

УДК 623.4.01

В. П. Пісарєв, А. П. Горбунов

## СУЧАСНА МЕТОДОЛОГІЯ ПРИКЛАДНОГО ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ХОДОВИХ ЧАСТИН ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

*Розглянуто характерні проблемні питання, що виникають при створенні та модернізації складних механічних систем.*

**Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що будь-який процес проектування має ітераційний характер. Як правило, перше, наближене на основі аналогій і спрощених аналітичних залежностей визначення параметрів виробу, що проектується, не є остаточним. Воно не містить у більшості випадків конкретних відповідей щодо ряду питань (особливо для таких складних систем, як "водій – машина – дорога"). Проте перше наближення, до якого входить формулювання вимог (визначення прийнятних меж змінних проектування і стану), є вельми важливим щодо алгоритму прикладного оптимального проектування ходової частини. Чим ближче до бажаного перше наближення, тим менше ітерацій буде потрібно у процесі проектування.

Відомо також, що технічна розробка складної механічної системи (формалізований підхід до розробки багатомірних систем, наприклад, ходових частин швидкохідних транспортних засобів) починається з визначення потреб споживача, який зазнає певних труднощів щодо їх кількісного формулювання. У зв'язку з цим визначення змісту цільових функціоналів виконують сумісно розробник і споживач. Вибрані та кількісно визначені функції системи є завданнями нижчого рівня розробки підсистем. На наступному етапі проектування визначаються межі параметрів, у яких система виконуватиме функції, визначені на попередньому кроці.

У випадку прикладного оптимального проектування виконують оптимізацію параметрів у межах, визначених технологічними обмеженнями і призначенням системи [1, 5]. Очевидно, що поки процедура проектування не буде достатньо ефективною, запропонована розробником система не задовольнятиме споживача. Отримавши результати чергової процедури проектування, споживач звертає увагу на обмеження, котрі він не врахував раніше. Окрім того споживач намагатиметься зменшення витрат, знижуючи, у межах можливого, рівень якості системи. Така процедура продовжується, доки споживач не вирішить, що запропонована система його задовольняє.

Ефективність процесу проектування визначається можливістю на будь-якому кроці ітераційного процесу оцінювати якість проекту (за умов наявності відповідного інструментарію технології прикладного оптимального проектування, необхідних параметрів оцінки ходових частин швидкохідних транспортних засобів та з урахуванням сучасної тенденції до автоматизації робочих процесів).

Відносно інструментарію для вирішення задач створення ходових частин – сьогодні потрібні адекватні математичні моделі не тільки робочих процесів, що відбуваються безпосередньо у колісних або гусеничних рушіях та підвісках, а і адекватні математичні моделі, що описують процес працездатності й відображають ефективність системи "водій – машина – дорога".

У кожному конкретному випадку сумісної роботи розробника та замовника мають місце специфічні аспекти, що потребують урахування при розробці алгоритму проектування. Вони, у свою чергу, залежать від особливостей (параметрів) об'єкта (виробу) та перспектив його використання.

Сказане повною мірою стосується створення або удосконалення ходової частини колісної машини, у тому числі бойової, на основі технології прикладного оптимального проектування.

**Метою статті** є висвітлення основних питань, що стосуються проблеми прикладного оптимального проектування ходових частин транспортних засобів та визначення шляхів їх вирішення.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо один з можливих варіантів взаємовідносин розробника та споживача (замовника) у процесі створення або модернізації сучасних систем підресорювання ходової частини бойової колісної машини з параметрами, близькими до БТР-60.

Замовник на першому етапі – формулювання вимог і цілей та визначення прийнятних меж змінних проектування і стану, виходить з того, що ходова частина повинна забезпечувати певну комфортність водія та бойового підрозділу при русі по рівнинних дорогах з середнім профілем мікронерівностей опорної поверхні. Іншими словами, рівень прискорень екіпажу не повинен перевищувати припустиму

величину, що впливає на якість дій екіпажу на марші та після прибуття у визначений район. При цьому замовник бажає мати транспортний засіб з певними характеристиками плавності ходу, з конкретним рівнем прискорень на місці водія в діапазоні швидкості руху 5 ... 120 км/год по дорозі, мікропрофіль якої – довжина/висота нерівності в метрах, представлений гармонічними нерівностями: 2,6/0,025; 4,044/0,03; 5,48/0,036; 6,93/0,041; 8,37/0,047; 9,82/0,052; 11,26/0,058; 12,71/0,063; 14,15/0,069; 15,6/0,075.

Як правило, за такими вихідними даними розробник може виконати завдання, використовуючи математичні моделі у вигляді спрощених аналітичних залежностей [2, 4], що значно прискорює отримання результатів.

Останні для режиму сталого руху наведені на рис. 1 у вигляді сім'ї кривих.

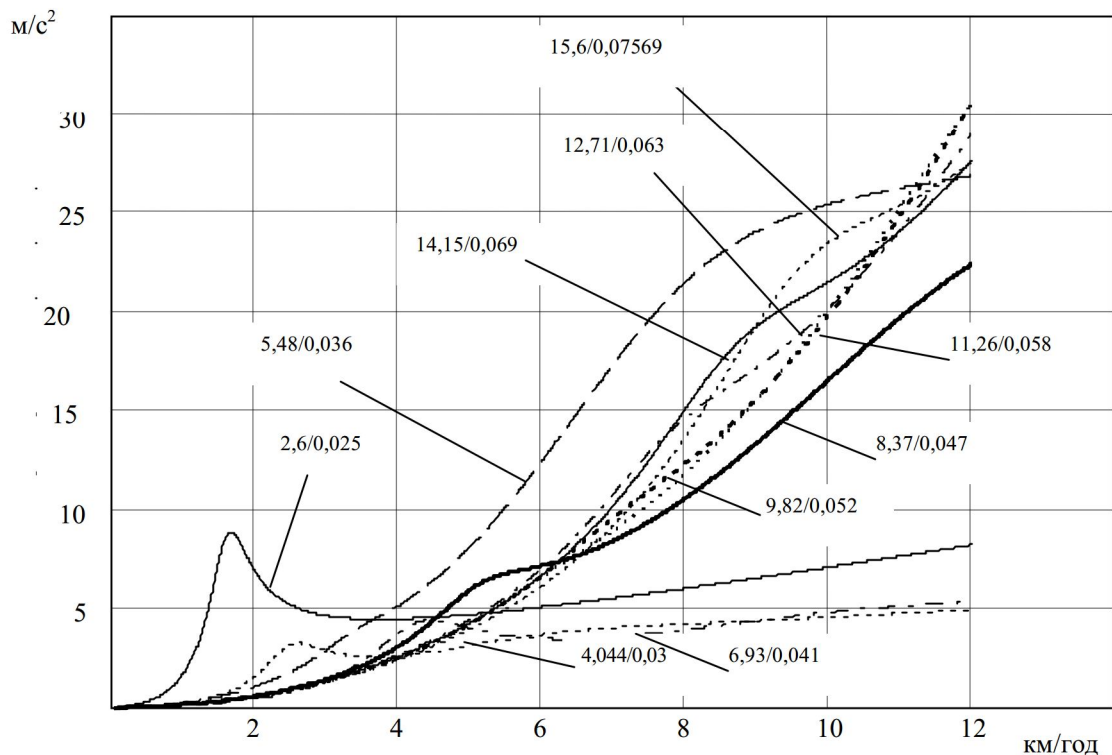


Рис. 1. Максимальні прискорення на місці водія для режиму сталого руху

Необхідно зазначити, що застосування спрощених аналітичних залежностей має сенс у будь-якому випадку, коли це обґрунтовано, а не тільки на першому етапі проектування.

Припустимо, що склалася ситуація, коли після отримання результатів, їх аналізу і обговорення, замовник виявив бажання створити транспортний засіб, придатний для експлуатації не тільки на рівнині, а і в гірських умовах. У такому разі необхідно оцінити якість ходової частини для цих умов і витрати за критерієм “якість – ціна”.

При розв’язуванні такої задачі застосування спрощених аналітичних залежностей не дозволяє отримати необхідні результати, тому що аналітичні залежності не враховують нелінійний характер (для певних значень змінних стану) зв’язків коліс з опорною поверхнею та корпусом машини.

Потрібна математична модель, що враховуватиме суттєві особливості об’єкта дослідження: односторонній характер зв’язків коліс з опорною поверхнею (можливий режим руху з відривом коліс від опорної поверхні); режим руху, при якому виникають пробої підвіски (упирання важелів підвіски у пружний упор – обмежувач ходу); нелінійний та неоднаковий непружний гідравлічний опір амортизаторів на прямому та зворотному ходах.

За результатами чисельного експерименту необхідно оцінити не тільки рівень прискорень на місці водія, а і навантаженість елементів конструкції ходової частини у динаміці, з урахуванням ударного характеру процесу навантаження за певних умов [3].

Як приклад на рис. 2 і 3 наведено результати розрахунків зусиль у точці контакту колеса з опорною поверхнею. Вони мають вигляд осцилограм перехідних робочих процесів, що виникають у ходовій частині при подоланні на швидкості 45 км/год ступінчастої перешкоди – зниження рівня опорної

поверхні на 0,4 м. Осцилограми дозволяють, зокрема, оцінити навантаження основних елементів підвіски: торсіонів, гідравлічних амортизаторів, упорів.

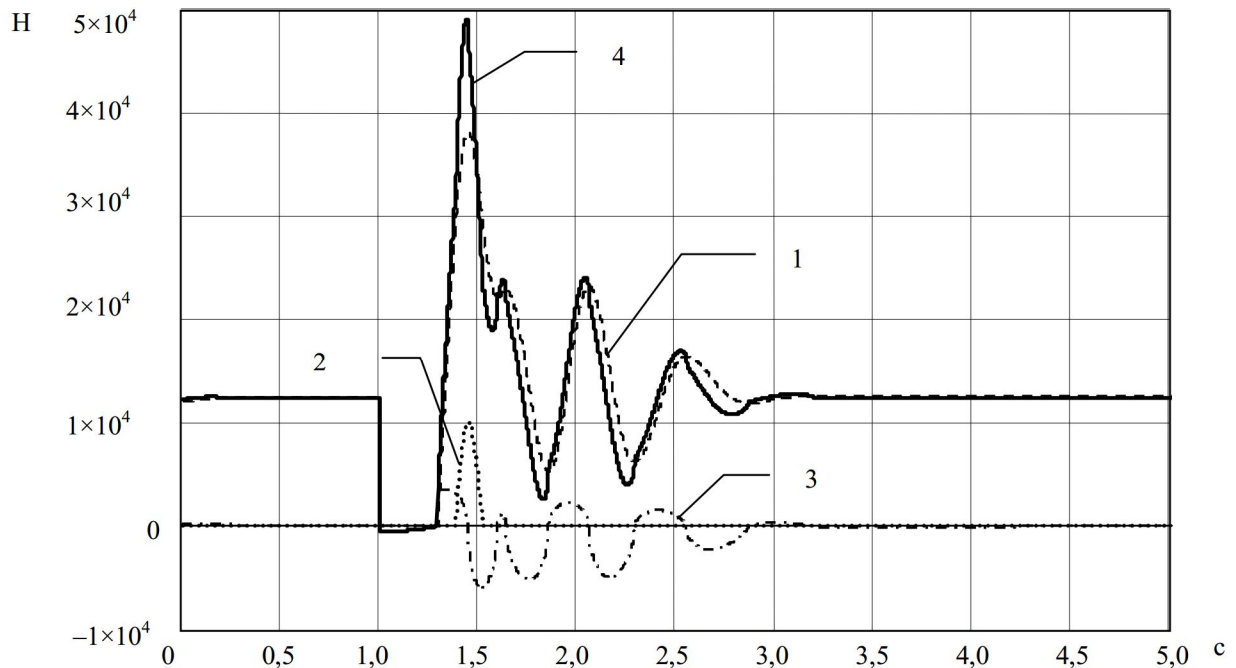


Рис. 2. Зусилля у точці контакту першого колеса з опорною поверхнею:  
1 – від закрутки торсіона; 2 – від деформації упора; 3 – від гідравлічних амортизаторів;  
4 – сумарне

Аналіз показав, що саме передні (перші) і задні (четверті) колеса по ходу машини у такому режимі найбільш навантажені.

Результати розрахунків прискорення на місці водія для зазначеного режиму руху наведено на рис. 4.

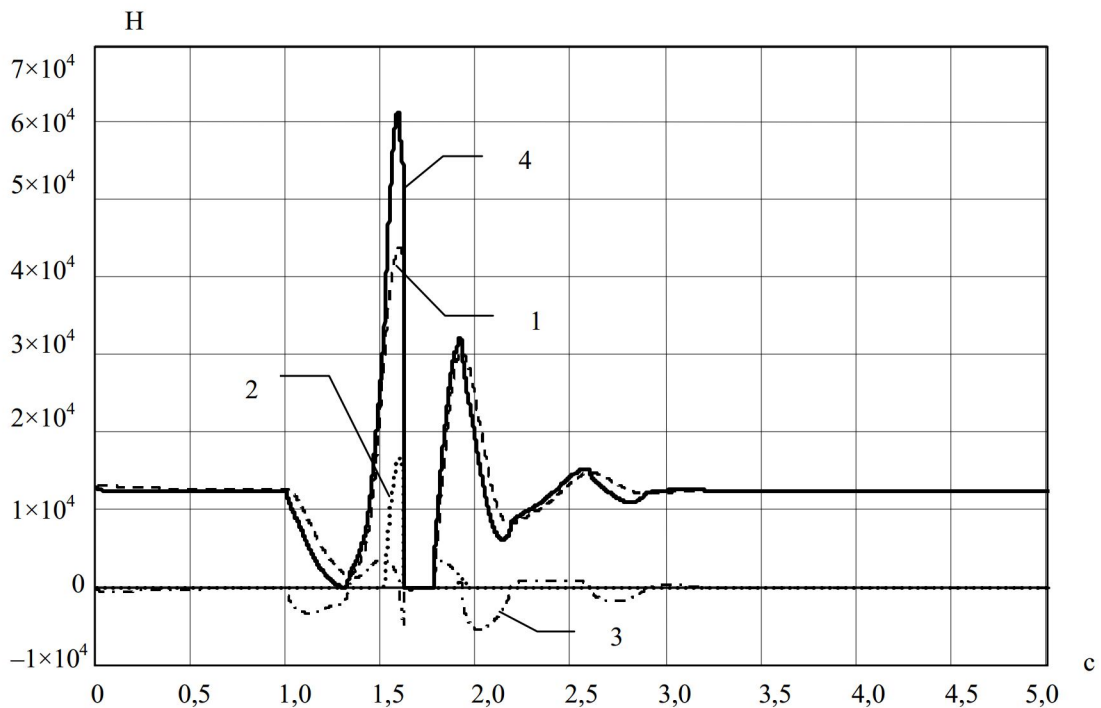


Рис. 3. Зусилля у точці контакту четвертого колеса з опорною поверхнею:  
1 – від закрутки торсіона; 2 – від деформації упора; 3 – від гідравлічних амортизаторів;  
4 – сумарне

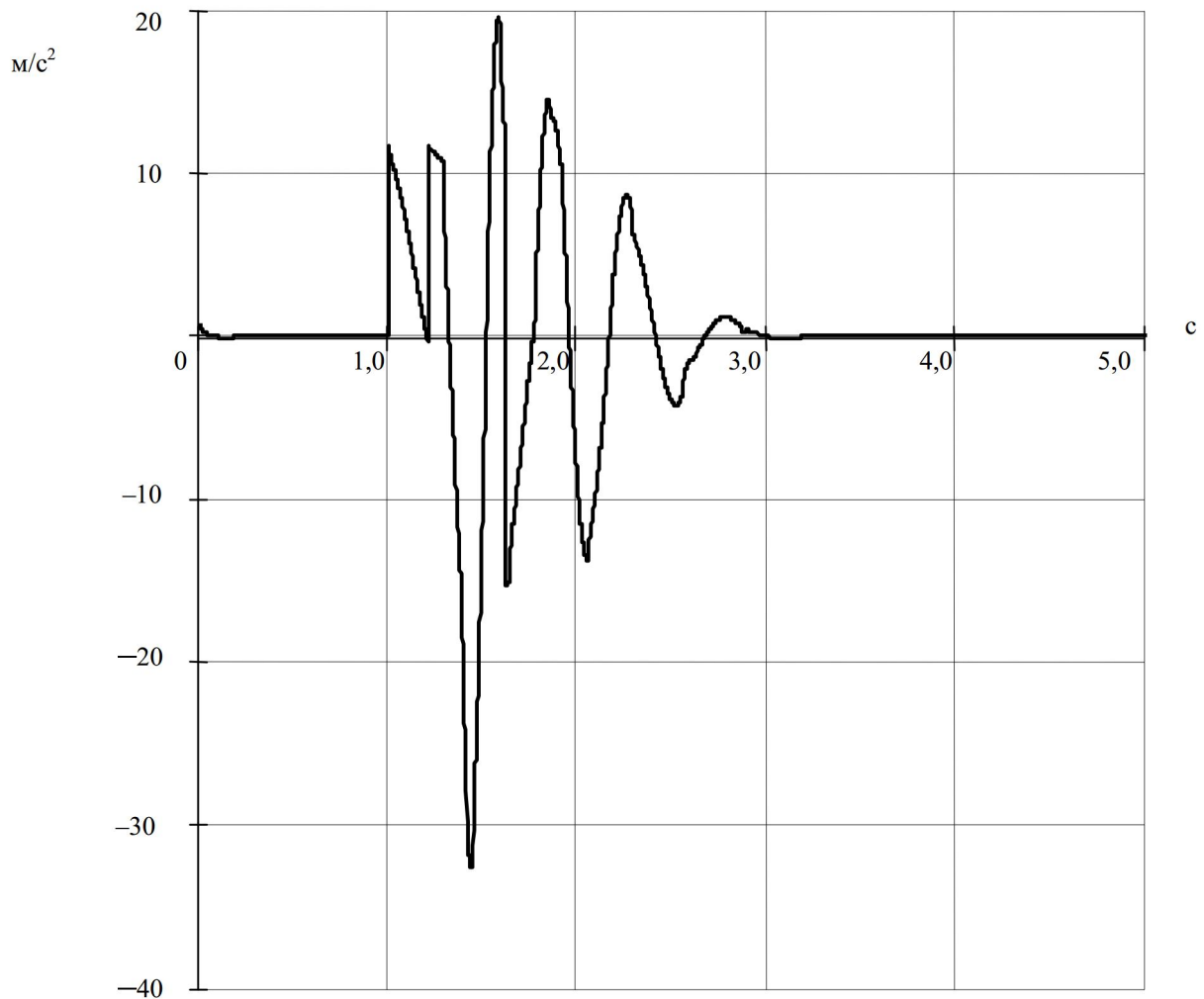


Рис. 4. Прискорення на місці водія

Після обговорення результатів чергової процедури проектування замовник може дійти висновку, що запропонована розробником ходова частина повністю задовольняє щодо якості, проте не задовольняє щодо витрат. У такому випадку проектування може бути або продовжене, або припинене. У разі продовження розробникові знадобиться застосовувати існуючі математичні моделі об'єкта дослідження, які будуть враховувати більшу кількість параметрів, або розробити нові моделі. Можливий інший варіант, коли замовника задовольнить варіант зниження рівня якості, наприклад, за рахунок обмеження здатності до подолання поодиноких перешкод певної висоти, виходячи з критерію “якість – ціна”. І у цьому випадку також потрібні адекватні математичні моделі, що дозволятимуть розв'язувати задачі обчислення припустимих режимів руху в процесі експлуатації, зокрема для розробки інструкцій з експлуатації.

Алгоритм створення ходової частини транспортного засобу відповідно до технології прикладного оптимального проектування у загальному вигляді наведений на рис. 5.

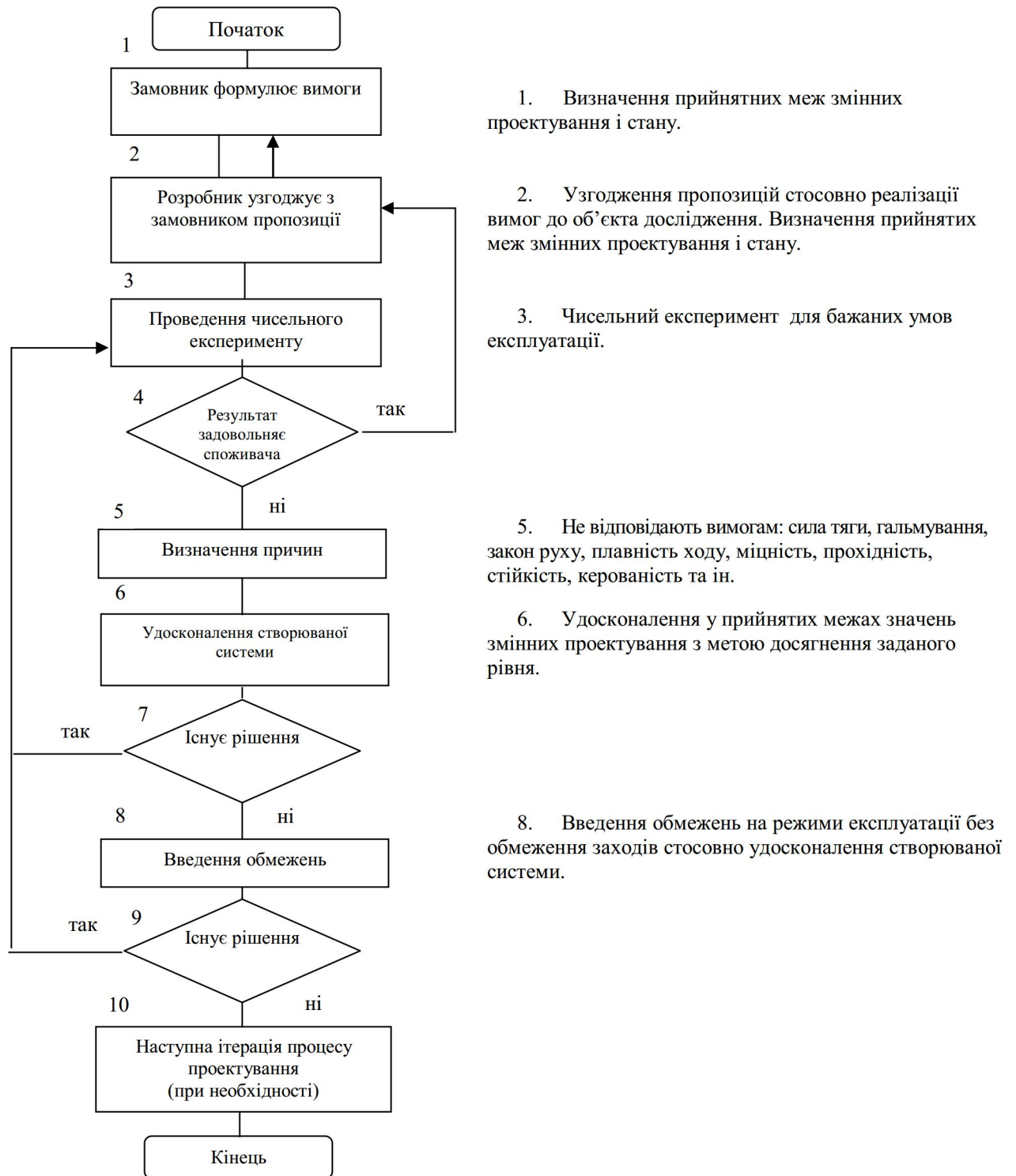


Рис. 5. Алгоритм прикладного оптимального проектування ходової частини

### Висновки

1. Створення та удосконалення складних матеріальних об'єктів вимагають сьогодні комплексного, системного підходу до розв'язання поточних задач у межах технології прикладного оптимального проектування.

2. Процедура проектування може бути достатньо ефективною за умови наявності відповідного інструментарію – якісних, з високим ступенем адекватності, математичних моделей робочих процесів

системи “водій – машина – дорога” та необхідного програмного забезпечення.

3. Для розв’язання задачі створення інструментарію у межах технології прикладного оптимального проектування ходових частин транспортних засобів, зокрема бойових колісних машин, необхідно продовжувати теоретичні та експериментальні дослідження. Наразі розробка інструментарію для комплексного рішення хоча б типових завдань знаходиться на початковому етапі та потребує більш детального відпрацювання.

#### **Список використаних джерел**

1. Пісарєв В. П. Устойчивость гусеничного движителя быстроходного транспортного средства / В. П. Пісарєв. – Х.: ХГПУ, 1997. – С. 61–69.
2. Пісарєв В.П. Перспективи модернізації ходової системи броньованих колісних машин / В. П. Пісарєв, О. А. Бутов // Зб. наук. пр. Акад. внутрішніх військ МВС України. – Вип. 1 (1). – Х. : Акад. внутрішніх військ МВС України, 2003. – С. 4–5.
3. Пісарєв В. П. Динамічне навантаження елементів конструкції ходової частини багатівісних колісних машин високої прохідності / В. П. Пісарєв // Зб. наук. пр. Акад. внутрішніх військ МВС України. – Вип. 1 – 2 (7 – 8). – Х. : Акад. внутрішніх військ МВС України, 2006. – С. 12–15.
4. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля / Р.В. Ротенберг. М. : Машиностроение, 1972. – С. 51–54.
5. Хог Э. Прикладное оптимальное проектирование. Механические системы и конструкции : Пер. с англ. / Э. Хог, Я. Арора. – М. : Мир, 1983. – 478 с.

*Стаття надійшла до редакції 19.11.2008 р.*