



## Техніка для земляних та дорожніх робіт

УДК 621.44.3:678-462

І.В. Грицук, к.т.н., доцент, ДонІЗТ,  
Ю.В. Прилепський, к.т.н., доцент, ДонІЗТ,  
І.Ф. Рибалко, к.т.н., доцент, УІПА,  
Р.І. Рибалко, к.т.н., доцент, ДонНАБА,  
Д.С. Адров, аспірант, ДонНАБА

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ПЕРЕДПУСКОВОГО ПІДГРІВУ І ПРИСКОРЕНОГО ПРОГРІВУ З ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ ДЛЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ СТАЦІОНАРНИХ І МОБІЛЬНИХ МАШИН БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

*АННОТАЦІЯ.* Наведено результати розрахунково-експериментальних досліджень елементів системи регулювання температури охолоджуючої рідини при передпускового підігріву і прискореному прогріві з тепловим акумулятором в процесі використання теплоти відпрацьованих газів ДВЗ стаціонарних і мобільних машин будівельної галузі. Дослідження проводились з використанням установок, розроблених авторами. Наведено схеми системи регулювання температури з тепловим акумулятором і установки для його дослідження.

*Ключові слова:* система регулювання температури, ДВЗ, система охолодження, тепловий акумулятор, відпрацьовані гази.

*АННОТАЦИЯ.* Приведены результаты расчетно-экспериментальных исследований элементов системы регулирования температуры охлаждающей жидкости при предпусковом подогреве и ускоренном прогреве с тепловым аккумулятором в процессе использования теплоты отработавших газов ДВС стационарных и мобильных машин строительной отрасли. Исследования проводились с использованием установок, разработанных авторами. Приведены схемы системы регулирования температуры с тепловым аккумулятором и установки для его исследования.

*ANNOTATION.* The results of computational and experimental studies of elements of temperature control system with coolant preheating and heating accelerated with heat storage in the process of using heat of exhaust gases of stationary and mobile combustion engine vehicles of the construction industry. Studies were performed using the facilities developed by the authors. A scheme of the temperature control system with heat storage and facilities for his research.

**Актуальність проблеми** До систем охолодження і мащення двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) накладаються специфічні вимоги, особливо, в умовах несталих температурних і навантажувальних режимів роботи. Це в першу чергу стосується стаціонарної і мобільної техніки будівельної галузі з ДВЗ, що працює в умовах віддалених від стаціонарних баз експлуатації і зберігання. Так при використанні будівельної техніки з ДВЗ в умовах низьких температур виникає проблема їх стійкого і безаварійного пуску, а також підготовки до прискореного прийняття навантаження при виконанні штатних режимів, тобто прогріванні їх до відповідної температури [1, 2, 3]. Тому виробники сучасних енергетичних установок рекомендують комплектувати ДВЗ агрегатами, що забезпечують теплову підготовку їх двигунів.

**Аналіз публікацій.** Дизельні двигуни залізничного, річкового, морського транспорту, привідні двигуни стаціонарних енергетичних установок згідно організації їх роботи у великій кількості щодоби виводяться у 6-12-ти годинний «гарячий відстій». Організація роботи вище названих двигунів пов'язана з періодичним виділенням їх в режим «гарячого відстою». Для забезпечення цього при температурах повітря нижче 0<sup>0</sup>С довгострокове підтримання позитивної температури води в системі охолодження ДВЗ досягається, як правило, його роботою на холостому ході. При цьому витрачається значна кількість палива,

яке на сьогодні вже має високу вартість, а в подальшому стає все більше коштовним та дефіцитним [3, 4].

Для успішної реалізації вищеназваних вимог фахівцями ДонІЗТ була запропонована для встановлення на ДВЗ стаціонарної і мобільної техніки будівельної галузі система регулювання температури охолоджуючої рідини при передпусковому підігріві і прискореному прогріві з тепловим акумулятором (ТА) [5, 6] (в подальшому – система регулювання температури з ТА). Схема системи регулювання температури з ТА ДВЗ, що встановлений у великий контур циркуляції малого контуру охолодження двигуна, включає клапани випускної системи, клапани байпасу та клапани вимикання теплообмінника і представлена на рис. 1.

Система регулювання температури з ТА містить ДВЗ 1 з приєднаним до нього генератором 2, теплообмінник 3, блок керування двигуном 5, який здійснює управління регулятором 6, та блок керування системою охолодження 4, який здійснює керування триступеневим клапаном 7, циркуляційним насосом 8 та тепловим акумулятором 9, клапани випускної системи 10 та клапани байпасу 11 та клапанів 12 відключення теплообмінника 3. Принцип дії системи регулювання температури охолоджуючої рідини при передпусковому підігріві і прискореному прогріві з ТА детально описана в роботі [6]. Складові частини описаної системи з огляду літературних джерел ще не досліджувались.

**Метою роботи** є підвищення ефективності теплової підготовки, пуску і прискореного прогріву ДВЗ в умовах низьких температур за допомогою елементів прискореного прогріву, теплового акумулятору (ТА) фазового переходу, що працюють у складі системи регулювання температури охолоджуючої рідини поршневого двигуна електроагрегату з утилізацією теплоти, отримання результатів досліджень на розроблених установках для експериментальних досліджень елементів цієї системи, а також отримання експериментальних даних, щодо часу пригріву, заряджання теплового акумулятору в залежності від зміни температури самого теплоносія, та часу розрядки в залежності від швидкості циркуляції теплоносія в контурі ТА при відбиранні теплоти.

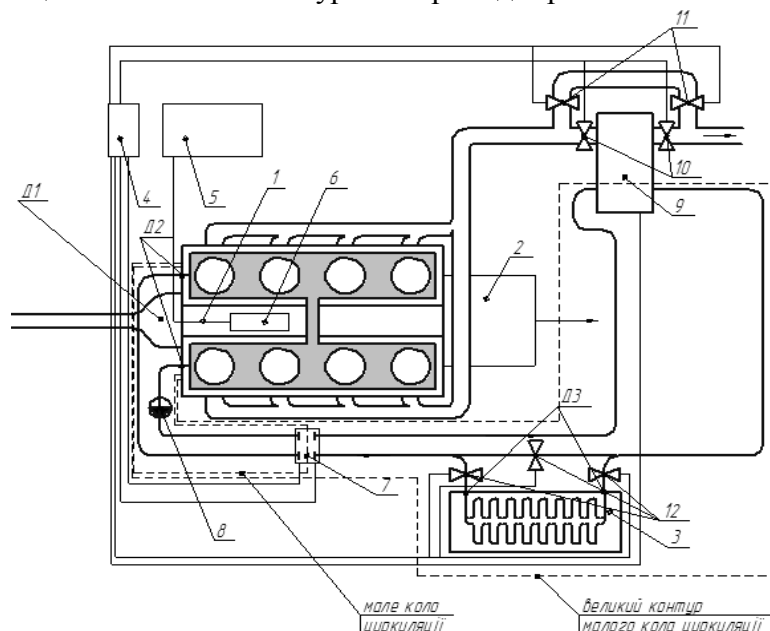


Рисунок 1. Система регулювання температури охолоджуючої рідини ДВЗ при передпусковому підігріві і прискореному прогріві з тепловим акумулятором.

**Основний матеріал.** Найбільш ефективним способом підвищення показників ефективності пуску, а саме систем теплової підготовки ДВЗ - є вдосконалення способу підведення теплового потоку до двигуна в комплексі з утилізацією теплової енергії відпрацьованих газів. Використовувати температуру відпрацьованих газів (ВГ) ДВЗ перед її



влученням у систему охолодження й мащення двигуна за допомогою утилізаційної системи, і тим самим підвищити ефективність його пуску, можливо при використанні принципів технології акумулювання теплоти [7]. Найбільш доцільним для досягнення зазначеної мети є застосування ТА зі схованою теплотою фазового переходу (плавлення-затвердіння) теплоакумулюючих матеріалів [8]. Такий спосіб забезпечує високу щільність енергії, що запасається під час роботи ДВЗ, при дії високих температур на теплоносії ТА [9].

Для підтвердження викладених вище положень на кафедрі рухомого складу залізниць Донецького інституту залізничного транспорту (ДонІЗТ) були проведені відповідні експериментальні дослідження. Насамперед, було [5] була розроблена система регулювання температури охолоджуючої рідини газопоршневого електроагрегату з утилізацією теплоти з тепловим акумулятором [6], удосконалена схема системи охолодження двигуна внутрішнього згорання для цієї системи, було розроблено конструкцію теплового акумулятора (ТА) [10].

