

УДК 621.43+621.43.016.4-57+536.421+541.6:541.183

**В.С. Вербовський<sup>1</sup>, І.В. Грицук<sup>2</sup>, М.М. Скалига<sup>3</sup>, Є.В. Белоусов<sup>1</sup>, М.В. Рудинець<sup>3</sup>**<sup>1</sup> Інститут Газу Національної Академії Наук України<sup>2</sup> Херсонська державна морська академія<sup>3</sup> Луцький національний технічний університет**ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДВИГУНА СТАЦІОНАРНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕПЛОВИХ АКУМУЛЯТОРІВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ**

*В статті розглянуто особливості побудови системи теплової підготовки двигуна стаціонарної енергетичної установки за допомогою теплових акумуляторів фазового переходу. Представлені результати використання системи теплової підготовки для забезпечення температурних параметрів стану двигуна внутрішнього згорання в різних кліматичних умовах експлуатації з урахуванням впливу комплектації системи.*

*Ключові слова:* двигун внутрішнього згорання, система, тепла підготовка, тепловий акумулятор, фазовий перехід.

**В.С. Вербовский, И.В. Грицук, Н.Н. Скалыга, Е.В. Белоусов, Н.В. Рудинец  
ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ДВИГАТЕЛЯ СТАЦИОНАРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА**

*В статье рассмотрены особенности построения системы тепловой подготовки двигателя стационарной энергетической установки с помощью тепловых аккумуляторов фазового перехода. Представлены результаты использования системы тепловой подготовки для обеспечения температурных параметров состояния двигателя внутреннего сгорания в различных климатических условиях эксплуатации с учетом влияния комплектации системы.*

*Ключевые слова:* двигатель внутреннего сгорания, система, тепловая подготовка, тепловой аккумулятор, фазовый переход.

**V. Verbovsky, I. Gritsuk, M. Skalyga, E. Belousov, M. Rudinets  
FEATURES OF THERMAL PREPARATION OF THE ENGINE OF A STATIONARY POWER PLANT WITH THE HELP OF THERMAL ACCUMULATORS OF A PHASE TRANSITION**

*In the article features of construction of system of thermal preparation of the engine of a stationary power installation with the help of heat accumulators of a phase transition are considered. The results of the use of the thermal preparation system for providing the temperature parameters of the state of the internal combustion engine in various climatic conditions of operation are considered taking into account the effect of system integration.*

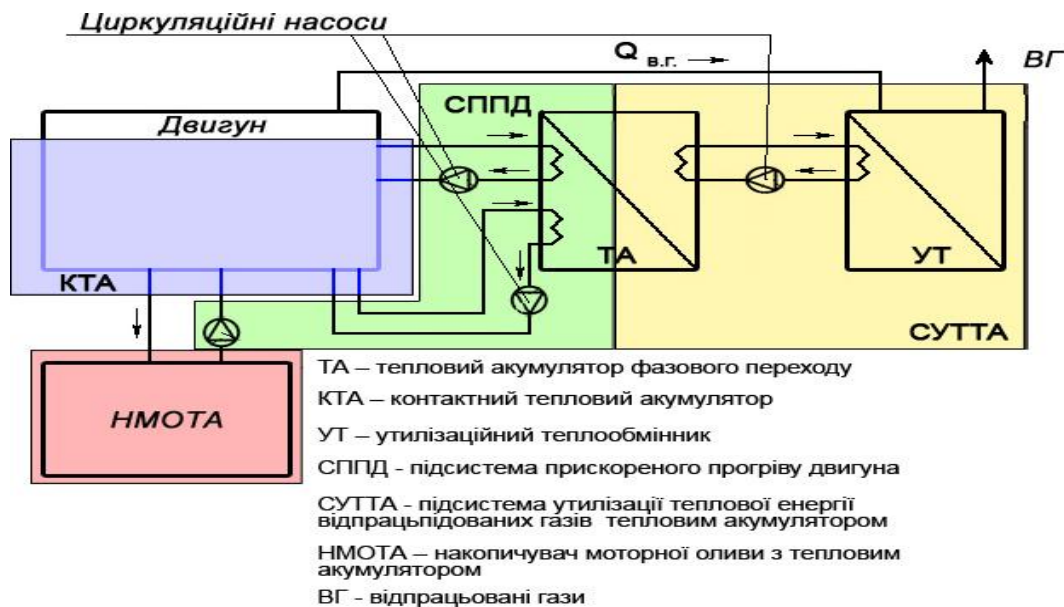
*Key words:* internal combustion engine, system, thermal preparation, heat accumulator, phase transition.

