

за середні в Європі (164 кВт/ч на місяць в Україні та 304 кВт/ч в Європі за даними 2018 року), зменшення споживання українцями електроенергії на 41,5 % відсоток можливо лише за зменшенням населення України на 50% або більше. З точки зору зменшення енергоспоживання промисловістю України на 24 % це можливо за аналогічним зменшенням об'єктів промисловості або їх потужності.

Зазначимо: міжнародні прогнози подальшої тенденції розвитку української енергетики надають висновків про скорочення населення у два рази, а потужностей промисловості на 24 %.

## Література

- 1 Варламов Г. Б. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії / Варламов Г. Б., Любчик Г. М., Маляренко В. А. – К.: Політехніка, 2003. – 228 с.
- 2 Энергия. Экология. Будущее / В. П. Семиноженко, П. М. Канило, В. Н. Остапчук, А. И. Ровенский. – Харьков: Прапор, 2003. – 464 с.
3. Касимов А. М. Промышленные отходы. Проблемы и решения. Технологии и оборудование / Касимов А. М., Семенов В. Т., Романовский А. А. – Х.: ХНАГХ. 2007. – 411 с.
4. Варламов Г. Б. Теплоенергетика та екологія / Г. Б. Варламов, Г. М. Любчик, В. А. Маляренко. – Харків: САГА, 2008. – 234 с.
- 5 Чирков Ю. Карусель енергетики.- К.: Академический проект, 2016.-408 с.
- 6 Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року / О. Дячук, М. Чепелєв, Р. Подолець, Г. Трипольська та ін. ; за заг. ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої // Пред-во Фонду ім. Г. Бюллія в Україні. – Київ : ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. – 88 с.

Кривошапов Сергій Іванович, к.т.н., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Русанов Сергій Аркадійович, к.т.н., доцент, Херсонський національний технічний університет, [ohvrbm@ukr.net](mailto:ohvrbm@ukr.net)

## ДО ПИТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ «ДВЗ – ТЕПЛОАКУМУЛЯТОР» ПРИ ПЕРЕДПУСКОВІЙ ТЕПЛОВІЙ ПІДГОТОВЦІ

Різке збільшення кількості автомобілів на автодорогах України, в тому числі і вантажних, спричинює собою необхідність приділення більшої уваги полегшенню пуску двигуна в несприятливих умовах навколишнього середовища.

Найбільш поширені існуючі способи і засоби підготовки двигунів автомобільних транспортних засобів, особливо в умовах відкритої стоянки в холодну пору року, є неекономічними і екологічно недоцільні. Значну перспективу мають системи передпускової теплової підготовки двигунів, оснащених системою акумуляування теплоти [1,2]. Акумуляування теплової енергії від різних джерел і її використання для передпускової теплової

підготовки двигуна підвищує ефективність роботи системи в холодну пору року, дає помітну економію палива, покращує екологічні параметри.

В роботі розглядається система передпускової підготовки з тепловим акумулятором фазового переходу [3]. В якості теплоакумуляючого матеріалу (ТАМ) нами було використано октогідрати барію, природні воски, парафіни, озокерит. Нами було проаналізовано три конструктивних виконання теплоакумуляційного обладнання фазового переходу, з них одне капсульне виконання (капсули з октогідратом), та два варіанти виконання у вигляді кожухотрубного теплообмінного апарату з ТАМ у міжтрубному просторі, що оснащені додатковою системою примусового підігріву для невідкладної зарядки та перезавантаження ТАМ.

Для попередньої оцінки роботи конструкції в натурних умовах було створено балансову математичну модель системи «двигун - теплоакумулятор», та виконана її чисельна алгоритмічна реалізація в СКМ «Maple». Вказана модель дозволяє вибрати варіант компоновки теплоакумуляційного обладнання для наперед заданих умов. Для моделювання робочого процесу стадії акумулявання тепла, стадії простий і розрядки, використовується тепловий баланс системи циркуляції. Система рівнянь теплового стану для кожної ділянки має вигляд:

$$\begin{aligned} m_1 c_1 \frac{dT_1}{dt} &= -k_{12}(T_1 - T_2)F_{12} - k_{10}(T_1 - T_{o.c.})F_{13}, \\ m_2 c_2 \frac{dT_2}{dt} &= -k_{12}(T_2 - T_1)F_{12} - k_{20}(T_2 - T_{o.c.})F_{20} - k_{23}(T_2 - T_3)F_{23}, \\ m_3 c_3 \frac{dT_3}{dt} &= -k_{23}(T_3 - T_2)F_{23} - k_{30}(T_3 - T_{o.c.})F_{30}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $T_1, T_2, T_3$  – відповідно температури (середні з об'єму в системі) теплоакумуляючого матеріалу, тосола і двигуна;

$m_1$  – маса теплоакумуляційного матеріалу,  $m_2$  – маса задіяного в теплообміні тосола (для різних циклів може бути різною),  $m_3$  – корисна маса двигуна (задіяна в теплообміні);

$c_1, c_2, c_3$ , – відповідна теплоємності, при цьому  $c_1$  задається по методу ефективної теплоємності як кускова функція [4];

$-k_{12}(T_1 - T_2)F_{12}$  – тепловий потік від матеріалу до тосола (і відповідні коефіцієнт теплопередачі й площа);

$-k_{10}(T_1 - T_{o.c.})F_{10}$  – тепловий потік від матеріалу в навколишнє середовище через стінки теплообмінника (і відповідні коефіцієнт теплопередачі й площа);

$-k_{20}(T_2 - T_{o.c.})F_{20}$  – тепловий потік від матеріалу в навколишнє середовище через з'єднувальні патрубки (і відповідні коефіцієнт теплопередачі й площа);

$-k_{23}(T_2 - T_3)F_{23}$  – тепловий потік від тосола до двигуна (і відповідні коефіцієнт теплопередачі й площа);

$-k_{30}(T_3 - T_{o.c.})F_{30}$  – тепловий потік від двигуна в навколишнє середовище через його поверхню.

Початкові умови:  $T_1(0)$  – температура теплоакumuлюючого матеріалу після простою,  $T_2(0)$  – початкова температура тосола (в розрахунках приймається як середня між двигуном і матеріалом, але можливий і більш точний вибір пропорційально відношенню об'ємів в двигуні і в теплообміннику),  $T_3(0)$  – початкова температура двигуна (приймаємо як температуру навколишнього середовища).

Результати представляються у вигляді графіків прогріву або охолодження при стоянці відповідно двигуна, ТАМ, та теплонесучої рідини (рис.1).

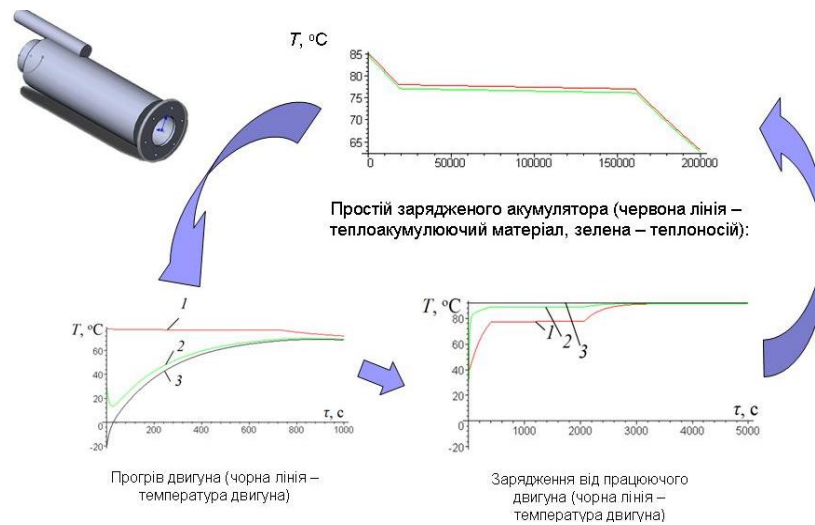


Рисунок 1 – Циклограма роботи теплоакumuлятора з компоновкою у вигляді кожухотрубчастого теплообмінника. 1 – температура ТАМ, 2 – температура тосола, 3 – температура двигуна.

Стендові випробування показали достатню узгодженість розрахункової моделі з натурними даними.

**Висновки.** Розрахунки теплоакumuлюючої апаратури для теплової підготовки двигунів внутрішнього згорання з використанням чисельних методів усередненого прогнозування стадій зарядки, розрядки, простою при виборі компоновання устаткування та стендових випробувань дозволяють оптимізувати конструктивні параметри, вибрати відповідні варіанти з множини можливих компоновань, розрахувати енерговитрати ще на ранньому етапі проектування. Такий підхід може бути розповсюджений на індивідуальні розрахунки по визначенню оптимальних компоновань теплоакumuлюючого обладнання для широкого спектра автомобільної техніки.

## Література

1. Бекман Г., Гири П. Тепловое аккумулярование энергии: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 272 с.

2. Аппазов Э.С. Применение предпусковой тепловой подготовки для повышения эффективности работы двигателей внутреннего сгорания // Вестник ХНТУ № 1(48), 2014 г. – С 30-33.

3. Аппазов Э.С., Ключев О.И., Русанов С.А., Луняка К.В. Решения по использованию теплоаккумуляторов на основе фазового перехода твердое тело - жидкость для предпусковой подготовки автомобильных двигателей. // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Херсон: ВНЗ «ХДМІ», 2014. – С.52-54.

4. Пыхтя В. А. Экспериментальные исследования системы предпускового разогрева двигателя с тепловым аккумулятором / В.А. Пыхтя // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. - № 6 (148). – С. 246-251.

Кубіч Вадим Іванович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний університет, «Запорізька політехніка», schmirung@gmail.com, 066-5868697  
Грешта Віктор Леонідович, к.т.н., професор, професор кафедри фізичного матеріалознавства, Національний університет «Запорізька політехніка», greshtaviktor@gmail.com

## **МЕТОДИКА ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРМОМЕХАНІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПОКРИТТІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ**

Процеси контактної взаємодії зовнішніх поверхонь елементів вузлів тертя з робочими відсіками, наприклад, циліндричного перетину, в яких створюються умови для реалізації термодинамічних циклів, безумовно супроводжуються накопиченням деформаційних, ерозійних зон навантаження, які рано чи пізно приводять до допустимих пошкоджень та патологічних руйнувань. Термін прояву руйнування та особливості формування при цьому його топографії визначаються вихідними фізико-механічними характеристиками матеріалів, особливістю протікання послідовних структурно-фазових перетворень, а також характером зміни параметрів термомеханічного, газодинамічного навантаження поверхонь. Такими робочими відсіками можливо розглядати кожен із ступенів компресора і турбіни газотурбінних установок (авіаційні двигуни, роторно-поршневі двигуни, роторно-хвильові двигуни та інші теплові машини), в яких мають місце процеси зношування внутрішньої поверхні корпусу та активних елементів, наприклад, торцевих поверхонь лопаток, ущільнювальних пластин. Так, торцеві поверхні лопаток можуть мати гребінці, які є складовою газодинамічного безконтактного ущільнювального контуру. Також вони є предметом механічного впливу на формування якості контуру у початковий період експлуатації – при припрацюванні та при явному прояві збудження руйнівних наслідків при некерованих зближеннях з корпусом, тобто вибіркою сталих регламентованих зазорів. Для захисту корпусу від руйнувань та формування якісного ущільнювального контуру використовується