

УДК 629.11

САХНО В.П., д.т.н., професор; КОРПАЧ О.А., асистент,  
Національний транспортний університет, м. Київ

## ДО ОПТИМІЗАЦІЇ РЯДУ ПЕРЕДАТОЧНИХ ЧИСЕЛ ТРАНСМІСІЇ АВТОМОБІЛЯ

*В статті проведено постановку задачі з оптимізації передаточних чисел трансмісії автомобіля з метою покращення його експлуатаційних властивостей.*

**Ключові слова:** критерії оптимізації, передаточні числа, параметри об'єкта оптимізації, трансмісія автомобіля

### Постановка проблеми

Оптимізація конструктивних параметрів автомобіля є одним з найбільш важливих шляхів підвищення технічного рівня, продуктивності, економічності й ефективності використання автомобілів. Процес оптимізації лежить в основі всієї інженерної діяльності, оскільки класичні функції інженера полягають у тому, щоб, з одного боку, проектувати нові, більш ефективні і менш дорогі технічні системи і, з іншого боку, розробляти методи підвищення якості функціонування існуючих систем.

Вибір передаточних чисел трансмісії – задача, що завжди виникає в процесі проектування автомобіля. Проте, точних розрахункових способів її вирішення не існує. Тому конструктор змушений використовувати дані по трансмісіям – аналогам або, виконавши наближені розрахунки і виробивши зубчасті передачі, доводити їх експериментально так, щоб вони найкращим чином забезпечували задані тягово-швидкісні характеристики, паливну економічність та токсичність автомобіля. Проте, це є вкрай економічно не доцільно, і не гарантує дійсно оптимальний вибір передаточних чисел.

### Аналіз останніх досліджень

Питанню вибору раціональних параметрів трансмісії присвячено велика кількість досліджень, серед яких особливої уваги заслуговують роботи Фількіна М.М. [1], Кондрашкіна А.С. [2], Сітовського О.П. [3], Горбахи М.М. [4] та ін.

### Мета статті

Постановка задачі і вибір методів проведення оптимізації ряду передаточних чисел трансмісії автомобіля.

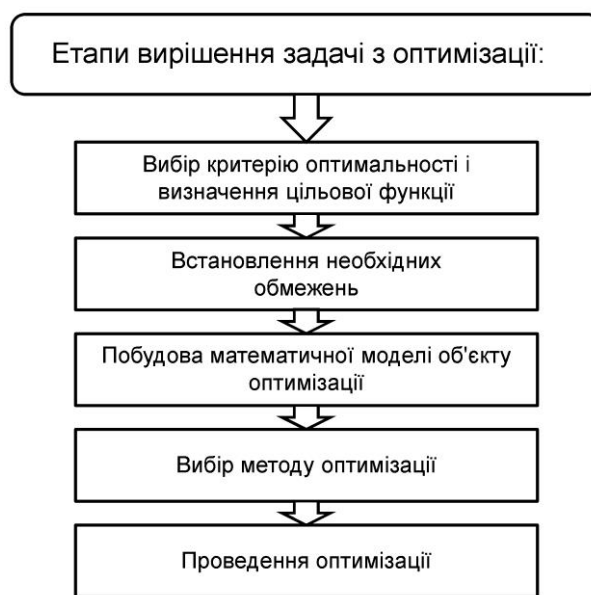
### Основна частина

Оптимізація являє собою сукупність математичних результатів і чисельних методів, орієнтованих на знаходження та ідентифікацію найкращих варіантів з безлічі альтернатив і дозволяють уникнути повного перебору і оцінювання можливих варіантів. Для того, щоб використовувати математичні результати й чисельні методи теорії оптимізації для вирішення конкретних інженерних задач, необхідно встановити межі в інженерній системі, що підлягає оптимізації, визначити характеристичний критерій, на основі якого можна провести аналіз варіантів з метою отримання «найкращого», здійснити вибір внутрішньо-системних змінних, які використовуються для визначення характеристик та ідентифікації варіантів, і, нарешті, побудувати модель, що дозволяє мінімізувати або максимізувати цільову функцію. [5]

Будь-яка задача з оптимізації складається з певних етапів (рис.1) [6]:

- Вибір критерію оптимальності і визначення цільової функції.
- Встановлення необхідних обмежень.
- Побудова математичної моделі об'єкта оптимізації.
- Вибір методу оптимізації.
- Проведення оптимізації.

Критерій оптимальності – ознака, на підставі якого проводиться порівняльна оцінка можливих рішень (альтернатив) і вибір найкращого. Незалежно від того, який критерій вибирається при оптимізації, «найкращому» варіанту завжди відповідає мінімальне або максимальне значення характеристичного показника функціонування системи.