**Вступ.** Для забезпечення теплової підготовки стаціонарного газового двигуна розмірності 6Ч 12/14 була розроблена система теплової підготовки (СТП) на основі теплових акумуляторів фазового переходу.

**Актуальність досліджень.** Ефективність теплової підготовки двигуна стаціонарної енергетичної установки за допомогою теплових акумуляторів (ТА) фазового переходу залежить від їх конструктивних особливостей, параметрів технічного стану двигуна, кліматичних умов тощо [1]. У зв'язку з цим виникає задача керування процесами теплової підготовки стаціонарного двигуна [1, 2] при різних комплектаціях системи теплової підготовки. Розв'язанню цієї проблеми присвячені численні роботи багатьох авторів [1, 2].

**Постановка задачі.** Розробка СТП ставила за мету забезпечити теплову підготовку стаціонарного двигуна, на першому етапі, в частині системи мащення, а, на другому етапі – в частині комплексної дії одночасно на систему мащення і сорочку системи охолодження двигуна.

**Результати досліджень.** СТП стаціонарного газового двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14) складається з підсистем (рис. 1): прискореного прогріву (СППД), утилізації теплової енергії ВГ тепловим акумулятором (ТА) фазового переходу (СУТТА), контактного теплового акумулятора (КТА), накопичувача моторної оливи з тепловим акумулятором (НМОТА). СТП конструктивно входить, як складова частина, до систем мащення (СМ) і охолодження (СОД) газового двигуна і виконує частину їх функцій та здійснює визначальний вплив на протікання робочого процесу газового двигуна [3].



**Рис. 1. Схема системи теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу**

Складові СПП газопого двигуна, а саме СППД, СУТТА і КТА входять як складові елементи в систему охолодження двигуна, а СППД, СУТТА, КТА і НМОТА - в систему мащення двигуна. СПП забезпечує передпусковий і післяпусковий прогрів МО і ОР газопого двигуна до температури, при якій можливо здійснювати навантаження двигуна, а потім до робочої температури та довготерміново підтримує їх у межах, обумовлених робочим процесом та конструкцією двигуна. Підсистеми СПП можуть працювати спільно у складі та за алгоритмом роботи системи, або окремо одна від одної з виконанням властивих їм функцій [2, 3]. Принцип роботи КСПП в цілому полягає в накопиченні ТА фазового переходу теплової енергії ВГ, яка утворюється при згоранні палива та не використовується на корисну роботу, а викидається в атмосферу з ВГ.

Накопичення теплової енергії в ТА фазового переходу СУТТА стає можливим завдяки встановленню паралельно глушнику в випускному трубопроводі газопого двигуна утилізаційного теплообмінника (УТ), який пов'язаний з ТА фазового переходу СУТТА трубопроводом, за допомогою якого, завдяки циркуляційному насосу з модульованою подачею і з власною системою керування, відбувається циркуляція теплоносія СУТТА. Теплоносій проходячи через УТ в випускному трубопроводі розігрівається від теплової енергії ВГ до температури 150...190 (200) °С (в якості теплоносія в процесі досліджень використовувалась технічна рідина з температурою кипіння 220 °С). Таке конструктивне рішення прийнято для того, щоб забезпечити можливість відключення УТ після того, як ТА фазового переходу СУТТА буде повністю заряджений. Теплоносій з УТ потрапляє в ТА фазового переходу СУТТА, який заповнений фазоперехідним теплоакumuлюючим матеріалом (ТАМ) і представляє собою теплоізолюваний резервуар з трьома теплообмінниками (для заряджання та розряджання ТА відповідно в СОД і СМ газопого двигуна).

Теплоносій в СУТТА, при проходженні від УТ до ТА СУТТА, охолоджується та віддає накопичену теплову енергію ТАМ. В процесі накопичення теплової енергії ТАМ найбільшу ефективність являє собою процес фазового переходу речовини – наповнювача ТА, тобто зміна його агрегатного стану, на яку потрібна велика кількість теплової енергії ВГ. Попередній нагрів ТАМ в ТА, до значень температури фазового переходу, та подальший, після досягнення значень температури фазового переходу, в процесі фізичного накопичення теплової енергії ТАМ, є не таким енергоємним, як безпосередньо процес фазового переходу в ТАМ. Особливості процесу роботи ТА фазового переходу СУТТА в різних періодах накопичення і віддачі теплової енергії детально описані в [1, 3].

Контактний тепловий акумулятор (КТА) ДВЗ (рис. 1) являє собою багат шаровий чохол, закріплений ззовні на оболонці блока циліндрів та піддоні двигуна, так щоб забезпечити щільне прилягання [3]. Особливістю конструкції КТА 17 ДВЗ є наявність секцій-контейнерів з ТАМ на основі фазоперехідного матеріалу, що закріплені ззовні на поверхнях блока циліндрів і піддона газопого ДВЗ, зверху закритих теплоізоляційним чохлом, що складається з декількох шарів

теплоізоляційного матеріалу [3]. Застосування КТА ДВЗ не вимагає внесення яких-небудь істотних змін у конструкцію двигуна та його систем, він легко монтується, простий в обслуговуванні і не вимагає додаткового джерела енергії. Робота КТА заснована на виділенні й поглинанні теплоти блоку циліндрів і піддону газового двигуна при зміні фазового стану теплоакмулюючого матеріалу, який входить до складу його конструкції. Завдяки його використанню досягається мінімальна втрата теплоти, що виділяється газовим двигуном протягом часу його роботи, оскільки він виконує теплоізолюючу функцію, а також вдається уникнути появи термічних напруг у двигуні при його прогріві, тому що робочий процес КТА полягає в довготривалій підтримці температури ОР і МО двигуна на відміну від відомих ТА, де здійснюється нагрівання ДВЗ після зупинки [3].

Особливістю конструкції НМОТА є наявність в оболонці ємності додаткового контактного теплового акумулятора, що аналогічний за конструкцією і принципу дії КТА, але встановлений на корпусі сосуда для зливу МО. Завдяки використанню НМОТА досягається мінімальна втрата теплоти, що виділяється МО, після її зливання в теплоізольований посуд, під час довготривалої зупинки газового двигуна, а також при зворотному закачуванні МО двигуна вдається додатково прискорено прогріти елементи СМ двигуна, а саме зону колінчастого валу, головної масляної магістралі і зону масляної оболонки ДВЗ. Температура МО двигуна в НМОТА контролюється за допомогою вбудованого датчика температури МО.

Передпусковий і післяпусковий прогрів МО і ОР двигуна можливий при штатному прогріві ДВЗ і (або) в наступних варіантах роботи СТП газового двигуна: при роботі тільки підсистеми СППД, при роботі підсистеми СППД з ТА фазового переходу СУТТА, поєднанні КТА (НМОТА) або КТА + НМОТА і ТА фазового переходу СУТТА. Зберігання теплової енергії МО і ОР двигуна можливо при штатній комплектації ДВЗ і (або) в наступних варіантах роботи СТП газового двигуна: при роботі підсистеми СППД з ТА фазового переходу СУТТА, при роботі тільки КТА або НМОТА, поєднанні КТА (НМОТА) або КТА + НМОТА і ТА фазового переходу СУТТА.

Отримавши теплову енергію від МО і ОР елементи ДВЗ передають її камері згорання, що позитивно впливає на процес пуску ДВЗ, який відбувається після того, як датчики СТП ДВЗ зафіксують температуру МО і ОР на рівні  $+40...60$  °С. Після цього відбувається запуск газового ДВЗ та є можливість навантаження двигуна. Після запуску двигуна СТП продовжує свою роботу та сприяє більш швидкому та ефективному прогріву працюючого двигуна до температури МО і ОР на рівні  $+85$  °С. Після досягнення температури МО і ОР  $+85$  °С СТП переходить в режим підтримання її в заданих межах, тобто  $85\pm 5$  °С, а після цього підключає ШС двигуна. Функціонування розробленої СТП газового ДВЗ побудовано на аналізі температурних значень теплоносіїв МО і ОР [3].

За допомогою розроблених математичних моделей [4] було виконано дослідження процесів теплової підготовки з фазоперехідними тепловими акумуляторами (ТА) в процесі виконання циклу їх розрядки – зарядки у складі дослідної системи для газового двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) К-159 М2 (6Ч 12/14). В математичних моделях були враховані особливості конструкції дослідного двигуна, фазоперехідних ТА, систем охолодження (СОД) і мащення (СМ), при здійсненні прогріву моторної оливи (МО) в процесі забезпечення теплової підготовки.

