

УДК 621.311

DOI: 10.30977/VEIT.2022.22.0.3

## Особливості запуску дизельних двигунів автотранспортних засобів із застосуванням молекулярних накопичувачів енергії

Лагутін Г. І.<sup>1</sup>, Панченко А. М.<sup>1</sup>, Уваров В. М.<sup>1</sup>, Сальник О. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

**Анотація.** В статті проведений аналіз особливостей запуску дизельних двигунів автотранспортних засобів в польових умовах, пов'язаних з станом акумуляторів, проаналізовані схемні рішення існуючих способів пуску таких двигунів. На підставі проведеного аналізу розроблені пропозиції щодо застосування молекулярних накопичувачів енергії для їх сумісного використання з стартерними акумуляторними батареями в системах електростартерного запуску дизельних двигунів автотранспортних засобів спеціального призначення в польових умовах.

**Ключові слова:** автотранспортні засоби; двигун внутрішнього згоряння; електростартерна система запуску; акумуляторна батарея; молекулярний накопичувач енергії.

### Вступ

Аналізуючи досвід експлуатації автотранспортних засобів спеціального призначення в польових умовах, можна зробити висновок про існування проблеми запуску дизельних двигунів при низьких температурах [1-3]. Це стосується майже усієї техніки, де використовується стартерний запуск двигуна.

Останнім часом, починаючи з минулого століття, для поліпшення процесу запуску дизельних двигунів використовують принципово новий елемент – це молекулярний накопичувач енергії (МНЕ) [4-6].

Основна проблема при застосуванні молекулярних накопичувачів, яка не вирішена за 30 років – низька напруга одиночного накопичувача (на початку досліджень вона складала 1,23 В, а зараз – максимум 4,7 В). Це вимагає йти шляхом послідовно-паралельного з'єднання окремих МНЕ. Проведений аналіз показав, що, за питомою енергією МНЕ поступаються акумуляторним батареям (АКБ), але питома потужність МНЕ значно вища, ніж АКБ. При сумісному використанні МНЕ та АКБ на початку процесу запуску ДВЗ стартер отримує живлення від МНЕ, що забезпечує розвантаження АКД від пікових струмів та збільшує його ресурс.

Тому проведення досліджень, спрямованих на підвищення ефективності систем стартерного пуску дизельних двигунів автотранспортних засобів спеціального призначення, яка експлуатується в польових умовах, є актуальним.

### Аналіз публікацій

Для запуску двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) автотранспортних засобів зазвичай використовується електростартерна система запуску (ЕСЗ), для надійної роботи якої необхідно утримувати стартерні АКБ в зарядженому стані [7]. В зимових умовах запуск двигуна внутрішнього згоряння ускладнюється внаслідок збільшення в'язкості моторної оливи, а також зниження ємності АКБ [8].

Проведений аналіз поопераційних витрат часу на підготовку автотранспортних засобів до роботи показує, що до 85 % часу при низьких від'ємних температурах повітря витрачається на передпусковий розігрів ДВЗ.

Основними причинами, що обумовлюють необхідність розігріву й утрудняють пуск дизелів у зимових умовах, є, з одного боку, зростання моменту опору прокручуванню колінчатого вала двигуна, що вимагає під-

вищення пускової потужності ЕСЗ, а з іншого – істотне зниження енерговіддачі АКБ через збільшення їх внутрішнього опору й зменшення енергоємності. Забезпечення холодного пуску двигуна в умовах низьких температур досягається різними способами.

Для полегшення запуску ДВЗ в умовах низьких температур використовують [9-11]:

- передпускове прогрівання двигуна за рахунок використання підігрівачів охолоджувальної рідини типу ПЖД, які за рахунок теплоти, отриманої при згорянні палива в камері згоряння підігрівача, забезпечують нагрівання охолоджуючої рідини та її примусову циркуляцію по системі охолодження двигуна;

- нагрівання повітря, яке поступає через повітряний фільтр в камери згоряння двигуна, за рахунок використання електрофакельної системи підігріву або свічок розжарювання;

- передпускове прогрівання двигуна шляхом нагрівання охолоджувальної рідини трубчастими електронагрівачами.

Всі ці способи передбачають наявність АКБ певної ємності, які мають утримуватися в зарядженому стані. При експлуатації автотransпортних засобів в польових умовах утримання АКБ зарядженими, особливо взимку, викликає великі труднощі. З одного боку, АКБ достатньо сильно розряджаються під час багатократних запусків двигунів, а в період між запусками вони не встигають зарядитися, тому що зарядні генератори для швидкого заряду АКБ не призначені, а вбудовані потужні зарядні пристрої не передбачені конструкцією автотransпортних засобів [12]. Тому актуальною задачею є пошук таких накопичувачів електричної енергії, які здатні забезпечити як швидке віддавання електричної енергії під час запуску ДВЗ, так і швидке відновлення своїх параметрів під час заряду в період між запусками.