**Рис. 1. Етапи вирішення задачі з оптимізації**

В залежності від кількості критеріїв оптимізації виділяють одно- та багатокритеріальну оптимізацію. Проте, навіть у випадку багатокритеріальної оптимізації всі критерії зводять до одного узагальнюючого або переходять до однокритеріальної оптимізації шляхом введення обмежень, адже неможливо отримати рішення, яке, наприклад, забезпечувало б одночасно максимально можливу швидкість руху автомобіля та мінімальні час і шлях розгону, витрату палива і токсичність відпрацьованих газів. Узагальнюючий критерій може бути представленим у вигляді адитивного критерію, якщо суттєві значення мають абсолютні значення критеріїв при вибраному векторі параметрів, мультиплікативного критерію, якщо суттєву роль грає зміна абсолютних значень часткових критеріїв при варіації вектору параметрів та мінімаксному (максимінному) критерію, якщо стоїть задача досягнення рівності нормованих значень суперечливих критеріїв при варіації векторів параметрів.

Вимоги, які ставляться до критерію оптимізації:

1. Критерій оптимальності має виражатися кількісно.
2. Критерій оптимальності має бути єдиним (або узагальнюючим).
3. Критерій оптимальності має мати зрозумілу фізичну суть та бажано легко розраховуватися.

В якості критерію оптимальності при оптимізації експлуатаційних властивостей доцільно обрати прискорення, час і шлях розгону до заданої швидкості, максимальний підйом, що долається, на першій та останній передачі, середня швидкість руху на дорозі змінного поздовжнього профілю, середня швидкість руху на асфальтобетонній дорозі і дорозі з перехідними типами покриття, опір якої задано ймовірнісним законом розподілу, контрольна витрата палива, середня витрата палива в заданих умовах руху, витрата палива при усталеному русі з різними швид-

костями, витрата палива у міському їздовому циклі, витрата палива на асфальтобетонній дорозі та дорозі з перехідними типами покриття, сумарну приведену токсичність до CO, тощо.

Складність вибору цільової функції полягає в тому, що будь-який технічний об'єкт, автомобіль у тому числі, має векторний характер критеріїв оптимальності (багатокритеріальність). Причому, поліпшення одного з вихідних параметрів, як правило, призводить до погіршення іншого, тому що всі вихідні параметри в більшому або меншому ступені є функціями тих самих керованих параметрів і не можуть змінюватися незалежно один від одного [2].

В якості цільової функції доцільно використовувати залежності показників експлуатаційних властивостей автомобіля від передаточного числа трансмісії. Наприклад, для оптимізації показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля доцільно використовувати залежність часу розгону автомобіля до максимальної швидкості від передаточного числа на кожній з передач.

Після вибору цільової функції досить важливим є завдання обмежень. Залежно від поводження цільової функції може виникнути необхідність у накладенні функціональних обмежень у вигляді рівностей або нерівностей на вхідні параметри, а також у необхідності проведення нормування, тобто подання керованих параметрів безрозмірними або величинами однієї розмірності.

За необхідності накладення обмежень існує два підходи до розв'язання завдань оптимізації (рис. 2). Перший підхід орієнтовано на пошук безумовного екстремуму функції, тобто визначення максимуму або мінімуму функції, без накладання певних обмежень. Постановка завдання вибору оптимальних параметрів трансмісії автомобіля така, що його можна вирішувати тільки методами нелінійного програмування багатомірного пошуку. Це пояснюється тим, що цільова функція й обмеження описуються нелінійними залежностями від вектора керованих параметрів, для визначення яких застосовують методи безумовної оптимізації, які, в свою чергу, підрозділяють на методи нульового, першого й другого порядку. У методах нульового порядку (прямих методах) використовуються тільки значення самої цільової функції. Для методів першого порядку необхідно обчислювати як значення цільової функції, так і її перші часткові похідні (градієнтні методи). У методах другого порядку пошук екстремуму здійснюється за допомогою значень цільової функції, її перших і других похідних. При цьому необхідно виконати обґрунтований вибір методів умовної або безумовної оптимізації параметрів трансмісії автомобіля, що можуть експлуатуватися у різних дорожніх умовах.



**Рис. 2 Підходи до рішення завдань оптимізації**

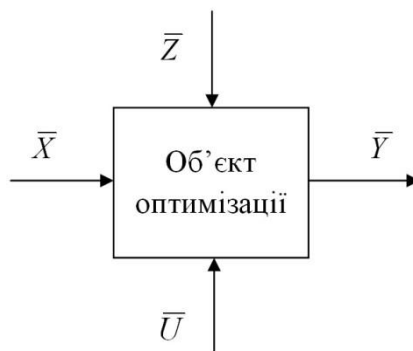
Другий підхід заснований на тому, що завдання оптимізації параметрів трансмісії автомобіля є завданням умовної оптимізації з обмеженнями. При цьому застосування методу штрафних функцій й інших методів дає можливість переходу від умовної оптимізації до завдання безумовної оптимізації.

При оптимізації ряду передаточних чисел трансмісії автомобіля, доцільно використовувати другий підхід, адже зазвичай цільова функція не є функцією однієї змінної.

Проте, ввівши ряд обмежень цільову функцію можна привести до вигляду неперервної уні-модальної функції однієї змінної, а її екстремуми і будуть шуканими оптимальними рішеннями.

Після визначення критеріїв оптимальності та цільової функції, а також накладення необхід-них обмежень наступним етапом є побудова математичної моделі об'єкту оптимізації

Математична модель об'єкту оптимізації може бути представлена у вигляді залежностей вхідних ( $\bar{X}$ ), вихідних ( $\bar{Y}$ ), керованих ( $\bar{U}$ ) та неконтрольованих ( $\bar{Z}$ ) параметрів (рис. 3) У тому випадку, коли вплив на об'єкт оптимізації випадкових процесів незначний, неконтрольо-ваними параметрами можна знехтувати.



**Рис. 3. Параметри об'єкту оптимізації**

При використанні в якості об'єкту оптимізації автотранспортного засобу вхідними параме-трами  $\bar{X}$  можуть бути геометричні, масові параметри автомобіля, енергетичні параметри сило-вої установки, параметри окремих вузлів і агрегатів, параметри, які оцінюють дорожні, кліма-тичні умови тощо. Керованими параметрами  $\bar{U}$  при оптимізації передаточних чисел трансмісії є передаточні числа коробки передач, головної передачі, додаткової коробки. Вихідними пара-метрами  $\bar{Y}$  є показники експлуатаційних властивостей автомобіля.

Об'єкт оптимізації описується за допомогою аналітичних залежностей, що встановлюють необхідні взаємозв'язки між окремими функціональними елементами об'єкту оптимізації та впливу на нього зовнішніх факторів.

В залежності від виду задачі, що вирішується, обирається необхідний метод оптимізації.

Постановка задачі оптимізації ряду передаточних чисел трансмісії автомобіля така, що піс-ля переходу від багатомірної оптимізації, шляхом введення обмежень, доцільно використовувати методи глобальної одномірної оптимізації.

До методів одномірної оптимізації належать: методи виключення інтервалів (метод рівно-мірного пошуку, метод ділення інтервалу навпіл, метод золотого січення та ін.), методи поліно-міальної апроксимації (квадратична апроксимація, метод Пауела), методи з використанням по-хідних (метод Ньютона-Рафсона, метод середньої точки, метод січних) тощо [5].

Серед всіх наведених методів одномірної оптимізації при визначенні рядів передаточних чисел трансмісії автомобіля при використанні двигунів різної потужності найбільш доцільно використовувати методи виключення інтервалів, адже вони не потребують додаткової апрокси-мації цільової функції та не потребують можливості її диференціювання, що в деяких випадках неможливо.

## Висновки

Оптимізація будь-якої технічної системи, в тому числі й автомобіля, дозволяє ще на етапі проектування визначити і обрати такі параметри, які б забезпечували найкращі економічні, фу-

нкціональні та експлуатаційні властивості. В результаті значно знижуються витрати і підвищується ефективність спроектованої конструкції.

### Список літератури

1. Филькин Н.Н. Оптимизация передаточных чисел и количества ступеней трансмиссии легкового автомобиля: автореф. дис. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук: спец. 05.05.03 «Двигатели и энерг. установки» / Н.Н. Филькин – М., 1990. – 21 с.
2. Кондрашкин А.С. Методика оптимизации параметров энергосиловой установки автомобиля / А.С. Кондрашкин, Н.М. Филькин, В.Ю. Сальников // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 4. – С. 32 – 33.
3. Сахно В.П., Сітовський О.П. До визначення передаточних чисел коробки передач легкового автомобіля підвищеної прохідності малого класу / В.П. Сахно, О.П. Сітовський // АВІА –2001. III Міжнародна наукова конференція (24-26 квітня 2001 року, Київ, Україна). – Збірник наукових праць. – Том 4. – С. 156 – 159.
4. Горбаха М.М. Покращання показників техніко-експлуатаційних властивостей автомобілів при їх переобладнанні. Автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.02 / М.М. Горбаха; Нац. трансп. ун-т. — К., 2006. — 20 с. — укр.
5. Реклейтис Г. Оптимизация в технике. Том 1 / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел. – М.: Мир, 1986. – 348 с.
6. Рейзлин В.И. Численные методы оптимизации / В.И. Рейзлин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 105 с.

**Сахно В.П., Корпач А.А. К оптимизации ряда передаточных чисел трансмиссии автомобиля**

***Аннотация.** В статье проведена постановка задачи по оптимизации передаточных чисел трансмиссии автомобиля с целью улучшения его эксплуатационных свойств.*

***Ключевые слова:** критерии оптимизации, передаточные числа, параметры объекта оптимизации, трансмиссия автомобиля*

### **Sakhno V.P., Korpach O.A. To optimization vehicle transmission ratios**

***Abstract.** The article provides formulation of the problem of optimization vehicle transmission ratios to improve its performance properties.*

***Keywords:** optimization criterion, transmission ratios, parameters of the object optimization, vehicle transmission*

*Стаття надійшла до редакції 25.02.2014 р.*