

*М.Є. СЕРГІЄНКО, Б. Г. ЛЮБАРСЬКИЙ, М. І. ПАСТУЩИНА, С.О. ГУБСЬКИЙ, О. В. КОСАРЕВ*

### **МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ АВТОМОБІЛЯ ПРИ УПРАВЛІННІ ПОТУЖНІСТЮ СПОЖИВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ**

Проведено аналіз досліджень в напрямку підвищення ефективних показників ДВЗ автомобіля. Визначені основні потоки, види витрат потужності ДВЗ і шляхи підвищення його ефективної потужності. Проаналізовано вплив швидкісного режиму роботи навісного обладнання на витрати потужності в залежності від умов руху автомобіля. Досліджено зміни динамічних показників автомобіля при управлінні потоками потужності ДВЗ на привід ведучих коліс та навісного обладнання. Розроблено модульну схему управління режимами роботи навісного обладнання та досліджено зміну показників автомобіля на прикладі керування його генератором. Виготовлено робочий зразок пристрою керування приводами навісного обладнання. Розроблено імітаційну модель автомобіля та його складових. Наведено залежності зміни динамічного фактору від швидкості руху автомобіля при різних витратах потужності ДВЗ на привід навісного обладнання. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень зроблені висновки щодо необхідності оптимізації витрат потужності на привід навісного обладнання ДВЗ при експлуатації автомобіля для покращення його динамічних характеристик, паливної економічності та екологічної безпеки.

**Ключові слова:** автомобіль; навісне обладнання; генератор; потужність; управління потужністю; моделювання; імітаційна модель; динамічний фактор

*Н. Е. СЕРГИЕНКО, Б. Г. ЛЮБАРСКИЙ, М. И. ПАСТУЩИНА, С. О. ГУБСКИЙ, А.В. КОСАРЕВ*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ МОЩНОСТЬЮ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Проведен анализ исследований в направлении повышения эффективных показателей ДВС автомобиля. Определены основные потоки, виды затрат мощности ДВС и пути повышения его эффективной мощности. Проанализировано влияние скоростного режима работы навесного оборудования на затраты мощности в зависимости от условий движения автомобиля. Исследованы изменения динамических показателей автомобиля при управлении потоками мощности ДВС на привод ведущих колес и навесного оборудования. Разработана модульная схема управления режимами работы навесного оборудования и исследовано изменение показателей автомобиля на примере управления его генератором. Сделано рабочий образец устройства управления приводами навесного оборудования. Разработана имитационная модель автомобиля и его составляющих. Приведены зависимости изменения динамического фактора от скорости движения автомобиля при различных затратах мощности ДВС на привод навесного оборудования. На основании теоретических и экспериментальных исследований сделаны выводы о необходимости оптимизации затрат мощности на привод навесного оборудования ДВС при эксплуатации автомобиля для улучшения его динамических характеристик, топливной экономичности и экологической безопасности.

**Ключевые слова:** автомобиль, навесное оборудование, генератор, мощность, управление мощностью, моделирование, имитационная модель, динамический фактор

*M. SERGIENKO, B. LYUBARSKY, M. PASTUSHCHINA, S. GUBSKY, O. KOSAREV*

### **MODELING OF CAR DYNAMICS IN POWER MANAGEMENT OF ICE ENERGY CONSUMERS**

The analysis of research in the direction of increasing the effective performance of the internal combustion engine of a car is carried out. The main flows, types of power consumption of the internal combustion engine and ways to increase its effective power have been determined. The influence of the high-speed operating mode of the attachments on the power consumption depending on the driving conditions of the vehicle is analyzed. Changes in the dynamic indicators of a car when controlling the power flows of the internal combustion engine to the drive of the driving wheels and attachments have been investigated. A modular scheme for controlling the operating modes of attachments has been developed on the example of controlling the generator of a car. A working sample of an attachment drive control device was made and made. A simulation model of the car and its components has been developed. The dependences of the change in the dynamic factor on the speed of the vehicle are given for various consumption of ICE power for the drive of attachments. On the basis of theoretical and experimental studies, conclusions have been drawn about the need to optimize the power consumption for the drive of the internal combustion engine attachments during vehicle operation to improve the dynamic characteristics, fuel efficiency and environmental safety.

**Keywords:** vehicle, attachment, generator, power, power control, simulation, simulation model, dynamic factor

**Вступ.** При дослідженні динаміки автомобіля широко застосовуються методи математичного моделювання, що дозволяють проводити аналіз змін показників двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), автомобіля та інших його агрегатів та вузлів при роботі в тих чи інших умовах.

З розвитком технологій виготовлення та управління автомобілів, так само як і інших транспортних засобів, змінюються принципи перетворення та використання енергії. В наш час завдяки розвитку електронних систем керування привідів відбуваються якісні зміни використання ДВЗ у автомобілях.

Зважаючи на суворі вимоги по розміру та вазі, велику вартість, довгий час використання електродвигунів у легкових автомобілях було невиправданним. Однак сучасні технології дозволяють використовувати електродвигуни у трансмісії автомобіля, у

приводах навісного обладнання. При цьому основним джерелом енергії, як і раніше, може слугувати ДВЗ (традиційні та гібридні автомобілі) або накопичувачі енергії. Перевага гібридних трансмісій полягає у можливості поповнення запасу енергії транспортного засобу, обладнаного системою рекуперації енергії, тобто під час гальмування електричний двигун переходить в режим генератора та починає виробляти електричну енергію, яка подається в накопичувачі. Запас енергії акумуляторної батареї застосовується для живлення бортової системи автомобіля: системи запалювання ДВЗ, пристроїв освітлення, сигналізації тощо, тобто для працездатності систем транспортного засобу, які гарантують безпечне ви-

© М.Є. Сергієнко, Б. Г. Любарський, М. І. Пастушина, С.О. Губський, О.В. Косарєв, 2020

користання автомобіля при експлуатації.

Велика кількість автомобілів використовують приводи навісного обладнання, які працюють від ДВЗ неавтономно, незалежно від режимів руху автомобіля.

**Аналіз відомих досліджень.** Незважаючи на всі переваги застосування гібридних технологій в автомобілебудуванні [1], транспортні засоби виключно з ДВЗ на сьогоднішній день не втрачають оборотів свого виробництва, оскільки з року в рік проводяться дослідження, спрямовані на покращення та підвищення якості роботи всіх показників автомобіля. Значна частка цих досліджень спрямована на збільшення ефективної потужності ДВЗ автомобіля [2].

Одним із напрямків ефективного використання енергії палива та автомобіля та скорочення витрат автомобіля є впровадження гібридних приводів, що приводяться в рух за допомогою гібридної силової установки, як ведучих коліс, так і обладнання. Відмінною рисою гібридної силової установки є використання двох і більше джерел енергії й відповідних їм двигунів, що перетворюють енергію в механічну роботу. У промисловому масштабі на гібридних автомобілях використовується комбінація двигуна внутрішнього згоряння й електродвигуна/генератора.