Розроблені методики і математичні моделі [4, 5] розрахунку роботи ТА, контактного теплового акумулятора (КТА), накопичувача моторної оливи з ТА (НМОТА) фазового переходу СТП в процесі повного циклу їх розрядки – зарядки – зберігання теплової енергії у складі дослідної системи, як за рахунок фізичного охолодження – нагрівання, так і при здійсненні процесу кристалізації теплоакмулюючого матеріалу (ТАМ) в квазіізотермічному режимі. Для формування бази вихідних даних в математичній моделі СТП дослідного газового двигуна вихідні дані стосовно теплових параметрів при роботі ДВЗ в режимі холостого ходу були отримані за допомогою програмного комплексу Diesel-RK. За допомогою розробленої математичної моделі визначений вплив швидкості циркуляції МО газового двигуна на час його прогріву, який показав, що за рахунок збільшення швидкості циркуляції МО в СП до 0,22 м/с можливо скоротити час прогріву МО двигуна на 5,1 – 5,5 хв., тобто на 10,9 - 21%.

Виходячи з розроблених алгоритмів передпускового прогріву СМ газового двигуна були складені 6 основних варіантів для виконання аналізу можливостей використання складових ТА розробленої СТП. При цьому, для всіх означених варіантів, під час здійснення передпускового прогріву газового двигуна з СТП, оцінювались наступні режимні параметри: прогрів МО від  $T_{oc}$  до  $50$  °С, хв., підтримання в процесі зберігання  $T_{MO} \approx 50$  °С, хв., прогрів МО від  $50$  °С до  $85$  °С, хв.

Аналіз параметрів роботи проводився для СМ двигуна при різних температурах оточуючого середовища в умовах експлуатації, а саме: 20 °С, 0 °С, -20 °С.

Оцінка впливу конструктивних параметрів та параметрів налаштування СТП на час передпускового прогріву та паливну економічність газового двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14) підтвердила покращення термінових параметрів прогріву, паливної економічності при роботі газового двигуна за розробленим циклом прогріву із застосуванням системи прогріву, а також ефективність застосування СТП, як одного з дієвих напрямків покращення показників паливної економічності ДВЗ без суттєвого збільшення вартості СТП двигуна енергетичної установки.

Порівняння часу прогріву МО двигуна (рис. 2) показало, що СТП з ТА дозволяє суттєво покращити показники часу прогріву МО від температури оточуючого середовища  $T_{oc}$  до 50 °С на 8,3 – 15 хв. (до 25 - 41,3%) у порівнянні зі штатною системою двигуна. При цьому витрата палива на прогрів МО двигуна в аналогічних умовах (рис. 3) зменшується на 1,79 – 2,8 кг, або до 73,8 – 75,2%, у порівнянні з використанням штатної системи (ШС) мащення двигуна. Суттєвим позитивним моментом при здійсненні прогріву МО ДВЗ є додатковий прогрів зони колінчастого валу двигуна. Саме ця особливість є суттєвою для двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14), як базового при його використанні на транспорті (залізничному і водному) і в стаціонарній енергетиці. При варіюванні використання комбінацій варіантів поєднання основних підсистем СТП найбільш доцільним залишається варіант з використанням фазоперехідного ТА для розглянутого випадку, тобто прогріву МО від  $T_{oc}$  до 50 °С, хв.

**Висновки.** В цілому використання СТП доцільно для забезпечення передпускової підготовки МО газового двигуна К-159 М2 (6Ч 12/14) в різних кліматичних умовах експлуатації, а особливості комплектації і технології використання вибираються в залежності від експлуатаційних потреб і призначення двигуна. В результаті проведеної роботи були розроблені основні рекомендації для створення СТП для газового двигуна, що враховують широкий спектр зовнішніх та внутрішніх факторів, які впливають на роботу системи, точність, надійність її роботи та зручність в експлуатації.

