

**Бажинов О.В.,**

**Заверуха Р.Р.**

Харківський національний  
автомобільно-дорожній університет  
E-mail: alexey.bazhinov@gmail.com

**Бажинова Т.О.**

Харківський національний технічний  
університет сільського господарства  
імені Петра Василенка

**МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ  
СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ГІБРИДНОГО  
АВТОМОБІЛЯ**

УДК 629.113

*Бажинов О.В., Заверуха Р.Р., Бажинова Т.О. «Метод визначення ефективної роботи силової установки гібридного автомобіля»*

Сучасний стан розвитку ринку і оновлення структури гібридних автомобілів зумовлюють необхідність комплексного підходу до оцінки їх технічного стану з метою вибору найкращої технології діагностування силової установки гібридного автомобіля.

Розроблено теоретичні основи підвищення ефективності експлуатації силової установки гібридного автомобіля на підставі оперативного синтезу управляючих впливів за енергетичними і якісними критеріями з урахуванням зовнішніх умов експлуатації. Наведено єдиний підхід к дослідженню ефективності експлуатації гібридної силової установки автомобіля в залежності від схеми будови та конструктивних особливостей.

Витрати енергії (палива, електроенергії) визначаються вантажно-швидкісним режимом гібридного автомобіля. На цій підставі енергетичні витрати визначають при заданих умовах експлуатації ефективність роботи силової установки гібридного автомобіля. Крім того, метод оцінки ефективності роботи силової установки гібридного автомобіля інваріантна різним силовим установкам.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримані наукові результати становлять єдиний комплекс досліджень (концепція, принципи, методи та математичні моделі), запропоновано методiku визначення ефективної роботи силової установки гібридного автомобіля. Наведені дослідження складають теоретичну базу для діагностики технічного стану агрегатів гібридної силової установки, наукового обґрунтування базових діагностичних параметрів гібридних автомобілів.

**Ключові слова:** діагностика, гібридний автомобіль, силова установка, тягова акумуляторна батарея, метод, витрата пального, двигун внутрішнього згорання.

*Бажинов А.В., Заверуха Р.Р., Бажинов Т.А. «Метод определения эффективной работы силовой установки гибридного автомобиля»*

Современное состояние развития рынка и обновления структуры гибридных автомобилей обуславливают необходимость комплексного подхода к оценке их технического состояния с целью выбора наилучшей технологии диагностирования силовой установки гибридного автомобиля.

Разработаны теоретические основы повышения эффективности эксплуатации силовой установки гибридного автомобиля на основании оперативного синтеза управляющих воздействий по энергетическим и качественным критериям с учетом внешних условий эксплуатации. Приведен единый подход к исследованию эффективности эксплуатации гибридной силовой установки автомобиля в зависимости от схемы строения и конструктивных особенностей.

Затраты энергии (топлива, электроэнергии) определяются погрузочно-скоростным режимом гибридного автомобиля. На этом основании энергетические затраты определяют при заданных условиях эксплуатации эффективность работы силовой установки гибридного автомобиля. Кроме того, метод оценки эффективности работы силовой установки гибридного автомобиля инвариантна различным силовым установкам.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что полученные научные результаты составляют единый комплекс исследований (концепция, принципы, методы и математические модели), предложена методика определения эффективной работы силовой установки гибридного автомобиля. Приведенные исследования составляют теоретическую базу для диагностики технического состояния агрегатов гибридной силовой установки, научного обоснования базовых диагностических параметров гибридных автомобилей.

**Ключевые слова:** диагностика, гибридный автомобиль, силовая установка, тяговая аккумуляторная батарея, метод, расход горючего, двигатель внутреннего сгорания.

*O. Bazhinov, R. Zaverukha, T. Bazhynova "Method for determining the effective operation the power plant of a hybrid car"*

The current state of market development and updating the structure of hybrid cars necessitate a comprehensive approach to assessing their technical condition in order to select the best technology for diagnosing the power plant of a hybrid car.