В наведеній статті представлені результати досліджень складових елементів вище описаної системи регулювання температури з ТА. Спочатку визначали ефективність використання палива та досягнення більш точного регулювання теплового стану двигуна внутрішнього згорання на прикладі Д-461 (6ЧН 12/14) на періоді його прогріву при відведенні теплоти охолоджувальної рідини в залежності від навантаження і частоти обертання колінчастого валу за допомогою розробленої системи прогріву двигуна, а також визначали час прогріву охолоджуючої рідини ДВЗ, оснащеного цією системою. Результати розрахунково-експериментальних досліджень розробленої системи прогріву двигуна Д-461 представлені на рис. 2 і 3.

На рис. 2 наведена залежність температури охолоджуючої рідини від кількості виділеної теплоти. З рисунку видно, що температура охолоджуючої рідини росте пропорційно виділеній теплоті.

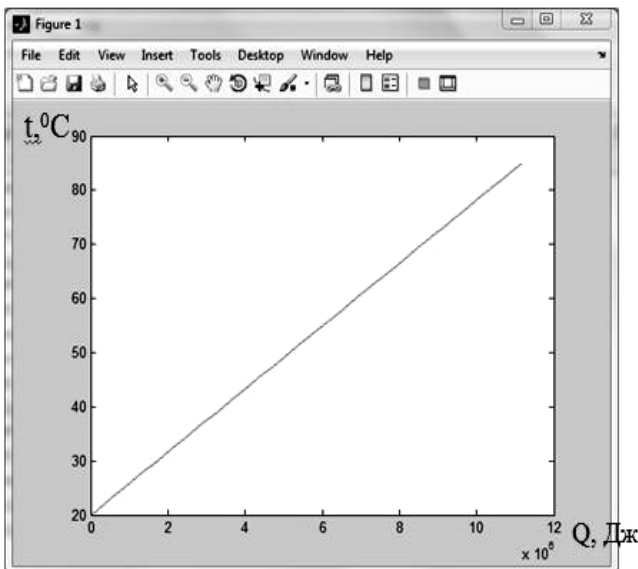


Рисунок 2. Залежність температури охолоджуючої рідини від кількості виділеної теплоти.

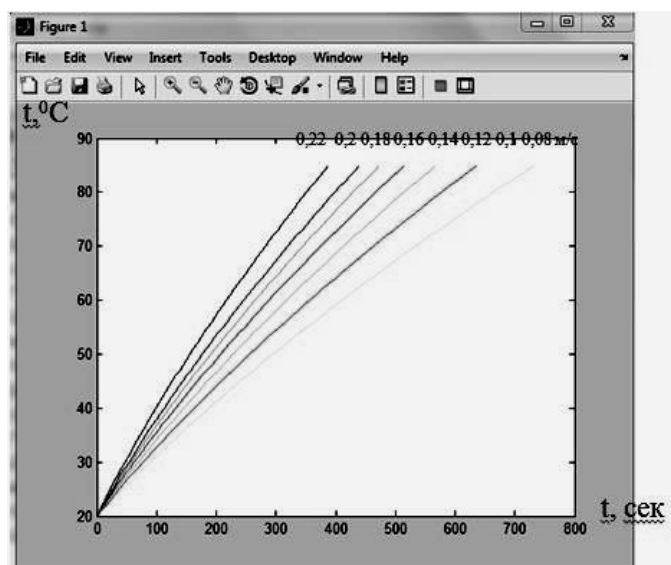


Рисунок 3. Залежність часу прогріву від швидкості циркуляції охолоджуючої рідини:

0,08-1,2 м/с – швидкість циркуляції, яку забезпечує штатний рідинний насос на обертах холостого ходу дизеля;

0,22 м/с – швидкість циркуляції, яку може забезпечувати штатний рідинний насос, але при високих обертах дизеля.

Відповідно до результатів досліджень представлених на рис. 3 можемо зробити висновок, що з ростом швидкості циркуляції охолоджуючої рідини ми маємо скорочення

часу прогріву двигуна. Досягти цього при класичній конструкції двигуна не можливо, тому що ми маємо чітку залежність швидкості обертання рідинного насосу від частоти обертання колінчатого валу. Тобто, для дизеля Д-461 час прогріву малого кола системи охолодження двигуна при відповідній базовій швидкості циркуляції охолоджуючої рідини на режимі прогріву (підвищених холостих обертах) буде становити близько 11 хвилин. Зменшити цей час можливо змінивши конструкцію системи охолодження шляхом заміни (доповнення) штатного рідинного насосу на електричний, яким буде керувати електронна система керування - система прискореного прогріву [5], відповідно до показників датчиків температури охолоджуючої рідини. На розробленій для цього дослідження математичній моделі були отримані залежності, згідно яких зі збільшенням швидкості циркуляції до 0,22 м/с на холостому ході ДВЗ ми можемо скоротити час прогріву двигуна Д-461 до 6 хвилин, що і було підтверджено експериментальними дослідженнями.