Іншою проблемою є те, що свинцеві кислотні АКБ, які традиційно використовуються для електростартерного запуску дизельних двигунів, дуже критичні до порушень умов їх застосування за призначенням, технічного обслуговування та зберігання [13]. Неправильна експлуатація АКБ може призвести до зменшення їх електричної ємності, сульфатації або руйнування пластин. АКБ, що виробляються в цей час промисловістю, не задовольняють у повному обсязі висунутим вимогам за питомими потужнісними харак-

теристиками у стартерному режимі розряду, практично не працездатні при температурі повітря нижче мінус 40 °С й тому не вирішують у повному обсязі проблеми пуску двигунів при низьких температурах навколишнього повітря.

Таким чином, застосування систем попереднього підігрівання двигуна є ефективним тільки при використанні на автотransпортних засобах перспективних АКБ, що відповідають висунутим вимогам, тому що у випадку відмови систем попереднього підігрівання двигуна існуючі АКБ не можуть гарантувати запуск двигунів при температурі нижче мінус 30 °С навіть при використанні малов'язких олів. Розігрів ДВЗ з використанням штатних підігрівників при зазначеній температурі навколишнього повітря може призвести до розряду АКБ.

Ефективний пуск холодних двигунів при температурах пального, масла й охолоджувальної рідини мінус 30 °С може бути здійснений шляхом підтримки АКБ у підігрітому стані, тому що АКБ при додатній температурі електроліту віддають необхідну потужність [14]. Тому одним зі шляхів вирішення проблеми підвищення пускової потужності ЕСЗ може бути передпусковий розігрів електроліту АКБ. Реалізація технічних пропозицій щодо підвищення пускової потужності АКБ шляхом їхнього розігріву різними способами й короткочасного підзаряду є ефективними, але застосовні тільки в стаціонарних умовах.

Наведені вище способи забезпечення надійності пуску ДВЗ не знайшли широкого застосування на автотransпортних засобах. Неможливість надійного пуску двигуна через зниження зарядженості АКБ при температурі, нижчої за мінімально допустиму за умовами пуску, може бути компенсована частковим його розігрівом і реалізацією так званого холодного пуску. У зв'язку із цим, для забезпечення ефективного пуску двигуна при низьких температурах повітря доцільно разом з АКБ застосовувати в складі систем електричного запуску інші джерела електричної енергії, питомі потужнісні й енергетичні характеристики яких у стартерному режимі розряду не нижче пропонованих вимог до перспективних АКБ.

Для виконання цієї вимоги має бути вирішене завдання підвищення пускової потужності ЕСЗ у два рази й підвищення ємності джерела електричної енергії в півтора рази.

### **Мета та постановка задачі**

Метою роботи є дослідження можливостей використання молекулярних накопичувачів енергії для надійного запуску дизельних двигунів, в тому числі в умовах низьких температур, спрямовані на підвищення ефективності систем стартерного пуску дизельних двигунів автотранспортних засобів спеціального призначення, які експлуатуються в польових умовах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- аналіз існуючих способів пуску дизельних двигунів;
- аналіз характеристик молекулярних накопичувачів енергії;
- обґрунтування характеристик системи стартерного пуску дизельних двигунів з використанням молекулярних накопичувачів енергії;
- розробка схеми системи стартерного пуску дизельного двигуна з використанням молекулярного накопичувачів енергії

### **Аналіз існуючих способів пуску дизельних двигунів**

Для аналізу в роботі розглядається найбільш поширений дизельний двигун УТД-20 [15]. Він встановлюється на великій кількості автотранспортних засобів спеціального призначення.

Для пуску й керування дизельний двигун обладнаний двохпровідним електроустаткуванням постійного струму, напругою 24 В.

Система низьковольтного електроустаткування містить у собі: 4 акумуляторні батареї 12СТ-85, стартер СТ-722, контактори ТКС601ДОД і ТКС101ДОД, два вимикачі ВК-317А2, електродвигуни МН-1 і МУ-320, мікроперемикачі Д-703, автомат захисту мережі АЗС-50, електроустаткування підігрівника ПЖД-44 і електропроводку.

Пуск дизеля здійснюється електростартером або стисненим повітрям. Обидві системи пуску незалежні друг від друга.

У систему пуску електростартером входять: електричний стартер, акумуляторні батареї, проводи й контактор.