В роботах [1, 2] розглянуто рівень розвитку впровадження альтернативних силових установок, а саме гібридних, в автомобілях та проаналізовано їх готовність до широкого використання. Очевидна перевага гібридних автомобілів зрештою виявиться у вигляді глобального переходу від автомобіля з ДВЗ до автомобілів із гібридною силовою установкою після підтвердження усіх переваг на етапах виготовлення, використання і утилізації.

На сьогоднішній день все ж найпоширенішими є автомобілі з традиційною схемою приводу. Тому дослідження, що проводяться в сфері покращення ефективних показників ДВЗ та самого автомобіля, не перестають бути актуальними.

В роботі [3] на основі досліджень робочих процесів автомобільних генераторів створено математичні залежності, що характеризують особливості навантаження генераторів та витрати потужності двигуна для їх приводу.

В роботах [4–6] проводяться дослідження в напрямку раціонального використання енергії ДВЗ. Однак аналіз відомих досліджень показав, що представлені на сьогоднішній день результати показують можливість покращення ефективності використання ДВЗ.

**Мета роботи.** Оцінка зміни динамічних показників автомобіля при управлінні потужністю навісного обладнання ДВЗ автомобіля, на прикладі управління генератором.

**Основний матеріал.** В енергетичному аспекті автомобіль містить бортове джерело енергії – двигун внутрішнього згоряння ДВЗ, який використовується для подолання опору руху і живлення допоміжних агрегатів та систем автомобіля. На рис. 1 показана схема руху енергії в сучасному автомобілі з механічною трансмісією. На схемі помітно, що потік одно-

направлений, не має розв'язок та циклів. Частина енергії у всіх вузлах перетворюється в тепло та передається в атмосферу, тобто використовується неефективно.

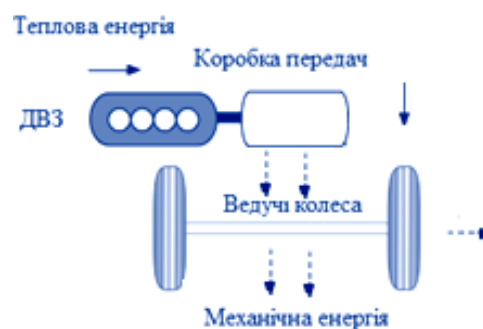


Рисунок 1 – Схема потоків енергії в автомобілі з приводом коліс від ДВЗ

На рис. 2 показана схема руху енергії при експлуатації гібридного автомобіля з електромеханічною трансмісією. При гальмуванні кінетична енергія автомобіля передається через трансмісію на генератор який виробляє електричну енергію і забезпечує її накопичення на АКБ.

На цій схемі присутні як розгалуження потоків, так і зворотній рух. Це дає можливість більш гнучко керувати потоками енергії.

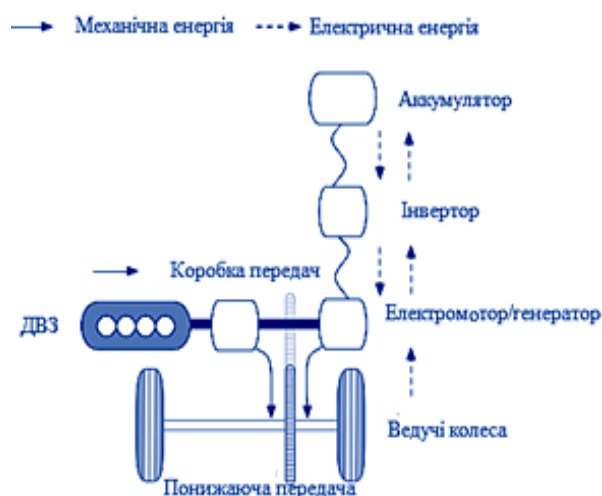


Рисунок 2 – Схема потоків енергії автомобіля з гібридним приводом коліс

При цьому витрати енергії (потужності) можна розділити на два види: активний і пасивний. Активний вид – для подолання опору руху, привід допоміжних агрегатів. Пасивний вид – втрати в трансмісії, коливання, вібрації і шум. Робота ДВЗ автомобіля характеризується змінним швидкісним режимом, який, разом із зовнішнім навантаженням зі сторони опору руху, і визначає енергетичні витрати двигуна. Потужність, що споживає генератор, відповідно також залежить від його швидкісного режиму, який формується особливостями експлуатації.

Під час проектування нових двигунів намагаються отримати якомога кращі ефективні показники,

тому що від них залежать потужність і паливна економічність двигунів. Значення кожного з ефективних показників складається із значення відповідного індикаторного показника і показника механічних втрат. Рівень механічних втрат, зокрема втрат на тертя, визначається раціональним вибором матеріалу і технології виготовлення, а в процесі експлуатації – раціональним вибором експлуатаційних матеріалів.

Досконалість двигуна в цілому оцінюється ефективною потужністю  $N_e$ :

$$N_e = N_{\text{екв}} + N_{\text{но}},$$

де  $N_{\text{екв}}$  – потужність на колінчастому валу двигуна;

$N_{\text{но}}$  – потужність для приводу навісного обладнання.

Значення останньої треба задавати в залежності від прискорення автомобіля та мінімальних витрат потужності для забезпечення функціонування навісного обладнання:

$$N_{\text{но}} = f\left(\frac{dv}{dt}, N_{\text{но, min}}\right),$$

де  $N_{\text{но, min}}$  – мінімальні витрати потужності для навісного обладнання.

Потужність на привід навісного обладнання може змінюватись в діапазоні:

$$N_{\text{но}} = [N_{\text{но, max}}, N_{\text{но, min}}],$$

де  $N_{\text{но, max}}$  – максимальні витрати потужності для навісного обладнання.

При мінімальних витратах потужності на привід навісного обладнання максимальні і мінімальні дотичні зусилля ДВЗ будуть визначатися по формулам:

$$P_{\text{двз } j \text{ max}} = \frac{N_e}{\omega_{\text{к } j}} = \frac{N_e \cdot i_{\text{тр } j}}{\omega_{\text{д}}},$$

де  $N_e$  – ефективна потужність ДВЗ;

$i_{\text{тр } j}$  – передатне число трансмісії на  $j$ -й передачі;

$\omega_{\text{к } j}$  – кутова швидкість колінчастого валу на  $j$ -й

передачі;

$\omega_{\text{д}}$  – кутова швидкість двигуна.

Якість колінчастого валу на  $j$ -й передачі,

$$P_{\text{двз } j \text{ min}} = \frac{N_e - N_{\text{но, max}}}{\omega_{\text{к } j}} = \frac{(N_e - N_{\text{но, max}}) \cdot i_{\text{тр } j}}{\omega_{\text{к } j}}.$$

Максимальне значення динамічного фактору на  $j$ -й передачі в цьому випадку буду дорівнювати:

$$D_{\text{max } j} = \frac{P_{\text{двз } j \text{ max}} - P_w}{G_a},$$

де  $P_w$  – сила опору повітря, Н;

$G_a$  – повна вага автомобіля, Н.