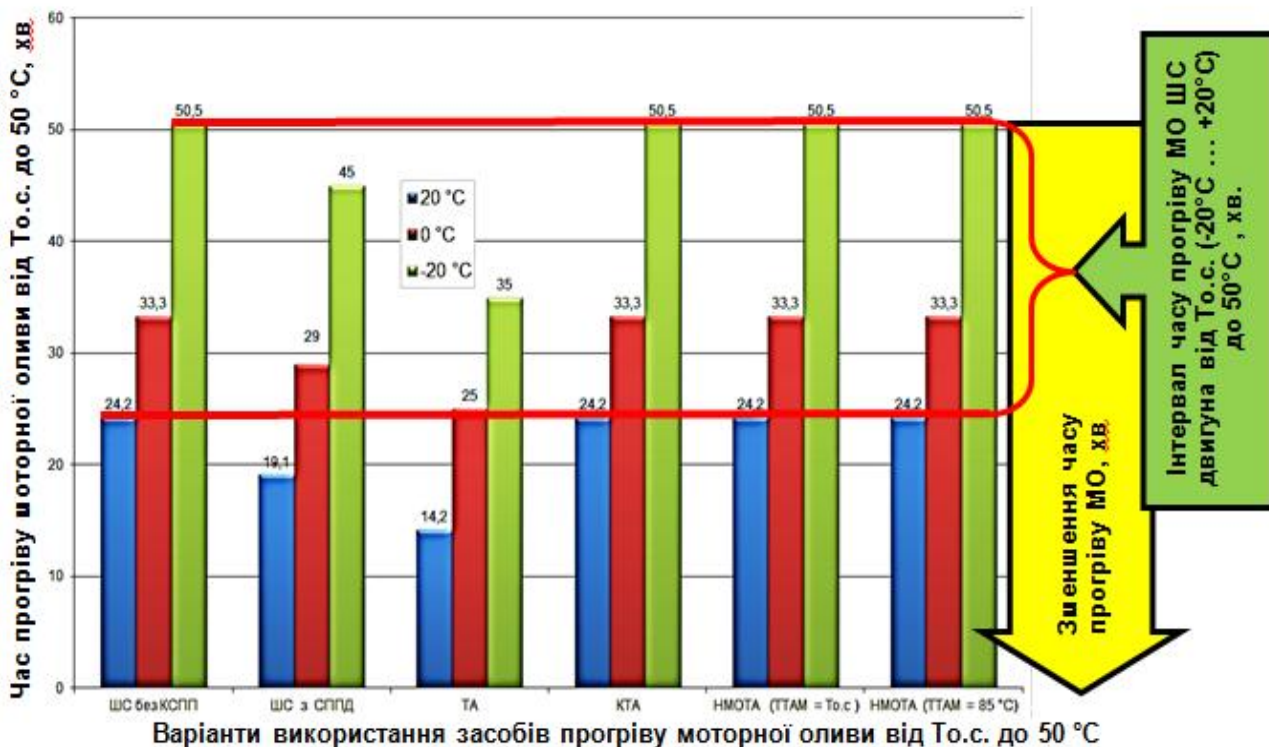


Рис. 2. Результати дослідження впливу основних варіантів комплектації системи теплової підготовки на час прогріву моторної оливи двигуна 6Ч 12/14 від  $T_{oc}$  до 50 °С

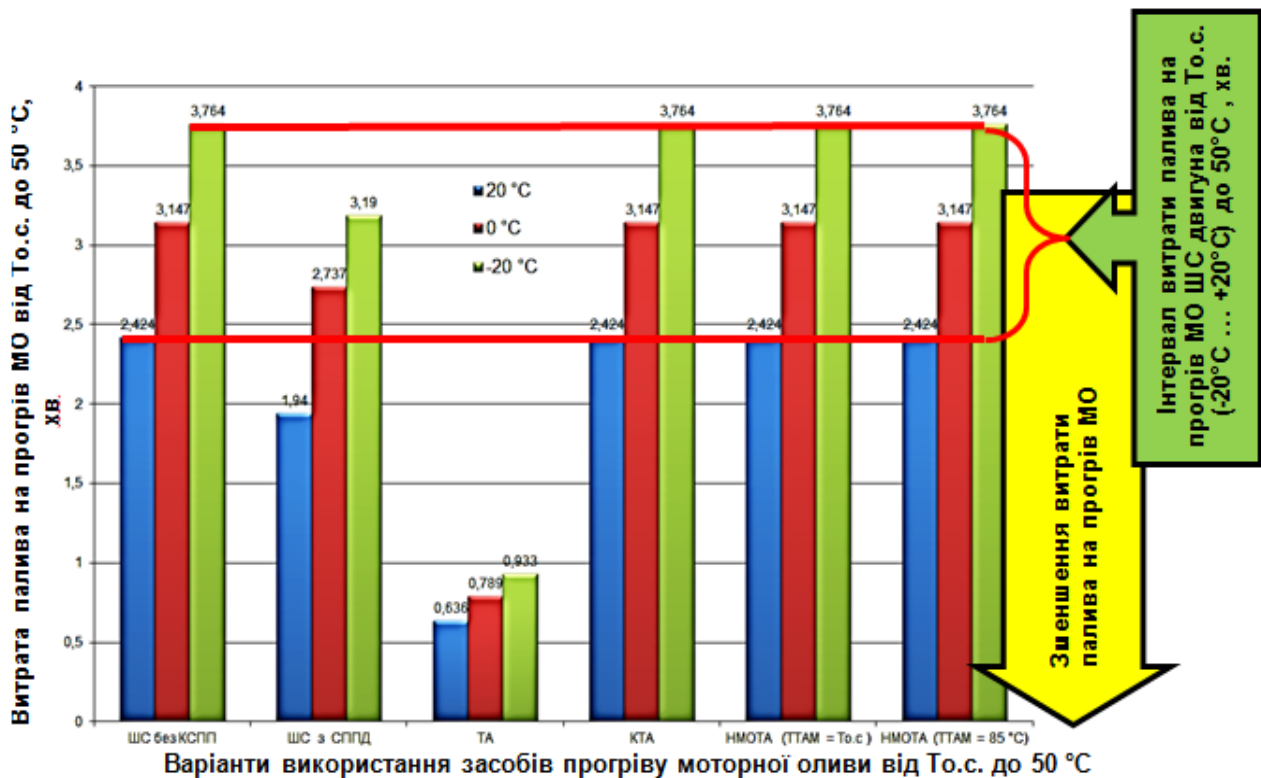


Рис. 3. Результати дослідження впливу основних варіантів комплектації системи теплової підготовки на витрату палива при прогріві МО двигуна 6Ч 12/14 від  $T_{o.c.}$  до  $50^\circ\text{C}$

#### Література

1. Волков В.П. Системи прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.Ф. Гутаревич, В.Д. Александров, В.Й. Поддубняк, Ю.В. Прилепський, П.Б. Комов, Д.С. Адров, В.С. Вербовський, З.І. Краснокутська, Т.В. Волкова - Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2015.- 314 с.
2. Грицук І.В. Комплексний комбінований прогрів: системний підхід до формування схем забезпечення оптимального температурного стану тз в умовах експлуатації / І.В. Грицук // Вісник НТУ «ХП». 2015. № 10 (1119), с. 95-101.
3. Патент № 94641 Україна, МПК (2014.01) F01P 3/22 (2006.01), F01M 5/00, «Система регулювання температури охолоджуючої рідини, температури і тиску моторної оливи двигуна внутрішнього згорання з утилізацією теплоти тепловими акумуляторами» В.Й. Поддубняк, Ю.Ф. Гутаревич, О.І. П'ятничко, І.В. Грицук, В.С. Вербовський, М.І. Сергієнко, О.О. Зародов, Д.С. Адров, А.М.Гущин, Ю.В.Прилепський, Д.М. Трифонов, З.І. Краснокутська, А.В. Вербовський, А.І. Грицук / (Україна); Заявник і патентовласник: Донецький інститут залізничного транспорту, Національний транспортний ун-т, Інститут газу НАНУ, Державний № u2014 05701; заяв.27.05.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. №22.-14 с.:іл.
4. Вербовський В.С. Математична модель розрахунку показників роботи двигуна внутрішнього згорання з системою передпускового прогріву при здійсненні передпускового і післяпускового прискореного прогріву / В.С.Вербовський, І.В. Грицук, Д.С. Адров // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». - Луцьк: ЛНТУ, 2014. – Випуск №45, - с.64-71.
5. Вербовський В.С. Оцінка доцільності проведення передпускової і післяпускової підготовки газового двигуна К-159 М2 за допомогою комплексної системи передпускового прогріву / В.С. Вербовський // Збірник наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. - Донецьк: ДонІЗТ, 2014 – Випуск №39, с.93-99.

#### Рецензент:

**Волков Володимир Петрович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів, Харківський Національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна.