

зменшення тепловтрат у холодний період року. Своєю чергою, форма у вигляді циліндра зі зрізаними конусами сприяє ефективнішому використанню біореактора в теплий період року, тобто можливо використовувати енергію сонця для підігріву субстрату.

**Висновки.** Проаналізовано існуючі геометричні форми метантенків побутових біогазових установок. Встановлено, що енергоефективною за теплотехнічними характеристиками є сферична форма. Тому запропоновано біореактор циліндричної форми зі зрізаними конусами до верху і до низу, в якому враховано енергоощадні характеристики та особливості технологічного процесу. Представлено типовий ряд побутових біореакторів об'ємом від 1 м<sup>3</sup> до 5 м<sup>3</sup>.

### Література

1. Барбара Едер. Биогазовые установки : практ. пособ. / Барбара Едер, Хайнц Шульц. – 1996. – 264 с.
2. Соуфер С. Биомаса как источник энергии / под ред. С. Соуфер, О. Заборски : пер. с англ. – М. : Изд-во "Мир", 1985. – 236 с.
3. Баадер Б. Биогаз: теория и практика / Б. Баадер, Доне М. Брендерфер : пер. с нем. М.И. Серебряного. – М. : Изд-во "Колос", 1982. – 148 с.
4. Желих В. Биогазовый реактор // Патент на корисну модель № 57360 / В. Желих, Ю. Фурдас.
5. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.bio-invest.com.ua/biogas.html>.

### **Желих В.М., Фурдас Ю.В. Определение рациональных геометрических форм и размеров биореактора**

Выполнен анализ существующих геометрических форм бытовых биореакторов. Установлены зависимости площади внешней защиты от габаритных размеров и форм метантенка. Предложена рациональная форма резервуара бытовой биогазовой установки. Результаты исследований представлены в графической интерпретации и в виде таблицы.

**Ключевые слова:** биогазовая установка, метантенк, биогаз, анаэробное брожение, резервуар.

### **Zhelykh V.M., Furdas Yu.V. Rational geometrical shapes and sizes bioreactor**

The analysis of existing geometries household bioreactors. The dependences of the area protected from the external dimensions and forms metantenka. A rational form of household biogas tank installation. The research results are presented in graphical interpretation and as a table.

**Keywords:** biogas plant, metantenk, biogas, anaerobic fermentation, tank.

УДК 614.841 Доц. Р.В. Зінько, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"; доц. Є.В. Сулоєва, канд. техн. наук – Рижський ТУ

### **ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОЖЕЖНОЇ ОХОРОНИ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ**

Визначено основні складові методики розрахунку ефективності пожежної охорони з урахуванням нових тенденцій, що використовують у тактиці гасіння пожеж, таких як гусеничні мобільні роботи. Запропоновані шляхи вдосконалення мобільних робіт підвищать їх ефективність використання, що позитивно відзначиться на ефективності пожежної охорони.

**Ключові слова:** економічна ефективність, пожежі, мобільні роботи, пожежна охорона.

**Вступ.** Значення лісової промисловості в економіці країни обумовлене не тільки величезними запасами деревини і територіальною поширеністю лісових ресурсів, але і широким використанням у різних галузях економіки – будівництві, промисловості, на транспорті, в сільському і комунальному господарстві. Тому раціональне використання ресурсів лісового господарства є комплексною проблемою, яка повинна базуватися на економічній основі.

У своєму розвитку лісове господарство опирається на загальних інформаційно-технологічних, економічних, правових, методичних і освітніх законах. Конкретний прояв цих законів у лісовому господарстві має особливості, що пов'язані із своєрідністю лісгосподарського виробництва. Велике значення має і збереження ресурсів, охорона навколишнього середовища. Одним із таких напрямів є пожежна безпека лісів, яку необхідно розглядати в контексті загальної безпеки і пожежної охорони.

Використання нових технологій в пожежній охороні веде до скорочення кількості загиблих і травмованих людей внаслідок пожеж, а також зниження втрат від пожеж. Серед використовуваних нових технологій є застосування пожежних мобільних робіт. Мобільні роботи потрібні вогнеборцям для розвідки місць пожеж, моніторингу територій, зайнятих пожежами, доставки засобів гасіння вогню до місця загоряння, на атомних електростанціях для технічної інспекції приміщень, в яких розміщені реактори, а в аварійних випадках – і для дезактивації цих приміщень, у вогнищах надзвичайних ситуацій.