Аналогічно визначається мінімальне значення  $D$ .

Другий напрямок зменшення втрат на тертя – підтримання оптимальних експлуатаційних режимів

двигуна, зокрема теплового режиму двигуна. В сучасних двигунах для зменшення часу прогріву двигуна до робочої температури зменшують ємності контурів систем охолодження, регулюють обороти приводу помпи та ін.

Зокрема, затрати потужності на привід генератора залежать напряму від його швидкісного режиму. При роботі автомобіля на швидкісний режим генератора впливають, крім параметрів самого автомобіля, умови руху (рух по місту або шосе, якість дорожнього покриття, інтенсивність транспортного потоку, погодні умови й т. ін.). Межі зміни частоти обертання ротора генератора визначаються частотою обертання колінчастого вала двигуна  $n_{\text{дв}}$  і передатним відношенням привода  $i_r$ . Швидкісний режим роботи генератора, як і режим роботи електроспоживачів, характеризується широким діапазоном і випадковим характером.

Однак для типових режимів роботи автомобіля швидкісний режим роботи генератора є статистично стійким і може бути описаний функцією ймовірності розподілу або функцією щільності ймовірності розподілу частоти обертання ротора генератора  $n_r$  (рис. 3). Функція ймовірності розподілу частоти обертання ротора генератора  $T(n_r)$  є монотонно зростаючою й у межах зміни величини  $n_r$  змінюється від 0 до 1. Функція щільності ймовірності розподілу частоти обертання ротора генератора  $t(n_r)$  одержується шляхом диференціювання функції ймовірності розподілу

$$t(n_r) = \frac{dT(n_r)}{dn_r}$$

і характеризує частоту повторень певного значення величини  $n_r$ . Враховуючи зв'язок між цими характеристиками, функцію ймовірності розподілу називають інтегральною кривою, а функцію щільності ймовірності – диференціальною кривою розподілу

Швидкісний режим роботи генератора характеризується коефіцієнтом оборотності, год./хв.·км:

$$K_r = \frac{n_r}{V_a},$$

де  $n_r$  – частота обертання ротора генератора, хв<sup>-1</sup>;

$V_a$  – швидкість автомобіля, км/год.

Для порівняння швидкісних режимів генераторів різних марок автомобілів їх приводять до єдиного (типового) коефіцієнта оборотності генератора, який дорівнює, наприклад, для автомобіля 2 клас  $K_r = 60$  год./хв.·км. Тоді, незважаючи на різноманіття марок автомобілів, швидкісні режими генераторів можуть бути зведені до декількох типових кривих.

При розрахунку розглядається найбільш несприятливий (з погляду забезпечення зарядного балансу) робочий режим автомобіля – режим руху у великому місті (мінімальна швидкість руху із частими зупинками, а, отже, низька частота обертання ротора генератора).

На рис. 4 представлені типові криві швидкісного режиму генераторів у вигляді інтегральних кривих розподілу, тобто залежностей відносного часу роботи генератора із частотою обертання ротора,

нижчою даного значення.

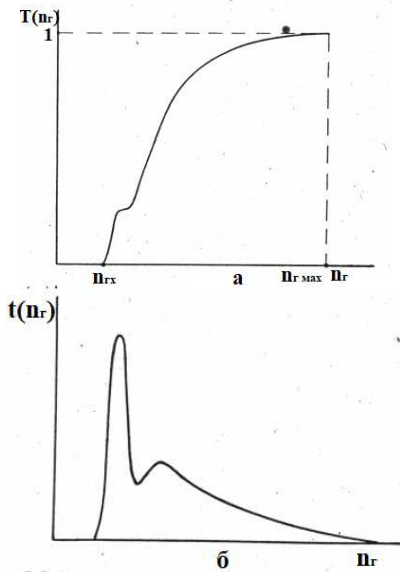


Рисунок 3 – Характеристики швидкісного режиму роботи генератора  
 а – функція ймовірності розподілу;  
 б – функція щільності ймовірності розподілу

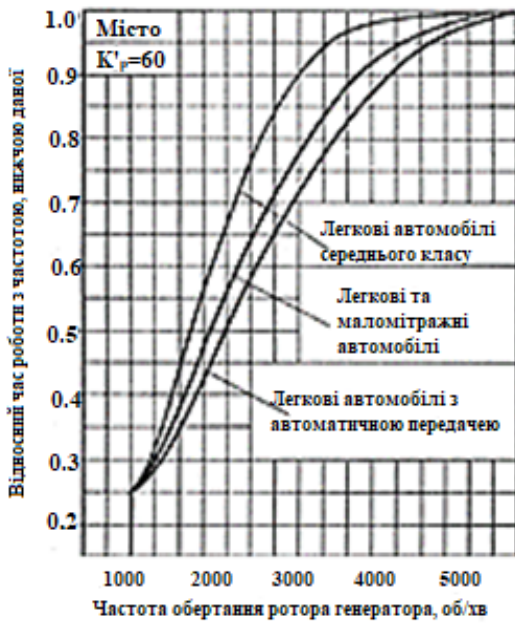


Рисунок 4 – Типові криві швидкісного режиму генераторів для розрахунку балансу електроенергії легкових автомобілів [7]

При розрахунку обрана типова крива швидкісного режиму, яка перераховується на фактичний коефіцієнт оборотності генератора:

$$K_r = 2660 \cdot \left( \frac{i_r \cdot i_{кп} \cdot i_{зм}}{R_k} \right),$$

де  $i_r$  – передатне відношення привода генератора;  
 $i_{кп}$  – передатне відношення коробки зміни передач на вищій передачі;  
 $i_{зм}$  – передатне відношення заднього мосту з ура-

хуванням додаткових або бортових редукторів, якщо вони є;

$R_k$  – динамічний радіус ведучих коліс, мм.

Струм генератора залежить від струму на обмотці збудження, частоти обертів ротора та описується струмшвидкісною характеристикою (СШХ) і може бути апроксимований виразом [8]:

$$I_r = I_{r\max} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{n_0 - n_r}{\tau}} \right),$$

де  $\tau$  – постійна часу експоненти, що апроксимує криву струмшвидкісної характеристики;

$I_{r\max}$  – максимальний струм генератора;

$n_0$  – частота обертання ротора генератора, що відповідає початку руху віддачі струму;

$n_r$  – поточне значення частоти обертання ротора генератора.

Експлуатаційна складова віддача струму, виходячи зі змінного швидкісного режиму, оцінюється еквівалентною годинною віддачею струму за формулою:

$$q_r = \int_{n_{r\max}}^{n_{r\max}} I_r(n_r) \cdot t(n_r) dn_r,$$

де  $n_{r\max}$  – максимальні оберти генератора;

$n_{r\max}$  – оберти генератора на марному ходу;

$I_r(n_r)$  – струмшвидкісна характеристика генератора;

$t(n_r)$  – функція щільності ймовірності розподілу частоти обертання ротора генератора.