Система пуску дизеля стисненим повітрям складається з повітророзподільника, повітропроводів і шести пускових клапанів. В системі повітряного пуску встановлюється повітряний балон і пусковий кран-редуктор. З повітророзподільника по черзі у відповіднос-

ті порядку роботи циліндрів дизеля стиснене повітря на початку такту розширення надходить до пускових клапанів, установлених у різьбових втулках головок циліндрів з боку впуску й через них у циліндри дизеля. Діючи на поршні, стиснене повітря приводить в обертання колінчатий вал. Пускові оберти колінчатого вала дорівнюють приблизно 110...120 об/хв.

Система підігріву призначена для передпускового розігріву дизельного двигуна за допомогою підігрівника. Керування підігрівником ручне, із щитка, встановленого в кабіні водія.

Система керування двигуном забезпечує:

- передпусковий підігрів дизеля за допомогою рідинного підігрівника двигуна ПЖД-44 за час не більше 30 хв. при температурах навколишнього повітря не нижче мінус 15 °С и не більше 40 хв. при більш низьких температурах;
- надійний пуск при температурі навколишнього повітря не нижче + 5° С без застосування спеціальних підігрівних пристроїв;
- в екстрених випадках приймання 100 % навантаження за 1 хв., включаючи пуск дизеля; при цьому перед пуском двигуна температура охолоджувальної рідини й масла в системах і дизеля в цілому повинна бути не нижче + 20 °С.

### **Аналіз характеристик молекулярних накопичувачів енергії**

Молекулярні накопичувачі електричної енергії мають ряд переваг перед свинцевими стартерними АКБ [16]:

- забезпечують підвищення пускової потужності АКБ більш ніж у два рази;
- мають стабільність потужності, що віддається, незалежно від температури навколишнього середовища;
- знімають пікові навантаження від стартера при спільній роботі з АКБ, чим забезпечується продовження терміну їх служби.
- мають кращі об'ємно-масові показники;
- мають високі питомі потужнісні характеристики;
- мають великий термін служби (до 15 років);
- зберігають працездатність при низьких температурах навколишнього середовища;
- не вимагають технічного обслуговування й ремонту в процесі експлуатації;

– є екологічно чистим джерелом електроенергії;

– забезпечують надійність пуску двигуна й знижують температуру пуску двигуна на 5 °С у порівнянні з АКБ.

Енергетичні характеристики АКБ та МНЕ представлені в Таблиці 1.

Таблиця 1. Енергетичні характеристики хімічних джерел живлення

Показники	Тип хімічного джерела живлення		
	АКБ	МНЕ	
		промислові	перспективні
Пит. енергія, Вт·год/кг	20-40	2-10	48-85
Макс. пит. потужність, Вт/кг	100-300	1500-12000	2000-21000
Ресурс, циклів	100-400	> 10 <sup>6</sup>	> 10 <sup>6</sup>
Термін служби, років	2-10	> 20	> 20
Роб. температури, °С	-30...+45	-50...+70	-50...+70
ККД, %	70-85	> 90	> 90

Наведені характеристики свідчать про принципову можливість використання МНЕ у складі системи стартерного пуску дизельного двигуна.

### Обґрунтування характеристик системи стартерного пуску дизельних двигунів з використанням молекулярних накопичувачів енергії

Для забезпечення подолання підвищеного моменту опору прокручуванню колінчатого вала при холодному пуску двигуна доцільне застосування в складі ЕСЗ комбінованого джерела електричної енергії (КДЕЕ), що складається зі свинцевих стартерних АКБ і МНЕ.

Для узагальненої оцінки ступеня відповідності характеристик КДЕЕ технічним вимогам, що висуваються до допоміжних джерел електричної енергії, пропонується ввести векторний показник ефективності  $W(u)$ , який ураховує ступінь відповідності КДЕЕ висунутим вимогам за потужністю, за максимальною накопиченою енергією, за масогабаритними характеристиками, за ресурсом (терміном служби), за вартістю тощо.

В [17] для розв'язання задачі про застосування конкретного типу КДЕЕ в складі ЕСЗ

дизеля запропонований критерій ефективності, в основу якого покладена концепція придатності:

$$W(u) \geq W_{\text{п}}, u \in U \quad (1)$$

де  $W(u)$  – значення показника ефективності  $u$ -го типу КДЕЕ;  $W_{\text{п}}$  – необхідне значення показника ефективності допоміжного джерела електричної енергії;  $U$  – множина можливих типів допоміжних джерел електричної енергії.

При цьому для визначення кращого типу КДЕЕ потрібне введення додаткового критерію – «ефективність-вартість», який може бути представлений у вигляді:

$$B(i, n) \rightarrow \min, \\ \text{при } n > n_{\text{п}}, T^{\circ} = -35^{\circ} \text{C} \\ u \in N \quad (2)$$

де  $N$  – число придатних типів КДЕЕ, шт.;  $n_{\text{п}}$  – значення необхідної пускової швидкості обертання колінчатого вала дизеля.

