переваги  $k_{ij}$ , елемента  $i$ -го рядка ( $a_i$ ) у порівнянні з елементом  $j$ -го стовпчика ( $a_j$ ).

Коефіцієнти переваг можуть мати значення:

- 1,5 – якщо функція в  $i$ -му рядку має більшу перевагу, ніж функція в  $j$ -тому стовпчику ( $k_{ij} = 1,5 \rightarrow a_i \succ a_j$ );
- 1 – за однакової значущості функцій ( $k_{ij} = 1 \rightarrow a_i \approx a_j$ );
- 0,5 – якщо функція в  $i$ -му рядку має меншу перевагу, ніж функція в  $j$ -тому стовпчику ( $k_{ij} = 0,5 \rightarrow a_j \succ a_i$ ).

Далі знаходиться параметр  $P_i$  (абсолютний пріоритет). Параметр  $P_i$  визначається як сума добутоків кожного елемента  $i$ -того рядка на елементи вектор-стовпчика  $\sum k_{ij}$ , тобто [2, 3]:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= k_{11} \sum k_1 + k_{21} \sum k_2 + \dots + k_{1j} \sum k_i + \dots + k_{1n} \sum k_n; \\
 P_2 &= k_{21} \sum k_1 + k_{22} \sum k_2 + \dots + k_{2j} \sum k_i + \dots + k_{2n} \sum k_n; \\
 &\dots \\
 P_i &= k_{i1} \sum k_1 + k_{i2} \sum k_2 + \dots + k_{ij} \sum k_i + \dots + k_{in} \sum k_n; \\
 &\dots \\
 P_n &= k_{n1} \sum k_1 + k_{n2} \sum k_2 + \dots + k_{nj} \sum k_i + \dots + k_{nn} \sum k_n.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Потім знаходиться коефіцієнт корисності  $\lambda$  кожної функції [1, 3]:

$$\lambda_i = P_i / \sum P_i \text{ при } \sum \lambda_i = 1.
 \tag{2}$$

Ранг функції визначається в залежності від величини коефіцієнта корисності  $\lambda$ . Чим більший коефіцієнт корисності, тим вищий ранг має функція.



Виконавши вищезазначені розрахунки побудуємо діаграми корисності (рис. 4) та ранжування (рис. 5) функцій системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» відносно коефіцієнта корисності.

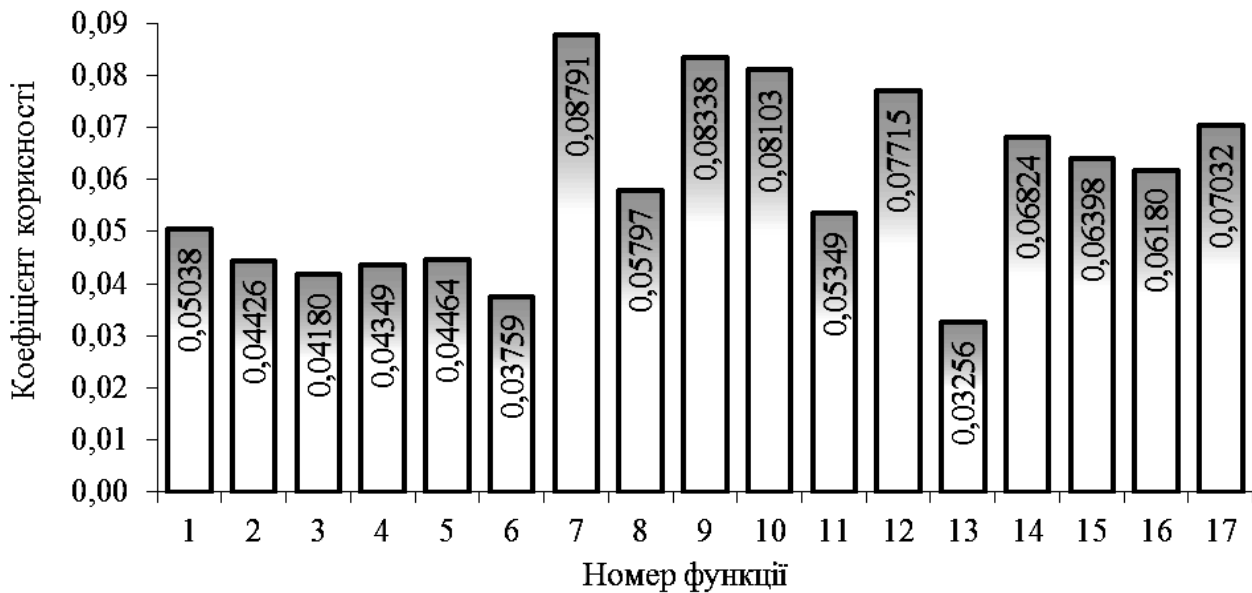


Рис. 4. Діаграма корисності функцій системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340»

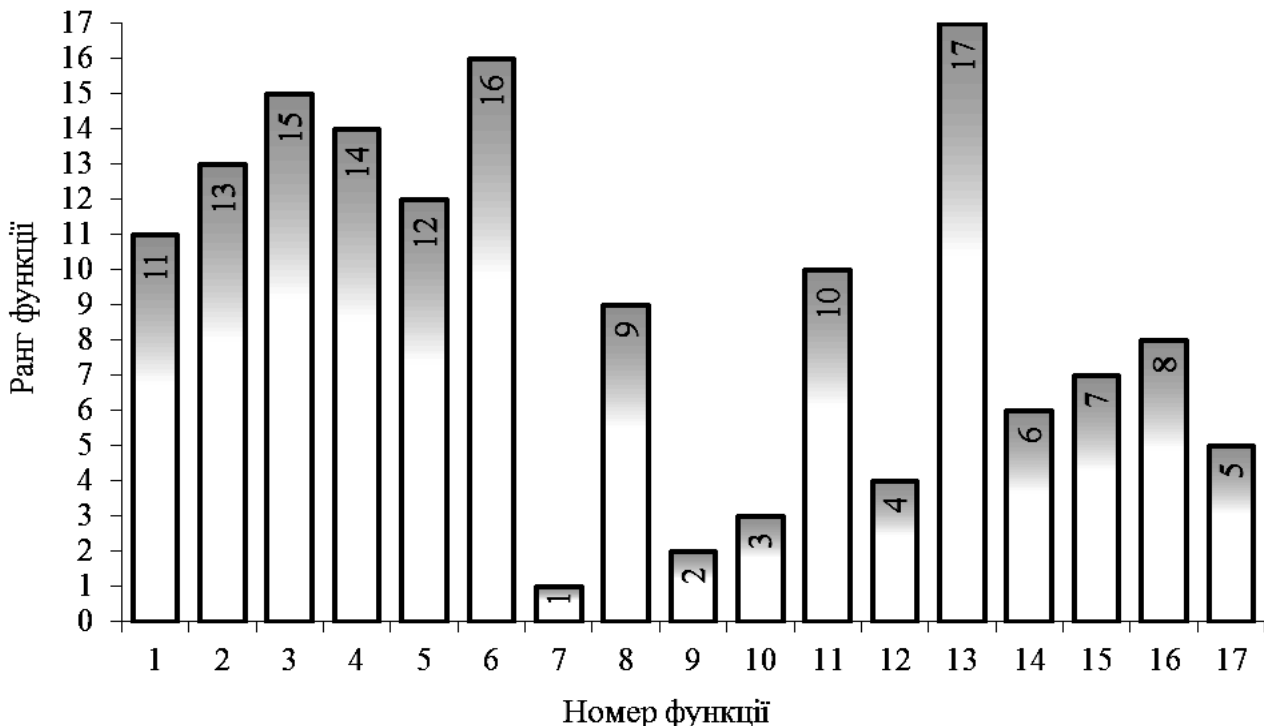


Рис. 5. Діаграма ранжування функцій системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» відносно коефіцієнта корисності

Витрати при функціонально-вартісному аналізі виступають як плата за корисність. Узагальнюючий критерій витрат при проектуванні технічних чи виробничих систем враховує витрати на всіх етапах життєвого циклу системи, для оцінки яких будують матрицю витрат (табл. 3), з якої визначають коефіцієнт витрат.