*Theoretical bases of increase of efficiency of operation of power plant of the hybrid car on the basis of operative synthesis of operating influences on power and qualitative criteria taking into account external operating conditions are developed. The only approach to research of efficiency of operation of hybrid power plant of the car depending on the scheme of a structure and design features is resulted.*

*Energy consumption (fuel, electricity) is determined by the load-speed mode of the hybrid car. On this basis, energy costs are determined under specified operating conditions, the efficiency of the power plant of the hybrid car. In addition, the method of evaluating the efficiency of the power plant of a hybrid car is invariant to different power plants.*

*The practical significance of the obtained results is that the obtained scientific results are a single set of research (concept, principles, methods and mathematical models), a method for determining the effective operation of the power plant of a hybrid car is proposed. These studies form the theoretical basis for the diagnosis of the technical condition of the units of the hybrid power plant, the scientific substantiation of the basic diagnostic parameters of hybrid cars.*

**Keywords:** diagnostics, hybrid car, power plant, traction battery, method, fuel consumption, internal combustion engine.

## **Вступ**

Гібридна силова установка (ГСУ), як об'єкт управління характеризується змінною структурою, суттєвою нелінійністю основних своїх елементів, параметричною невизначеністю. Ефективність застосування ГСУ значною мірою визначається характеристиками її системи автоматичного управління (САУ), яка повинна вирішувати наступні основні задачі:

- ідентифікація поточного стану елементів ГСУ;
  - ідентифікація і прогнозування тягово-швидкісного режиму руху автомобіля;
  - вибір оптимального режиму роботи (варіанту кінематичної схеми) ГСУ залежно від її поточного стану і режиму руху ТЗ;
  - оптимальний перерозподіл потоків потужності між агрегатами ГСУ на всіх тягово-швидкісних режимах, що задаються;
  - управління рекуперацією енергії гальмування ТЗ;
  - управління заряджанням і витрачанням енергії накопичувача;
  - забезпечення стоп-стартового режиму, що мінімізує використання холостого ходу ДВЗ при короткочасних зупинках ТЗ;
  - стабілізація заданих режимів роботи окремих агрегатів;
  - забезпечення інтерфейсу водія, що імітує управління традиційним ТЗ.
- Задачі, що вирішуються САУ ГСУ, мають ієрархічну організацію.

## **Актуальність проблеми**

Існує три підходи до побудови САУ ГСУ, які розрізняються принципами вирішення задач, що відносяться до другого рівня ієрархії: використання логічних правил вибору стратегії, використання методів теорії оптимального управління і застосування алгоритмів адаптації до поточного їздового циклу і очікуваних його змін.

Найбільше поширення на сьогоднішній день набули САУ, які реалізують метод використання логічних правил вибору стратегії управління ГСУ, хоч вони і не дозволяють в повній мірі виявити всі переваги гібридних технологій.

Більшість викладених технологій діагностування гібридних силових установок не дозволяють об'єктивно проводити комплексну оцінку їх технічного стану за діагностичними параметрами, оскільки не відпрацьовано механізм їх спільного нормування і приведення до єдиної шкали вимірювання.

## **Аналіз останніх досліджень**

Ряд авторів [1 – 2] при дослідженні управління силовими установками автомобілів використовують методи розрахункового інтелекту.

Управління на підставі нечітких правил і систем нечіткого висновку використовується в роботі [3], а в роботі [4] досліджується можливість використання генетичних алгоритмів для налагоджування систем нечіткого висновку. Використання штучних нейронних мереж (ШНМ) при управлінні силовою установкою наведено в роботах [5 – 6]. Сумісному використанню ШНМ та систем нечіткого висновку присвячена робота [7]. Наведені дослідження вказують на значний потенціал покращення експлуатаційних характеристик гібридних на підставі ефективного управління потужністю при використанні технологій розрахункового інтелекту.

На практиці поширеним є вибір стратегії управління силовою установкою на підставі логічних правил та табличне задання законів регулювання (logic based control strategies). Такий підхід має назву Rule Based (RB).

Правила та закони управління встановлюють розробники силових установок шляхом використання евристичних методів і аналізу результатів розрахункового експерименту. В даному випадку не враховуються особливості конкретних умов експлуатації, які впливають на ефективність роботи силової установки. Отже, такий підхід не дозволяє використовувати в повній мірі енергоефективність силової установки. Якщо стратегія управління не відповідає зовнішнім умовам роботи автомобіля то силова установка може мати гірші показники енергетичної економічності та токсичності відпрацьованих газів в порівнянні з базовим автомобілем.

### Формулювання мети дослідження

Підвищення ефективності експлуатації силової установки гібридного автомобіля шляхом оперативного синтезу управляючих впливів за енергетичними і якісними критеріями з урахуванням зовнішніх умов експлуатації.

### Результати дослідження

Ефективність роботи гібридного автомобіля вирішальним чином залежить від відповідності вибраного режиму роботи ГСУ тягово-швидкісному режиму руху, а також від якості управління перерозподілом потоків потужності між основними агрегатами ГСУ. Цільовою функцією такого управління є мінімізація витрати палива і викидів токсичних компонентів з відпрацьованими газами ДВЗ при обмеженнях, обумовлених вимогами керованості, надійності, запасу енергії в ТАБ і так далі [8]. Часто рішення даної оптимізаційної задачі припускає перетворення електричної потужності в еквівалентну кількість спалюваного палива для того, що б оцінити загальні витрати палива [9]. Згодом оптимальний перерозподіл потужності між ДВЗ і електродвигуном здійснюється на підставі аналізу статичних карт питомої витрати палива ГСУ. Оптимізація перерозподілу потоків потужності актуальна, насамперед, для автомобілів з паралельною і послідовно-паралельною схемами побудови ГСУ.

Спрощений змістовний опис алгоритму логічного вибору впливів, що управляють, представлені в наступному вигляді.

При гальмуванні, коли потрібний момент обертання ГСУ  $M_{GSU.zd} < 0$ :

– ДВЗ вимкнений,  $\beta_D = -1$ ;

– передавальне відношення трансмісії на  $k$ -ому кроці управління  $\gamma(k) = \gamma(k-1)$ ;

– при повністю зарядженій тяговій акумуляторній батареї (ТАБ), коли  $\theta_{TAB} \geq \theta_{ex.max}$  рекуперативне гальмування не використовується  $\beta_M = 0$ . Сигнал управління гідравлічною системою гальмування

$$\beta_T = \frac{-M_{GSU.zd}}{M_{trm.max}}, \quad (1)$$

– при не повністю зарядженій ТАБ, коли  $\theta_{TAB} < \theta_{ex.max}$ , обчислюється максимальний гальмівний момент ВЕД в генераторному режимі  $M_{VD.min}^{ogr}$  з урахуванням конструктивних особливостей вентиляного електродвигуна (ВЕД) і максимально допустимого струму зарядки ТАБ, відповідного її поточному стану

$$M_{VD.min}^{ogr} = \max \left\{ \frac{P_{VD.TAB}}{\omega_M \cdot \eta_{VD}}, M_{VD}(\omega_M, \beta_M = -1) \right\}, \quad (2)$$

де  $P_{VD.TAB} = (P_{TAB.chg.max} - P_{dop}) \cdot \eta_{inv}^{-1}$  – обмеження потужності ВЕД в генераторному режимі можливостями ТАБ;  $\eta_{VD}$  – ККД ВЕД;  $\eta_{inv}$  – ККД трифазного інвертора з ШИМ;  $P_{TAB.chg.max} = (E_{TAB} - I_{TAB.chg.max} \cdot R_{TAB}) \cdot I_{TAB.chg.max}$  – потужність, що надходить в ТАБ при зарядці максимально-допустимим струмом;  $P_{dop}$  – потужність, споживана від бортової мережі додатковим електроустаткуванням;  $I_{TAB.chg.max}$  – максимальний струм заряду ТАБ;  $R_{TAB}$  – еквівалентний внутрішній опір ТАБ;  $E_{TAB}$  – еквівалентна ЕДС ТАБ.

Якщо  $M_{GSU.zd} > (M_{VD.min}^{ogr} \cdot \gamma_M)$ , гідравлічна система гальмування не використовується  $\beta_T = 0$ , гальмівне зусилля створюється за допомогою ВЕД:

$$\beta_M = \frac{M_{GSU.zd}}{M_{VD.max} \cdot \gamma_M}. \quad (3)$$

– Якщо  $M_{GSU.zd} \leq (M_{VD.min}^{ogr} \cdot \gamma_M)$ , використовується максимальний гальмівний момент ВЕД в генераторному режимі:  $\beta_M = -1$ . Нестача гальмівного моменту доповнюється за рахунок гідравлічної системи гальмування

$$\beta_T = \frac{M_{VD}(\omega_M, \beta_M) \cdot \gamma_M - M_{GSU.zd}}{M_{trm.max}}. \quad (4)$$

При необхідному моменті обертання ГСУ  $M_{GSU.zd} \geq 0$ :

– гідравлічна система гальмування не використовується  $\beta_T = 0$ ;

– вибір передаточного відношення трансмісії на  $k$ -ому кроці діагностування при  $\beta_D(k) \neq -1$  виконується виходячи з таких правил

$$\gamma = \gamma_1 \quad \text{при} \quad \omega < (\omega_{P,1} - \Delta\omega_P) \vee \vee (\omega < (\omega_{P,1} + \Delta\omega_P)) \wedge \gamma(k-1) > \gamma_2; \quad (5)$$

$$\gamma = \gamma_2 \quad \text{при} \quad ((\omega_{P,1} - \Delta\omega_P) \leq \omega < (\omega_{P,1} + \Delta\omega_P)) \wedge (\gamma(k-1) \leq \gamma_2) \vee \vee (\omega_{P,1} + \Delta\omega_P) \leq \omega < (\omega_{P,2} - \Delta\omega_P) \vee \vee ((\omega_{P,2} - \Delta\omega_P) \leq \omega < (\omega_{P,2} + \Delta\omega_P)) \wedge (\gamma(k-1) > \gamma_3); \quad (6)$$

$$\gamma = \gamma_3 \quad \text{при} \quad ((\omega_{P,2} - \Delta\omega_P) \leq \omega < (\omega_{P,2} + \Delta\omega_P)) \wedge (\gamma(k-1) \leq \gamma_3) \vee \vee (\omega_{P,2} + \Delta\omega_P) \leq \omega < (\omega_{P,3} - \Delta\omega_P) \vee \vee ((\omega_{P,3} - \Delta\omega_P) \leq \omega < (\omega_{P,3} + \Delta\omega_P)) \wedge (\gamma(k-1) > \gamma_4); \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \gamma = \gamma_4 \quad \text{при} \quad & \left( (\omega_{P,3} - \Delta\omega_p) \leq \omega < (\omega_{P,3} + \Delta\omega_p) \right) \wedge \gamma(k-1) \leq \gamma_4 \vee \\ & \vee (\omega_{P,3} + \Delta\omega_p) \leq \omega < (\omega_{P,4} - \Delta\omega_p) \vee \\ & \vee \left( (\omega_{P,4} - \Delta\omega_p) \leq \omega < (\omega_{P,4} + \Delta\omega_p) \right) \wedge (\gamma(k-1) > \gamma_5); \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \gamma = \gamma_5 \quad \text{при} \quad & \left( (\omega_{P,4} - \Delta\omega_p) \leq \omega \right) \wedge \gamma(k-1) \leq \gamma_5 \vee \\ & \vee (\omega_{P,4} + \Delta\omega_p) \leq \omega, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $\omega_p = [\omega_{P,1}, \omega_{P,2}, \omega_{P,3}, \omega_{P,4}]$  – вектор порогових швидкостей руху автомобіля, який визначається на підставі залежності ефективного ККД ДВЗ від його тягово-швидкісного режиму.

При  $\beta_D(k-1) > 0,5$  вектор  $\omega_p$  помножується на поправочний коефіцієнт  $K_{PP}(k) = 1 + 0,58 \cdot (\beta_D(k-1) - 0,5)$ , що враховує навантаження ДВЗ;  $\Delta\omega_p$  – приріст порогових швидкостей, що дозволяє уникнути «брязкоту» перемикання передач.

При  $\beta_D(k) = -1$ , коли ДВЗ відключений, передаточне відношення не змінюється:  $\gamma(k) = \gamma(k-1)$ ;

– якщо виконується умова  $(\omega < \omega_{P,DVS}) \wedge (\theta_{TAB} > \theta_{ex.min})$ , де  $\omega_{P,DVS}$  – порогова швидкість включення ДВЗ, рух здійснюється за допомогою тягового електродвигуна за наявності достатнього запасу енергії в ТАБ.

Максимально можливий момент обертання ВЕД з урахуванням обмежень його конструктивних особливостей і стану ТАБ може бути отриманий із виразу

$$M_{VD,max}^{ogr} = \min \left\{ \frac{P_{VD,TAB} \cdot \eta_{VD}}{\omega_M}, M_{VD}(\omega_M, \beta_M = 1) \right\}, \quad (10)$$

$$\text{де } P_{VD,TAB} = (P_{TAB,max} - P_{dop}) \cdot \eta_{inv}; \quad P_{TAB,max} = \frac{E_{TAB}^2}{4 \cdot R_{TAB}}.$$

У випадку, коли  $M_{GSU.zd} \leq (M_{VD,max}^{ogr} \cdot \gamma_M)$  сигнал управління тяговим електроприводом  $\beta_M = M_{GSU.zd} / (M_{VD,max} \cdot \gamma_M)$ , а сигнал управління потужністю ДВЗ відповідає його вимкненому стану  $\beta_D = -1$ .

При  $M_{GSU.zd} > (M_{VD,max}^{ogr} \cdot \gamma_M)$  електропривод переймає на себе максимально-можливе навантаження:  $\beta_M = 1$ , а нестача потужності доповнюється за рахунок ДВЗ:

$$\beta_D = M_{DVS}^{-1}(\omega_{KV}, M_{DVS.zd}), \quad (11)$$

$$\text{де } M_{DVS.zd} = \frac{M_{GSU.zd} - M_{VD}(\omega_M, \beta_M) \cdot \gamma_M}{\gamma \cdot K_{scp}} \text{ – необхідний ефективний момент ДВЗ;}$$

$K_{scp}$  – коефіцієнт прослизання зчеплення

$$K_{scp} = \begin{cases} 1, & \text{при } \omega_{KV} \geq \omega_{KV.min} \\ \frac{\omega_{KV} \cdot (1 - K_{scp,0})}{\omega_{KV.min}} + K_{scp,0} & \text{при } \omega_{KV} < \omega_{KV.min}; \end{cases} \quad (12)$$

де  $K_{scp.0}$  – коефіцієнт прослизання зчеплення при  $\omega_{KV} = 0$ .

При моделюванні ДВЗ у випадку  $\omega \cdot \gamma < \omega_{KV.min}$  з урахуванням буксування муфти зчеплення вважатимемо, що  $\omega_{KV} = \omega_{KV.min}$ ; якщо виконується умова  $(\omega < \omega_{P.DVS}) \wedge (\theta_{TAB} \leq \theta_{ex.min})$ , коли ТАБ розряджена, рух здійснюється за допомогою ДВЗ при відключеному електроприводі:  $\beta_M = 0$ .

В цьому випадку  $\beta_D = M_{DVS}^{-1}(\omega_{KV}, M_{DVS.zd})$ , де  $M_{DVS.zd} = M_{GSU.zd} \cdot \gamma^{-1}$ ;

– при швидкості руху автомобіля, що перевищує порогову швидкість включення ДВЗ, коли виконується умова  $\omega \geq \omega_{P.DVS}$ , ВЕД використовується для наближення тягово-швидкісного режиму ДВЗ до області оптимальних режимів. Оптимальний момент обертання ДВЗ для поточної швидкості обертання КВ  $\omega_{KV}$  знаходиться із умови

$$M_{DVS}^* = M_{DVS}(\omega_{KV}, \beta_D^*), \quad \beta_D^* = \arg \min_{\beta_D} \{g_e(\omega_{KV}, \beta_D)\}. \quad (13)$$

– при виконанні умови  $(M_{GSU.zd} \geq M_{DVS}^* \cdot \gamma) \vee (\theta_{TAB} \geq \theta_{ex.opt})$  відведення потужності від ДВЗ для заряджання ТАБ недоцільно.

– якщо  $(M_{GSU.zd} > \gamma \cdot M_{DVS}(\omega_{KV}, \beta_D = 1)) \wedge (\theta_{TAB} \geq \theta_{ex.min})$ , існує необхідність і можливість доповнити нестачу потужності ДВЗ за допомогою ВЕД. В цьому випадку сигнал управління потужністю ДВЗ приймається рівним  $\beta_D = 1$ , а сигнал управління потужністю ВЕД визначається із виразу

$$\beta_M = \begin{cases} \frac{M_{VD.zd}}{M_{VD.max}} & \text{при } M_{VD.zd} < M_{VD.max}^{ogr} \\ 1 & \text{при } M_{VD.zd} \geq M_{VD.max}^{ogr} \end{cases}, \quad (14)$$

де  $M_{VD.zd} = \frac{M_{GSU.zd} - \gamma \cdot M_{DVS}(\omega_{KV}, \beta_D)}{\gamma_M}$ ,

$$M_{VD.max}^{ogr} = \min \left\{ \left( \frac{E_{TAB}^2}{4 \cdot R_{TAB}} - P_{dop} \right) \cdot \frac{\eta_{inv} \cdot \eta_{VD}}{\omega_M}, M_{VD}(\omega_M, \beta_M = 1) \right\}. \quad (15)$$

– інакше, коли виконується умова

$$(M_{GSU.zd} \leq \gamma \cdot M_{DVS}(\omega_{KV}, \beta_D = 1)) \vee (\theta_{TAB} < \theta_{ex.min}), \quad (16)$$

рух здійснюється без використання тягового електроприводу:  $\beta_D = 0$ . Сигнал управління потужністю ДВЗ в цьому випадку  $\beta_D = M_{DVS}^{-1}(\omega_{KV}, M_{DVS.zd})$ , де

$$M_{DVS.zd} = \min \left\{ \frac{M_{GSU.zd}}{\gamma}, M_{DVS}(\omega_{KV}, \beta_D = 1) \right\}. \quad (17)$$

– при виконанні умови  $(M_{GSU.zd} < M_{DVS}^* \cdot \gamma) \wedge (\theta_{TAB} < \theta_{ex.opt})$  ДВЗ працює в оптимальному режимі, а надлишок потужності відводиться для заряджання ТАБ за допомогою використання ВЕД в режимі генератора.

В цьому випадку момент опору ВЕД, потрібний для забезпечення оптимального режиму ДВЗ

$$M_{VD.zd} = \frac{M_{GSU.zd} - \gamma \cdot M_{DVS}^*}{\gamma_M}. \quad (18)$$

Обмеження даного моменту опору, обумовлене конструктивними особливостями ВЕД і максимально допустимим струмом зарядки ТАБ, відповідним її поточному стану

$$M_{VD.min}^{ogr} = \max \left\{ \frac{P_{VD.TAB}}{\omega_M \cdot \eta_{VD}}, M_{VD}(\omega_M, \beta_M = -1) \right\}, \quad (19)$$

де

$$P_{VD.TAB} = \frac{(E_{TAB} - I_{TAB.chg.max} \cdot R_{TAB}) \cdot I_{TAB.chg.max} - P_{dop}}{\eta_{inv}}. \quad (20)$$

При  $M_{VD.zd} > M_{VD.min}^{ogr}$  управляючі впливи на ВЕД і ДВЗ

$$\beta_M = \frac{M_{VD.zd}}{M_{VD.max}}; \quad \beta_D = M_{DVS}^{-1}(\omega_{KV}, M_{DVS}^*). \quad (21)$$

При  $M_{VD.zd} \leq M_{VD.min}^{ogr}$  режим ДВЗ може відхилитися від оптимального із за обмежень області допустимих режимів ВЕД

$$\beta_M = -1; \quad \beta_D = M_{DVS}^{-1}(\omega_{KV}, M_{DVS.zd}), \quad (22)$$

де

$$M_{DVS.zd} = \min \left\{ \frac{M_{GSU.zd}}{\gamma}, M_{DVS}(\omega_{KV}, \beta_D = 1) \right\}. \quad (23)$$

Момент обертання ГСУ  $M_{GSU.zd}$ , потрібний для забезпечення заданого тягово-швидкісного режиму гібридного автомобіля, визначається з використанням ПІ-регулятора

$$M_{GSU.zd}(k) = k_{p.V} \cdot e(k) + k_{i.V} \cdot \sum_{n=0}^k e(n), \quad (24)$$

де  $e(k) = V_{zd}(k) - V(k)$  – помилка регулювання за швидкістю руху автомобіля;

$k_{p.V}$ ,  $k_{i.V}$  – параметри ПІ – регулятора.

Наведена стратегія управління ГСУ на підставі логічних правил, що враховує особливості конкретних умов експлуатації, що впливають на ефективність роботи гібридного автомобіля.

## Висновки

Вирішена задача підвищення ефективності експлуатації функціональних систем силової установки гібридного автомобіля на підставі нової концепції діагностування її технічного стану. Наведено єдиний підхід к дослідженню діагностичних параметрів в залежності від схеми будови та конструктивних особливостей силової установки гібридного автомобіля. Це дає можливість використовувати нейромережеву апроксимацію характеристик діагностичних параметрів силової установки гібридного автомобіля при використанні енергетичних показників.

## Список використаних джерел

1. Куликов И.В. Динамическое программирование как инструмент теоретических исследований силовой установки гибридного автомобиля/ И.В. Куликов // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2010. – №4 (63).
2. S. Chiuta and E. Blom. Techno-economic evaluation of a nuclear-assisted coal-to-liquid facility // Progress in Nuclear Energy, 2012. – Vol. 54, – pp. 68-74.

3. X. Ou, X. Yan, and X. Zhang. Using coal for transportation in China: Life cycle GHG of coal-based fuel and electric vehicle, and policy implications // *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2010. – Vol. 4. – pp. 878-887.
4. Сериков С.А. Нейросетевое управление гибридной силовой установкой на основе метода адаптивной критики / С.А. Сериков // *Автомобильный транспорт*. – 2012. – № 30. – С.65-74.
5. Гаскаров Д.В. Интеллектуальные информационные системы: учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2003. – 431 с.
6. Гібридні автомобілі / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков та ін. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 328 с.
7. Бажинов А.В., Серикова Е.А., Быков А.М. Долговечность легкового автомобиля. – Харьков: Мачулин. – 2012.
8. Двадненко В.Я., Бажинов А.В., Пушкар А.Б. Оптимизация силовой установки гибридного автомобиля // *Материалы Международной научно-практической конференции «Автомобиле- и тракторостроение»*– 2019. – С. 60-63.
9. Раков В.А. Эксплуатация и обслуживание автомобилей с гибридными силовыми установками: монография. – Вологда, 2014. – 143с.

### References

1. Kulikov I.V. Dynamic programming as a tool for theoretical studies of the power plant of a hybrid car / I.V. Kulikov // *Journal of Automotive Engineers*. – 2010. – No. 4 (63).
2. S. Chiuta and E. Blom. Techno-economic evaluation of a nuclear-assisted coal-to-liquid facility // *Progress in Nuclear Energy*, 2012. – vol. 54, – pp. 68-74.
3. X. Ou, X. Yan, and X. Zhang. Using coal for transportation in China: Life cycle GHG of coal-based fuel and electric vehicle, and policy implications // *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2010. – vol. 4. – pp. 878-887.
4. Serikov S.A. Neural network control of a hybrid power plant based on the method of adaptive criticism / S.A. Serikov // *Automobile transport*. – 2012. – No. 30. – P.65-74.
5. Gaskarov D.V. Intelligent information systems: textbook. for universities. – М.: Higher. shk., 2003. - 431 p.
6. Hybrid vehicles / O.V. Bazhinov, O. P. Smirnov, S.A. Serikov and in. – X.: KHNADU, 2008. – 328 p.
7. Bazhinov A.V., Serikova E.A., Bykov A.M. The durability of a passenger car. – Kharkov: Machulin, 2012.
8. Dvadnenko V.Ya., Bazhinov A.V., Pushkar A.B. Optimization of the power plant of a hybrid vehicle // *Materials of the International Scientific and Practical Conference "Automobile and Tractor Engineering"*. – 2019. – P. 60-63.
9. Rakov V.A. Operation and maintenance of vehicles with hybrid power plants: monograph. – Vologda, 2014. – 143p.