

Могила В.І., Ковтанець М.В., Ковтанець Т.М.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОЗА ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ УМОВ ОХОЛОДЖЕННЯ

В традиційній системі охолодження тепловозного дизеля рідкий теплоносіє охолоджує кілька об'єктів: надувочне повітря, масло дизеля і деталі дизеля. Кожен з об'єктів охолодження має свій оптимальний діапазон робочих температур. При цьому температура кипіння охолоджуючого теплоносія має постійне значення при нормальних умовах навколишнього середовища, що перешкоджає одночасному використанню процесу кипіння теплоносія в охолодженні всіх об'єктів охолодження водяної системи тепловоза. У свою чергу застосування декількох різних теплоносіїв конструктивно складно і економічно невигідно. У статті представлені результати розробки механізму регулювання температури кипіння теплоносія в охолоджувальному пристрої тепловоза, що дозволить використовувати всі переваги процесу кипіння теплоносія в охолодженні деталей дизеля, масла дизеля і надувочного повітря, і при цьому використовувати єдиний теплоносіє для всіх контурів охолодження.

Проведено аналіз переваг та недоліків різних механізмів регулювання температури кипіння теплоносія, а саме, додавання присадок, які значно знижуючи температуру кипіння речовин в даній момент невідомі, а метод виведення присадок з теплоносія в розширювальному баку при змішуванні теплоносія всіх контурів системи являє собою серйозну проблему; зміна концентрації легкокиплячих речовин у водному розчині, який є найбільш вигідним з точки зору собівартості, та зміна тиску в резервуарі до необхідного значення.

По результатам проведених досліджень встановлено, що регулювання температури кипіння теплоносія за допомогою зміни його концентрації і тиску в резервуарі дозволяє створити теплоносіє з вигідними економічними та фізико-хімічними властивостями, а також дозволяє створити оптимальні умови охолодження для будь-яких погодних умов і режимів роботи, для кожного об'єкта і регулювати температуру об'єкта в реальному часі з кабіни машиніста або з допомогою автоматики і мікропроцесорної техніки.

Ключові слова: теплоносіє, теплопередача, температура кипіння, тиск, концентрація розчину.

Постановка проблеми. Світовою тенденцією створення сучасного тягового рухомого складу є розробка тепловозів з високою конструкційною швидкістю, що пов'язано з вирішенням ряду технічних завдань, зокрема зниження потужності, що відбирається на допоміжні потреби.

Як відомо [1], на привід допоміжних пристроїв тепловоза витрачається від 8 до 14% його номінальної потужності, причому зі збільшенням потужності збільшуються витрати на привід допоміжних пристроїв, що істотно знижує ККД тепловоза в цілому. Основним споживачем потужності допоміжних пристроїв є система охолодження. Надійність експлуатації рухомого складу залізниць багато в чому залежить від якості функціонування системи охолодження, ефективність якої в процесі експлуатації знижується, що призводить до роботи дизеля при підвищеній температурі теплоносіїв, зниження надійності, обмеження потужності силової установки і, як наслідок, до погіршення паливної економічності.

Відомо, що використання процесу кипіння охолоджуючого теплоносія надає можливість використовувати ряд вигідних особливостей:

1) теплоносіє, що охолоджує головку поршня і стінки циліндра, повністю захищений від перегріву, так як при заданому тиску температура киплячої рідини залишається завжди постійною, а теплота, що підводиться, витрачається на подолання міжмолекулярних зв'язків і перетворення частини рідини в пар;

2) охолодження поршня і стінки циліндра дизеля відбувається рівномірно по всій площі поверхні;

3) тепла енергія, відведена з пароподібним теплоносієм, може бути перетворена в електричну енергію або корисну роботу;

4) теплоносіє з низькою температурою кипіння мають низьку температуру кристалізації, що виключає проблеми з руйнуванням труб при замерзанні теплоносія в холодну пору року;

6) інтенсивність теплопередачі при фазовому переході дуже висока, що обумовлено високим значенням теплоти пароутворення речовин (наприклад, питома теплота пароутворення води становить 2257 кДж / (кг) [1, 2], що перевищує значення питомої теплоємності води, яке в свою чергу дорівнює 2,4 кДж / (кг·К) [3], в 940 разів).

В традиційній системі охолодження тепловозного дизеля рідкий теплоносіє охолоджує кілька об'єктів: надувочне повітря, масло дизеля і деталі дизеля. Кожен з об'єктів охолодження має свій оптимальний діапазон

робочих температур. Надувочне повітря в повітроохолоджувачі охолоджується до температури 55-78°C, в залежності від типу компресора [1]. Масло в водомасляному теплообміннику охолоджується до 60°C [4]. При охолодженні деталей дизеля теплоносій доводиться до температур: 75-90°C – при середньотемпературному охолодженні, 110-130°C – при високотемпературному охолодженні [3]. Однак температура кипіння охолоджуючого теплоносія має постійне значення при нормальних умовах навколишнього середовища, що перешкоджає одночасному використанню процесу кипіння теплоносія в охолодженні всіх об'єктів охолодження водяної системи тепловоза. У свою чергу застосування декількох різних теплоносіїв конструктивно складно і економічно невигідно.

Метою роботи. Виходячи з вищесказаного, доцільно розробити механізм регулювання температури кипіння теплоносія в охолоджувальному пристрої тепловоза, що дозволить використовувати всі переваги процесу кипіння теплоносія в охолодженні деталей дизеля, масла дизеля і надувочного повітря, і при цьому використовувати єдиний теплоносій для всіх контурів охолодження.

Основна частина. Першим з таких механізмів є додавання присадок. Однак присадки, значно знижуючи температуру кипіння речовин в даний момент невідомі, а метод виведення присадок з теплоносія в розширювальному баку при змішуванні теплоносія всіх контурів системи являє собою серйозну проблему. Проте широко застосовуються гідрофобізуючі присадки, дія яких полегшує процес конденсації теплоносія, перетвореного в пар в процесі кипіння на охолоджуваній поверхні. Наприклад, солі третично-первинних діамінів, розчинені в розчині ізопропілового спирту і введені в замкнутий контур у кількості $(0,5-1,5)10^{-3}$ г/кг води, значно підвищують інтенсивність крапельної конденсації пари на латунних трубах конденсатора протягом 800 годин без додаткового введення [5]. Проте більшість таких присадок мають високу собівартість, що обмежує можливості їх застосування. Температура кипіння теплоносія може бути підвищена шляхом додавання присадок, проте істотного зниження температури кипіння присадками добитися неможливо. Крім того наявність фазових переходів згубно впливатиме на концентрацію присадок і ефективність їх дії.

Другим механізмом регулювання температури кипіння теплоносія є зміна концентрації легкокиплячих речовин у водному розчині. Розчин на основі води є найбільш вигідним з точки зору собівартості.

Як відомо, температура кипіння розчину являє собою усереднене значення температур кипіння складових речовин з урахуванням їх концентрації (рис. 1) [2]. Однак слід зазначити, що багато розчинів при певних концентраціях, температурі і тиску мають особливі властивості: зміни щільності, теплоємності, в'язкості, температури кипіння. Так, при концентрації етанолу в водному розчині (91...96)% температура кипіння розчину нижче температури кипіння чистого етанолу 78,4°C, і при концентрації в 95,57% досягає мінімуму 78,15°C [5]. В'язкість водного розчину метанолу, при його концентрації близько 40%, більше в'язкості обох чистих складових [6]. Такі особливості не відповідають ніяким розрахунковим залежностям і становлять значний науковий інтерес.

Відзначимо також, що пари розчину, випаровувані в процесі кипіння, можуть бути розділені на складові в процесі конденсації (крім азеотропних розчинів – тобто нероздільних при перегонці, наприклад: розчин 95,57% етанолу + 4,43% води (t кипіння 78,8°C) [5], 88% ацетону + 12% метанолу (t кипіння 55,7°C), 61% бензолу + 39% метанолу (t кипіння 57,5°C), 79,34% CCl₄ + 20,66% метанолу (t кипіння 55,7°C), і т.д. [7]), а рідкий розчин в розширювальному баку може бути розділений по щільності.

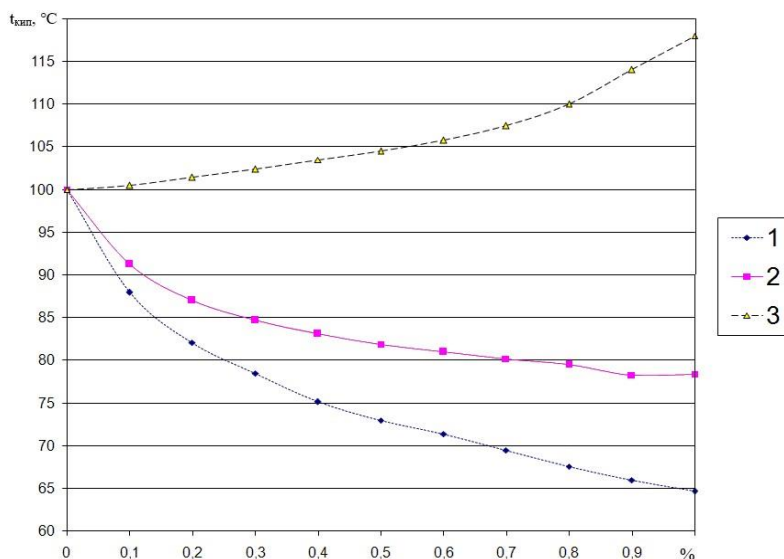


Рисунок 1 - Графік залежності температури кипіння водних розчинів речовин від концентрації:

1 - температура кипіння розчину метанолу; 2 - температура кипіння розчину етанолу; 3 - температура кипіння розчину оцтової кислоти

Третім механізмом регулювання температури кипіння теплоносія є зміна тиску в резервуарі. З огляду на, що температура кипіння води 100°C значно перевищує температуру охолодження масла 60°C, а створити таке істотне розрідження технічно складно, а високий тиск в теплообмінниках знизить їх довговічність, отже, робимо висновок: доцільно використовувати низькотемпературний теплоносій з температурою кипіння 50-60°C (в діапазоні максимальної температури навколишнього середовища і мінімальної температури охолоджуваного об'єкта). Підвищення температури кипіння теплоносія до оптимального значення для кожного охолоджуваного об'єкта можливо здійснювати, підвищуючи тиск в резервуарі до необхідного значення. На рис. 2. представлені графіки зміни температури кипіння деяких речовин при підвищенні тиску в резервуарі.

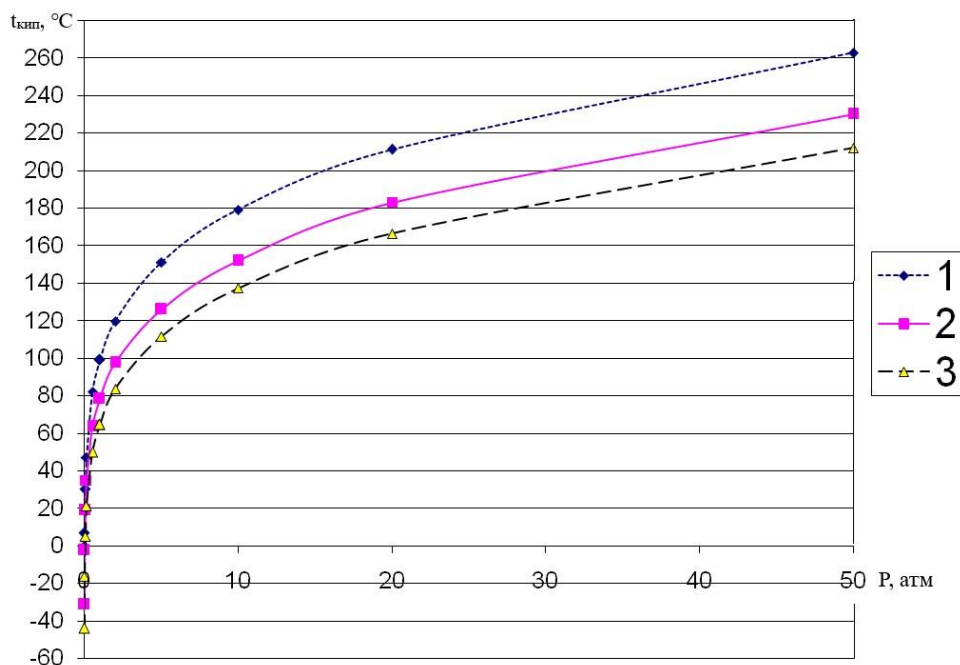


Рис. 2. Графік зміни температури кипіння речовин при підвищенні тиску в резервуарі:
1 - температура кипіння води; 2 - температура кипіння етанолу; 3 - температура кипіння метанолу

Вода володіє найбільш низькою собівартістю, високою вибухопожежобезпекою, невисокою корозійною активністю, максимальною теплоємністю і високою теплопровідністю, невеликою в'язкістю, високою теплою випару. Проте температура кипіння чистої води дуже висока і не дозволяє використовувати її фазові переходи для охолодження наддувочного повітря (досягти такого пониження тиску надмірно складно). Таким чином, використання чистої води для системи охолодження дизеля з фазовими переходами є неефективним.

Рідкі метали використовуються як теплоносій в системах охолодження стаціонарних теплоенергетичних установок високої потужності. Відмітною особливістю рідких металів є висока теплопровідність, внаслідок чого відсутня необхідність підвищення швидкості циркуляції і організації турбулентної течії.

Головними недоліками таких теплоносіїв є: застигання металу при виключенні ДВС, значна токсичність легкоплавких металів, висока собівартість, висока температура кипіння (це критична перешкода для систем охолодження з фазовими переходами).

Фреони, хладагони та інші хладагенти широко використовуються в холодильній техніці. Основним завданням таких холодильних установок є отримання низьких температур. У зв'язку з цим, всі подібні теплоносії мають дуже низьку температуру кипіння і використовуються із застосуванням високого тиску (до 20...35 атм). Дані цілі і умови роботи не відповідають системам охолодження дизелів тепловозів. Крім того, більшість хладагентів холодильної техніки є високотоксичними і мають надмірно високу собівартість.

Для двигунів, що працюють на газових видах палива, економічно найвигіднішим є використання самого палива як теплоносія. При цьому теплоту системи охолодження дизеля використовують для перетворення в газ зрідженого палива. Це не лише знижує масо-габаритні розміри радіатора, але і дозволяє повернути частку теплоти системи охолодження в циліндри, що підвищує загальний ККД силової установки. Головним недоліком такого теплоносія є підвищення пожежної та вибухової небезпеки. Крім того, використання газового палива на тепловозах є вельми суперечливою перспективою.

Суміші і розчини різних речовин є найбільш перспективними теплоносійми для систем охолодження дизелів тепловозів. Основні переваги сумішей і розчинів: підбір оптимальних фізичних і хімічних параметрів, можливість використання дешевого основного компоненту, наприклад, води. Більшість сумішей і розчинів не підходять для систем охолодження з фазовими переходами теплоносія. Причиною цього служать: ректифікаційні розділення розчину на компоненти при кипінні, зміна складу суміші в разі розгерметизації і витоку одного з компонентів, а також розшарування компонентів в ємкості для їх зберігання.

Проте існують суміші і розчини, позбавлені перерахованих недоліків, – азеотропні розчини. Вони не розділяються в процесі фазових переходів (при кипінні і конденсації) і поведуться як однорідна речовина.

Створення азеотропу не представляє складності: механічно змішуються необхідні компоненти і, при необхідності, методом звичайної ректифікації переганяють більш леткий компонент, унаслідок чого отримують відносно чистий азеотроп і надлишковий компонент.

Для розділення азеотропних сумішей і розчинів звичайної ректифікації вже недостатньо. Існує декілька методів розділення азеотропів [8]:

- розділення в комплексі колон, що працюють під різним тиском (високий тиск);
- екстрактна ректифікація (додавання третього компоненту, сильно розчинного в одному з компонентів азеотропу);
- азеотропна і гетеразеотропна ректифікація (додавання третього сильнішого компоненту, який відокремлює один з компонентів поточного азеотропу і утворює з ним нове з'єднання, залишаючи очищеним другий компонент).

Було розглянуто багато теплоносіїв та азеотропних розчинів і вибраний найбільш близький до вимог, що висувалися: азеотропний розчин води (81,8%) і аніліну $C_6H_5NH_2$ (18,2%) з температурою кипіння $75^{\circ}C$. Розчин не горючий; корозійно і хімічно не активний; має відповідні фізико-хімічні властивості. Оскільки у вказаному розчині 81,8% води, собівартість його не дуже висока і складає близько 18 грн/л, причому загальний запас теплоносія і його масова витрата в системі можуть бути понижені в 40...80 разів. Більш точне управління температурою кипіння розчину здійснюється зниженням тиску у випарних теплообмінниках системи охолодження дизеля тепловоза.

Висновки. Регулювання температури кипіння теплоносія за допомогою зміни його концентрації і тиску в резервуарі дозволяє створити теплоносії з вигідними економічними та фізико-хімічними властивостями. А також дозволяє створити оптимальні умови охолодження (для будь-яких погодних умов і режимів роботи) для кожного об'єкта і регулювати температуру об'єкта в реальному часі з кабіни машиніста або з допомогою автоматики і мікропроцесорної техніки [9, 10]. Відзначимо також, що існуюча водяна система тепловоза 2ТЕ116 розрахована на внутрішній тиск до 3...5 атм, а при мінімальних вдосконаленнях це значення можливо підвищити до 10 атм. Використання присадок в даному випадку не може грати ключову роль, однак дозволяє значно вплинути на значення в'язкості теплоносія і інтенсивність конденсації його парів. Що дозволяє оптимізувати допоміжні процеси в охолоджувальному пристрої тепловоза, а отже, знизити витрати потужності на допоміжні потреби.

Література

1. Куликов Ю.А. Системы охлаждения силовых установок тепловозов / Ю.А. Куликов. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
2. Симсон А.Э. Двигатели внутреннего сгорания (тепловозные двигатели и газотурбинные установки). Учебник / А.Э. Симсон, А.З. Хомич, А.А. Куриц и др. – М., Транспорт, 1980. – 384 с.
3. Справочник химика: В 2-х т. Т. 1, – 2-е изд., перераб. и доп., М.Е. Позин, О.Н. Григоров и др.; Под ред. Б.П. Никольского. – М.: Химия, 1966, – 1070 с.
4. Камаев А.А. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Локомотивостроение» / А.А. Камаев, Н.Г. Апанович, В.А. Камаев и др.; Под ред. А.А. Камаева. – М.: Машиностроение, 1981. – 351 с.
5. Филонов С.П. Тепловоз 2М62: экипажная часть, электрическое и вспомогательное оборудование / С.П. Филонов, А.Е. Зиборов, В.В. Разумейчик и др. – М.: Транспорт, 1987. – 184 с.
6. Куликов Ю.А. Системы охлаждения силовых установок тепловозов / Ю.А. Куликов. – М., «Машиностроение», 1988. – 280 с.
7. Мозжухин А.Б. Расчет теплообменника [Текст]: методические указания / А.Б. Мозжухин, Е.А. Сергеева; Под ред. Н.Ц. Гатаповой. – Тамбов: ТГТУ, 2001. – 32 с.
8. Методы разделения азеотропных смесей [Электронный ресурс]: 2009. – Режим доступа: <http://www.bestreferat.ru/referat-120054.html>. – Назва з екрана.
9. Gorbunov M. Innovative risks of introducing advanced technical solutions in transport / M. Gorbunov, V. Nozhenko, M. Kovtanets, O. Porkuyan / Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020, September 30 - October 02, Kaunas, Lithuania. 2020. – P. 97-101.
10. Mogila V. The use of biofuel on the railway transport / V. Mogila, I. Vasyliiev, E. Nozhenko // Silesian University of Technology Faculty of Transport (Poland). – Transport Problems, Volume 7, Issue 1, 2012. – P. 21-26.

Referens

1. Kuly`kov Yu.A. Sy`stemy oxlazhdeny`ya sy`lovых ustanovok teplovozov / Yu.A. Kuly`kov. – М.: Mashy`nostroeny`e, 1988. – 280 s.
2. Sy`mson A.Э. Dvy`gately` vnutrennego sgorany`ya (teplovoznые dvy`gately` y` gazoturby`nnye ustanovky`). Uchebny`k / A.Э. Sy`mson, A.Z. Хомы`ch, А.А. Kury`cz y` dr. – М., Transport, 1980. – 384 s.

3. Spravochny`k xy`my`ka: V 2-x t. T. 1, – 2-e y`zd., pererab. y` dop., M.E. Pozy`n, O.N. Gry`gorov y` dr.; Pod red. B.P. Ny`kol`skogo. – M.: Xy`my`ya, 1966, – 1070 s.
4. Kamaev A.A. Konstrukcy`ya, raschet y` proekty`rovany`e lokomoty`vov: Uchebny`k dlya studentov vuzov, obuchayushhy`xsya po specy`al`nosti` «Lokomoty`vostroeny`e» / A.A. Kamaev, N.G. Apanovy`ch, V.A. Kamaev y` dr.; Pod red. A.A. Kamaeva. – M.: Mashy`nostroeny`e, 1981. – 351 s.
5. Fy`lonov S.P. Teplovoz 2M62: эky`pazhnaya chast`, эlektry`chesкое y` vspomogatel`noe oborudovany`e / S.P. Fy`lonov, A.E. Zy`borov, V.V. Razumejchy`k y` dr. – M.: Transport, 1987. – 184 s.
6. Kuly`kov Yu.A. Sy`stemy` oxlazhdeny`ya sy`lovых ustanovok teplovozov / Yu.A. Kuly`kov. – M., «Mashy`nostroeny`e», 1988. – 280 s.
7. Mozhuxy`n A.B. Raschet teploobmenny`ka [Tekst]: metody`chesky`e ukazany`ya / A.B. Mozhuxy`n, E.A. Sergeeva; Pod red. N.Cz. Gatapovoj. – Tambov: TGTU, 2001. – 32 s.
8. Методы` razdeleny`ya azeotropных smesej [Elektronny`j resurs]: 2009. – Rezhy`m dostupu: <http://www.bestreferat.ru/referat-120054.html>. – Nazva z ekrana.
9. Gorbunov M. Innovative risks of introducing advanced technical solutions in transport / M. Gorbunov, V. Nozhenko, M. Kovtanets, O. Porkuyan / Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020, September 30 - October 02, Kaunas, Lithuania. 2020. – P. 97-101.
10. Mogila V. The use of biofuel on the railway transport / V. Mogila, I. Vasyliiev, E. Nozhenko // Silesian University of Technology Faculty of Transport (Poland). – Transport Problems, Volume 7, Issue 1, 2012. – P. 21-26.

В традиционной системе охлаждения тепловозного дизеля жидкий теплоноситель охлаждает несколько объектов: надувочного воздуха, масло дизеля и детали дизеля. Каждый из объектов охлаждения имеет свой оптимальный диапазон рабочих температур. При этом температура кипения охлаждающей теплоносителя имеет постоянное значение при нормальных условиях окружающей среды, препятствует одновременному использованию процесса кипения теплоносителя в охлаждении всех объектов охлаждения водяной системы тепловоза. В свою очередь применение нескольких различных теплоносителей конструктивно сложно и экономически невыгодно. В статье представлены результаты разработки механизма регулирования температуры кипения теплоносителя в охлаждающем устройстве тепловоза, позволит использовать все преимущества процесса кипения теплоносителя в охлаждении деталей дизеля, масла дизеля и надувочного воздуха, и при этом использовать единый теплоноситель для всех контуров охлаждения.

Проведен анализ преимуществ и недостатков различных механизмов регулирования температуры кипения теплоносителя, а именно, добавление присадок, значительно снижая температуру кипения веществ в данный момент неизвестны, а метод вывода присадок с теплоносителя в расширительном баке при смешивании теплоносителя всех контуров системы представляет собой серьезную проблему; изменение концентрации легкокипящих веществ в водном растворе, который является наиболее выгодным с точки зрения себестоимости, и изменение давления в резервуаре до требуемого значения.

По результатам проведенных исследований установлено, что регулирование температуры кипения теплоносителя с помощью изменения его концентрации и давления в резервуаре позволяет создать теплоноситель с выгодными экономическими и физико-химическими свойствами, а также позволяет создать оптимальные условия охлаждения для любых погодных условий и режимов работы, для каждого объекта и регулировать температуру объекта в реальном времени из кабины машиниста или при помощи автоматики и микропроцессорной техники.

Ключевые слова: теплоноситель, теплопередача, температура кипения, давление, концентрация раствора.

In a traditional diesel diesel cooling system, the liquid coolant cools several objects: charge air, diesel oil and diesel parts. Each of the cooling objects has its own optimal range of operating temperatures. The boiling point of the cooling coolant is constant under normal environmental conditions, which prevents the simultaneous use of the boiling process of the coolant in the cooling of all cooling objects of the water system of the locomotive. In turn, the use of several different coolants is structurally difficult and economically unprofitable. The article presents the results of developing a mechanism for regulating the boiling temperature of the coolant in the cooling device of the locomotive, which will use all the advantages of the boiling process of the coolant in cooling diesel parts, diesel oil and charge air, and use a single coolant for all cooling circuits.

An analysis of the advantages and disadvantages of various mechanisms for regulating the boiling point of the coolant, namely, the addition of additives, which significantly lowering the boiling point of substances is currently unknown, and the method of removing additives from the coolant in the expansion tank when mixing coolant is a serious problem; changing the concentration of low-boiling substances in aqueous solution, which is the most profitable in terms of cost, and changing the pressure in the tank to the desired value.

According to the results of the research it is established that the regulation of the boiling temperature of the coolant by changing its concentration and pressure in the tank allows to create a coolant with favorable economic and physicochemical properties, and also allows to create optimal cooling conditions for any weather conditions and operating modes. each object and adjust the temperature of the object in real time from the driver's cab or using automation and microprocessor technology.

Key words: heat carrier, heat transfer, boiling point, pressure, solution concentration.

Могила В.І., професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, к.т.н., проф., Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Ковтанець М.В., доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, к.т.н., доц. Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Ковтанець Т.М., аспірант кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин. Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля