

**Висновки.** Одержані результати оптимізації свідчать про ефективність математичних моделей композитних конструкцій з в'язкопружних матеріалів і алгоритмів, що пропонуються для глобального оптимального проектування. Зазначимо, що відсутність змін у підсумкових результатах оптимізації, яка мала місце у всіх розрахунках, свідчить про велику вірогідність вважати одержані оптимуми глобальними і дає змогу стверджувати, що розроблено методику глобальної оптимізації оболонкових конструкцій і ефективні глобальні алгоритми оптимального проектування композитних конструкцій. У розглянутих прикладах порівняння з пошуковими програмами пакета Matlab Global Optimization Toolbox показало таке саме або точніше визначення оптимуму.

1. Дубенец В.Г., Хильчевский В.В. Колебания демпфированных композитных конструкций. – К.: Вища школа, 1995. – Т.1. – 226 с. 2. Савченко Е.В. Пассивное демпфирование колебаний композитных конструкций: монография. – Нежин: ООО “Видавництво “Аспект-Поліграф”, 2006. – 232 с. 3. Савченко О.В., Савченко І.О. Метод пошуку глобального екстремуму в задачах оптимізації конструкцій з композиційних матеріалів // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2009. – №. 36. – С. 72–81. 4. Медынский М.М., Антоний Е.В. Численные методы нелинейной оптимизации: алгоритмы и программы. – М: МАИ, 2003. – 192 с.

УДК 631.151.2+631.3

Р.В. ЗІНЬКО

Національний університет “Львівська політехніка”,

## ФОРМУВАННЯ МНОЖИНИ КРИТЕРІЇВ РОБОТИ МАШИН

© Зінько Р.В., 2011

*На основі проведеного огляду літературних джерел визначено основні критерії оцінювання ефективності функціонування машин. Запропоновано алгоритм формування множини критеріїв роботи машин при їх функціонуванні в технологічних процесах.*

*On the basis of the conducted review of literary sources certainly basic criteria of estimation of efficiency of functioning of machines. The algorithm of forming of plural of criteria of work of machines is offered at their functioning in technological processes. As an example, the criteria row is offered for transport machines.*

**Постановка проблеми.** Для господарства країни є характерним розробляти стандарти та норми, що регламентують зміну показників якості машин протягом заданого в майбутньому проміжку часу. Тому розвиток різних галузей господарства країни полягає у покращенні показників якості машин, що передбачає пристосованість їх режимів функціонування до заданих умов експлуатації в технологічних процесах. При такому вдосконаленні важливим є вибір оптимальних показників якості. Так вважається, що найкращою є машина, в якій характеристики знаходяться в оптимальному співвідношенні, яке забезпечує найбільший ефект її використання в заданому технологічному циклі. Під народногосподарським ефектом розуміють або показники економічної ефективності, що містять вартість виготовлення і вартість експлуатації, або показники трудомісткості виготовлення і експлуатації, або показники енергоємності і матеріаломісткості, або комплексні показники, що містять всі перераховані показники або частину з них [1].

**Аналіз останніх досліджень.** Вдосконалення машини відбувається на основі прийнятих критеріїв. Залежно від прийнятих критеріїв можна у результаті отримати машину з суттєво відмінними характеристиками.

Критерії – це ті параметри технічного об'єкта, які впродовж тривалого часу монотонно змінюються, наближаючись до своєї межі, і є мірою досконалості і прогресивності.

Технічні об'єкти удосконалюються у напрямі поліпшення критеріїв. Оскільки якість будь-якої машини оцінюється за декількома критеріями, то принцип прогресивного розвитку полягає в поліпшенні одних і непогіршенні інших критеріїв [2]. Для оцінювання якості машин автори використовують чотири групи критеріїв розвитку: функціональні, технологічні, економічні і антропологічні.

Функціональні критерії характеризують продуктивність, точність і надійність машин. Технологічні критерії характеризують можливість економії живої праці під час виготовлення і підготовки до експлуатації машин. Економічні критерії характеризують можливість економії ресурсів на виготовлення та експлуатацію машини. Антропологічні критерії забезпечують максимальну пристосованість машини до людини, зниження дискомфорту, підвищення позитивних емоцій.

Основними критеріями для порівняння технологій лісозаготівель є: продуктивність, економічність, надійність і сервісне обслуговування машин, рівень їх негативної дії на лісове середовище, якість заготовлених лісоматеріалів, діапазон відповідних природно-виробничих умов, критерій, пов'язаний з умовами і тяжкістю праці оператора [3].

У випадку виконання будівельних робіт замовник часто ставить обмеження за термінами тривалості робіт, у разі їх виходу за граничні терміни до експлуатаційних витрат будівельної техніки можуть додатися витрати на погашення штрафних санкції, не враховуючи вже порушення власне будівельного процесу [4]. Доцільно ввести обмеження за термінами тривалості робіт.

У роботі [5] зроблено спробу використати сукупні витрати енергії як критерій оптимізації збиральної транспортної ланки на прикладі машинного збирання солодкого перцю. Порівняно з вартісними цей критерій не залежить від політики ціноутворення і кон'юнктури ринку, енерговитрати на процеси виражаються єдиним параметром (Мдж), з'являється можливість оцінити процеси і машини не тільки в грошовому виразі, але і іншими показниками: витрата паливо-мастильних та інших матеріалів (добрива, отрутохімікати і ін.).

Сукупні витрати енергії  $E$ , віднесені до одиниці обробленої площі (Мдж/га) або до одиниці маси отриманої продукції (Мдж/т), виражають сумою таких складових:

$$E = E_p + E_o + E_{жс} + E_m,$$

де  $E_p$  – енерговитрати на робочий процес збиральної машини;  $E_o$  – упереджені витрати енергії на використання добрив, води, хімікатів;  $E_{жс}$  – енерговитрати живої праці трактористів, комбайнерів, допоміжних робітників і водіїв автотранспорту;  $E_m$  – енергія, що витрачається на виробництво і обслуговування машин і устаткування.

**Мета статті.** Метою статті є формування множини критеріїв роботи машин при їх функціонуванні в технологічних процесах.

**Основний матеріал.** Для визначення ефективності конкретної групи мобільних машин в роботі розглянуто закономірності співвідношень наборів властивостей середовища і машини. Такий підхід дав змогу визначити чинники, які найбільше впливають на ефективність функціонування машини, і розробити конструктивні заходи, що підвищили ефективність її конкретного представника.

З огляду літератури визначено головні критеріальні показники ефективності функціонування мобільних машин: продуктивність та витрата палива в робочих циклах, а також плавність руху. Продуктивність, витрата палива і плавність руху показують взаємозв'язок між ефективністю функціонування мобільних машин, працездатністю водія і незруйнованістю вантажу.

Існуючі методики визначення критеріальних показників ґрунтуються на використанні тестових випробувань [6], а теоретичні, як правило, громіздкі і неточні. У роботі запропоновано математичні моделі функціонування МС та пакети прикладних програм для їх комп'ютерної реалізації, які дають змогу визначити ці показники не тільки в циклі, а, навіть, і для елементів операцій, тобто оцінювати і порівнювати ефективність функціонування мобільних машин різних груп (таблиця).

У процесі роботи пакета визначаються терміни виконання кожної операції. Ці дані підсумовуються для отримання точного значення загального часу циклу. У випадку суміщення операцій коротші за часом операції перекриваються довшими.

Розрахунок витрати пального за допомогою розроблених пакетів відрізняється від загальноприйнятих методик тим, що в них визначають кількість палива, яку безпосередньо використовують для виконання заданої роботи. Цього досягають шляхом визначення необхідної потужності на кожному кроці інтегрування. Помноживши потужність на крок інтегрування, визначали роботу, яку необхідно виконати за проміжок часу, що дорівнює кроку інтегрування. Підсумувавши цю роботу за час всієї операції, визначали роботу, необхідну для здійснення цієї операції. Далі вираховували роботу в кілоджоулях і, знаючи калорійність одного літра палива, визначали кількість зужитого палива за одиницю часу.

Крім загальноприйнятих критеріїв, при дослідженні операцій та їх елементів користувалися поняттями “робота, необхідна для здійснення операції чи її елемента” та “витрата палива при виконанні операції або її елемента”. Використання цих понять дало змогу повніше дослідити впливи і зв'язки між елементами операцій і операціями в циклі, а також порівняти роботу, здійснену в циклі, з продуктивністю мобільних машин [7 – 10].

Плавність руху дає змогу оцінювати вплив вібраційних коливань на водія і на вантаж. На кожній ітерації моделювання визначали величину віброприскорення і порівнювали її з максимальним значенням на попередніх ітераціях. Якщо нове значення виявлялося більшим за попереднє, воно перезаписувалося на його місце. В кінці періоду інтегрування максимальне значення вібронавантаженості порівнювали з допустимим [9].

За розробленими моделями функціонування мобільних машин застосовували й інші критерії оцінювання. Так, наприклад, для визначення техніко-економічного ефекту від використання автотранспорту використовували собівартість переробки тонни вантажу:

$$B_{\Sigma} = B_{\text{ПАЛИВА}} + B_{\text{ЗАРПЛАТА}} + B_{\text{НАКЛАДНІ}},$$

а при дослідженні вантажопідйомника користувалися такими критеріями його ефективності, як швидкість підйому вантажу, м/с [10]:

$$V_n = 0,02\sqrt{L}; \quad V_n = 0,02\sqrt{20H_{cp}},$$

де  $L$  – плече транспортування, м,  $H_{cp}$  – середня висота штабелювання, м.

### Критерії оцінювання ефективності функціонування машин

Функціональні (призначення), експлуатаційні	Продуктивність, Точність (якість), Надійність (безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність), Спеціальні, прохідність, маневреність, динаміка функціонування, Придатність до сервсного обслуговування
---	---

Продовження таблиці

Технологічні	Трудомісткість виготовлення та експлуатації, можливість розчленування елементів, неперервність технологічного циклу
Часові	Час технологічного циклу, час елементів циклу, суміщення елементів циклу, час допоміжних операцій
Економічні	Затрати матеріалів, енергії, на конструювання, зменшення габаритних розмірів, ощадність, вартість виготовлення та експлуатації
Антропометричні	Ергономічність (вібрації, шум), безпека, екологічність
Інформаційні	Забезпечення ефективності керування, прогнозування станів робочих процесів
Енергетичні	Робочий процес машини, забезпечення характеристик робочого тіла, оператор і обслуговуючий персонал, виробництво та технічне обслуговування машин
Соціальні	Необхідність, мода, краса, реклама

Загальну кількість критеріїв, вживаних для оцінювання машин технологічних циклів, можна поділити на дві групи: загальні для всіх випадків (глобальні) і критерії, характерні для окремих випадків.

Серед глобальних найважливішими вважають такі: підвищення рівня автоматизації основних технологічних операцій; підвищення рівня механізації і автоматизації допоміжних операцій; підвищення безперервності процесу обробки; збільшення надійності роботи машини; зниження рівня трудовитрат живої праці у виробі; зниження загальної трудомісткості виробу; підвищення рівня технологічності машини; зниження матеріаломісткості (металоємності) машини; досягнення оптимального розчленування машини на частини; зниження енергоспоживання; зменшення габаритів машини; поліпшення умов експлуатації і обслуговування машини; підвищення безпеки роботи і обслуговування машини; поліпшення зовнішнього вигляду (краса) машини; підвищення екологічності машини.

Як часткові критерії, часто використовувани під час оцінювання машин і їх вузлів, назвемо такі: висока швидкість виконання технологічних операцій; широкий діапазон регулювання руху робочого органа; плавність регулювання руху робочого органа; точність і стабільність базування; точність руху робочого органа; якість виконання робочого процесу; стійкість до вібрацій; висока зносостійкість; захищеність від перевантажень; низький рівень шуму; відсутність монотонності в роботі оператора; легкість обслуговування; простота системи управління; відсутність "капризних" механізмів, що вимагають частої наладки; простота і зручність налагодження машини.

Для кожного конкретного випадку проектування технічної системи конструктор підбирає перелік критеріїв розвитку із списку глобальних і часткових критеріїв. Основою для вибору є вимоги, що пред'являються до проєктованої системи. При цьому вже на стадії вибору проєктного рішення конструктор прагне, щоб система максимально задовольняла всі вибрані критерії.

Залежно від вибраних критеріїв при однакових вимогах параметри і характеристики технічної системи можуть істотно відрізнятися. Тому вимоги слід формувати з урахуванням місця технічної системи у технологічних циклах.

Скорочення безлічі можливих варіантів шляхом послідовного виключення найменш ефективних і найменш перспективних варіантів.

Для такого скорочення можна використовувати загальноприйнятий принцип декомпозиції, за яким переходять від порівняння альтернатив загалом до порівняння їх окремих властивостей. Основна ідея такого переходу полягає в тому, що відносно окремої властивості істотно легше сказати, яка з альтернатив переважає. Властивості першого ієрархічного рівня можуть ділитися на відповідні набори властивостей тощо. Глибина такого поділу визначається прагненням дійти до тих властивостей, які зручно порівнювати один з одним. Порівнювати альтернативи за окремими властивостями можна трьома способами, зокрема:

- а) попарним (груповим) порівнянням альтернатив за певною властивістю;
- б) введенням природних числових характеристик певної властивості;
- в) введенням штучних числових характеристик певної властивості.

Спосіб вибору для операції порівняння в загальному випадку не конкретизується.

Розв'язуючи деякі задачі, можна використовувати фізичне моделювання і, як окремий випадок, геометричне. Важливим завданням геометричного моделювання є проведення відповідних досліджень, направлених на визначення шуканих параметрів відповідно до певної технології. Основним при цьому є відшукування масштабів подібності або коефіцієнтів переходу від параметрів моделі до параметрів оригіналу.

Вірогідність вибору раціональної структури характеризує невизначеність, обумовлена неможливістю точного розрахунку ефективності на певному етапі проектування. В зв'язку з цим можна скористатися методом експертних оцінок.

На думку багатьох авторів [11–13], фахівець з цього класу технічних систем може дати експертну оцінку вірогідності ефективності реалізації певної структури. У такому разі для визначення суб'єктивної вірогідності можна використовувати наявні методики [14].

Вибирати структуру в умовах невизначеності значень показників проектованої системи можна за математичними очікуваннями показників. У такому разі критерієм вибору оптимальної структури може бути або математичне очікування значень показників системи, побудованої за цією структурою, або вірогідність того, що значення цих показників задовольнятимуть технічне завдання.

При цьому найзагальнішим [15, 16] є випадок, коли межі множини можливих розв'язків не фіксовані, а принцип вибору не формалізований, що відповідає вирішенню конструкторських завдань (особливо на рівні структурних схем) з необмеженою матрицею можливих рішень. Якщо вибір допоміжного принципу неможливий, то експертним шляхом встановлюють деяку початкову безліч альтернатив і порівнюють їх відомими методами. Якщо жодна з відібраних альтернатив не відповідає заданим критеріям, то вибирають наступну початкову множину.

І, нарешті, вважається, що для конкретних технічних завдань, пов'язаних із синтезом структурних схем технічних систем, існують хоч би неформалізовані принципи вибору, застосування яких різними суб'єктами дає пересічні результати. Практичні шляхи розв'язання неоднозначних завдань полягають у використанні для цієї мети ряду завдань з фіксованою, але змінюваною від завдання до завдання множиною і фіксованим принципом вибору.

На основі порівняння може бути виконана операція ранжирування, в результаті якої альтернативи залежно від їх властивості розташовуються в певному порядку: від найбільш до найменш переважних.

Складання структурних, функціональних, принципівих та інших схем функціональних механізмів технічних систем з одночасним вирішенням питання щодо вибору альтернативних варіантів.

Для забезпечення цілеспрямованого функціонування машини необхідно врахувати всі необхідні зв'язки з середовищем і сформувати необхідні взаємодії між технологічним середовищем і технічною системою, тому відповідно до рис. 1 складається модель функціональної структури. При цьому слід врахувати: технологічну функцію  $W_1$ , що припускає зміну початкового стану (групи станів), до кінцевого стану, перетворення енергії  $W_2$ , тобто перетворення зовнішньої і внутрішньої енергії від состояния до кінцевого стану інформаційну функцію (управління), яка діє на стан підсистем вхідні і вихідні параметри.

При аналізі функціональної моделі слід звернути увагу на наступні аспекти:

- функції управління можуть бути передані самій конструкції, тобто здійснено саморегулювання. Наприклад, величина щілини у шоківих дробарок, зазор між валками і т.п.;
- у структурі механізмів є ряд додаткових елементів у вигляді пристроїв навантажень, додаткових замикаючих пар і тому подібне, функції яких можуть бути структурно або конструктивно суміщені;
- характер руху, число роторів, паралельних агрегатів і тому подібне роблять істотний вплив на конструкцію функціонального механізму, тобто поєднання транспортних і технологічних функцій.

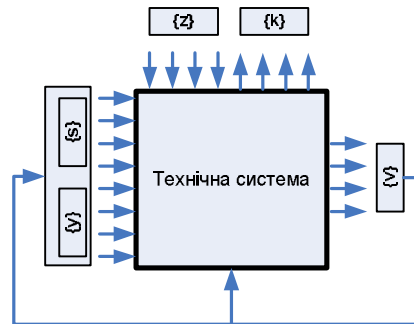


Рис. 1. Місце технічної системи в технологічному циклі і довкіллі

Технологічні, транспортні і інші агрегати технічних систем знаходяться в складних взаємних зв'язках один з одним, іноді позначені чітко, такі, що іноді важко виявляються. Для реалізації обліку цих зв'язків необхідно зробити ряд допущень. Передбачається, що загальна структура технічних систем вже намічена і розглядається один з рівнів, що включає функціональні механізми (або групу механізмів), що розробляються, із зв'язками, що йдуть до рівня  $i + 1$  і  $-1$ , а по горизонталі – до підсистем того самого рангу.

Корисний ефект кожної підсистеми обумовлює вектор витрат  $S$ , що накладає додаткові обмеження на можливість вибору параметрів. Тоді через структурну схему функціонального механізму їм можна надати вигляду функції обмеження. Якщо на кожному рівні системи існують автономні обмеження, що не мають відношення до зв'язків  $S$  усередині системи.

Встановлення зв'язків між необхідною функцією, структурою і параметрами дає змогу синтезувати функціональні механізми для конкретних гірських, будівельних і підійомно-транспортних машин, систематизувати їх і виявити технічні рішення, що “випали” із загальної матриці. Цей підхід враховує не тільки непрямі підсумкові показники (продуктивність, ступінь подрібнення або деформації тощо), але і фізичну суть гірничодобувного, будівельного, транспортного процесу як основу, закладену в конструкторську розробку, що дає змогу створити континуум технічних рішень в області функціональних механізмів технічних систем.

Для вибраних вище варіантів дають короткий їх опис з приведенням схем і ескізів, аналогічно патентним описам. Після складання попередніх ескізів проводять детальніше конструкторське опрацювання з урахуванням додаткових вимог. При цьому окремі елементи можуть бути розглянуті і пропрацьовані повністю.

Структурна і параметрична оптимізація, засновані на методах математичного моделювання і оптимізації. Для різних технологічних процесів мета оптимізації визначається розробниками і формулюються неоднозначно. Проте загальна послідовність і підходи до структурної і параметричної оптимізації і їх залежність від технологічної функції можна представити в загальному вигляді [12,17]. Структурна оптимізація зводиться до комбінаторного завдання синтезу, побудови структурно-системних техніко-економічних моделей. Вибір оптимальних або раціональних параметрів передбачає виявлення закономірностей зміни показників ефективності від певних параметрів та їх сукупності. На рівні параметричної оптимізації завдання вибору критеріїв вирішується однозначно. При цьому порівнювати альтернативи, особливо в початковий період досліджень, реально на основі попарного порівняння. Спосіб вибору в загальній методиці не конкретизується. Це питання вирішується відповідно до технологічного процесу. Фрагмент розв'язання задачі для дробильного верстата показано в роботі [18], а для вітроенергетичних установок – в роботі [19].

У разі наявності декількох критеріїв будь-якій альтернативі може бути зіставлена точка  $n$ -мірного критерійного простору, що вимагає додаткового введення коефіцієнтів значущості. Умова

переваги віддається альтернативі, що має найбільшу бальну оцінку. Типовий випадок, коли бальні оцінки різняться на величину погрішності обчислення критерію, тобто деяка кількість альтернатив буде непокрещувана. Тоді на першому етапі необхідно виділити множини Парето. Питання про подальшу формалізацію вибору залежить від специфіки і вимог конкретного завдання: введення додаткових критеріїв, ранжирування методом експертних оцінок або групового впорядкування.

Отже, послідовність формування замкнутої системи критеріїв можна подати у вигляді (рис. 2).

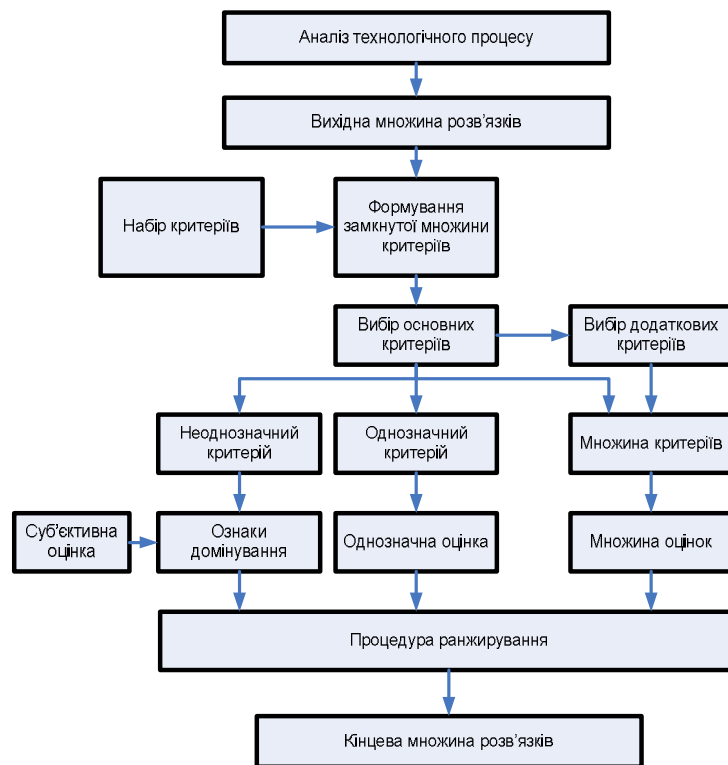


Рис. 2. Послідовність формування замкнутої множини критеріїв

Ефективність вдосконалення машин доцільно визначати на основі їх математичних моделей функціонування з урахуванням умов функціонування і економічних чинників. Критерії ефективності повинні враховувати технічну досконалість машини, вплив її на оператора та економічну доцільність. Так, для транспортних машин доцільно використати критерії: продуктивність, витрата палива (енергії), вібронавантаженість, ціна (рентабельність) або витрати і прибуток за цикл роботи в технологічному процесі (циклі).

**Висновки.** На основі проведеного огляду літературних джерел визначено основні критерії оцінювання ефективності функціонування машин. Запропоновано алгоритм формування множини критеріїв роботи машин при їх функціонуванні в технологічних процесах. Як приклад запропоновано низку критеріїв для транспортних машин.

1. Яловой Н. С. Оптимизация конструкций и показателей качества машин. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 288 с. 2. Глебов И.Т., Глухих В.В., Назаров И.В. Научно-техническое творчество: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т., 2002.– 264 с. 3. Соколов А. П., Сютёв В. С., Герасимов Ю. Ю., Сари Карвинен. Сравнение трелевочных машин по условиям и тяжести труда операторов // Лес и бизнес. – 2008, февраль. – С. 56–61. 4. Карасёв Г.Н., Мандровский К.П. Анализ технико-экономической модели работы экскаватора // Вестник

МАДИ(ГТУ). – 2007. – Вып. 3(10). – С. 54–56. 5. Тимофеев М. Н., Костылев С. И. Оптимизация уборочно-транспортного звена на уборке сладкого перца: [Электронный документ] // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – <http://ej.kubagro.ru/2006/04/31/> Проверено 11.08.2011. 6. Методика определения базисных расходов топлива для автомобилей. И 37.001.022–81.М., Утв.тех.упр.машиностр.20.12.81/ М-во машиностроения СССР. – М., 1981. – 35 с. 7. Гацук П.М., Зінько Р.В. Оцінка ефективності автотранспортувальних засобів на основі типових та оптимальних циклів // Праці Міжнародної наукової конференції “Лісотранспорт в Карпатах: традиції, реалії, перспективи розвитку”. – Львів: ЛЛТУ – 1998. – С. 42–46. 8. Зінько Р.В. Методика визначення експлуатаційної ефективності автонавантажувачів в робочих циклах // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький: ТУП. – 2000. – № 1. – С. 128 – 134. 9. Гацук П. М., Зінько Р. В. Моделювання елементів робочого циклу автонавантажувача// Вісник Державного університету “Львівська політехніка”: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. — Львів: ДУ “Львівська політехніка”. – 2000. – № 396. – С. 42–57. 10. Зінько Р. В. Дослідження вібропереміщень корпусу автонавантажувача методом чисельного експерименту// Вибрації в техніці і технологіях. – 2000. – № 2 (14). – С. 36 – 40. 11. Руднев В.Е. Формирование технических объектов на основе системного анализа / В.Е. Руднев, В.В. Володин, К.М. Лучанский и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 320 с. 12. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация: пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 509 с. 13. Белкин А.Р., Левин М.Ш. Принятие решений: комбинаторные модели аппроксимации информации. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 160 с. 14. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. – Д.: Машиностроение, Ленинград, отд.-ние., 1985. – 199 с. 15. Дровников А.Н., Исаков В.С., Кузнецов С.А. и др. Механизмы с силовым замыканием контура / Новочеркасский политехнический институт – Новочеркасск, 1991. – 141 с. – Деп. в ВИНТИ 24.06.91, № 2621-91. 16. Исаков В.С., Дровников А.Н., Балашов В.Б. О применении адаптивных и индифферентных структур механизмов для дробильного оборудования / Инструменты и машины выемочных и проходческих комплексов: Межвуз. сб. – Новочеркасск, 1992. – С. 133–138. 17. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с. 18. Исаков В.С. Инерционные тормозные устройства на основе замкнутых кинематических контуров. – Ростов н-Д: Изд-во журн. “Изв. вузов. Сев.- Кавк. регион”, 2005. – 140 с. 19. Исаков В.С., Курочка А.К., Симилейский Г.М. Технические основы создания машин с применением САПР. – Новочеркасск, НПИ, 1989. – 88 с.