Таким чином, з використанням критеріїв придатності та «ефективність-вартість» можливо вибрати кращий тип КДЕЕ шляхом послідовного відбору за критерієм придатності з попередньо відібраних: відповідних за середньою потужністю в стартерному режимі при температурі електроліту мінус 35 °С; за максимальною енергією; за об'ємом; за масою; за терміном служби; за вартістю. Далі здійснюється вибір кращого типу КДЕЕ із числа придатних за критерієм «ефективність-вартість».

### Розробка схеми системи стартерного пуску дизельного двигуна з використанням молекулярних накопичувачів енергії

Проведені дослідження показали, що схема системи стартерного пуску дизельного двигуна має забезпечувати пуск двигуна від АКБ разом з МНЕ [18-19]. При цьому доцільно передбачити заряд МНЕ безпосередньо перед кожним пуском. На Рис. 1 представлена функціональна схема ЕСЗ, що реалізує запуск ДВЗ з використанням МНЕ.

Вона включає в себе штатні АКБ GB1, GB2, молекулярний накопичувач МНЕ, зарядний генератор G, стартер Ст з тяговим реле Ст1, реле блокування стартера РБС, а також



ключі керування S1, S2 та виконавчі реле P1, P2, P3.

При пуску двигуна схема працює таким чином.

На першому етапі після вмикання вимикача маси S2 та переведення ключа стартера S1 у положення 1 замикаються його контакти 0 та 1. Напруга від АКБ GB1 і GB2 подається через замкнуті контакти виконавчого реле P2 на обмотку виконавчого реле P1, яке своїми контактами підключає молекулярний накопичувач енергії МНЕ паралельно батареям GB1 і GB2. МНЕ заряджається від АКБ до напруги, рівній їх напрузі.

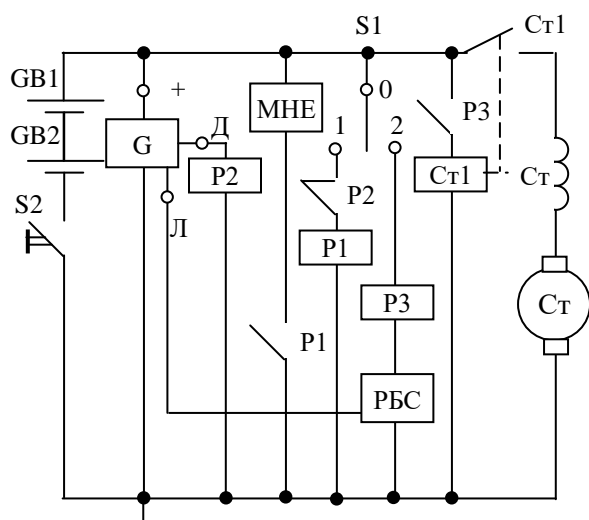


Рис. 1. Функціональна схема електро-стартерної системи запуску дизеля з молекулярним накопичувачем енергії

На другому етапі для здійснення пуску двигуна вимикач S1 переводиться в положення 2, при цьому замикаються контакти 0, 1 та 2. Напруга від паралельно з'єднаних АКБ та МНЕ подається на обмотку реле стартера P3, контакти якого замикаються і подають напругу на обмотки Ст1 тягового реле стартера. Контакти Ст1 тягового реле замикаються і підключають електродвигун стартера СТ до АКБ і МНЕ.

На третьому етапі після пуску двигуна зарядний генератор G починає виробляти електричну енергію. Постійна напруга з виводу Д подається на обмотку виконавчого реле P2 і воно своїми нормально замкненими контактами розриває електричне коло обмотки виконавчого реле P1. Його контакти розмикаються, і МНЕ автоматично відключається кола свого заряду до наступного пуску двигуна. У той же час змінна синусоїдальна на-

пруга з виводу «Л» зарядного генератора G подається на реле блокування стартера РБС, і воно розмикає коло живлення виконавчого реле P3. Знеструмлене реле P3 в свою чергу знімає живлення з тягового реле стартера Ст1, і електродвигун стартера СТ відключається.

Перевагою цього варіанта ЕСЗ є максимальна уніфікація із серійною ЕСЗ, продовження терміну служби АКБ за рахунок зняття пікових струмових навантажень.