Управління потоками потужності ДВЗ дозволить в деякій мірі полегшити і стабілізувати його роботу, виключивши при цьому «споживачів» механічної енергії, зокрема генератор.

Збільшення потоку потужності до ведучого колеса при розгоні автомобіля можливо за рахунок відключення навісного обладнання. При цьому можливо при гальмуванні кінетичну енергію автомобіля максимально рекуперувати в електричну і забезпечувати підвищений заряд АКБ та інших накопичувачів.

Генератор забезпечує зарядку акумулятора і живлення споживачів електроенергії. При організації електроприводу потужність витрачається на привід допоміжного обладнання, момент опору його може істотно впливати на динаміку автомобіля і витрати палива. З огляду на це, розроблено імітаційну модель руху з управлінням роботою генератора. Основною частиною імітаційної моделі руху автомобіля є складання схеми управління роботою навісного обладнання. Розглянемо це на прикладі управління генератором з урахуванням зміни прискорення руху автомобіля та функціональних вимог інших споживачів електричної енергії.

На рис. 5 представлена схема пристрою керування генератором та іншим обладнанням. Дана система зібрана на процесорі Atmega328 – 8-ми бітної розрядності. Вимірювання прискорення здійснюється 3-осьовими аналоговим акселерометром ADXL335. Мінімальний діапазон повної шкали вимірювання акселерометра становить  $\pm 3$  g. У даній системі використовується тільки дві осі – x і y, при-

скорення за якими складаються і дають результуюче прискорення.

Залежно від показань акселерометра ADXL335 процесор Atmega328 управляє навантаженням. Керуючі виводи процесора і навантаження зв'язані за допомогою опторозв'язки і драйвера. Це забезпечує стійкість системи. Управління багатоканальне і може бути дискретне або на основі широтно-

імпульсної модуляції. Схема живиться від бортової електричної мережі автомобіля напругою 12 В. Через живлення електричної схеми система управління режимами роботи обладнання автомобіля напругою 5 В, застосовується стабілізатор напруги з 12 В на 5 В із захистом від стрибків напруги. Робочий зразок пристрою керування включення генератором представлено на рис. 6.

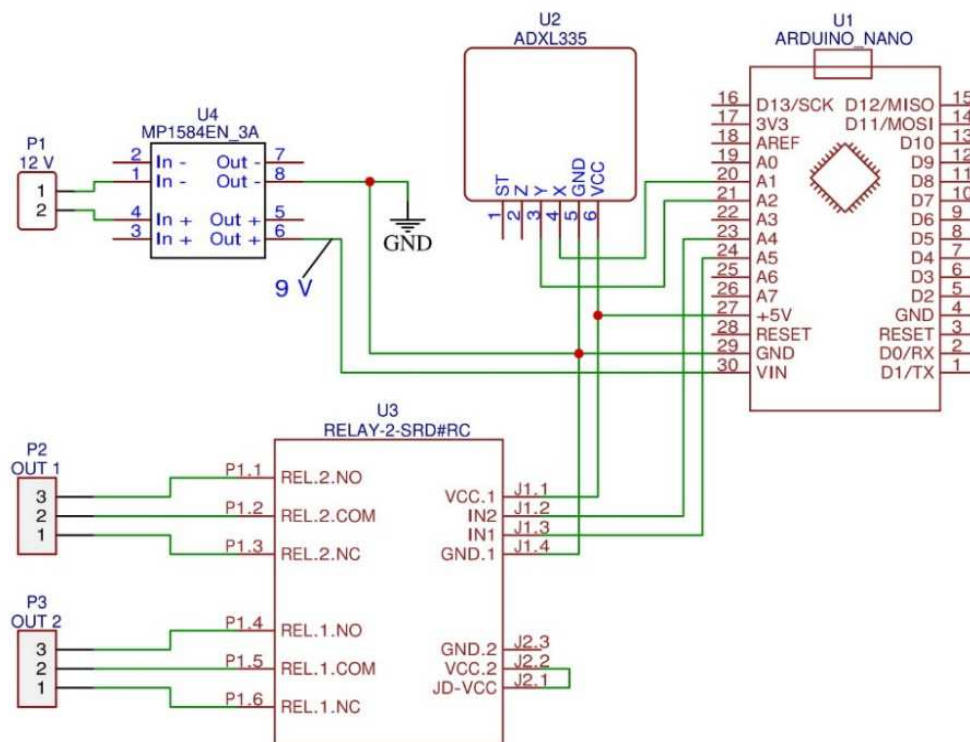


Рисунок 5 – Модульна схема системи керування режимами роботи навісного обладнання автомобіля

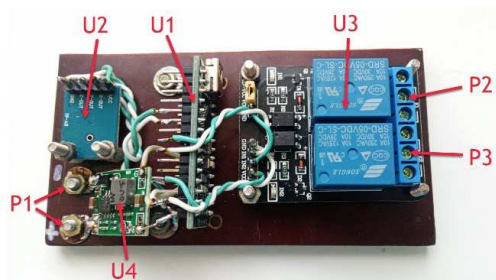


Рисунок 6 – Робочий зразок пристрою керування приводом навісного обладнання

Дана система може бути пов'язана з комп'ютером по USB порту (використовується мікросхема CH340) і передавати покази прискорень при русі автомобіля в реальному часі. Розробка програмного коду для системи управління здійснено в середовищі Arduino IDE.

Для відключення шумів сигналу використовується програмна реалізація фільтра Калмана.

У загальному випадку, знаючи енергетичну характеристику двигуна чи допоміжного агрегату, в залежності від частоти обертів (швидкісну характеристику двигуна, споживану потужність допоміжного агрегату тощо), експлуатаційні витрати потужності можна оцінити еквівалентним (середнім) значенням за умовний годинний цикл роботи за формулою

$$E = N_{\text{mx}} \cdot t_b + \sum_{i=1}^k N_i \cdot t_i,$$

де  $N_{\text{mx}}$  – витрати енергії агрегату при роботі двигуна на холостому ході;

$\Delta t_b$  – відносний час роботи при роботі двигуна на холостому ході;

$N_i$  – витрати потужності агрегату в середині даного елементарного інтервалу;

$\Delta t_i$  – відносний час роботи двигуна в даному елементарному інтервалі;

$k$  – кількість елементарних інтервалів [9].

Проведені розрахунки показують доцільність періодичного відключення генератора та навісного обладнання автомобіля в цілях економії палива, підвищення ефективності двигуна шляхом зменшення витрат потужності. На рис. 7 наведена структурна схема математичної моделі, що дає можливість спостерігати за змінами тягово-динамічних показників під впливом періодичного відключення генератора. На схемі показано, що потоки потужності передаються не лише в одному напрямку, а також у зворотньому.

Імітаційна модель (рис. 8) містить декілька важливих підсистем, а саме підсистему ДВЗ, трансмісії та генератора. Імітаційна модель руху автомобіля

показує зміни динамічних характеристик автомобіля в зв'язку з реалізацією ймовірності відключення генератора. Складовими частинами моделі є моделі: автомобіль, ДВЗ, генератор, трансмісія, колесо. В модель генератора входить система управління генератором, що регулює режим його роботи в залежності від значення прискорення руху автомобіля.