Новітні технології здатні впоратися з технічними проблемами, раніше не вирішеними, підвищити рівень пожежної безпеки, значно зменшити втрати від пожежі, економити воду, електроенергію, знижувати капітальні витрати. Мобільні роботи можна використовувати для охорони, інспекції або моніторингу територій великої площі й окремих зовнішніх об'єктів: спортивно-видовищних комплексів, об'єктів не тільки лісової чи деревообробної, але й нафтової і хімічної промисловості, нафтопортів, ангарів для літаків, машинних залів ТЕЦ і АЕС, складів лісоматеріалів та іншого призначення, а також пожежонебезпечні об'єкти: резервуарні парки ПММ, машинні, вертолітні майданчики, трансформаторні підстанції.

**Аналіз останніх досліджень.** Проблемам ефективності пожежної охорони завжди приділяли значну увагу. Ефективність оцінювали на основі розроблених методик [1-3] з урахуванням прийнятих критеріїв [4]. Динаміку змін ефективності зазвичай оцінювали за допомогою регресивних моделей [5]. Оцінка ефективності за різними методиками давала різні результати, оскільки не було цілісного підходу до вибору критеріїв і впорядкованого алгоритму розрахунку.

**Мета дослідження.** Визначити основні складові методики розрахунку ефективності пожежної охорони з урахуванням нових тенденцій в тактиці гасіння пожеж, таких як гусеничні мобільні роботи.

**Основна частина.** Пожежні роботи поділяють на мобільні й стаціонарні. До стаціонарних відносять автоматичні установки пожежогасіння

(АУП) і вважають одними з найнадійніших засобів боротьби з пожежами: їх приводять у дію на основі об'єктивних показників і забезпечують оперативне гасіння вогнища загоряння на його початковій стадії без участі людини.

У різних країнах перелік об'єктів, які підлягають захисту АУП, регламентовано галузевими нормативними документами. Наявність АУП в системах пожежної безпеки об'єктів є також вимогою страхових компаній зі зниження ступеня ризику.

Для мобільних роботів таких нормативних документів ще не розроблено. Причинами є новизна цього напрямку: незрозуміло, які конструктивні схеми роботів найбільш ефективні для гасіння пожеж, як використовувати роботів у зонах надзвичайних ситуацій, який економічний ефект від їх використання. Дослідження в цьому напрямі бажано починати з розрахунку економічної ефективності.

Визначення економічної ефективності системи пожежної охорони використовують для виконання таких видів розрахунків [6]:

- 1) попередній розрахунок економічної ефективності, під час підготовки річних і перспективних планів, а також для підтвердження варіантів нових технічних рішень у сфері розвитку пожежної охорони;
- 2) розрахунок майбутньої економічної ефективності, на основі науково-дослідних робіт, на стадії підготовки технічних завдань, технічного проекту і документації;
- 3) розрахунок фактичної економічної ефективності на основі результатів наукових досліджень, з урахуванням технологій виробництва в окремій галузі виробництва, із забезпеченням якості технологічних процесів.

Визначення річної економічної ефективності базується на порівнянні витрати залишку, що враховує прийняття нового технічного рішення. Витрати залишку – сума вартості затрат і доходу. Важливим є розрахунок економічної ефективності, визначення ступеня окремого технічного впливу вдосконалення параметрів на економічне співвідношення еквівалентності, що відображає зв'язок між технологією і експлуатаційними витратами. Співвідношення еквівалентності в кожному виді технічного рішення визначається як зважений середній арифметичний показник.

Як основні співвідношення для виконання економічних розрахунків ефективності використання нових зразків техніки прийнято: 1) інвестиції капіталу; 2) вартість; 3) експлуатаційні витрати; 4) об'єм вкладів.

Інвестиції (С) капіталу – витрати для основних засобів. Необхідно визначати річну економічну ефективність для інвестицій капіталу, всіх одночасних витрат, оскільки під час використання нових технічних рішень беруть до уваги: прямі інвестиції капіталу в технічному рішенні, витрати на випуск дослідної серії і додаткові інвестиції капіталу, які пов'язані з введенням технічного рішення. У структуру Державного пожежного департаменту і інвестиції капіталу Рятувальних Бригад (SFFRB) Латвії включаються [6]:

- 1) витрати на наукові дослідження, експериментальні зразки, їх проектування, створення і відлагодження, індустриальну перевірку, необхідні для уточнення результатів (тільки у варіанті нового технічного рішення);

- 2) витрати на закупку, постачання, збирання, відлагодження нового технічного рішення;
- 3) витрати на модернізацію устаткування і спеціального (невідповідного стандартам) устаткування власними силами підприємства;
- 4) витрати для додаткових фондів кругообігу, пов'язаного з навчанням персоналу і введенням нового технічного рішення;
- 5) витрати для формування необхідної індустриальної області й інші елементи основних фондів, пов'язані з навчанням персоналу і введенням нового технічного рішення;
- 6) якщо частина повторно використовуваного устаткування, що використовують під час виготовлення нових зразків, задіяна з попереднього технологічного процесу, можливе ефективне використання інвестиційного капіталу;
- 7) витрати, пов'язані із закупівлею і постачанням засобів боротьби з вогнем, чий термін зберігання довший, ніж рік;
- 8) витрати на інші додаткові роботи, пов'язані з використанням нового технічного рішення (будівництво нових пожежних станцій і реконструкція існуючих, будівництво нових під'їзних шляхів тощо).

Інвестиції SFFRB капіталу в утворенні нових технічних рішень визначають згідно з формулою:

$$K_{vugd} = K_z + K_{r2}, \quad (1)$$

де:  $K_z$  – витрати на наукові дослідження і виготовлення експериментальних зразків;  $K_{r2}$  – спеціальні інвестиції капіталу у виробничих фондах для нового технічного рішення.

Поточні SFFRB витрати (E) – річні витрати, пов'язані з експлуатацією нового зразка, визначають згідно з формулою:

$$I_{vugd} = S_m + S_{da} + S_{kr} + S_e + S_r, \quad (2)$$

де:  $S_m$  – витрати на матеріали для виробництва;  $S_{da}$  – витрати на зарплату;  $S_{kr}$  – витрати на ревізію;  $S_e$  – витрати на використання технології;  $S_r$  – витрати на витратні матеріали.

Витрати на витратні матеріали включають витрати на засоби для боротьби з пожежами, а також використовуваних із навчальною метою. В економічних обчисленнях ефективності відрізняються основні витрати на застосування технології пожежної охорони і поточні витрати.

Ефективність, пов'язана з удосконаленням охорони праці вогнеборців, визначають річним економічним ефектом (E) відповідно до формули

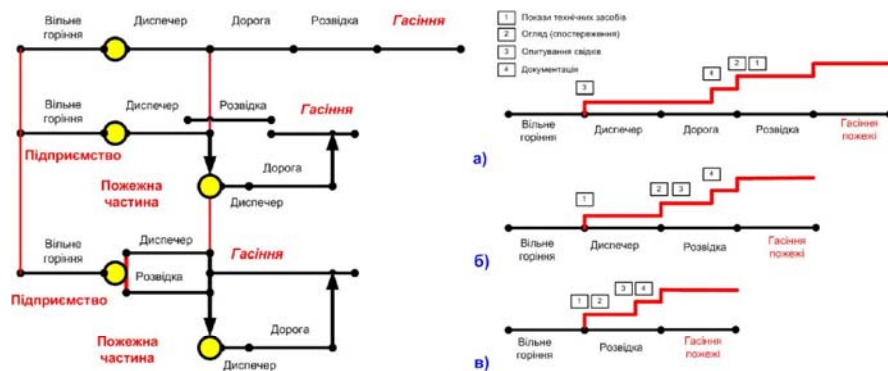
$$E = \sum_n^{i=1} Z_{ie.m.z.} - (K_{vugd} - I_{vugd}), \quad (3)$$

де:  $Z_{ie.m.z.}$  – можливі матеріальні втрати в об'єктах, розташованих в області обслуговування пожежних станцій;  $K_{vugd}$  – інвестиції капіталу в пожежну охорону протягом року;  $I_{vugd}$  – експлуатаційні витрати протягом року.

Ефективність використання мобільних роботів досліджували в [7-9]. Використання мобільних пожежних роботів може бути альтернативою АУП. Їх функції можуть розумно комбінуватися із системою безпеки підприємства. Це зменшить фінансові витрати на експлуатацію, а також на використання

детально розроблених алгоритмів дії. На першій стадії використання таких роботів їх головною функцією може бути інспекція і моніторинг території, на якій трапилася аварійна ситуація. У перспективі – попередження про евакуацію і керування переміщенням людей на випадок пожежі та її гасіння. На рис.1 зображено схему зменшення часу пошуку і початку гасіння пожежі з використанням роботів. У цьому випадку враховують тільки функцію розвідки пожежі. Розглянуто випадок, коли підприємство з'єднується з групою центрального спостереження. Диспетчер передає повідомлення до пожежної бригади і до місцевої бригади. Випадок з використанням мобільного робота скорочує час перед початком гасінням пожежі. До того ж інформаційне повідомлення про пожежу значно повніше завдяки використанню вимірювальної апаратури робота.

Пожежні роботи можуть бути оснащені інфрачервоними камерами для автоматичного виявлення загоряння і ТВ-камерами для відеоконтролю. Їх чутливість припускає виявлення пожежі площею 0,1 м<sup>2</sup> в межах контрольованої зони, а швидкодія становить лічені секунди, протягом яких визначають розміри загоряння у тривимірній системі координат. Використання мобільних роботів також покращує інформаційне забезпечення пожежі (рис. 2, а). У разі виїзду пожежної бригади з пожежної станції первинна інформація надходить від диспетчера. Дорогою керівник знайомиться з документацією про об'єкт гасіння і після приїзду на місце пожежі проводить огляд місця і опит очевидців, а також розвідку.



**Рис. 1. Скорочення часу виявлення і початку гасіння пожежі під час використання мобільних пожежних роботів**

У випадку об'єктів, на яких є власні пожежні бригади або на місці виникнення пожежі встановлено технічні засоби виявлення пожежі, диспетчер має повнішу об'єктивну інформацію про пожежу. Можливий безпосередній огляд місця пожежі (рис. 2 б). За наявності засобів комунікації на місці пожежі, диспетчер має змогу безпосередньо опитати очевидців. Відповідно час вільного горіння скорочується, а ефективність розвідки вогнища пожежі

збільшується. У разі використання мобільних роботів виявлення вогнища пожежі та його огляд проводиться одночасно (рис. 2 в). За наявності первинних засобів для пожежогасіння можлива безпосередня локалізація пожежі. Під час розвідки з допомогою робота можна проводити моніторинг перебігу пожежі, а під час гасіння – використовувати в особливо небезпечних місцях.

Ефективність використання мобільних роботів безпосередньо залежить від їх конструктивної досконалості та пристосованості до умов експлуатації. Сьогодні для пожежогасіння здебільшого використовують мобільні роботи з гусеничними рушіями. Тому дослідження гусеничних машин і їх рушіїв є актуальні. Огляд і аналіз науково-технічних праць з функціонування гусеничних машин і патентної літератури з конструкції їх рушіїв дав такі результати [10-18]:

1. Розроблено теорію гусеничного рушія у питаннях кінематики нерозтяжного ободу, кочення опорного катка по рівній основі, втрати потужності в рушіїві і взаємодії опорної гілки з ґрунтом. Розглянуто проблеми довговічності гусеничного рушія, динаміки взаємодії гусениць з напрямними й опорними катками, тяговим колесом, стійкості ободу.
2. Експериментально досліджено вплив тиску на ґрунт гусеничної машини і її взаємозв'язок з опором руху. Важливими є дослідження впливу конструкції ходової системи на характеристики ґрунту і, відповідно, на прохідність. Але такі дослідження проведені не для всіх поширених варіантів конструкцій.
3. Проаналізовано процес навантаження підшви гусеничної ланки (трака). Але не наведено аналітичних залежностей для конструкторського розрахунку.
4. Встановлено наявність вібрацій корпусу гусеничної машини, що відбуваються з "траковою" частотою, причиною яких є взаємодія гусеничного ланцюга з елементами ходової системи і ґрунтом. Але відсутній математичний опис цього процесу.
5. Для деяких із виявлених проблем запропоновано конструктивне рішення на рівні винаходів і патентів, але не доведено ефективність цих розробок.

На основі проведеного огляду літературних джерел, пов'язаних з удосконаленням роботи гусеничних машин, можна також запропонувати способи поліпшення її функціонування (рис. 3).

Конструктивними прикладами може бути використання модульного компоновальника або багатосекційності машини. Це дає змогу ефективно використовувати потужність силової установки в перехідних режимах руху (розгін, гальмування) і за важких умов експлуатації (низька несуча здатність ґрунту, застрягання). Варіантом поліпшення прохідності є використання еластичних розширювачів траків. Використання пружних елементів у зірочках зменшує динамічні навантаження у трансмісії, покращує плавність руху машини. Застосування гумометалевих шарнірів зменшує їх зношення і покращує

щусе точність взаємодії елементів "трак-тягова зірочка". Перекриття ґрунтозацепом одного трака ґрунтозацепу наступної ланки дають змогу усунути ефект "гранованого колеса", підвищити плавність руху, зменшити динамічні навантаження на гусеничний рушій. Вібротрамбування ґрунту в колії руху гусеничної машини підвищує прохідність.

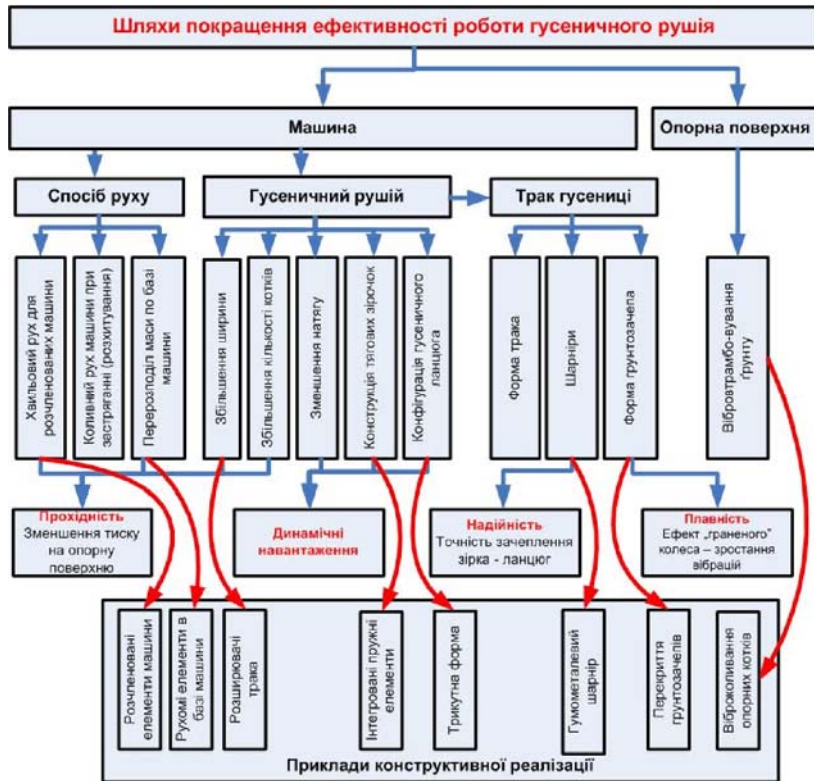


Рис. 3. Можливі шляхи покращення ефективності роботи гусеничного рушія

У Національному університеті "Львівська політехніка" було створено експериментальний прототип пожежного робота (рис. 4). Під час проектування прототипу враховували функціональну і конструктивну уніфікацію робота на основі його модульного компонування. У конструкції робота задіяно модулі: дистанційно керовану транспортну платформу; бортову відеосистему; систему управління і передачі даних; пульт оператора із засобами управління, збирання, збереження і оброблення відеоданих.

Рух мобільного робота забезпечується гусеничним рушієм (рис. 5). Привод на праву і ліву гусениці незалежний, складається з триступеневого редуктора й електричного двигуна постійного струму. Живлення приводів здійснюється від автомобільної акумуляторної батареї. Привідні катки встановлено спереду платформи, натяжні катки – ззаду. Така конструкція приво-

ду за невеликої ваги платформи (36 кг) забезпечує високі швидкісні характеристики (швидкість руху – до 1,5 м/с). Базові елементи трансмісії є взаємозамінними. Наступним кроком є розроблення типоряду базових елементів. Іншою особливістю створення прототипів пожежних роботів було узгодження характеристик роботів з умовами, в яких вони працюватимуть, включаючи технічне обладнання (канали зв'язку, передачу відеозображення).