Експериментальні дослідження наведені на рис.4 показали цілком близький к теоретичному час прогріву двигуна при різних швидкостях циркуляції охолоджуючої рідини за допомогою встановленої системи прискореного прогріву.

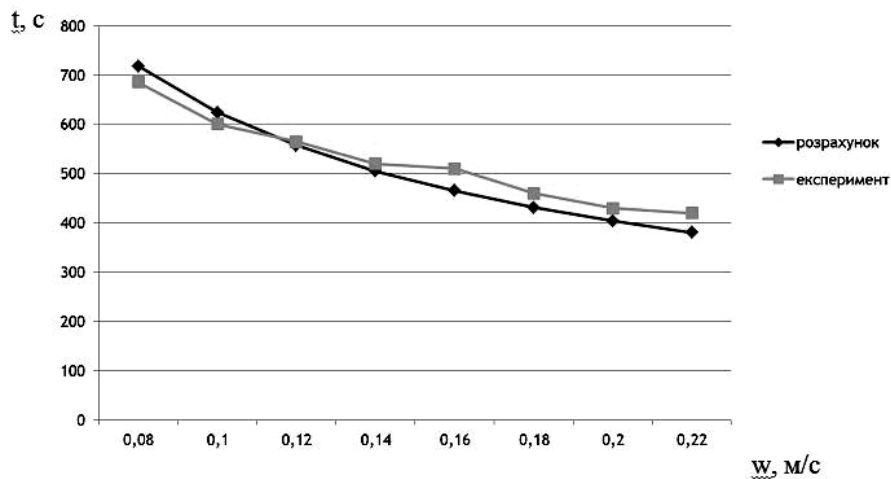


Рисунок 4. Результати розрахунково-експериментального дослідження часу прогріву дизеля Д-461 (6ЧН 12/14) з встановленою системою прискореного прогріву.

Таким чином ми можемо впевнено говорити про те, що збільшуючи швидкість потоку рідини ми скорочуємо час прогріву двигуна, тим самим підвищуємо моторесурс і скорочуємо шкідливі викиди в атмосферу. Для технічної реалізації збільшення швидкості потоку рідини в системі охолодження досліджуваного дизеля в повній мірі можливо застосовувати розроблену систему [5].

При вивченні впливу ТА на ефективність передпускового прогріву, а, отже, і пуску ДВЗ, об'єктом дослідження служила стаціонарна установка з тепловим акумулятором, укомплектована в одному випадку системою, аналогічній системі випуску ВГ у режимі зарядки ТА, в іншому - тим же ТА в режимі віддачі теплоти ДВЗ, тобто розрядки [10].

Для вивчення процесів теплообміну при зарядці й розрядці ТА і підтвердження роботоздатності досліджуваного варіанта ТА в системі охолодження ДВЗ для підвищення ефективності його пуску в умовах низьких температур було створено спеціальний стенд для вивчення процесів теплообміну в тепловому акумуляторі. До складу стенда увійшли: тепловий генератор з системою керування, ТА й вимірювальна апаратура (рис. 5).

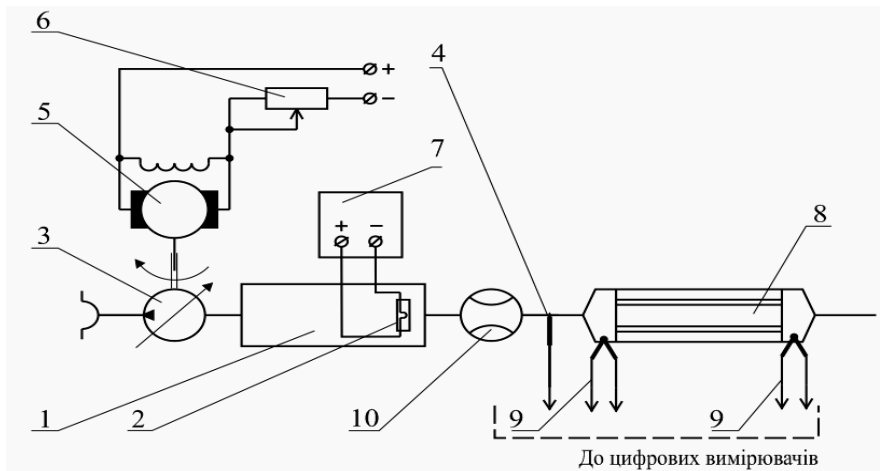


Рисунок 5. Принципова схема випробувального стенду для дослідження процесів у тепловому акумуляторі:

- 1 – тепловий генератор; 2 – нагрівальний елемент; 3 – повітряний нагнітач; 4 – термопара; 5 – двигун постійного струму; 6 – змінний опір; 7 – система регулювання нагрівального елемента; 8 – тепловий акумулятор; 9 – термопари; 10 – газовий витратомір G6.

Тепловий генератор (ТГ), що використовувався для імітації теплових процесів у водяній сорочці ДВЗ, являє собою циліндричну порожнину, з одного боку якого здійснюється підведення повітря від нагнітача, з іншого боку - вихід гарячих газів. У бічній циліндричній стінці корпусу ТГ є радіальний отвір із встановленим у ній керованим електронагрівачем. В якості нагнітача повітря було використано блок електронагрівачів електроповітрянагнітача. Регулювання його продуктивності здійснювалось за рахунок зміни опору в електричному колі за допомогою лабораторного реостата. Керування витратою й температурою нагрівача на вході в ТА здійснювалось шляхом зміни подачі повітря. Визначення витрати потоку повітря через ТА здійснювалось ротаційним газовим лічильником G6 фірми UGI Meters LTD, London. Час прогріву фіксувався секундоміром. Для оцінки тиску на вході в ТА [10] було застосовано водяний п'єзометр, а для визначення температури потоку повітря і ТАМ - мультиметр DT 838 з термопарами ХА. Крім цього температура повітря після витратоміра повітря 10 (рис.5) у повітряному патрубку, вимірювалась за допомогою термопари типу ХК з діапазоном виміру  $-200...600^{\circ}\text{C}$  й реєструвалась комп'ютером через аналогово-цифровий перетворювач, температуру ТАМ фіксували за допомогою трьох хромель-алюмелевих термопар з діапазоном виміру температур  $-200...1200^{\circ}\text{C}$ . Вимірювання температури ТАМ проводилось в трьох фіксованих місцях ТА: на вході, середині й виході з ТА. Контроль температури навколишнього повітря здійснювався за показниками лабораторного термометра, а атмосферного тиску – барометром.

Корпус ТА досліджуваної системи виконано із нержавіючої сталі й він має одну основну секцію з теплообмінником, що виготовлено із латуні. У корпусі ТА є два патрубки, поєднані з компенсаторами теплового розширення ТАМ і входом термопар. Для зменшення газодинамічного опору потоку газів входні і вихідні патрубки мають конічні перехідники. З метою зниження втрат теплоти в процесі випробувань зовнішня поверхня ТА була теплоізольована подвійним шаром спіненого поліетилену, покритим із двох боків шарами алюмінієвої фольги. Технічна характеристика ТА і властивості теплоакumuлюючого матеріалу наведені в [10].

У ході експериментальних досліджень оцінювались у першому випадку - вплив часу зарядки ТА в залежності від температури теплоносія, а в іншому - часу розрядки ТА в залежності від швидкості теплоносія. Мета описаних випробувань - отримання експериментальних даних, щодо часу заряджання теплового акумулятору в залежності від зміни температури самого теплоносія, та часу розрядки в залежності від швидкості



циркуляції теплоносія в контурі ТА при відбиранні теплоти. В умовах спеціалізованої лабораторії ДонІЗТ було проведено випробування теплового акумулятора системи утилізації та накопичення теплоти відпрацьованих газів та системи охолодження в режимі зарядки і розрядки з метою визначення часу зарядки при різній температурі заряджаючого теплоносія.

В основу стендових досліджень ТА було покладено температурні режими відпрацьованих газів (ВГ) і системи охолодження з урахуванням розподілу навантажень реального двигуна в умовах експлуатації. В експериментальному дослідженні на створеній установці відтворювались режими роботи реального двигуна за температурою вхідних і вихідних параметрів, стосовно ТА, який розташовано в системі охолодження ДВЗ. Випробування полягали в тому, що було здійснено зарядку розробленого теплового акумулятору до температури фазового переходу теплоакумуючого матеріалу (ТАМ) – тобто  $135^{\circ}\text{C}$ . При дослідженнях зарядка акумулятору виконувалась необхідну кількість разів з різними температурами теплоносія, який заряджав тепловий акумулятор до відповідної встановленої температури ТАМ. Після кожної зарядки здійснювалась розрядка теплового акумулятору до температури ТАМ  $20^{\circ}\text{C}$  із різною швидкістю циркуляції теплоносія, після чого здійснювалась нова зарядка, але з іншою температурою теплоносія.

Параметр, зміна якого досліджувалась - час зарядки та розрядки теплового акумулятору 8 (рис. 5). Зміна температури теплоносія відбувалась за рахунок регулювання нагрівом елементу 2 теплогенератора 1. Зміна швидкості потоку здійснювалась шляхом регулювання 6 опору двигуна постійного струму 5 нагнітача 3. Проводились випробування для 7 точок, які охоплюють з рівним інтервалом експлуатаційні режими зарядки теплового акумулятору. Аналогічно проводили випробування для 8 точок розрядки ТА, які охоплюють режими роботи циркуляційного насосу системи охолодження двигуна внутрішнього згорання. Тривалість роботи на кожному режимі становила одну хвилину, перехід з одного режиму на інший здійснювали на протязі 30 с.

Випробування проводились наступним чином: за допомогою системи керування елементом нагріву теплогенератора встановлювалась фіксована температура теплоносія, після чого теплоносій примусово, за допомогою нагнітача 3 подавався до ТА 8. Відлік часу вівся з початку зарядки ТА, тобто від температури ТАМ  $20^{\circ}\text{C}$ , та фіксувався кожні  $10^{\circ}\text{C}$  до заданої температури ТАМ -  $135^{\circ}\text{C}$ . Розрядка ТА відбувалась наступним чином: після зарядки ТА до початку відбору теплоти підключався нагнітач 3 фіксувалась швидкість з якою він подає теплоносій та виконувалась фіксація часу розрядки кожні  $10^{\circ}\text{C}$  падіння температури ТАМ. Результати вимірювання часу зарядки й розрядки ТА в залежності від температури теплоносія наведено на рис. 6 і 7.

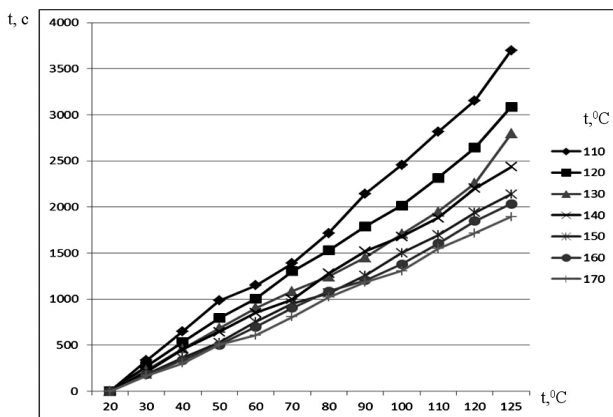


Рисунок 6. Залежність часу зарядки ТА від температури теплоносія.

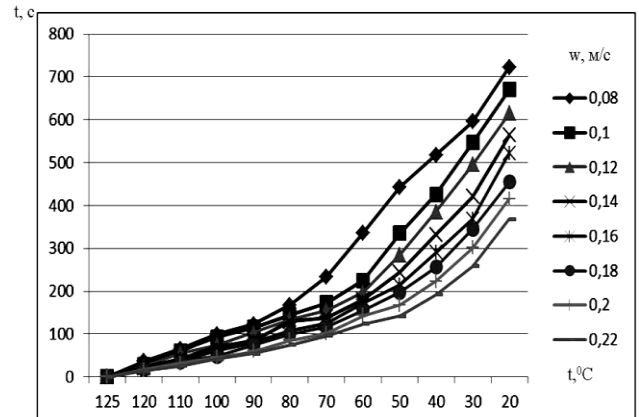


Рисунок 7. Залежність часу розрядки ТА від швидкості теплоносія.

Виконані дослідження в повному обсязі підтверджують доцільність використання ТА в якості засобу полегшення пуску ДВЗ в умовах низьких температур. Так, з рис. 6 видно, що час заряджання ТА, який працює у складі спеціальної системи попереднього прогріву



двигуна із застосуванням системи прискореного прогріву [5, 6], до температури  $125^{\circ}\text{C}$ , на яку відрегульовано ТА системи утилізації теплоти, складає 1850 сек. або 30,8 хв. для температури теплоносія  $170^{\circ}\text{C}$ , а при температурі теплоносія  $110^{\circ}\text{C}$  – 3650 сек. або 60,8 хв. Температура  $80^{\circ}\text{C}$ , тобто температура наближена до оптимальної для системи охолодження ДВЗ, досягається за 1100 сек. або за 18,3хв. При всіх проміжних значеннях температури теплоносія значення часу заряджання ТА знаходяться також у наведених вище межах. Характер зміни часу розрядки (відбирання теплоти) ТА від швидкості теплоносія в його контурі має аналогічний характер (рис. 7). Так, зі  $125^{\circ}\text{C}$  до  $20^{\circ}\text{C}$  ТА розряджається з 380 сек. або 6,3 хв. при швидкості теплоносія 0,22 м/сек. до 720 сек. або 12 хв. відповідно. Діапазон швидкостей було вибрано в межах, які в повному обсязі може забезпечувати розроблена система прискореного нагріву двигуна, а також його штатна система охолодження.

#### **Висновки.**

- розроблена система регулювання температури охолоджуючої рідини при передпусковому підігріві і прискореному прогріві з тепловим акумулятором (ТА) для ДВЗ стаціонарної і мобільної техніки будівельної галузі показала високу працездатність і надійність у процесі експлуатації;

- система прискореного прогріву двигуна підвищує ефективність використання палива та дозволяє досягати більш точного регулювання теплового стану ДВЗ на періоді його прогріву при відведенні теплоти охолоджувальної рідини в залежності від навантаження і частоти обертання колінчастого валу, а також зменшувати час прогріву охолоджуючої рідини ДВЗ після пуску;

- проведені дослідження в повному обсязі підтверджують доцільність використання ТА в системі охолодження ДВЗ в якості засобу полегшення пуску в умовах низьких температур, особливо яскраво це можливо побачити, коли обидва елементи система регулювання температури з ТА працюють спільно.

#### *Література*

1. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология / Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2003. - 273 стр.
2. ОСТ 37.001.052.2000. "Двигатели АТС. Качества пусковые. Технические требования"
3. Крамаренко Г.В., Николаев В.А. Безгаражное хранение автомобилей: Учеб. пособие / Моск. автомоб.-дор. ин-т. М., 1980. - 81 с.
4. Микулин Ю.В., Карницкий В.В., Энглин Б.А. Пуск холодных двигателей при низкой температуре. М.: Машиностроение, 1971. - 216 с.
5. Патент на корисну модель № 50378. Система регулювання температури охолоджуючої рідини двигуна внутрішнього згорання для приводу електроагрегата. МКП (2009) F01P 3/22, Опубл.10.06.2010 Бюл. №11 / Грицук І.В., Краснокутська З.І., Адров Д.С. – 6с.
6. Позитивне рішення на деклараційний патент на корисну модель, рішення № 14025/3У/11. Система регулювання температури охолоджуючої рідини газопоршневого електроагрегату з утилізацією теплоти з тепловим акумулятором. МКП F01P 3/22 (2006.01) / Грицук І.В., Краснокутська З.І., Адров Д.С., Вербовський В.С., Черняк Ю.В., Прилепський Ю.В., Гушчін А.М., Дорошко В.І. - 1с.
7. Левенберг В.Д. Аккумуляирование тепла. - М.: Наука, 1991. – 83 с.
8. Александров В.Д., Соболев О.В., Фролова С.А. и др. Теплоаккумулярующие материалы на основе кристаллогидратов / Вісник ДонНАБА. Випуск 2009№ 1(75). – с. 100-103.
9. Шульгин В.В. Тепловые аккумуляторы автотранспортных средств.- СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2005.-268с.
10. Грицук І.В., Адров Д.С., Прилепський Ю.В., Дорошко В.І. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Збірник наукових праць ДонІЗТ - Донецьк: ДонІЗТ, 2011– Випуск №27. с. 117-126.
11. Адров Д.С. Математичне моделювання роботи системи охолодження двигуна внутрішнього згорання утилізаційної установки при визначенні часу прогріву / Збірник наукових праць ДонІЗТ. - Донецьк: ДонІЗТ, 2011– Випуск №27. - с. 105-112.