

Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI-10.37128/2520-6168-2023



Machinery
Energetics
Transport
of Agribusiness



ТЕХНІКА
ЕНЕРГЕТИКА
ТРАНСПОРТ АПК



Всеукраїнський науково-технічний журнал

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

№ 2 (121) / 2023

м. Вінниця - 2023

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

Журнал науково-виробничого та навчального спрямування
Видавець: Вінницький національний аграрний університет

Заснований у 1997 році під назвою «Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту».
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації
КВ № 16644–5116 ПР від 30.04.2010 р.

Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» / Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. Вінниця, 2023. № 2 (121). С. 157.

Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол № 2 від 25.08.2023 р.)

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.

Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 року №886);

- присвоєно ідентифікатор цифрового об'єкта (Digital Object Identifier – DOI);

- індексується в CrossRef, Google Scholar;

- індексується в міжнародній наукометричній базі [Index Copernicus Value](#) з 2018 року.

Головний редактор

Токарчук О.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Заступник головного редактора

Веселовська Н.Р. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Відповідальний секретар

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік НААН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Матвійчук В.А. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Граняк В.Ф. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Солона О.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іванчук Я.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

Спірін А.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іскович – Лотоцький Р.Д. – д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет

Твердохліб І.В. – д.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Купчук І.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Цуркан О.В. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Яронуд В.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

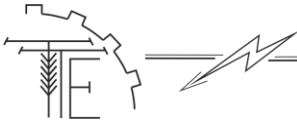
Йордан Максимов – д.т.н., професор Технічного університету Габрово (Болгарія)

Аудріус Жунда – доцент кафедри машинобудування, енергетики та біотехнологій, Університета Вітовта Великого (Литва)

Відповідальний секретар редакції **Полєвода Ю.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет, тел. (0432) 46– 00– 03

Сайт журналу: <http://tetapk.vsau.org/>

Електронна адреса: pophv@ukr.net



ЗМІСТ

I. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО. ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Калетнік Г.М., Яронуд В.М., Полєвода Ю.А.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШННЯ АКТИВНИМ ВЕНТИЛЮВАННЯМ ПРОДУКТІВ ФРАКЦІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ БОБОВИХ ТРАВ В КОНВЕКТИВНІЙ СТРІЧКОВІЙ СУШАРЦІ..... 5

Бурлака С.А., Купчук І.М., Шаповалюк С.О., Черниш М.В.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ ЛОПАТЕВОГО ЗМІШУВАЧА НА ТУРБУЛЕНТНІСТЬ ТА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗМІШУВАННЯ РІДИНИ..... 16

Говоруха В.Б., Луц П.М., Кисельов О.В.

РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З РІПАКОВОЇ СОЛОМИ..... 23

Oleksii Tokarchuk, Liudmila Sosnovska

DIRECTIONS OF USE OF FOOD AND PROCESSING INDUSTRY WASTE..... 32

Serhiy Sharhorodskiy, Volodymyr Rutkevych, Vita Sharhorodska

STUDY OF THE TRAJECTORY OF MOVEMENT OF THE REDUCED PLUNGER PRESSURE FORCE ON THE AXIAL PISTON PUMP CRADLE..... 40

II. АГРОІНЖЕНЕРІЯ

Алієв Е.Б., Безверхній П.Є.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИННИКІВ ПОГІРШЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИСІВУ ПНЕВМАТИЧНИМИ СІВАЛКАМИ..... 51

Анісімов В.Ф., Єленич А.П., Рябошапка В.Б.

АНАЛІЗ СТАНУ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ЩОДО ОЦІНКИ ВИХОДУ ДІОКСИДУ АЗОТУ (NO₂) З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ..... 62

Борисюк Д.В., Твердохліб І.В., Купчук І.М., Бевз І.В.

ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ АНТИБЛОКУВАЛЬНОЇ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ (ABS) АВТОМОБІЛІВ..... 73

Борисюк Д.В., Твердохліб І.В., Купчук І.М., Цуркан О.В.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ «COMMON RAIL» ДИВИГУНІВ СЕРІЇ «ЯМЗ-5340»..... 85

Іванюта М.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКОВОЇ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБРОБІТКОМ ҐРУНТУ..... 97

Iryna Hunko, Oleksandr Kholodiuk, Oleksii Rabovol, Vladyslav Khryshcheniuk

MODERN APPROACH TO THE FORMATION OF AN OBJECT OF LEGAL PROTECTION - METHOD OF SPRAYING WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES..... 106

Кондратюк Д.Г., Солоня О.В.

ВПЛИВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРАБЛІВ-ВОРУШИЛОК НА МЕХАНІЧНІ ВТРАТИ ПРИ ЗАГОТІВЛІ СІНА..... 116

Ludmila Shvets

INCREASING THE LUBRICANT RESOURCE BY DEVELOPING A DEVICE FOR ITS CLEANING..... 123

III. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

Бойко С.М., Жуков О.А., Коваль А.М., Печенюк Д.В.

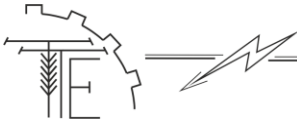
АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ..... 131

Возняк О.М., Штуць А.А., Булига А.І.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОНОМНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ..... 139

Граняк В.Ф., Возніцький І.О.

ДІЕЛЬКОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР ВОЛОГОСТІ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА..... 149



CONTENTS

I. APPLIED MECHANICS. MATERIALS SCIENCE. INDUSTRY MACHINERY BUILDING

<i>Grygorii Kaletnik, Vitalii Yaropud, Yurii Polevoda</i> NUMERICAL SIMULATION OF THE DRYING PROCESS BY ACTIVE VENTILATION OF THE PRODUCTS OF FRACTIONAL PROCESSING OF LEGUMES IN A CONVECTIVE BELT DRYER.....	5
<i>Serhii Burlaka, Ihor Kupchuk, Serhii Shapovaliuik, Mykola Chernysh</i> ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE GEOMETRY OF THE BLADE MIXER ON THE TURBULENCE AND INTENSITY OF LIQUID MIXING.....	16
<i>Volodymyr Govorukha, Pavlo Luts, Oleksii Kyselov</i> RESULTS OF LABORATORY STUDIES ON THE PROCESS OF MAKING FUEL BRIQUETTES FROM RAPESEED STRAW.....	23
<i>Oleksii Tokarchuk, Liudmila Sosnovska</i> DIRECTIONS OF USE OF FOOD AND PROCESSING INDUSTRY WASTE.....	32
<i>Serhiy Sharhorodskiy, Volodymyr Rutkevych, Vita Sharhorodska</i> STUDY OF THE TRAJECTORY OF MOVEMENT OF THE REDUCED PLUNGER PRESSURE FORCE ON THE AXIAL PISTON PUMP CRADLE.....	40

II. AGROENGINEERING

<i>Elchyn Aliiev, Petro Bezverkhniy</i> STUDY OF THE FACTORS OF THE DETERIORATION OF SOWING ACCURACY WITH PNEUMATIC SEEDERS.....	51
<i>Viktor Anisimov, Anatoliy Yelenych, Vadim Ryaboshapka</i> ANALYSIS OF THE STATE AND SETTING OF THE TASK REGARDING OUTPUT ASSESSMENT NITROGEN DIOXIDE (NO₂) WITH EXHAUST GASES TRACTOR ENGINES....	62
<i>Dmytro Borysiuk, Igor Tverdokhlib, Ihor Kupchuk, Ihor Bevz</i> FUNCTIONAL-COST ANALYSIS OF THE ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM (ABS) OF CARS.....	73
<i>Dmytro Borysiuk, Igor Tverdokhlib, Ihor Kupchuk, Oleksandr Tsurkan</i> MATHEMATICAL MODEL OF THE AUTOMATION OF THE COMMON RAIL SYSTEM DIAGNOSTIC PROCESS OF THE YAMZ-5340 SERIES DIVIGUNS.....	85
<i>Mykhailo Ivaniuta</i> MODELING OF THE FLOW ADAPTIVE SYSTEM FOR CONTROLLING THE SOIL TILLAGE.....	97
<i>Iryna Hunko, Oleksandr Kholodiuk, Oleksii Rabovol, Vladyslav Khryshcheniuk</i> MODERN APPROACH TO THE FORMATION OF AN OBJECT OF LEGAL PROTECTION - METHOD OF SPRAYING WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES.....	106
<i>Dmytro Kondratyuk, Olena Solona</i> THE INFLUENCE OF THE WORKING BODIES OF RAKE-SHIFTERS ON MECHANICAL LOSSES DURING HAY PROCUREMENT.....	116
<i>Ludmila Shvets</i> INCREASING THE LUBRICANT RESOURCE BY DEVELOPING A DEVICE FOR ITS CLEANING.....	123

III. ELECTRICAL ENERGY, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

<i>Serhii Boiko, Oleksii Zhukov, Andriy Koval, Dmytro Pechenyuk</i> ASPECTS OF IMPLEMENTATION OF DISTRIBUTED GENERATION SOURCES IN THE ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM OF ENTERPRISES OF THE AGRICULTURAL COMPLEX...	131
<i>Oleksandr Voznyak, Andrii Shtuts, Andrii Bulyha</i> RESEARCH ON THE OPERATION OF THE ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF AN AUTONOMOUS PHOTOELECTRIC PUMPING STATION.....	139
<i>Valerii Hraniak, Ivan Voznitskyi</i> DIELKOMETRICAL TRANSFORMER OIL HUMIDITY SENSOR.....	149



УДК 629.331

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-2-8

ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ АНАЛІЗ АНТИБЛОКУВАЛЬНОЇ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ (ABS) АВТОМОБІЛІВ

Борисюк Дмитро Вікторович, к.т.н., старший викладач
Вінницький національний технічний університет
Твердохліб Ігор Вікторович, к.т.н., доцент
Купчук Ігор Миколайович, к.т.н., доцент
Бевз Ігор Валентинович, магістрант
Вінницький національний аграрний університет

Dmytro Borysiuk, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer
Vinnitsia National Technical University
Igor Tverdokhlib, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ihor Kupchuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ihor Bevz, Master's Student
Vinnitsia National Agrarian University

Функціонально-вартісний аналіз є методом, що має евристичний характер, і використовується для виявлення можливостей зниження витрат і підвищення якості об'єкта, який розглядається як система з функціональною орієнтацією на всіх етапах його життєвого циклу.

У даній статті розглядається застосування функціонально-вартісного аналізу для антиблокувальної гальмівної системи автомобілів. В рамках цього дослідження була розроблена функціональна модель антиблокувальної гальмівної системи автомобіля та здійснена класифікація її функцій.

Також була проведена класифікація функцій в рамках функціональної моделі антиблокувальної гальмівної системи автомобілів. Для визначення коефіцієнтів корисності цієї системи була побудована матриця пріоритетів з використанням відомої методики розрахунку.

Під час проектування технічних або виробничих систем узагальнюючий критерій витрат враховує витрати на всіх етапах життєвого циклу системи. Для цієї оцінки була створена матриця антиблокувальної гальмівної системи автомобілів, яка дозволяє компенсувати коефіцієнт витрат.

Результатами дослідження є побудова діаграми корисності функцій антиблокувальної гальмівної системи автомобілів, діаграми розташування функцій системи з урахуванням коефіцієнта корисності, функціонально-вартісної діаграми системи, діаграми витрат функцій системи, діаграми розташування функцій системи з урахуванням коефіцієнта витрат, діаграми значення показника функціональної вартості функцій системи, та діаграми розташування функцій системи з розрахунком показника функціональної вартості.

На підставі аналізу цієї діаграми були визначені функції антиблокувальної гальмівної системи автомобіля, які мають позитивний функціонально-вартісний показник та найвищий рейтинг серед функціональних функцій, операції або функції, які мають найвищий функціонально-вартівий показник та ранг.

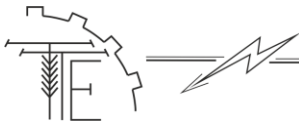
Ключові слова: функціонально-вартісний аналіз, система ABS, функціональна модель, класифікація функцій, коефіцієнт корисності, матриця пріоритетів, коефіцієнт витрат, діаграма корисності функцій, діаграма ранжування функцій, функціонально-вартісна діаграма, діаграма витрат функцій.

Ф. 5. Рис. 9. Табл. 4. Літ. 9.

1. Вступ

Заради здійснення обґрунтованих та раціональних вирішень, рекомендовано використовувати метод функціонально-вартісного аналізу. Цей метод містить різноманітні підходи до аналізу системи, оптимізації та вибору рішень, а також творчого пошуку [1].

На основі функціонально-вартісного аналізу лежить аналіз функціональної досконалості системи та шляхи її покращення через порівняння корисності її функцій із витратами на реалізацію. Головним призначенням функціонально-вартісного аналізу є досягнення необхідної корисності системи при мінімізації загальних витрат.



Отже, рішення, прийняте під час функціонально-вартісного аналізу, базується на оцінці критеріїв вартості та корисності [2, 3].

У контексті впровадження міжнародної системи якості ISO 9000 в Україні виробники зобов'язані використовувати методи аналізу проектних рішень, аналізуючи як вхідні, так і вихідні дані проекту. Тому підприємства, які працюють над створенням або розвитком якісних продуктів, неодмінно використовують стандартні технології функціонально-вартісного аналізу або впроваджують власні методики.

Отже, функціонально-вартісний аналіз орієнтований на досягнення максимально споживчих характеристик об'єкта з мінімальними ресурсозатратами на кожному етапі виробничого процесу. [4].

2. Постановка проблеми

При оптимізації інженерних рішень та проектів, спрямованих на підвищення ефективності виробництва, велику увагу надають аналізу прийнятих рішень.

Із середи різноманітних методів аналізу особливого значення надається функціонально-вартісному аналізу, який варто використовувати під час розробки нових технологій і виробів, модернізації вже наявних виробів і техніки, реконструкції виробничих об'єктів, а також для зниження виробничих витрат та інших цілей.

Суть функціонально-вартісного аналізу відбувається в практичному розгляді об'єкта (технології, конструкції) як сукупності компонентів з метою визначення їх ролі та вартості в рамках загальної системи, мінімізації надлишкових витрат та оцінки їх функцій.

Досвід використання функціонально-вартісного аналізу в автомобільній індустрії підтверджується [4]:

82% загальної вартості системи припадає на основні елементи, які складають лише 22% від їхньої продукції. Отже, дослідження цих основних елементів має бути пріоритетним;

похибки під час розрахунків під час функціонально-вартісного аналізу мають бути менше за зменшення вартості виробництва.

3. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Практично одночасно двома особами стати основоположниками функціонально-вартісного аналізу: інженер Лоуренс Д. Майлс від компанії «General Electric» [5] та інженер-конструктор Юрій Михайлович Соболев з Пермського телефонного заводу. Велика увага до цього виду аналізу в рамках системи методів підвищення якості продукції та ефективності виробництва була приділена в роботах радянських економістів.

В Україні функціонально-вартісний аналіз розглядався як одна з ключових складових крементації – науки, що досліджує та розвиває методи стимулювання творчого мислення. Внесок у розвиток цього методу зробили вітчизняні експертизи, зокрема Іванов М. [2], Веселовська Н. [3], Литвин З. [4], Цигилик І. [6], Прокопенко І. [7] та інші.

4. Мета досліджень

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

Отже, метою даного дослідження є розробка функціонально-вартісного аналізу антиблокувальної гальмівної системи автомобілів для виявлення функцій системи, які доцільно удосконалювати.

5. Виклад основного матеріалу

Антиблокувальна гальмівна система автомобіля (Antilock Brake System (ABS)) (Рис. 1) – це електрогідравлічна система активної безпеки, яка допомагає зберегти стійкість та керованість автомобіля при гальмуванні за рахунок запобігання блокуванню коліс. Антиблокувальна гальмівна система автомобіля ефективна на дорожніх ділянках з мінімальним коефіцієнтом зчеплення, а також за «поганою» погоди (сніг, ожеледиця, дощ) [8].

Також завдяки ABS збільшується термін служби шин та середня безпечна швидкість руху.

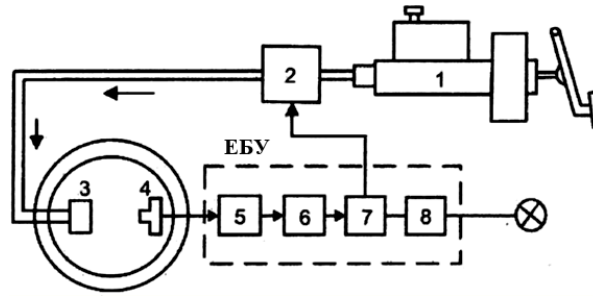


Рис. 1. Схема антиблокувальної гальмівної системи (ABS) [8]:

1 – головний гальмівний циліндр; 2 – модулятор тиску; 3 – колісний гальмівний циліндр; 4 – давач швидкості колеса; 5 – вхідний підсилювач ABS; 6 – блок обчислень ABS; 7 – блок управління ABS; 8 – блок контролю справності ABS; ЕБУ – електронний блок управління ABS

До складу антиблокувальної гальмівної системи входять:

а) давачі частоти обертання коліс автомобіля. Давачі працюють на основі ефекту Холла та вмонтовані в маточину кожного колеса автомобіля. Вони визначають швидкість обертання коліс і передають сигнал до блоку управління ABS.

б) блок управління. Головною функцією електронного блоку управління (ЕБУ) є забезпечення роботи гальмівної системи в найбільш ефективному та стабільному діапазоні, при якому гальмівна сила буде максимальною, а колеса автомобіля будуть розблоковані. З цією метою блок управління виконує безперервні обчислення зміни швидкості обертання коліс (уповільнення). На основі даних показників формуються керуючі сигнали для виконавчих пристроїв: електромагнітних клапанів гідравлічного блоку та насоса.

Електронний блок управління (ЕБУ) зібраний на базі інтегральних мікросхем із застосуванням цифрові технології. Він складається з чотирьох блоків та семи мікросхем:

- вхідний підсилювач ABS для формування та посилення сигналів давача швидкості колеса;
- блок обчислень ABS для виконання логічних операцій, порівняння кутових швидкостей коліс, визначення пробуксовування коліс, їх уповільнення та для формування команд виконавчому механізму;
- блок управління ABS, що являє собою підсилювач потужності для приводу електромагнітних клапанів в модуляторі тиску;
- блок контролю справності ABS. У разі виникнення несправності цей блок відключає антиблокувальну систему. При цьому основна гальмівна система (без регулювання) залишається у робочому стані.

в) Гідравлічний блок. Даний елемент ABS являється виконавчим пристроєм. Гідравлічний блок включає:

- електромагнітні клапани (впускні і випускні). Електромагнітні клапани управляють процесом гальмування. Для кожного гальмівного робочого циліндра передбачається один впускний та один випускний клапани;
- гідроакумулятори. Гідроакумулятори призначені для прискореного скидання тиску у гальмівному контурі. Вони заповнюються гальмівною рідиною під час відкриття випускних клапанів;
- кулачковий насос з електричним двигуном. Кулачковий насос призначений для відкачування гальмівної рідини назад в головний гальмівний циліндр. Саме через це під час роботи системи ABS водієм відчуються поштовхи в педалі гальм.
- демпфуючі камери. Демпфуючі камери гасять коливання рідини під час роботи системи. Оскільки в автомобілі є два контури гідроприводу гальмівної системи, то в гідравлічний блок інтегрують дві демпфуючі камери і два акумулятори тиску.