В результаті проведеного техніко-економічного обґрунтування доцільності застосування МНЕ в ЕСЗ автотранспортних засобів спеціального призначення з'ясовано:

- габаритний об'єм МНЕ в складі КДЕЕ порівняний з габаритним об'ємом серійних 24-х вольтових АКБ, що дає можливість застосування МНЕ на автотранспортних засобах при температурах навколишнього середовища до мінус 35 °С;

- КДЕЕ з МНЕ ємністю 340 Ф напругою 30 В за вартістю більш ніж в 1,5 рази дорожче АКБ, однак вони забезпечують холодні прокручування й запуск двигуна марки УТД20 при температурі до мінус 35°С;

- однак за результатами оцінки експлуатаційних показників КДЕЕ встановлено, що вартість експлуатації КДЕЕ з такими МНЕ знижується на 11 % при терміні служби АКБ 7,5...10 років, що є істотним.

Таким чином, МНЕ доцільно використовувати в складі комбінованих вбудованих систем електричного пуску при температурі повітря до мінус 35 °С. Застосування в складі ЕСЗ ДВЗ МНЕ, які у стартерному режимі розряду при температурі електроліту мінус 30 °С за питомою потужністю суттєво перевершують (на 25...30 %) кращі світові аналоги свинцевих стартерних АКБ може бути одним зі шляхів вирішення проблеми ефективного пуску двигунів автотранспортних засобів при низьких температурах повітря.

### Висновки

Проведені дослідження особливостей запуску дизельних двигунів автотранспортних засобів спеціального призначення із застосуванням молекулярних накопичувачів енергії дозволяють зробити такі висновки:

- існуючі способи пуску дизельних двигунів автотранспортних засобів спеціального призначення, які експлуатуються в польових

умовах, не в повній мірі забезпечують їх надійний запуск в умовах низьких температур;

– характеристики МНЕ дозволяють використовувати їх у складі комбінованої бортової системи стартерного пуску дизельного двигуна;

– потрібні характеристики КДЄЕ для системи стартерного пуску дизельних двигунів з використанням МНЕ можуть бути обрані з використанням критеріїв придатності та «ефективність-вартість»;

– представлена функціональна схема бортової електростартерної системи запуску дизеля з МНЕ може бути одним зі шляхів вирішення проблеми ефективного пуску двигунів автотранспортних засобів при низьких температурах повітря.

Застосування комбінованого джерела електричної енергії, що складається зі свинцевих стартерних АКБ і МНЕ, забезпечує: надійний пуск двигуна в екстремальних температурних умовах; зменшення ємності штатних АКБ у 2 – 2,5 рази; збільшення терміну служби АКБ у 2 рази за рахунок зниження пускових струмів; можливість запуску двигуна при розряді АКБ на 70 %; зниження експлуатаційних витрат за рахунок використання більш дешевих акумуляторних батарей.

### Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

### Література

- Jihad Badra, Opeoluwa Owoyele, Pinaki Pal, Sibendu Som (2022). Chapter 6 - A machine learning-genetic algorithm approach for rapid optimization of internal combustion engines, Editor(s): Jihad Badra, Pinaki Pal, Yuanjiang Pei, Sibendu Som, Artificial Intelligence and Data Driven Optimization of Internal Combustion Engines, Elsevier. 125-158, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88457-0.00003-5>.
- Лагутін, Г. І., Мусаїрова, Ю. Д., Грицюк, Д. С., Кулинич, І. І. (2021). Шляхи удосконалення засобів визначення технічного стану дизельних двигунів пересувних електростанцій систем електропостачання радіолокаційних станцій. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, 2, 122–129. Lahutin, H. I., Musayirova, Yu. D., Hrytsyuk, D. S., Kulynych, I. I. (2021). Ways of improving the technical diagnostics means of mobile power plants diesel engines of radar stations power supply systems. [Lahutin, H. I., Musayirova, Yu. D., Hrytsyuk, D. S., Kulynych, I. I. (2021). Shlyakhy udoskonalennya zasobiv vyznachennya tekhnichnoho stanu dyzel'nykh dvyhunyv peresuvnykh elektrostantsiy system elektropostachannya radiolokatsiynykh stantsiy]. Collection of Scientific Works of the Kharkiv National Air Force University, 2, 122–129. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.68.16>.
- Martovytskyi, V., Ruban, I., Lahutin, H., Ilina, I., Rykun, V., & Diachenko, V. (2020, October). Method of Detecting FDI Attacks on Smart Grid. In 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T) (pp. 132-136). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PICST51311.2020.9468005>.
- Fomin, O., Sulym, A., Kulbovskiy, I., Khozia, P., & Ishchenko, V. (2018). Determining rational parameters of the capacitive energy storage system for the underground railway rolling stock. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, (2 (1)), 63-71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126080>
- Sulym, A., & Khozia, P. (2021, September). Analysis of Management Strategies for Energy Exchange Processes in the Electric Rolling Stock with On-Board Capacitive Energy Storages. In 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek) (pp. 109-114). IEEE. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569992>.
- Ciccarelli, F., Iannuzzi, D., Lauria, D., & Natale, P. (2017). Optimal control of stationary lithium-ion capacitor-based storage device for light electrical transportation network. IEEE Transactions on Transportation Electrification, 3(3), 618-631. <https://doi.org/10.1109/TTE.2017.2739399>.
- Кононов, В. Б., Кононова, О. А., Мусаїрова, Ю. Д. (2020). Обґрунтування вимог до сучасних способів та засобів визначення загального технічного стану бензинових та дизельних двигунів військових електростанцій та силових установок зразків озброєння та військової техніки. Системи управління, навігації та зв'язку, 2, 21–26. Kononov, V. B., Kononova, O. A., Musayirova, Yu. D. (2020). Justification of the requirements for modern methods and means of determining the general technical condition of gasoline and diesel engines of military power plants and power units of samples of weapons and military equipment. [Kononov, V. B., Kononova, O. A., Musayirova, Yu. D. Obgruntuvannya vymoh do suchasnykh sposobiv ta zasobiv vyznachennya zahal'noho tekhnichnoho stanu benzynovykh ta dyzel'nykh dvyhunyv viys'kovykh elektrostantsiy ta sylovykh

- ustanovok zrazkiv ozbroynnya ta viys'kovoyi tekhniki]. Systems of control, navigation and communication, 2, 21–26. [in Ukrainian]. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz\\_2020\\_2\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2020_2_6).
8. Мисюра М. І. (2018). Поліпшення експлуатаційних властивостей дизельного палива в умовах низьких температур. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів, 13, 276–280. Mysyura M. I. (2018). Improvement of operational properties of diesel fuel at low temperatures. [Mysyura M. I. (2018). Polipshennya ekspluatatsiynikh vlastyvostry dyzel'noho palyva v umovakh nyz'kykh temperatur]. Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes, 13, 276–280. [in Ukrainian]. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/tcalk\\_2018\\_13\\_41](http://nbuv.gov.ua/UJRN/tcalk_2018_13_41).
  9. Грицюк, О. В., Левченко, Д. В. (2020) Особливості уявлення моменту опору дизельного двигуна як незалежного фактору впливу на його пускові якості. Двигуни внутрішнього згоряння, 2, 64–73. Hrytsyuk, O. V., Levchenko, D. V. (2020) Peculiarities of representation of the moment of resistance of a diesel engine as an independent factor influencing its starting qualities. [Hrytsyuk, O. V., Levchenko, D. V. (2020) Osoblyvosti uyavlennya momentu oporu dyzel'noho dvyhuna yak nezalezhnogo faktoru vplyvu na yoho puskovi yakosti]. Internal Combustion Engines, 2, 64–73. [in Ukrainian]. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/dvs\\_2020\\_2\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/dvs_2020_2_11).
  10. Серіков, Г. С. (2017). Підвищення ефективності роботи системи передпускового підігріву дизельних двигунів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, 12, 75–77. Syerikov, G. S. (2017). Increasing the efficiency of the diesel engine preheating system. [Syerikov, H. S. (2017). Pidvyshchennya efektyvnosti roboty systemy peredpuskovoho pidihrivu dyzel'nykh dvyhuniv. Avtomobil' i elektronika. Suchasni tekhnolohiyi, 12, 75–77.]. Car and electronics. Modern technologies, 12, 75–77. [in Ukrainian]. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/veit\\_2017\\_12\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/veit_2017_12_15).
  11. Анацький, О. О., Бобрицький, С. В. (2015). Аналіз факторів впливаючих на пускові характеристики дизельних двигунів тепловозів та допоміжних пристроїв для полегшення пуску. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 1, 272–275. Anats'kyu, O. O., Bobryts'kyu, S. V. (2015). Analysis of factors affecting the starting characteristics of diesel locomotive engines and auxiliary devices to facilitate starting. [Anats'kyu, O. O., Bobryts'kyu, S. V. (2015). Analiz faktoriv vplyvayuchykh na puskovi kharakterystyky dyzel'nykh dvyhuniv teplovoziv ta dopomizhnykh prystroyiv dlya polehshennya pusku.]. Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dal, 1, 272–275. [in Ukrainian]. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSUNU\\_2015\\_1\\_60](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSUNU_2015_1_60).
  12. Кононов, Б. Т., Мусаїрова, Ю. Д., Куян, О. Є. (2019). Використання електрогидравлічних аналогій при діагностуванні технічного стану бензинових та дизельних двигунів внутрішнього згоряння. Системи управління, навігації та зв'язку, 3, 38–42. Kononov, B. T., Musayirova, Yu. D., Kuyan, O. Ye. (2019). The use of electrohydraulic analogies in diagnosing the technical condition of gasoline and diesel internal combustion engines. [Kononov, B. T., Musayirova, Yu. D., Kuyan, O. Ye. (2019). Vykorystannya elektrohivdravlichnykh analogiy pry diahnostuvanni tekhnichnoho stanu benzynovykh ta dyzel'nykh dvyhuniv vnutrishn'oho zhoryannya]. Systems of control, navigation and communication, 3, 38–42. [in Ukrainian]. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz\\_2019\\_3\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2019_3_8).
  13. Кононов, Б. Т., Бондаренко, О. І. (2017). Вибір показника для оцінювання технічного стану дизель-генератора. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, 3, 113–117. Kononov, B. T., Bondarenko, O. I. (2017). Selection of an indicator for assessing the technical condition of a diesel generator. [Kononov, B. T., Bondarenko, O. I. (2017). Vybir pokaznyka dlya otsinyuvannya tekhnichnoho stanu dyzel'-heneratora]. Collection of Scientific Works of Kharkiv Air Force University, 3, 113–117. [in Ukrainian]. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS\\_2017\\_3\\_25](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS_2017_3_25).
  14. Розум, Р. І., Буряк, М. В., Попович, П. В., Прогній, П. Б., Захарчук, О. П. (2022). Методологія діагностування автомобільних дизельних двигунів. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 1, 138–142. Rozum, R. I., Buryak, M. V., Popovych, P. V., Prohniy, P. B., Zakharchuk, O. P. (2022). Methodology for diagnosing automotive diesel engines. [Rozum, R. I., Buryak, M. V., Popovych, P. V., Prohniy, P. B., Zakharchuk, O. P. (2022). Metodolohiya diahnostuvannya avtomobil'nykh dyzel'nykh dvyhuniv]. Modern technologies in mechanical engineering and transport. 1, 138–142. [in Ukrainian]. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt\\_2022\\_1\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2022_1_18).
  15. Кононов, Б. Т., Мусаїрова, Ю. Д. (2018). Шляхи підвищення достовірності оцінювання технічного стану окремих циліндрів багатоциліндрових дизельних та бензинових двигунів. Системи управління, навігації та зв'язку, 5, 44–49. Kononov, B. T., Musayirova, Yu. D. (2018). Ways of increasing the reliability of assessing the technical condition of individual cylinders of multi-cylinder diesel and gasoline engines. [Kononov, B. T., Musayirova, Yu. D. (2018). Shlyakhy pidvyshchennya dostovirnosti otsinyuvannya tekhnichnoho stanu okremykh

- tsylindriv bahatotsylindrovykh dyzel'nykh ta benzynovykh dvyhuniv]. Systems of control, navigation and communication, 5, 44–49. [in Ukrainian].  
[http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz\\_2018\\_5\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2018_5_11).
16. Panchenko, A., Smyrnov, O., Nechaus, A., Trunova, I., Borysenko, A., Sokhin, P., Bagach, R. (2021) Establishing patterns in the compatible electromagnetic and electromechanical transition processes when the starter is powered by a supercapacitor. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3. 5 (111). 19–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232423>.
17. Лагутін, Г. І., Романов, О. М., Панченко, А. М., Юр'єв, О. О. (2020). Аналіз можливості застосування ємнісних накопичувачів енергії в дизельних електростанціях систем електропостачання комплексів озброєння та військової техніки в умовах ведення бойових дій. Системи озброєння і військова техніка, 2, 66–72. Lahutin, H. I., Romanov, O. M., Panchenko, A. M., Yuryev, O. O. (2020). Analysis of the possibility of using capacitive energy storage in diesel power plants of power supply systems of weapons complexes and military equipment in the conditions of hostilities. [Lahutin, H. I., Romanov, O. M., Panchenko, A. M., Yur'yev, O. O. (2020). Analiz mozhlivosti zastosuvannya yemnisnykh nakopychuvachiv enerhiyi v dyzel'nykh elektrostantsiyakh system elektropostachannya kompleksiv ozbroynnya ta viys'kovoyi tekhniki v umovakh vedennya boyovykh diy]. Weapon systems and military equipment, 2, 66–72. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.62.09>.
18. Panchenko A., Karlov D., Kusakin Y., Kuravskiy M., Drol O. (2020) Development of a powerful lowvoltage DC converter for systems of electric power accumulation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2. 8(104). 25–34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198950>.
19. Панченко, А. М., Зарічняк, Є. М., Теличко, А. О., Огар, І. С., Швець, Д. С. (2021). Високовольтний пусковий пристрій дизель генератора. Системи озброєння і військова техніка, 2, 97–103. Panchenko, A. M., Zarichnyak, Ye. M., Telychko, A. O., Ohar, I. S., Shvets, D. S. (2021). High-voltage starting device of a diesel generator. [Panchenko, A. M., Zarichnyak, Ye. M., Telychko, A. O., Ohar, I. S., Shvets', D. S. (2021). Vysokovol'tnyy puskovyy prystriy dyzel' heneratora.]. Weapon systems and military equipment, 2, 97–103. [in Ukrainian]. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt\\_2021\\_2\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2021_2_14).

**Лагутін Геннадій Іванович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц.,  
 начальник кафедри електротехнічних систем  
 комплексів озброєння та військової техніки,  
 e-mail: [genna.lagutin@gmail.com](mailto:genna.lagutin@gmail.com),  
 тел. +38 068-616-15-45,

ORCID: 0000-0002-6337-1357

**Панченко Анатолій Миколайович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц.,  
 доцент кафедри електротехнічних систем  
 комплексів озброєння та військової техніки,  
 e-mail: [martensid1929@gmail.com](mailto:martensid1929@gmail.com),  
 тел. +38 067-573-40-49,  
 ORCID: 0000-0002-1280-2049

**Уваров Володимир Миколайович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц.,  
 ст. викладач кафедри електротехнічних систем  
 комплексів озброєння та військової техніки,  
 e-mail: [uvarr@ukr.net](mailto:uvarr@ukr.net), тел. +38 096-574-33-93,  
 ORCID: 0000-0001-8475-4536

**Сальник Олег Вікторович**<sup>1</sup>, с.н.с. наук.-досл.  
 лаб. факультету післядипломної освіти,  
 тел. +38 093-023-92-89,  
 e-mail: [ovsalnik@gmail.com](mailto:ovsalnik@gmail.com),  
 ORCID: 0000-0002-2688-1198

<sup>1</sup>Харківський національний університет  
 Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 61023,  
 Україна, м. Харків, вул. Сумська, 77/79.

### **Features of starting motor vehicles diesel engines with the use of molecular energy storages**

**Abstract. Problem.** With the experience of special purpose vehicles operating in the field, there is a problem of electrical start-up of diesel engines at low temperatures. It is caused by an increase in the motor oil viscosity, as well as a decrease in the starter batteries capacity. **Goal.** The goal of the work is to investigate the possibilities of using molecular energy storage for the reliable diesel engines start-up, including in low temperatures, aimed at improving the efficiency of the electrical start-up systems of special purpose vehicles diesel engines, which are operated in the field. **Methodology.** Methods of mathematical statistics were used in the study of the characteristics of molecular energy storage. When justifying the characteristics of the diesel engines electrical start-up system with molecular energy storage, mathematical methods of operations research were applied. Methods of mathematical analysis were used in the development of a diesel start-up system scheme. **Results.** The functional scheme of the electrical start-up system of diesel with a molecular energy storages is proposed. **Originality.** There are the known ways to facilitate the launch of diesel engines in low temperatures, such as the engine pre-growing or the heating of the air entering the engine combustion chambers, but they lead to a rapid discharge of starter batteries. This may make it impossible to start the diesel engine. The use of molecular energy storage will ensure a reliable start-up of a cold diesel engine. **Practical meaning.** The use of a combined electricity source, consisting of batteries and molecular energy storage, provides a reliable start-up of the engine in extreme temperature conditions, reducing the



*batteries capacity, increasing their service life, and cutting down operating costs.*

**Key words:** *motor vehicles; internal combustion engine; electrical starting system; battery; molecular energy storages.*

**Lahutin Hennadiy**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Electrotechnical Systems of Weapons Complexes and Military Equipment, tel. + 38 068-616-15-45, y-e-mail: [genna.lagutin@gmail.com](mailto:genna.lagutin@gmail.com), ORCID: 0000-0002-6337-1357

**Panchenko Anatoliy**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Electrotechnical Systems of Weapons Complexes and Military Equipment, tel. +38 067-573-40-49,

e-mail: [martensid1929@gmail.com](mailto:martensid1929@gmail.com),  
ORCID: 0000-0002-1280-2049

**Uvarov Volodymyr**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Lecturer of Department of Electrotechnical Systems of Weapons Complexes and Military Equipment, tel. +38 096-574-33-93, e-mail: [uvarr@ukr.net](mailto:uvarr@ukr.net), ORCID: 0000-0001-8475-4536

**Sal'nyk Oleh**<sup>1</sup>, Senior Research Associate of Research Laboratory of the Faculty of Postgraduate Education, tel. +38 093-023-92-89, [ovsalnik@gmail.com](mailto:ovsalnik@gmail.com), ORCID: 0000-0002-2688-1198

<sup>1</sup>Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 77/79, Sums`ka str., Kharkiv, 61023, Ukraine.