Таблиця 3

## Матриця витрат функцій системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340»

| № функції | Назва функції   | Частка функції у витратах | Коефіцієнт корисності | Коефіцієнт витрат | Ранг функції |
|-----------|---|---------------------------|-----------------------|-------------------|--------------|
| 1         | Подача палива шестеренчастим паливopідкачуючим насосом, виконаним в єдиному корпусі паливного насоса високого тиску, під тиском 700...800 кПа у фільтр тонкого очищення палива з паливного бака через фільтр попереднього очищення палива і електронний блок управління | 0,002                     | 0,05038               | 0,040             | 14           |
| 2         | Очищення палива фільтром тонкого очищення палива  | 0,001                     | 0,04426               | 0,023             | 16           |
| 3         | Подача палива до паливного насоса високого тиску  | 0,001                     | 0,04180               | 0,024             | 15           |
| 4         | Подача палива паливним насосом високого тиску у загальний паливopровід (рампу)  | 0,061                     | 0,04349               | 1,403             | 7            |
| 5         | Подача палива паливopроводами високого тиску до кожної форсунки   | 0,061                     | 0,04464               | 1,366             | 8            |
| 6         | Попереднє впорскування палива з незначною величиною подачі, яке знижує шум згорання   | 0,102                     | 0,03759               | 2,713             | 1            |
| 7         | Основне впорскування палива під тиском 180...200 МПа форсунками в камеру згорання   | 0,101                     | 0,08791               | 1,149             | 10           |
| 8         | Додаткове впорскування палива, що дозволяє знизити рівень емісії відпрацьованих газів   | 0,102                     | 0,05797               | 1,759             | 4            |
| 9         | Тривалість впорскування визначається тривалістю електричного імпульсу від електронного блоку керування двигуна  | 0,011                     | 0,08338               | 0,132             | 13           |
| 10        | Рівень тиску палива в рампі, оптимальний цьому режиму роботи двигуна, задається електронним блоком управління та визначається балансом витрати пального через форсунки та продуктивністю паливного насоса   | 0,015                     | 0,08103               | 0,185             | 12           |
| 11        | Передача інформації про роботу систем двигуна на електронний блок управління давачами, які розташовані на двигуні   | 0,101                     | 0,05349               | 1,888             | 2            |
| 12        | Використання інформації блоком управління про роботу систем двигуна для управління процесом впорскування палива   | 0,101                     | 0,07715               | 1,309             | 9            |
| 13        | Використання інформації блоком управління про роботу систем двигуна для управління процесом подачі сигналу на щиток приладів  | 0,017                     | 0,03256               | 0,522             | 11           |
| 14        | Використання інформації блоком управління про роботу систем двигуна для управління виконавчими механізмами, що забезпечують роботу двигуна  | 0,001                     | 0,06824               | 0,015             | 17           |
| 15        | Легкий пуск двигуна з мінімальним викидом шкідливих речовин в атмосферу за будь-яких температурних умов   | 0,101                     | 0,06398               | 1,579             | 5            |
| 16        | Коригування процесу паливopодачі в залежності від умов довкілля з метою зниження викидів шкідливих речовин  | 0,111                     | 0,06180               | 1,796             | 3            |
| 17        | Забезпечення процесу діагностування двигуна   | 0,111                     | 0,07032               | 1,578             | 6            |
| Сума      |   | 1                         | 1                     | -                 | -            |

На цьому етапі широко використовують метод експертних оцінок, порівнянь з «ідеальною моделлю», а також порівнюють рівень значимості кожної функції і витрат на неї. Для цього використовується коефіцієнт витрат на функцію, який розраховується шляхом порівняння частки параметра (функції) у витратах до коефіцієнта її корисності.

Коефіцієнт витрат визначається за наступною формулою [2, 3]:

$$K_i = \varepsilon_i / \lambda_i \text{ при } \sum \lambda_i = 1, \sum \varepsilon_i = 1, \quad (3)$$

де  $\varepsilon$  – частка функції у витратах.

Частка функції у витратах визначається за наступною формулою [2, 3]:

$$\varepsilon_i = \frac{B_i}{\sum_{i=1}^n B_i}, \tag{4}$$

де  $B_i$  – вартість кожної функції;  $\sum_{i=1}^n B_i$  – сума вартості всіх функцій системи.

У теорії і практиці функціонально-вартісного аналізу прийняті такі критерії оцінки коефіцієнта витрат на функцію [1, 3]:

- коефіцієнт витрат дорівнює «1» або близький до «1» – співвідношення між витратами і функцією виправдане;
- коефіцієнт витрат менше «1» – співвідношення сприятливе;
- коефіцієнт витрат більше «1» – слід здійснювати заходи щодо зниження витрат на одержання функції.

Специфічною процедурою функціонально-вартісного аналізу є побудова функціонально-вартісних діаграм, які є графічним зображенням співвідношення між корисністю функцій і затратами на їх реалізацію. Побудова функціонально-вартісних діаграм здійснюється з метою виявлення невідповідності затрат у відношенні до корисності функції. Функціонально-вартісна діаграма будуються для групи функцій, що мають спільну вершину. В першому квадранті зображується корисність або значущість функцій, у другому — затрати на функції (рис. 6).

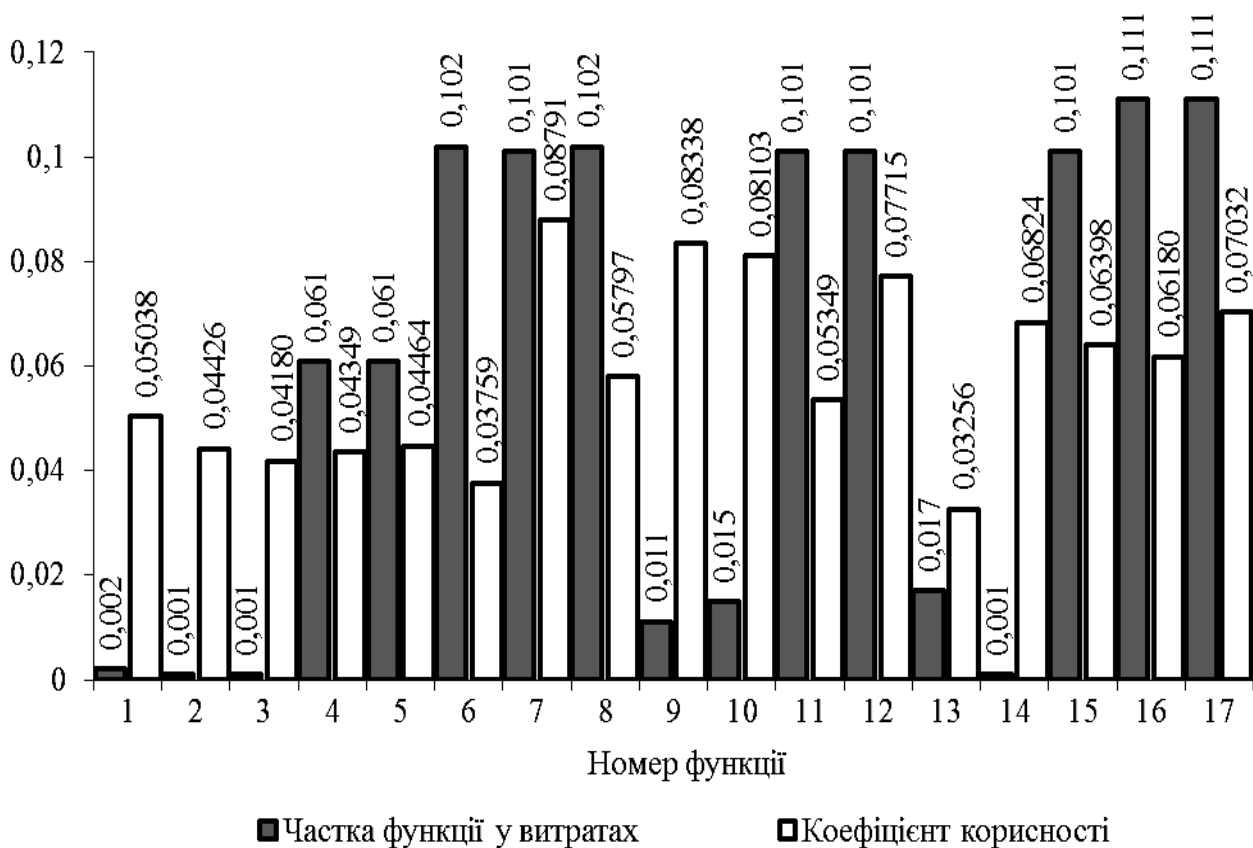


Рис. 6. Функціонально-вартісна діаграма системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340»

Виконавши вищезазначені розрахунки побудуємо діаграми витрат (рис. 7) та ранжування (рис. 8) функцій системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» відносно коефіцієнта витрат.

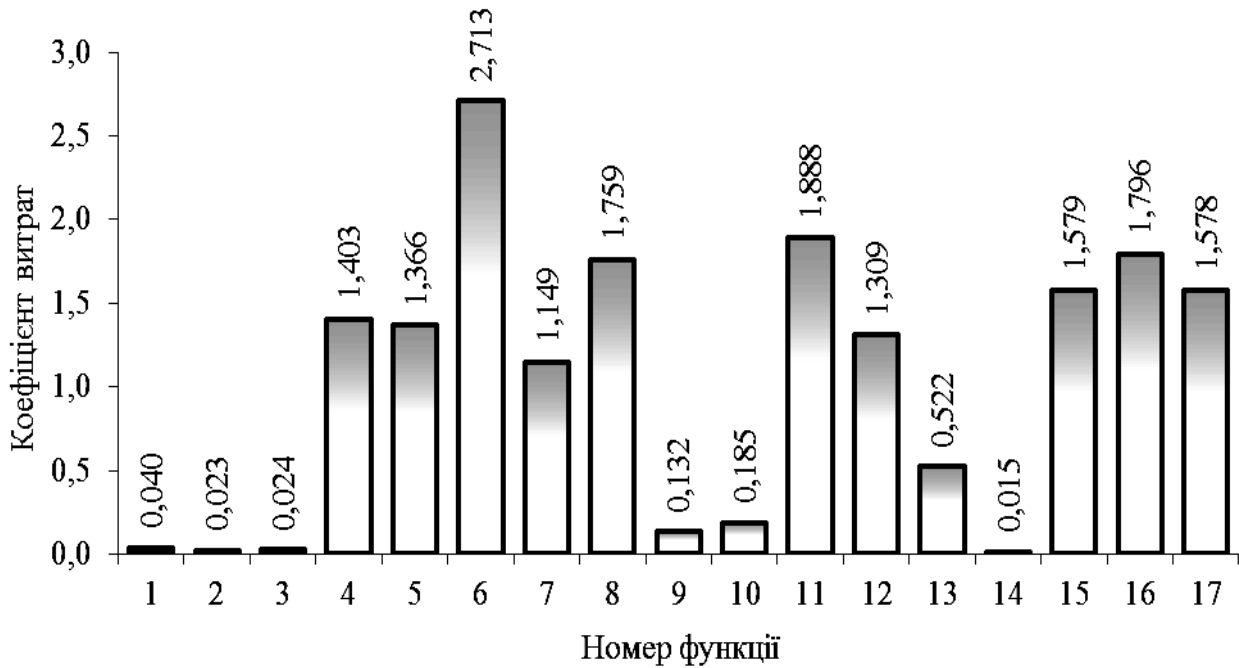


Рис. 7. Діаграма витрат функцій системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340»

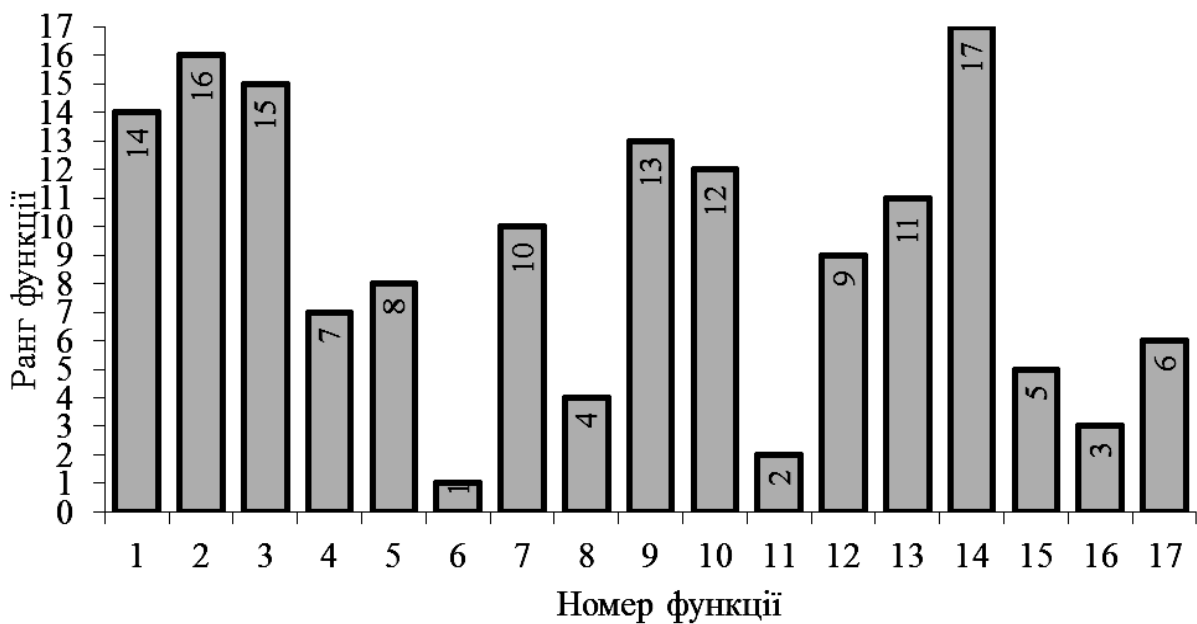


Рис. 8. Діаграма ранжування функцій системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» відносно коефіцієнта витрат

Наступним етапом функціонально-вартісного аналізу є визначення показника функціональної вартості [2, 3]:

$$P_{\Phi B_i} = \lambda_i - K_i. \quad (5)$$

Функціонально-вартісний показник показує, наскільки витратна частина виконання операції або функції більше за корисну функцію. Значення показників функціональної вартості функцій системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» відносно коефіцієнта витрат наведено в табл. 4.

**Значення показників функціональної вартості функцій системи «Common Rail»  
двигунів серії «ЯМЗ-5340»**

| № функції | Назва функції   | Функціонально-вартісний показник | Ранг функції |
|-----------|---|----------------------------------|--------------|
| 1         | Подача палива шестеренчастим паливopідкачуючим насосом, виконаним в єдиному корпусі паливного насоса високого тиску, під тиском 700...800 кПа у фільтр тонкого очищення палива з паливного бака через фільтр попереднього очищення палива і електронний блок управління | 0,011                            | 4            |
| 2         | Очищення палива фільтром тонкого очищення палива  | 0,022                            | 2            |
| 3         | Подача палива до паливного насоса високого тиску  | 0,018                            | 3            |
| 4         | Подача палива паливним насосом високого тиску у загальний паливопровід (рампу)  | -1,359                           | 11           |
| 5         | Подача палива паливопроводами високого тиску до кожної форсунки   | -1,322                           | 10           |
| 6         | Попереднє впорскування палива з незначною величиною подачі, яке знижує шум згорання   | -2,676                           | 17           |
| 7         | Основне впорскування палива під тиском 180...200 МПа форсунками в камеру згорання   | -1,061                           | 8            |
| 8         | Додаткове впорскування палива, що дозволяє знизити рівень емісії відпрацьованих газів   | -1,702                           | 14           |
| 9         | Тривалість впорскування визначається тривалістю електричного імпульсу від електронного блоку керування двигуна  | -0,049                           | 5            |
| 10        | Рівень тиску палива в рампі, оптимальний цьому режиму роботи двигуна, задається електронним блоком управління та визначається балансом витрати пального через форсунки та продуктивністю паливного насоса   | -0,104                           | 6            |
| 11        | Передача інформації про роботу систем двигуна на електронний блок управління давачами, які розташовані на двигуні   | -1,835                           | 16           |
| 12        | Використання інформації блоком управління про роботу систем двигуна для управління процесом впорскування палива   | -1,232                           | 9            |
| 13        | Використання інформації блоком управління про роботу систем двигуна для управління процесом подачі сигналу на щиток приладів  | -0,489                           | 7            |
| 14        | Використання інформації блоком управління про роботу систем двигуна для управління виконавчими механізмами, що забезпечують роботу двигуна  | 0,054                            | 1            |
| 15        | Легкий пуск двигуна з мінімальним викидом шкідливих речовин в атмосферу за будь-яких температурних умов   | -1,515                           | 13           |
| 16        | Коригування процесу паливоподачі в залежності від умов довкілля з метою зниження викидів шкідливих речовин  | -1,734                           | 15           |
| 17        | Забезпечення процесу діагностування двигуна   | -1,508                           | 12           |

З економічної точки зору доцільно розвивати функції з позитивним функціонально-вартісним показником.

Виконавши вищезазначені розрахунки побудуємо діаграми значень показника функціональної вартості (рис. 9) та ранжування (рис. 10) функцій з системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» відносно показника функціональної вартості.

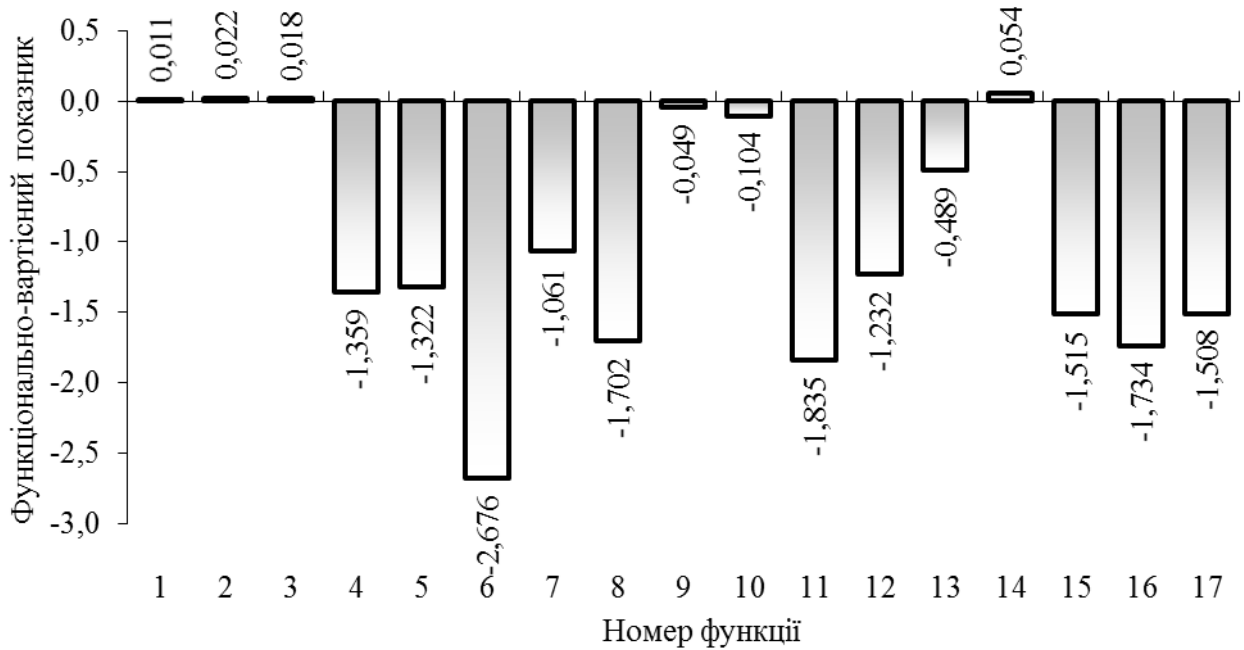


Рис. 9. Діаграма значень показника функціональної вартості функцій системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340»

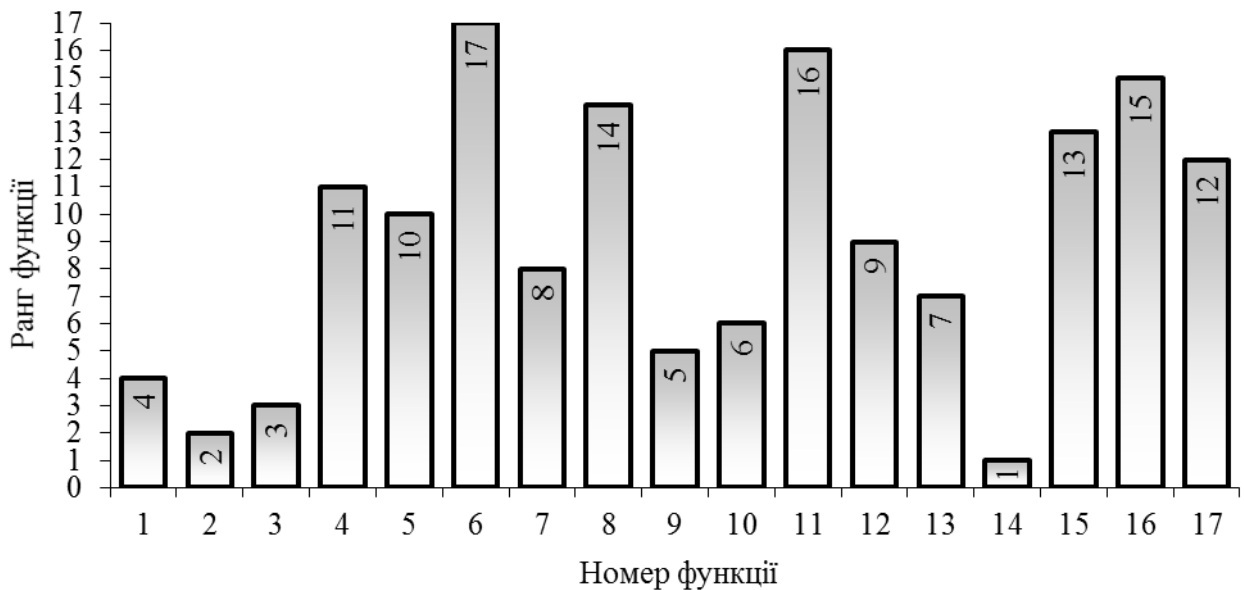


Рис. 10. Діаграма ранжування функцій системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» відносно показника функціональної вартості

За діаграмами 9, 10 визначаються функції, що мають позитивний функціонально-вартісний показник та найбільший рейтинг розглянутих функцій. Операції або функції, що мають найбільший функціонально-вартісний показник і ранг є тими операціями, вдосконалення яких веде до подальшого розвитку системи або досягнення мети аналізу.

### Висновки

1. Проведений функціонально-вартісний аналіз системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340» показав, що найбільший ранг і найбільший функціонально-вартісний показник має функція №7 «Основне впорскування палива під тиском 180...200 МПа форсунками в камеру згоряння» в основу якої поставлена основна задача розробленої технічної системи.

2. За результатами розрахунку функціонально-вартісних показників системи «Common Rail» двигунів серії «ЯМЗ-5340», можна зробити висновок про те, що функції №14 «Використання інформації блоком управління про роботу систем двигуна для управління виконавчими механізмами, що забезпечують роботу двигуна» та №2 «Очищення палива фільтром тонкого очищення палива» є тими функціями, вдосконалення яких веде до подальшого розвитку системи.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нагірний Ю. П. Аналіз технологічних систем і обґрунтування рішень / Ю. П. Нагірний, І. М. Бендера, С. Ф. Вольвак. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2013. – 264 с.
2. Аналіз технологічних систем / [М. І. Іванов, І. В. Гунько, І. М. Ковальова, О. І. Худолій]. – Вінниця : РВВ ВНАУ, 2013. – 114 с.
3. Веселовська Н. Р. Надійність технологічних систем та обґрунтування інженерних рішень / Н. Р. Веселовська, О. І. Худолій. – Вінниця : РВВ ВНАУ, 2014. – 123 с.
4. Литвин З. Б. Функціонально-вартісний аналіз / З. Б. Литвин. – Тернопіль : Економічна думка, 2007. – 130 с.
5. Miles L. D. Techniques of Value Analysis and Engineering / L. D. Miles. – New York : McGraw-Hill, 1961. – 275 р.
6. Соболев Ю. М. Конструктор выбирает решение / Ю. М. Соболев. – Пермь : Пермское книжное издательство, 1979. – 229 с.
7. Економіка й організація інноваційної діяльності / [І. І. Цигилик, С. О. Кропельницька, О. І. Мозіль, І. Г. Ткачук]. – Київ : Центр навчальної літератури, 2004. – 128 с.
8. Прокопенко І. Ф. Курс економічного аналізу / І. Ф. Прокопенко, В. І. Ганін, З. Ф. Петряєва. – Харків : Легас, 2004. – 384 с.
9. Кисликов В. Ф. Будова й експлуатація автомобілів / В. Ф. Кисликов, В. В. Лущик. – К. : Либідь, 2018. – 400 с.
10. Борисюк Д. В. Функціонально-вартісний аналіз системи діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів / Д. В. Борисюк // Вісник машинобудування та транспорту. – 2017. – Випуск 2 (6). – С. 15 – 27.

Стаття надійшла до редакції 20.01.2023

Стаття пройшла рецензування 29.01.2023.

**Борисюк Дмитро Вікторович** – к. т. н., старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

**Зелінський Вячеслав Йосипович** – асистент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту. Вінницький національний технічний університет.