Дослідження системи ABS в рамках функціонально-вартісного аналізу базується на принципі функціонального підходу, в якій системі розглядають як комплекс функцій, які вона виконує. Далі забезпечуються пошуки більш ефективного способу реалізації цих функцій. Виконання функціонально-вартісного аналізу базується на функціональних моделях [3, 4].

Функціональна модель представляє собою математичний або графічний опис сукупності функцій системи та їх взаємозв'язків. Графічний вигляд функціональної моделі може бути поданий у вигляді технологічного ланцюжка або графа (дерева функцій). Модель системи ABS подана на рис. 2.

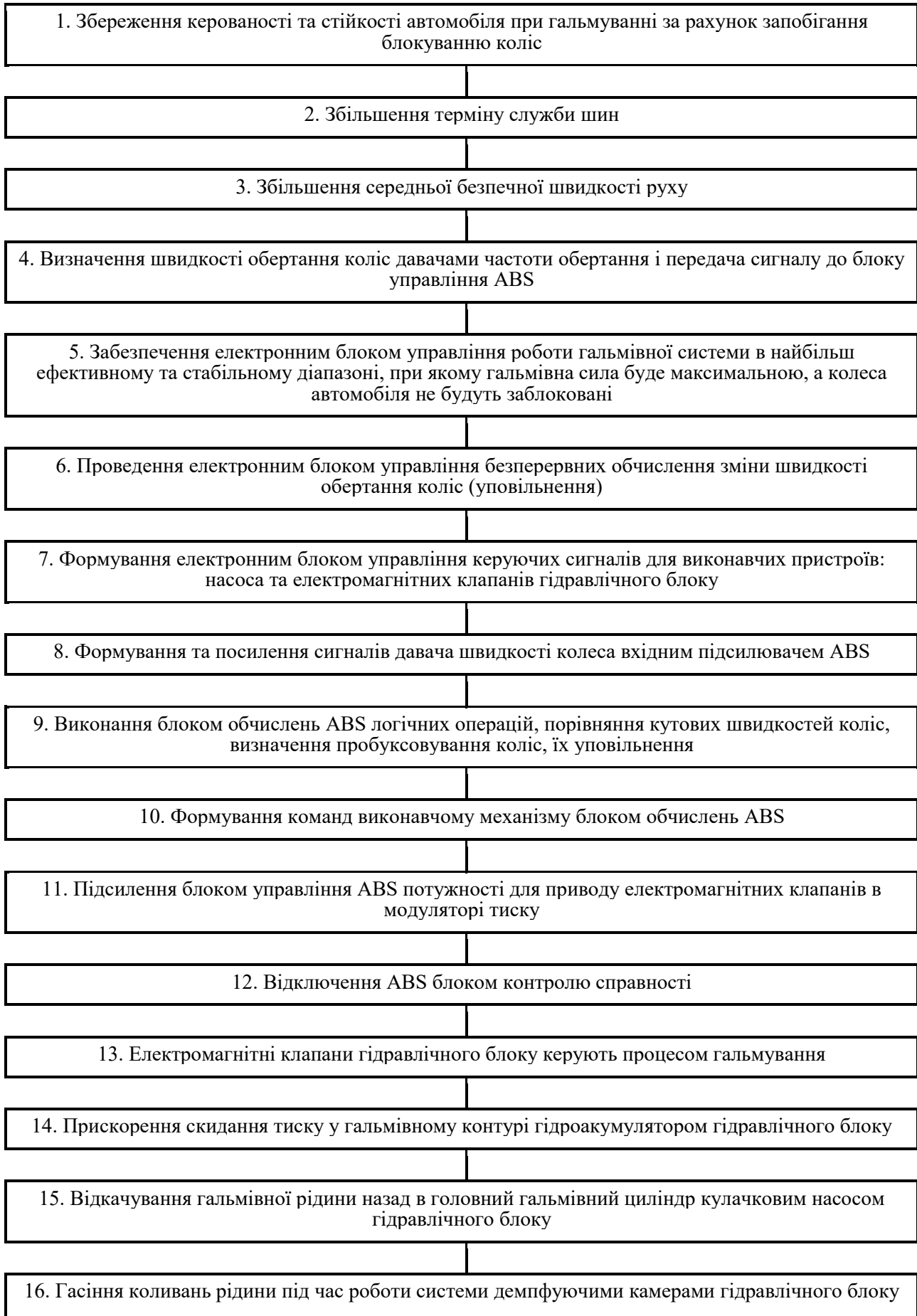
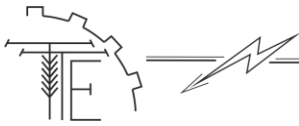
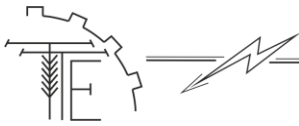


Рис. 2. Функціональна модель системи ABS



Побудова функціональної моделі є початковим етапом функціонально-вартісного аналізу, призначеного для виявлення аналітичних зв'язків між окремими факторами, які впливають на процес входу та показники роботи системи [9].

Після створення функціональної моделі здійснюється класифікація функцій.

Функція – це зовнішній вираз властивостей об'єкта, що виникає внаслідок певних дій, спрямованих на перетворення вхідних впливів на вихідні результати. Функція може бути динамічною (спрямованою на виконання конкретної роботи) або статичною.

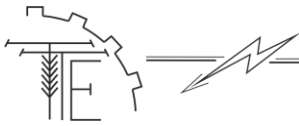
Аналіз та структурізація функціональної моделі передбачають виділення головної функції, яка визначає мету і призначення системи, основних функцій, без яких головну функцію неможливо виконати, а також допоміжних та надлишкових (шкідливих) функцій.

Класифікація функцій системи виконується за двома критеріями - їх властивостями та характером виконання. Таблиця 1 представляє систему класифікації функцій функціональної моделі ABS.

Таблиця 1

Класифікація функцій функціональної моделі системи ABS

№ функції	Назва функції	Характер функції	Властивості функції
1	Збереження керованості та стійкості автомобіля при гальмуванні за рахунок запобігання блокуванню коліс	Зовнішня головна	Корисна
2	Збільшення терміну служби шин	Внутрішня допоміжна	Надлишкова
3	Збільшення середньої безпечної швидкості руху	Зовнішня головна	Корисна
4	Визначення швидкості обертання коліс давачами частоти обертання і передача сигналу до блоку управління ABS	Внутрішня допоміжна	Корисна
5	Забезпечення електронним блоком управління роботи гальмівної системи в найбільш ефективному та стабільному діапазоні, при якому гальмівна сила буде максимальною, а колеса автомобіля не будуть заблоковані	Внутрішня основна	Корисна
6	Проведення електронним блоком управління безперервних обчислень зміни швидкості обертання коліс (уповільнення)	Внутрішня допоміжна	Корисна
7	Формування електронним блоком управління керуючих сигналів для виконавчих пристроїв: насоса та електромагнітних клапанів гідравлічного блоку	Внутрішня допоміжна	Корисна
8	Формування та посилення сигналів давача швидкості колеса вхідним підсилювачем ABS	Внутрішня допоміжна	Надлишкова
9	Виконання блоком обчислень ABS логічних операцій, порівняння кутових швидкостей коліс, визначення пробуксовування коліс, їх уповільнення	Внутрішня основна	Корисна
10	Формування команд виконавчому механізму блоком обчислень ABS	Внутрішня основна	Корисна
11	Підсилення блоком управління ABS потужності для приводу електромагнітних клапанів в модуляторі тиску	Внутрішня допоміжна	Нейтральна
12	Відключення ABS блоком контролю справності	Внутрішня допоміжна	Корисна
13	Електромагнітні клапани гідравлічного блоку керують процесом гальмування	Внутрішня допоміжна	Шкідлива
14	Прискорення скидання тиску у гальмівному контурі гідроаккумулятором гідравлічного блоку	Внутрішня допоміжна	Корисна
15	Відкачування гальмівної рідини назад в головний гальмівний циліндр кулачковим насосом гідравлічного блоку	Внутрішня допоміжна	Корисна
16	Гасіння коливань рідини під час роботи системи демпфуючими камерами гідравлічного блоку	Внутрішня допоміжна	Корисна



Зовнішні функції передбачають взаємодію системи або її компонентів з оточуючим середовищем. У свою чергу, внутрішні функції є результатом взаємодії в межах самої системи. Головна функція виступає як зовнішня функція, що вибирає мету та призначення системи. Основні функції є внутрішніми і сприяють реалізації споживчих характеристик об'єкта та його функціональної придатності. Допоміжні функції також внутрішні і сприяють реалізації основних функцій.

Корисні функції є такими, що відповідають вимогам користувача та є корисними. Надлишкові функції вважаються обов'язковими, і їх виконання покращує якість функціонування системи. Нейтральні функції забезпечують роботу об'єкта в певний час та місце, не використовуючи функціональне навантаження. Шкідливі функції мають як корисний, так і шкідливий аспекти одночасно.

Далі у функціонально-вартісному аналізі встановлюються коефіцієнти корисності. Вони відзначаються через побудову матриці пріоритетів, як це показано в таблиці 2, використовуючи відомі методики [1, 3, 9].

Таблиця 2

Матриця пріоритетів системи ABS

№ 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				
	Коефіцієнти переваг																			
1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	23,5	372	0,09834	1
2	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	9,5	141	0,03731	15
3	0,5	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	22,5	349	0,09226	2
4	0,5	1,5	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	11	157	0,04147	13
5	0,5	1,5	0,5	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	21,5	327	0,08645	3
6	0,5	1,5	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	11	157	0,04147	13
7	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	1	1,5	0,5	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	18	263	0,06941	6
8	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1	1,5	1,5	1	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	15	220	0,05818	9
9	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	1,5	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	19,5	292	0,07707	4
10	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	18,5	273	0,07205	5
11	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	1	1	0,5	0,5	1	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	13,5	191	0,05052	12
12	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	0,5	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	17,5	252	0,06650	7
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	8,5	132	0,03494	16
14	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5	1,5	1	1	1,5	16	227	0,06003	8
15	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5	1,5	1	1	1	15,5	220	0,05805	10
16	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1	1	15	212	0,05594	11
Сума																	3786	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).

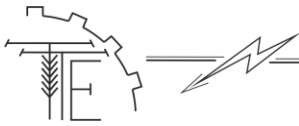
Коефіцієнти переваг можуть приймати значення:

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



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

Потім визначається коефіцієнт корисності λ кожної функції [1, 3]:

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

Ранг функції визначається залежно від величини коефіцієнта корисності λ . Чим більший коефіцієнт корисності, тим вищий ранг має функція.

За результатами розрахунків побудуємо діаграми корисності (Рис. 3) та ранжування (Рис. 4) функцій системи ABS відносно коефіцієнта корисності.

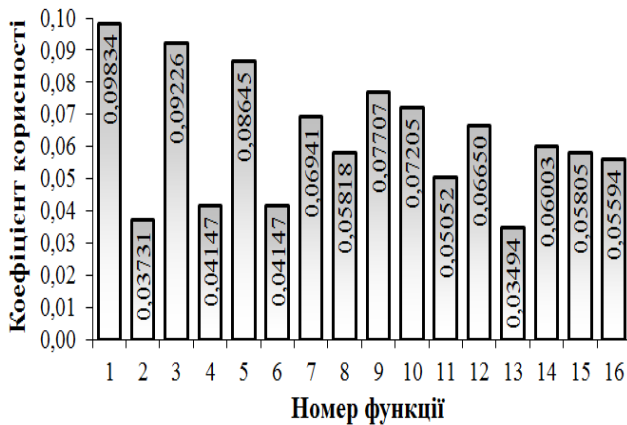


Рис. 3. Діаграма корисності функцій системи ABS

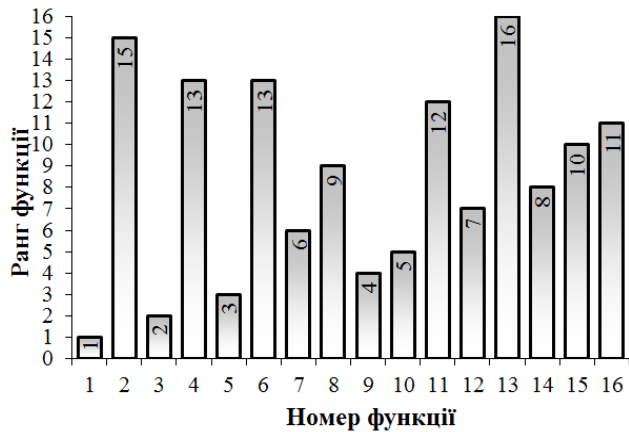


Рис. 4. Діаграма ранжування функцій системи ABS відносно коефіцієнта корисності

Витрати при функціонально-вартісному аналізі – це 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.

На цьому етапі використовують метод порівнянь за допомогою зіставлення з «ідеальною моделлю», метод експертних оцінок, а також порівнюються рівень значимості кожної функції та витрат на неї. З цією метою застосовується коефіцієнт витрат на функцію, який визначається шляхом зіставлення частки параметра (функції) у витратах до коефіцієнта її корисності.

Коефіцієнт витрат визначається за формулою [2, 3]:

$$K_i = \varepsilon_i / \lambda_i \text{ при } \Sigma \lambda_i = 1, \Sigma \varepsilon_i = 1, \tag{3}$$

де ε – частка функції у витратах.

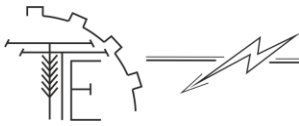
Частка функції у витратах визначається за формулою [2, 3]:

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

де B_i – вартість кожної функції;

$\sum_{i=1}^n B_i$ – сума вартості всіх функцій системи.

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



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

Таблиця 3

Матриця витрат функцій системи ABS

№ функції	Назва функції	Частка функції у витратах	Коефіцієнт корисності	Коефіцієнт витрат	Ранг функції
1	Збереження керованості та стійкості автомобіля при гальмуванні за рахунок запобігання блокуванню коліс	0,112	0,09834	1,139	8
2	Збільшення терміну служби шин	0,105	0,03731	2,814	2
3	Збільшення середньої безпечної швидкості руху	0,061	0,09226	0,661	9
4	Визначення швидкості обертання коліс давачами частоти обертання і передача сигналу до блоку управління ABS	0,061	0,04147	1,471	6
5	Забезпечення електронним блоком управління роботи гальмівної системи в найбільш ефективному та стабільному діапазоні, при якому гальмівна сила буде максимальною, а колеса автомобіля не будуть заблоковані	0,003	0,08645	0,035	15
6	Проведення електронним блоком управління безперервних обчислень зміни швидкості обертання коліс (уповільнення)	0,102	0,04147	2,459	3
7	Формування електронним блоком управління керуючих сигналів для виконавчих пристроїв: насоса та електромагнітних клапанів гідравлічного блоку	0,041	0,06941	0,591	10
8	Формування та посилення сигналів давача швидкості колеса вхідним підсилювачем ABS	0,002	0,05818	0,034	16
9	Виконання блоком обчислень ABS логічних операцій, порівняння кутових швидкостей коліс, визначення пробуксовування коліс, їх уповільнення	0,004	0,07707	0,052	14
10	Формування команд виконавчому механізму блоком обчислень ABS	0,015	0,07205	0,208	11
11	Підсилення блоком управління ABS потужності для приводу електромагнітних клапанів в модуляторі тиску	0,07	0,05052	1,386	7
12	Відключення ABS блоком контролю справності	0,004	0,06650	0,060	13
13	Електромагнітні клапани гідравлічного блоку керують процесом гальмування	0,007	0,03494	0,200	12
14	Прискорення скидання тиску у гальмівному контурі гідроаккумулятором гідравлічного блоку	0,201	0,06003	3,348	1
15	Відкачування гальмівної рідини назад в головний гальмівний циліндр кулачковим насосом гідравлічного блоку	0,101	0,05805	1,740	5
16	Гасіння коливачів рідини під час роботи системи демпфуючими камерами гідравлічного блоку	0,111	0,05594	1,984	4
Сума		1	1	-	-

Незвичайною процедурою функціонально-вартісного аналізу являється побудова функціонально-вартісних діаграм, які представлені графічним зображенням співвідношення між корисністю функцій та затратами на їх реалізацію. Побудова функціонально-вартісних діаграм виконується 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 функцій, а у другому квадранті – затрати на функції (Рис. 5).

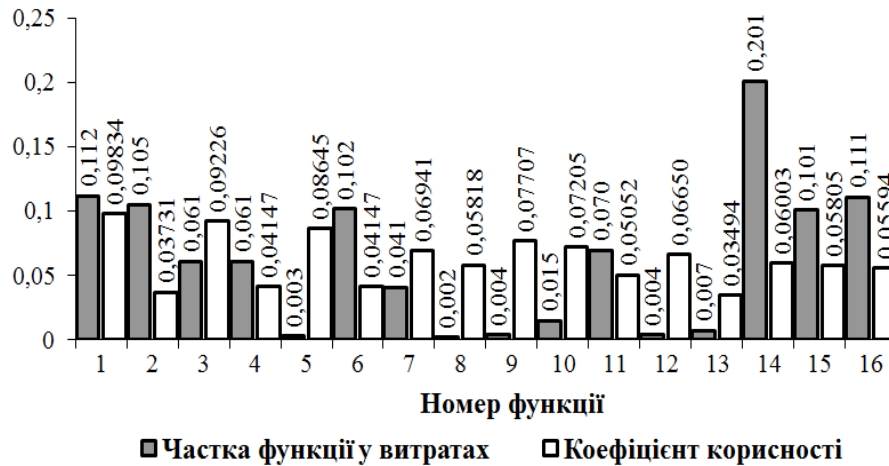
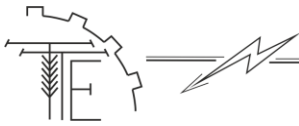


Рис. 5. Функціонально-вартісна діаграма системи ABS

Виконавши вищезазначені розрахунки побудуємо діаграми витрат (рис. 6) та ранжування (Рис. 7) функцій системи ABS відносно коефіцієнта витрат.

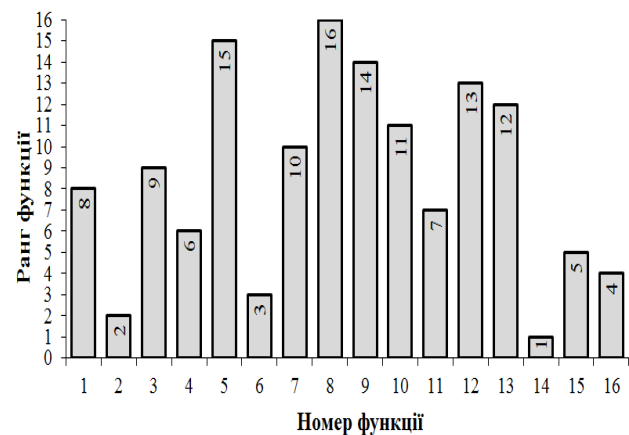
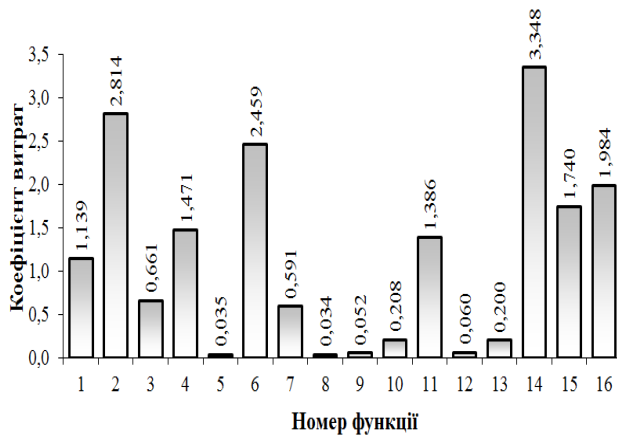


Рис. 6. Діаграма витрат функцій системи ABS Рис. 7. Діаграма ранжування функцій системи ABS відносно коефіцієнта витрат

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

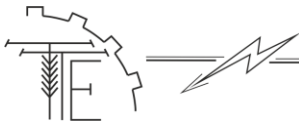
$$P_{ФВі} = \lambda_i - K_i \quad (5)$$

Функціонально-вартісний показник показує, наскільки витратна частина виконання операції або функції більше за корисну функцію. Значення показників функціональної вартості функцій системи ABS відносно коефіцієнта витрат представлено в табл. 4.

Таблиця 4

Значення показників функціональної вартості функцій системи ABS

№ функції	Назва функції	Функціонально-вартісний показник	Ранг функції
1	Збереження керованості та стійкості автомобіля при гальмуванні за рахунок запобігання блокуванню коліс	-1,041	9
2	Збільшення терміну служби шин	-2,777	15
3	Збільшення середньої безпечної швидкості руху	-0,569	8
4	Визначення швидкості обертання коліс давачами частоти обертання і передача сигналу до блоку управління ABS	-1,429	11



Продовження таблиці 4

5	Забезпечення електронним блоком управління роботи гальмівної системи в найбільш ефективному та стабільному діапазоні, при якому гальмівна сила буде максимальною, а колеса автомобіля не будуть заблоковані	0,052	1
6	Проведення електронним блоком управління безперервних обчислень зміни швидкості обертання коліс (уповільнення)	-2,418	14
7	Формування електронним блоком управління керуючих сигналів для виконавчих пристроїв: насоса та електромагнітних клапанів гідравлічного блоку	-0,521	7
8	Формування та посилення сигналів датчика швидкості колеса вхідним підсилювачем ABS	0,024	3
9	Виконання блоком обчислень ABS логічних операцій, порівняння кутових швидкостей коліс, визначення пробуксовування коліс, їх уповільнення	0,025	2
10	Формування команд виконавчому механізму блоком обчислень ABS	-0,136	5
11	Підсилення блоком управління ABS потужності для приводу електромагнітних клапанів в модуляторі тиску	-1,335	10
12	Відключення ABS блоком контролю справності	0,006	4
13	Електромагнітні клапани гідравлічного блоку керують процесом гальмування	-0,165	6
14	Прискорення скидання тиску у гальмівному контурі гідроаккумулятором гідравлічного блоку	-3,288	16
15	Відкачування гальмівної рідини назад в головний гальмівний циліндр кулачковим насосом гідравлічного блоку	-1,682	12
16	Гасіння коливань рідини під час роботи системи демпфуючими камерами гідравлічного блоку	-1,928	13

З економічної точки зору рентабельно розвивати функції з додатнім функціонально-вартісним показником.

Провівши розрахунки побудуємо діаграми значень показника функціональної вартості (Рис. 8) та ранжування (Рис. 9) функцій системи ABS відносно показника функціональної вартості.

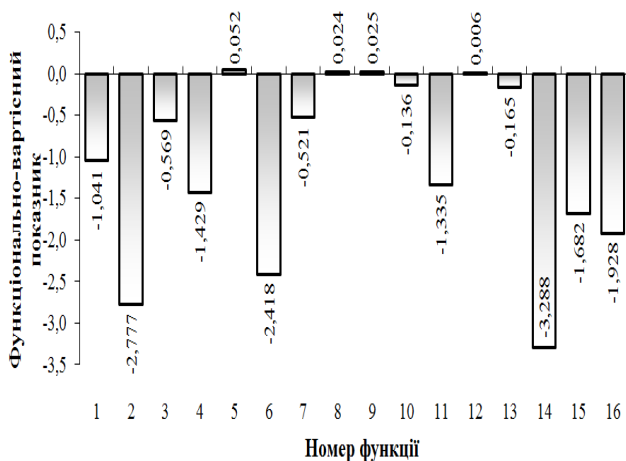


Рис. 8. Діаграма значень показника функціональної вартості функцій системи ABS

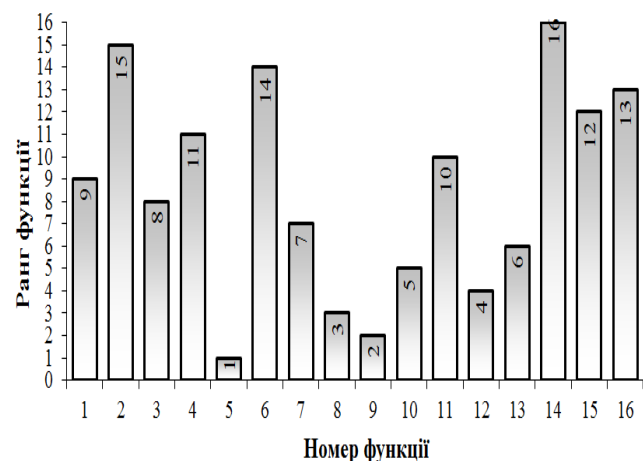


Рис. 9. Діаграма ранжування функцій системи ABS відносно показника функціональної вартості

За даними діаграмами визначаються функції, що мають додатній функціонально-вартісний показник та найбільший рейтинг серед представлених функцій. Функції, що мають найбільший ранг є



тими функціями, вдосконалення яких приведе до подальшого розвитку системи або досягнення мети аналізу.

6. Висновки

1. Виконаний функціонально-вартісний аналіз системи ABS продемонстрував, що найбільший функціонально-вартісний показник і найбільший ранг має функція №1 «Збереження керованості та стійкості автомобіля при гальмуванні за рахунок запобігання блокуванню коліс» в основу якої поставлене основне завдання розробленої технічної системи.

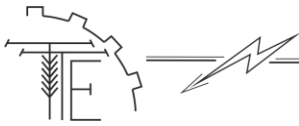
2. За результатами визначення функціонально-вартісних показників системи ABS, можна стверджувати, що функції №5 «Забезпечення електронним блоком управління роботи гальмівної системи в найбільш ефективному та стабільному діапазоні, при якому гальмівна сила буде максимальною, а колеса автомобіля не будуть заблоковані», №8 «Формування та посилення сигналів давача швидкості колеса вхідним підсилювачем ABS» та №9 «Виконання блоком обчислень ABS логічних операцій, порівняння кутових швидкостей коліс, визначення пробуксовування коліс, їх уповільнення» є саме тими функціями, вдосконалення яких приведе до подальшого розвитку системи.

Список використаних джерел

1. Нагірний Ю. П., Бендера І. М., Вольвак С. Ф. Аналіз технологічних систем і обґрунтування рішень. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В. 2013. 264 с.
2. Іванов М. І., Гунько І. В., Ковальова І. М., Худолій О. І. Аналіз технологічних систем. Вінниця : РВВ ВНАУ, 2013. 114 с.
3. Веселовська Н. Р., Худолій О. І. Надійність технологічних систем та обґрунтування інженерних рішень. Вінниця : РВВ ВНАУ, 2014. 123 с.
4. Литвин З. Б. Функціонально-вартісний аналіз. Тернопіль: Економічна думка, 2007. 130 с.
5. Miles L. D. Techniques of Value Analysis and Engineering. New York : McGraw-Hill, 1961. 275 p.
6. Цигилик І. І., Кропельницька С. О., Мозіль О. І., Ткачук І. Г. Економіка й організація інноваційної діяльності. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 128 с.
7. Прокопенко І. Ф., Ганін В. І., Петряєва З. Ф. Курс економічного аналізу. Харків : Легас, 2004. 384 с.
8. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів. К. : Либідь, 2018. 400 с.
9. Борисюк Д. В. Функціонально-вартісний аналіз системи діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2017. № 2 (6). С. 15–27.

References

- [1] Naghirnyi, Yu.P., Bendera, I.M., Volvak, S.F. (2013). *Analiz tekhnolohichnykh system i obhruntuvannya rishen'* [Analysis of technological systems and justification of decisions]. Kamianets-Podilskyi : FOP Sisyn O.V. [in Ukrainian].
- [2] Ivanov, M.I., Gunko, I. V., Khudoliy, O.I. (2013). *Analiz tekhnolohichnykh system* [Analysis of technological systems]. Vinnytsia : VNAU RPP. [in Ukrainian].
- [3] Veselovska, N.R., Khudoliy, O.I. (2014). *Nadiynist' tekhnolohichnykh system ta obgruntuvannya inzhenernykh rishen'* [Reliability of technological systems and justification of engineering solutions]. Vinnytsia : VNAU RPP. [in Ukrainian].
- [4] Lytvyn, Z. B. (2007). *Funktsional'no-vartisnyy analiz* [Functional-value analysis]. Ternopil: Economic Opinion. [in Ukrainian].
- [5] Miles, L.D. (1961). *Techniques of Value Analysis and Engineering*. New York : McGraw-Hill. [in English].
- [6] Tsygylyk, I.I., Kropelnytska, S.O., Mozil, O.I., Tkachuk, I.G. (2004). *Ekonomika y orhanizatsiya innovatsiynoyi diyal'nosti* [Economics and organization of innovative activity]. Kyiv: Center for Educational Literature [in Ukrainian].
- [7] Prokopenko, I.F., Ganin, V.I., Petryaeva, Z.F. (2004). *Kurs ekonomichnoho analizu* [Course of economic analysis]. Kharkiv: Legas. [in Ukrainian].
- [8] Kyslykov, V.F., Luschyk, V.V. (2018). *Budova y ekspluatatsiya avtomobiliv* [Construction and operation of cars]. Kyiv : Lybid. [in Ukrainian].



- [9] Borysyuk, D.V. (2017). Funktsional'no-vartisnyy analiz systemy diahnostuvannya kerovanykh mostiv kolisnykh sil's'kohospodars'kykh traktoriv [Functional and cost analysis of the system for diagnosing steered axles of wheeled agricultural tractors]. *Bulletin of Machine Building and Transport*, 2 (6), 15–27 [in Ukrainian].

FUNCTIONAL-COST ANALYSIS OF THE ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM (ABS) OF CARS

Functional-cost analysis is a method that has a heuristic nature and is used to identify opportunities to reduce costs and improve the quality of an object, which is considered as a system with a functional orientation at all stages of its life cycle.

This article considers the application of functional cost analysis for the anti-lock braking system of cars. As part of this study, a functional model of the car's anti-lock braking system was developed and its functions were classified.

The classification of functions within the framework of the functional model of the anti-lock braking system of cars was also carried out. To determine the utility coefficients of this system, a matrix of priorities was built using a known calculation method.

When designing technical or production systems, the general cost criterion takes into account costs at all stages of the system's life cycle. For this evaluation, a matrix of anti-lock braking system of cars was created, which allows to compensate the cost factor.

The results of the study are the construction of a diagram of the utility of the functions of the anti-lock braking system of cars, a diagram of the location of the system functions taking into account the utility factor, a functional cost diagram of the system, a diagram of the costs of the system functions, a diagram of the location of the system functions taking into account the cost factor, a diagram of the value of the indicator of the functional cost of the system functions, and diagrams of the location of system functions with the calculation of the functional cost indicator.

Based on the analysis of this diagram, the functions of the anti-lock braking system of the car were determined, which have a positive functional value indicator and the highest rating among the functional functions. operations or functions that have the highest functional value indicator and rank.

Key words: *functional cost analysis, ABS system, functional model, function classification, utility factor, priority matrix, cost factor, function utility diagram, function ranking diagram, functional cost diagram, function cost diagram.*

F. 5. Fig. 9. Table. 4. Ref. 9.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Борисюк Дмитро Вікторович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету (21021, м. Вінниця, вул. Воїнів–Інтернаціоналістів, 7, ауд. 3222, e-mail: bddv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8572-6959>).

Твердохліб Ігор Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ, 21008, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1350-3232>).

Купчук Ігор Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, +380978173992, e-mail: kupchuk.igor@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2973-6914>).

Бевз Ігор Валентинович – магістрант Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: ihorBBevz_111@i.ua)

Dmytro Borysiuk – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the department of automobiles and transport management of Vinnytsia National Technical University (21021, Vinnytsia, Voinov-Internationalistov st., 7, room 3222, e-mail: bddv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8572-6959>).

Igor Tverdokhlib – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of General Technical Disciplines and Labor Protection of Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1350-3232>).

Ihor Kupchuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of General Technical Disciplines and Labor Protection of Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonyachna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, +380978173992, e-mail: kupchuk.igor@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2973-6914>).

Ihor Bevz – master's student Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: ihorBBevz_111@i.ua)