Рис. 4. Експериментальні прототипи роботів

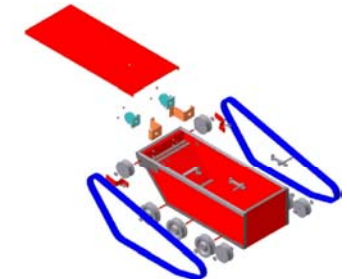


Рис. 5. Конструкція експериментального робота

На прототипі мобільного робота встановлено кольорову відеокамеру (1/3; 3,6 мм; 0,5 люкс), яка передає дані по вбудованому радіоканалу. Прийнятий відеосигнал оцифровується за допомогою пристрою USB CAP 100, після чого отримані дані опрацьовують на персональному комп'ютері (доцільно використовувати малогабаритний ноутбук). Управління пожежним роботом здійснюють на окремому командному радіоканалі, радіус дії – до 40 м. Для введення і оброблення відеоданих, а також для управління роботом використовують нову програмну платформу фірми "Електронні системи" – HUNTER-M, основне призначення якої – інтеграція інтелектуальних засобів відеоспостереження [19].

У системі реалізовано алгоритми управління за допомогою оброблення відео: автоматичної зупинки перед перешкодою; задавання напрямку руху платформи за допомогою лазерного маркера.

**Висновки.** Підвищення рівня пожежної безпеки, зменшення ризику пожеж до соціально прийняттого рівня, скорочення кількості загиблих і травмованих людей внаслідок пожеж, а також зниження втрат від пожеж досягається за рахунок використання нових технологій, таких як пожежні мобільні роботи.

Ефективність використання пожежних мобільних роботів повинна враховувати також їх економічну ефективність. Для її підвищення необхідно здійснити такі розрахунки:

- 1) попереднє визначення економічної ефективності під час підготовки річних і перспективних планів, а також обґрунтування варіантів нових технічних рішень у сфері пожежної охорони;
- 2) визначення майбутньої економічної ефективності завдяки виконанню технічних наукових робіт на стадії підготовки технічних завдань, технічного проекту і документації;

3) визначення фактичної економічної ефективності на основі результатів наукових досліджень, початкового виробництва, а також забезпечення відповідного якісного рівня.

Для забезпечення високих результатів наукових досліджень у цьому напрямі визначено тенденції і намічено шляхи досліджень. Результатом таких досліджень є створення експериментального зразка пожежного робота.

### Література

1. Методика оценки деятельности аппаратов государственного пожарного надзора. – М.: Изд-во ВНИИПО МВД СССР, 1977. – 61 с.
2. Брушлинский Н.Н. Экономическая оценка эффективности деятельности объектовой пожарной охраны / Н.Н. Брушлинский, Г.М. Калинин, Н.А. Присяжнюк // Подготовка кадров и противопожарная защита: сб. научн. тр. – Ленинград, 1990. – С. 56-59.
3. Лапин А.П. Оценка эффективности влияния деятельности пожарной охраны на обстановку с пожарами / А.П. Лапин, С.Е. Лукшин. – М.: Изд-во ВНИИПО. – 1997. – № 4. – 182 с.
4. Брушлинский Н.Н. О критериях эффективности и качества функционирования пожарной охраны / Н.Н. Брушлинский, Н.Н. Соболев // Вопросы экономики в пожарной охране: сб. научн. трудов. – М.: Изд-во ВНИИПО МВД СССР. – 1978. – Вып. 7. – С. 3-9.
5. Соболев Н.Н. Возможности использования регрессионных моделей для оценки эффективности деятельности пожарной охраны / Н.Н. Соболев // Вопросы экономики в пожарной охране. – М.: Изд-во ВНИИПО МВД СССР. – 1980. – Вып. 8. – С. 69-75.
6. Sulojeva J. Methods of Evaluation of Fire-Fighting Economic Effectiveness in Latvia / J. Sulojeva // Summary of the doctorate paper. – R.: RTU, 2010. – 40 p.
7. Zinko Roman. Usage of robots for the increasing the effectiveness of the fire protection / Roman Zinko, Jelena Sulojeva // International scientific conference: 52th Riga Technical University Conference SCEE'2011 "Scientific Conference on Economics and Entrepreneurship" October 7th, 2011, Riga, Latvia.
8. Zinko R. Usage of Robots for the Increasing the Effectiveness of the Fire Protection / R. Zinko, V. Jemeljanovs, J. Sulojeva // Scientific Journal of RTU. 15. series., Tehnogēnās vides drošība. – 2011. – Vol. 1. – Pp. 74-80.
9. Зінько Р.В. Мобільні роботи в системі пожежної охорони / Р.В. Зінько, С.В. Сулоєва // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.17. – С. 132-138.
10. Антонов А.С. Армейские гусеничные машины. – М.: Воениздат. – 1973. – Ч. 2, – 397 с.
11. Львов Е.Д. Теория трактора. – М.: Изд-во "Машгиз", 1960. – 252 с.
12. Никитин А.О., Сергеев Л.В. Теория танка. – М.: Изд. акад. БТВ, 1962. – 578 с.
13. Гусеничные транспортеры-тягачи / под ред. В.Ф. Платонова. – М.: Изд-во "Машиностроение", 1978. – 145 с.
14. Баженов, С.П. Основы теории гусеничных машин: учебн. пособ. / С.П. Баженов. – Липецк: Вид-во ЛГТУ. 2006. – 278 с.
15. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств / Дж. Вонг: пер. с англ. – М.: Изд-во "Машиностроение", 1982. – 284 с.
16. Торба А.В. О применении вибрации для повышения проходимости гусеничных транспортных средств по глубокому снегу / А.В. Торба // Вестник Череповецкого ГУ. – Череповец: Изд-во ЧГУ. – 2011. – № 3.1. – С. 101-105.
17. Кузьо І.В. Моделювання руху розчленованих транспортних засобів / І.В. Кузьо, Р.В. Зінько // Вібрації в техніці і технологіях. – 2012. – № 2(66). – С. 42-49.
18. Патент 2371345 РФ, МКИ В62D55/24. Трак гусеничної цепи / В.А. Коваленко, М.А. Давлетова, № 2007119344/11; Заявл. 24.05.2007; Опубл. 27.10.2009. – 6 с.
19. Шаров Б.В. Прототип мобільного охоронного робота з системою технічного зору / Б.В. Шаров, О.Н. Маковейчук, Р.В. Зінько // Машинознавство. – 2007. – № 11(125). – С. 45-47.

**Зінько Р.В., Сулоєва Е.В. Экономическая эффективность пожарной охраны при использовании мобильных роботов**

Определены основные составные методики расчета эффективности пожарной охраны с учетом новых тенденций, которые используются в тактике гашения пожаров, такие как гусеничные мобильные роботы. Предложенные пути совершенствования мобильных роботов повысят эффективность их использования, что повысит эффективность пожарной охраны.

**Ключевые слова:** экономическая эффективность, пожары, мобильные роботы, пожарная охрана.

### **Zinko R.V., Sulojeva Ye.V. Economic efficiency of fire guard at the use of mobile robots**

Certainly basic component methods of calculation of efficiency of fire prevention taking into account the new tendencies of extinguishing of fires. To such tendencies the use behaves caterpillar mobile works. The ways of perfection of mobile robots are offered will promote their efficiency of the use. It positively will be marked on efficiency of fire prevention.

**Keywords:** economic efficiency, mobile robots, fires, fire prevention.

УДК 517.945

Доц. В.П. Каращевський, канд. техн. наук –  
НЛТУ України, м. Львів

### **ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ДВОВИМІРНИХ ВИХРОВИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Виведено основні формули методу кінцевих елементів для розрахунку двовимірних статичних вихрових магнітних полів в областях, заповнених нелінійними безгістерезисними анізотропними середовищами з використанням лагранжевих трикутників, кубатурних формул чисельного інтегрування та врахуванням граничних умов Неймана і Дирихле.

**Ключові слова:** вихрове магнітне поле, магнітна характеристика, лагранжевий трикутник, метод кінцевих елементів, кубатурна формула, граничні умови.

Рішення тривимірних краєвих задач розрахунку магнітного поля [1] із достатньо задовільною точністю можна отримати шляхом зведення тривимірного магнітного поля до двовимірного, тобто без врахування зміни поля в одному напрямку.

Для краєвої задачі розрахунку вихрового магнітного поля, що описується рівняннями

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J}, \quad (1)$$

$$\vec{B} = \operatorname{rot} \vec{A}, \quad (2)$$

в плоскій області  $D$  функціонал  $F$  представлено у вигляді

$$F = \int_S (W - C) dS, \quad (3)$$

де:

$$W = \int_0^{\vec{B}} \vec{H} d\vec{B}; \quad (4)$$

$$C = AJ; \quad (5)$$

$A, J$  – нормальні до площини  $D$  проекції векторного магнітного потенціалу  $\vec{A}$  і густини струму  $\vec{J}$ ;  $\vec{H}, \vec{B}$  – розміщені в площині  $D$  вектори напруженості магнітного поля і магнітної індукції;  $S$  – площа області  $D$ .