Всі електричні змінні і конструктивні параметри генератора приведені до статора. Вихідні рівня-

ня електричної частини генератора записані для двофазної (dq-осі) системи координат. На рис. 9 наведена схема заміщення генератора [10].

Блок вводу вихідних даних параметрів для моделювання роботи генератора представлено на рис. 10. Структурна схема механічної частини генератора представлена на рис.11. Блок схема генератора, що є частиною моделі автомобіля, представлено на рис. 12.

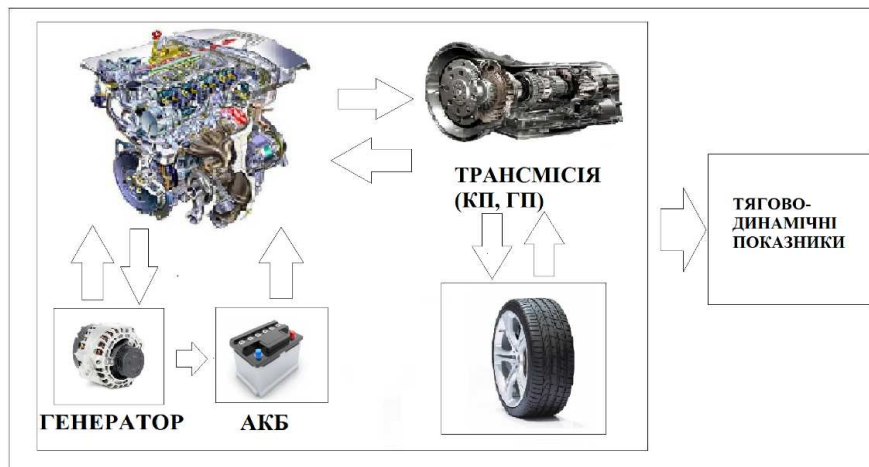


Рисунок 7 – Структурна схема складових моделі автомобіля

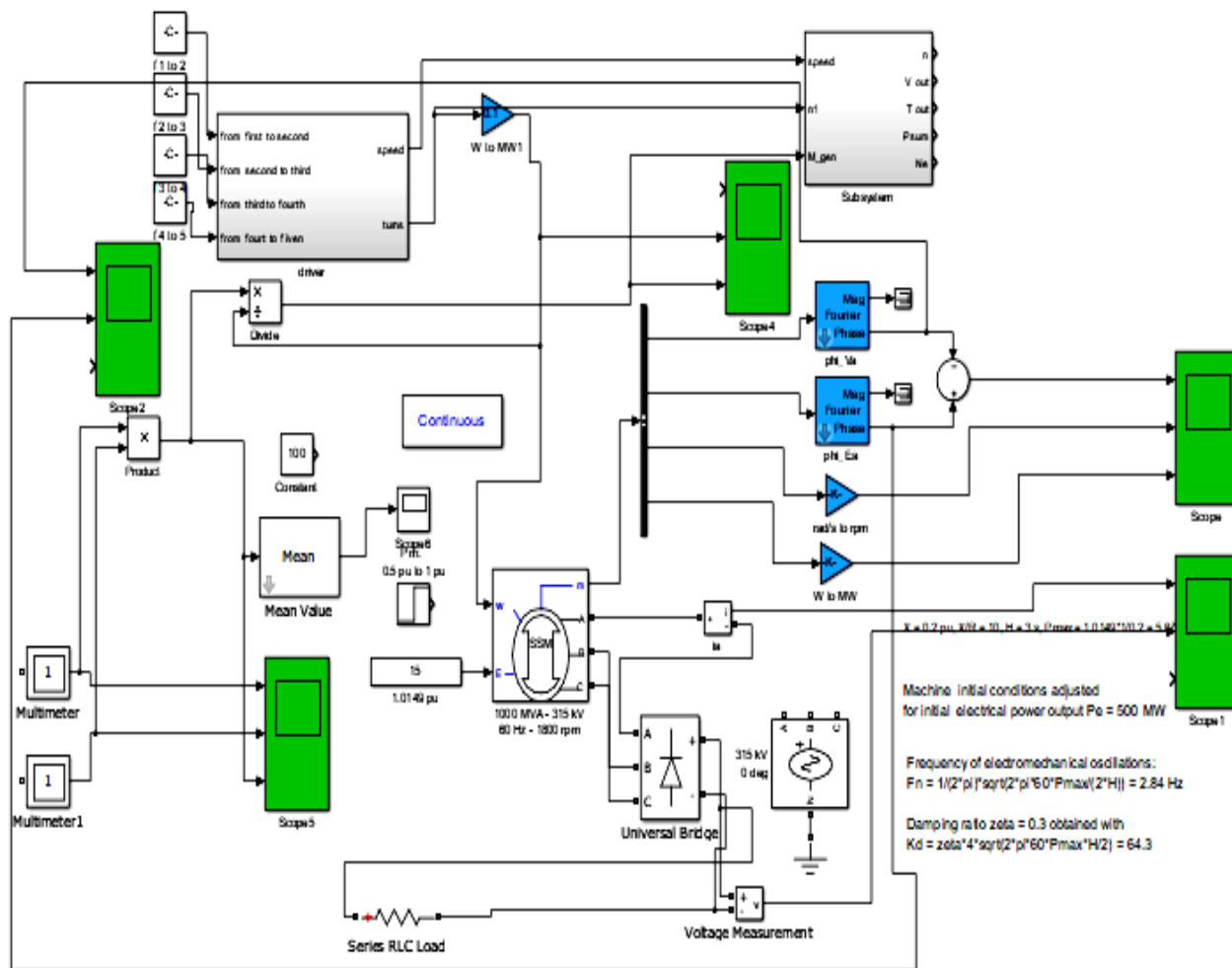


Рисунок 8 – Імітаційна модель автомобіля з системою управління генератором

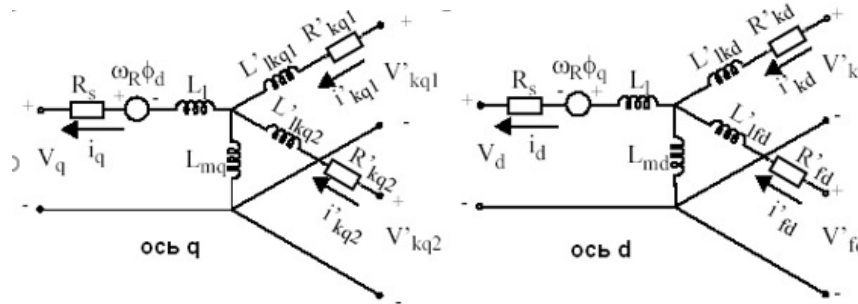


Рисунок 9 – Схеми заміщення генератора

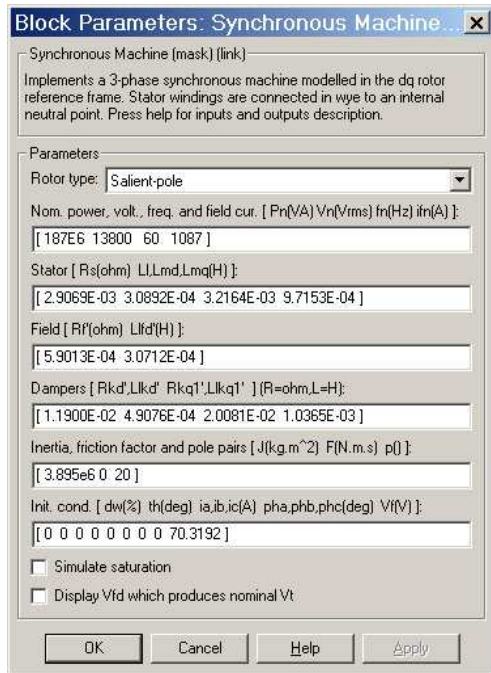


Рисунок 10 – Блок вводу параметрів генератора

пристроєм допоміжного обладнання свідчить про те, що при розгоні автомобіля (зміні оборотів колінчатого валу двигуна) витрати потужності на їх привід змінюються неоднаково [11].

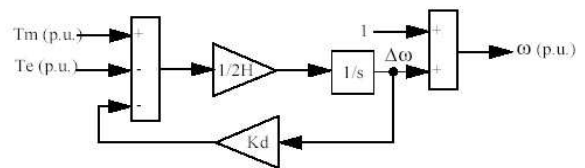


Рисунок 11 – Структурна схема механічної частини моделі генератора [12]

Система управління потоком енергії повинна в залежності від режиму руху автомобіля вибирати раціональне завантаження кожного приводу навісного обладнання. Потужність на привід кожного пристарою може змінюватись від 0 до номінального значення в залежності від режиму руху автомобіля та потребами його систем.

Підсистеми моделей ДВЗ наведено на рис. 13, а трансмісії – на рис. 14.

Аналіз зміни споживаної потужності кожним

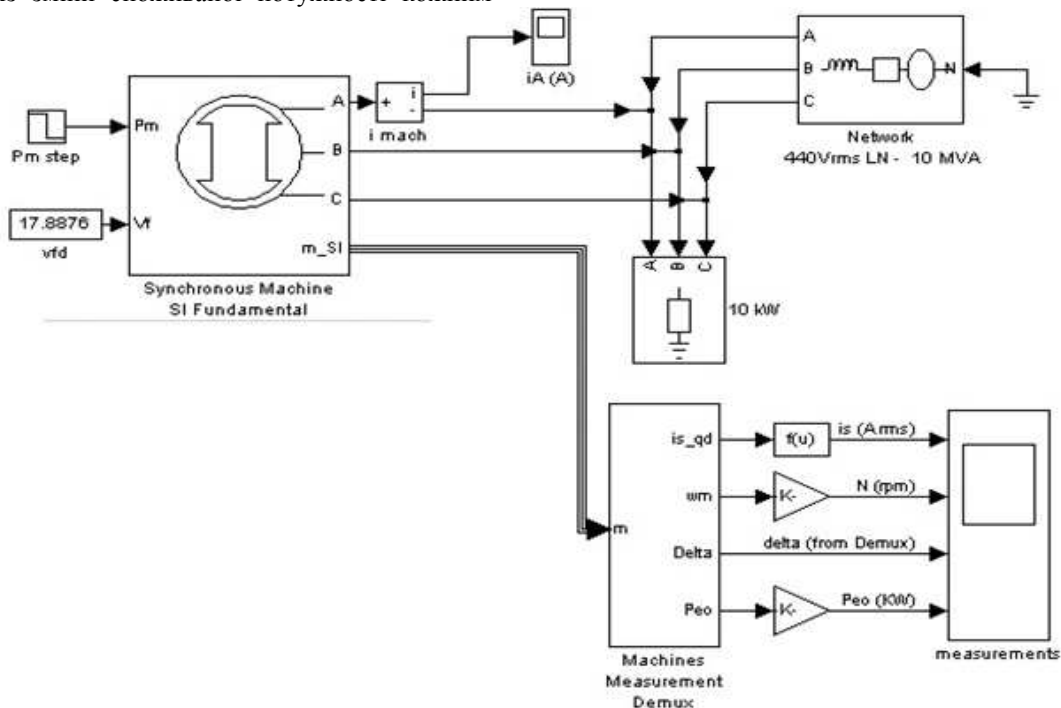


Рисунок 12 – Блок-схема моделі генератора

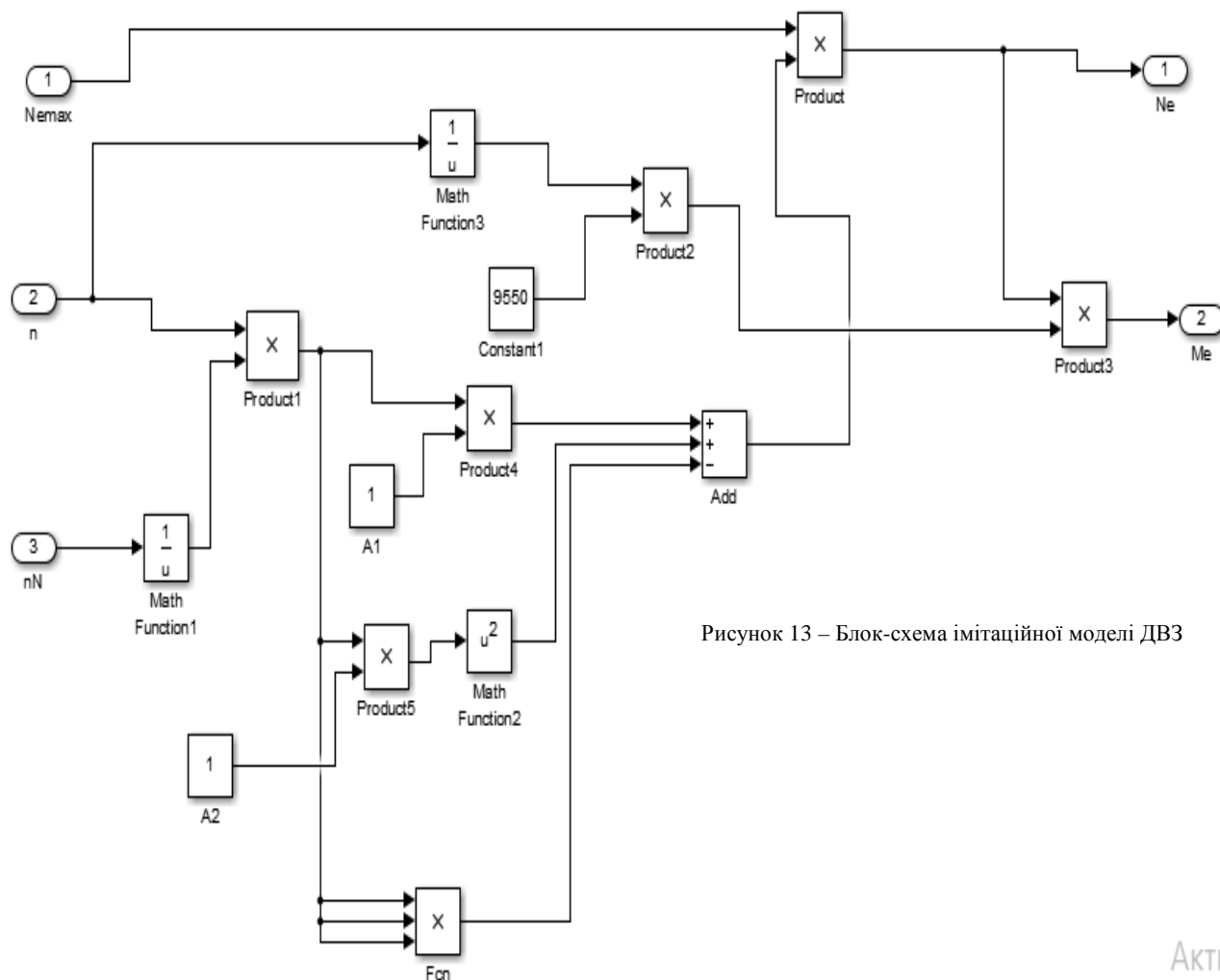


Рисунок 13 – Блок-схема імітаційної моделі ДВЗ

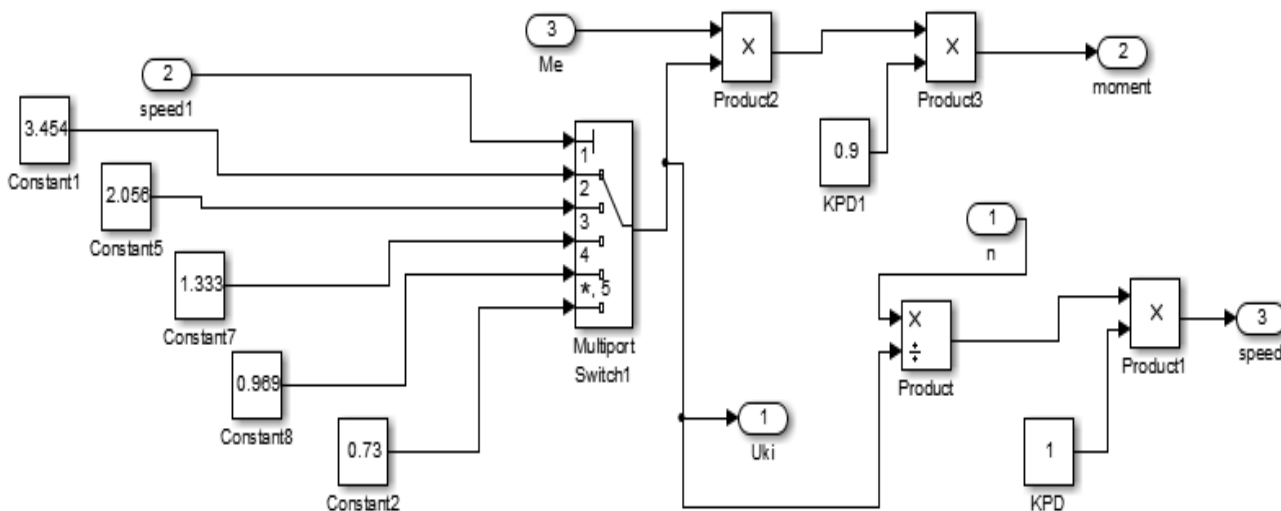


Рисунок 14 – Блок-схема імітаційної моделі трансмісії

В сукупності представлена імітаційна модель автомобіля з системою керування режимами завантаження генератора в залежності від зміни прискорення автомобіля. Потужність, яка раніше підводилась до генератора при розгоні автомобіля, прямувала до приводу ведучих коліс. Це впливало на тягово-динамічні показники автомобіля.

На рис. 15 та 16 представлено зміну динамічно-

го фактору при використанні генератора потужністю 1,25 кВт, 2,25 кВт, 3,2 кВт і 4 кВт.

**Висновки.** Аналіз робіт із оцінки показників роботи автомобіля показав можливість підвищення ефективної потужності на привід ведучих коліс автомобіля до 10–12 % за рахунок перерозподілу потужності ДВЗ між навісним обладнанням і трансмісією приводу ведучих коліс. Моделювання руху автомобіля з



керуванням навантаження на генератор в залежності від прискорення автомобіля підтвердило покращення динамічних показників на до 2–5 %. При зміні номінальної потужності генератора від 1,25 до 4 кВт динамічний фактор для легкового автомобіля 2-го класу підвищується на 1-й передачі на до 4–5 %, на 2-й передачі на до 3–4 %, на 3-й передачі на до 2–3 %, на 4-й передачі на до 1–2%.

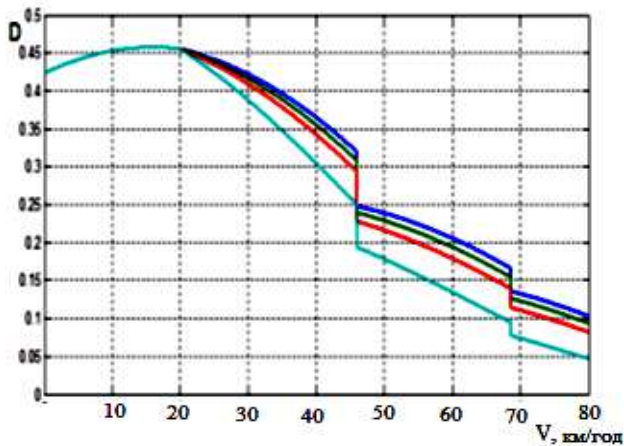


Рисунок 15 – Залежність динамічного фактору від швидкості автомобіля при зміні потужності автомобільного генератора

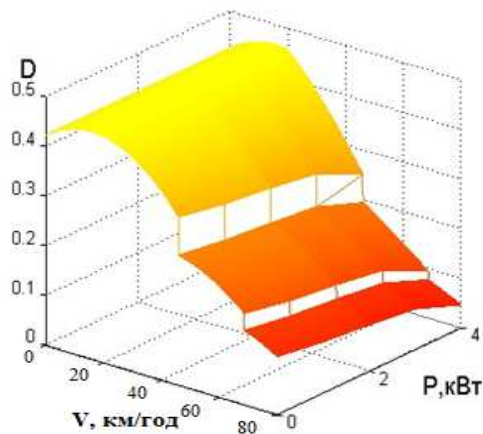


Рисунок 16 – 3D-представлення зміни динамічного фактору автомобіля при зміні потужності генератора

Результати теоретичних досліджень були підтверджені при випробуваннях легкового автомобіля Volkswagen Golf 2.

Аналіз результатів досліджень показав доцільність організації управління потоками потужності, енергією автомобіля в процесі експлуатації. Особливо ефект досягається при експлуатації автомобіля в умовах міста.

#### Список літератури

1. Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А. Гібридні автомобілі *Харк. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харьков: Крок*. 2008. 327 с.
2. Карабцев В.С., Валеев Д.Х. Повышение эффективности автотранспортных средств на стадии разработки. *Журнал ААИ. Москва*. 2003. С. 8–13.

3. Vražić M., Barić O., Vrtić P. Auxiliary systems consumption in electric vehicle. *Przeglad Elektrotechniczny*. R. 90 NR 12/2014.
4. Leach, F., Kalghatgi G., Stone R. The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering University of Oxford*. 2020.
5. Сергієнко М.С., Худолій А.І., Сергієнко А.М. Пат. №93154 Україна. *Пристрій для рекуперації енергії коливань транспортного засобу*. 2011.
6. Сергієнко Н.Е., Любарский Б.Г., Пастушина М.И. Особенности использования электрического привода и систем управления на современных автомобилях. *Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Автомобиле- и тракторостроение*. Харьков: НТУ «ХПИ». 2018. № 49 (1325). С. 40–49.
7. Kiviluoma J., Meibom P. Methodology for modelling plug-in electric vehicles in the power system and cost estimates for a system with either smart or dumb electric vehicles. *Energy* 36 (3). 2011. pp. 1758–1767.
8. Подригало М. А., Байцур М.В., Клец Д.М., Файст В.Л. Совершенствование методики выбора мощности двигателя легкового автомобиля. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2010. № 3. С. 78–86.
9. Smabone Jia., Zuo A. Z., Roskilly A.P. Design and simulation of a two- or four-stroke free-piston engine generator for range extender applications. *Energy Convers Manage*. 111. 2016. pp. 289–298.
10. Немый С. В. Снижение энергетических затрат на привод вспомогательных агрегатов автобусов. *Труды ВКЭИ автобуспрома*. 1988. С. 99–107.
11. Gong, S. A generalized IC engine propulsion method and corresponding transmission design for improving vehicle fuel efficiency. *Eur. Transp. Res. Rev.* 6, 2014. С. 225–239.
12. Азарова Ю.В., Кутенев В.Ф., Шмидт А.Г. Мощность двигателя и расход топлива как средства повышения конкурентоспособности легковых автомобилей. *Автомобильная промышленность*. Москва: Машиностроение. 1995. № 9. С. 3–5.

#### References (transliterated)

1. Bazhynov O.V., Smyrnov O.P., Syerikov S.A. Hibridni avtomobili [Hybrid cars]. *Khark. nats. avtomob.-dor. un-t. Kharkov: Krok*. 2008, pp. 327.
2. Karabtsev V.S., Valyeyev D.Kh. Pdivyshchennya efektyvnosti avtotransportnykh zasobiv na stadiyi rozrobky [Improving the efficiency of vehicles at the development stage]. *Zhurnal AAI. Mosca*. 2003, pp. 8–13.
3. Vražić M., Barić O., Vrtić P. Auxiliary systems consumption in electric vehicle. *Przeglad Elektrotechniczny*. R. 90 NR 12/2014.
4. Leach, F., Kalghatgi G., Stone R. [et al.] The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering University of Oxford*. 2020.
5. Sergienko N.E., Khudoliy A.I., Sergienko. A.M. Pat. №93154 Ukraine. *Prystryi dlya rekuperatsiyi enerhiyi kolyvannya transportnoho sredstva*. [Attachment for energy recuperation of the transport vehicle]. 2011.
6. Serhiyenko M.E., Lyubarsky V.H., Pastushchina M.I. Osoblyvosti vykorystannya elektrychni-s'koho pryvodu i system upravlinnya na suchasnykh avto-mobilya [Features of the use of electric drive and control systems on modern cars]. *Visnyk NTU «KHPI». Seriya: Avtomobile- i traktoro- budova*. Kharkiv: NTU «KHPI» 2018, no. 49 (1325), pp. 40–49.
7. Kiviluoma J., Meibom P. Methodology for modelling plug-in electric vehicles in the power system and cost estimates for a system with either smart or dumb electric vehicles. *Energy*, 36 (3). 2011. pp. 1758–1767.
8. Podryhalo M. A. Baytsur M.V., Kl'ots D.M., Fayst. V.L.. Udoskonalennya metodyky vyboru potuzhnosti dvyhuna lehkovo avtomobilya [Improving the method of choosing the engine power of a car]. *Visnik Donetskoyi akademiyi avtomobilnoho transportu*. 2010, no. 3, pp. 78–86.
9. Smabone Jia. A., Zuo Z., Feng H., Roskilly A.P. Design and simulation of a two- or four-stroke free-piston engine generator for range extender applications. *Energy Convers Manage*. 111, 2016. pp. 289–298.
10. Nyemyy S. V. Znyzhennya enerhetychnykh vytrat na pryvid dopomizhnykh ahreativ avtobusiv [Reduction of energy costs for the drive of auxiliary units of buses]. *V sb.: Pratsi VKE I avtobusproma*. 1988, pp. 99–107.
11. Gong, S. A Generalized IC engine propulsion method and corre-

- sponding transmission design for improving vehicle fuel efficiency. *Eur. Transp. Res. Rev.* 6, 2014, pp. 225–239.
12. Azarova Y.V., Kutenom V.F., Shmidt A.H. Potuzhnist dvyhuna i vytratu palyva yak zasobu povysheniye konkurentosposobnosti lehkovykh avtomobiliv. *Avtomobilna promyslovist*. [Engine power

er and fuel consumption as a means of increasing the competitiveness of cars] *Automotive industry*. Moskva: *Mashynobuduvanya*, 1995, no. 9, pp. 3–5

Надійшла (received) 05.09.2020

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Сергієнко Микола Єгорович (Сергиенко Николай Егорович, Sergienko Nikolay)** – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; професор кафедри «Автомобіле- і тракторобудування», ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5168-1924>, тел.: (057) 70-76-066; e-mail: nesergienko@gmail.com.

**Любарський Борис Григорович (Любарский Борис Григорьевич, Lyubarsky Boris)** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Електричного транспорту та тепловозобудування»; тел.: (057) 707-63-67; e-mail: lboris@ukr.net.

**Пастушина Марія Ігорівна (Пастушина Мария Игоревна, Pastushchina Maria)** – аспірантка кафедри «Автомобіле- і тракторобудування», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3153-2627>, тел.: (095) 581-97-84, e-mail: mashapastushina72@gmail.com.

**Губський Сергій Олександрович (Губский Сергей Александрович, Sergii Gubskiy)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Обробка металів тиском»; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7797-9139>; тел.: (066) 219-20-50; e-mail: gubskiyso@gmail.com.

**Косарєв Олександр Владиславович (Косарев Александр Владиславович, Kosarev Alexander)** – аспірант кафедри «Автомобіле- і тракторобудування», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; тел.: (067) 828-39-70; e-mail: kosarev13@ukr.net.