УДК 629.4.125

DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.164.2016.92537

ТЕХНІЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНАХ

Канд. техн. наук А. В. Труфанова, В. В. Шаблій, Я. І. Гавенда

ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНАХ

Канд. техн. наук А. В. Труфанова, В. В. Шабий, Я. И. Гавенда

TECHNICAL DIAGNOSTICS OF AIR CONDITIONING SYSTEM IN PASSENGER CARS

Candidate of technical sciences A. B. Trufanova, V. V. Shablii, Y. I. Havenda

Під час експлуатації пасажирських вагонів у роботі системи кондиціонування повітря холодильної машини можуть виникати несправності, що спричиняють часткове або повне порушення всієї роботи холодильної машини. Це може стати актуальною проблемою у забезпеченні комфортності перебування пасажирів у пасажирських вагонах залізничного транспорту.

Для визначення та своєчасного усунення несправностей у системі кондиціонування пасажирських вагонів підвищується значення технічної діагностики. За останні роки на залізницях України та інших держав технічна діагностика все більше впроваджується в технологічні процеси обслуговування і ремонту вагонів. Це у свою чергу потребує розроблення методик діагностування холодильного обладнання рухомого складу з урахуванням специфіки експлуатації, технічного обслуговування і ремонту вагонів. У

статті пропонуються нові підходи пошуку і своєчасного усунення несправностей не тільки системи кондиціонування повітря, але і холодильної машини пасажирських вагонів у цілому.

Ключові слова: *холодильна машина, алгоритм, діагностування, несправність, холодоагент, фазовий стан, установка.*

Во время эксплуатации пассажирских вагонов в работе системы кондиционирования воздуха холодильной машины могут возникать неисправности, влекущие за собой частичное или полное нарушение всей работы холодильной машины. Это может стать актуальной проблемой в обеспечении и комфортности пребывания пассажиров в пассажирских вагонах железнодорожного транспорта.

Для определения и своевременного устранения неисправностей в системе кондиционирования пассажирских вагонов повышается значение технической диагностики. За последние годы на железных дорогах Украины и других государств техническая диагностика все больше внедряется в технологические процессы обслуживания и ремонта вагонов. Это в свою очередь требует разработки методик диагностирования холодильного оборудования подвижного состава с учетом специфики эксплуатации, технического обслуживания и ремонта вагонов. В статье предлагаются новые подходы поиска и своевременного устранения неисправностей не только системы кондиционирования воздуха, но и холодильной машины пассажирских вагонов в целом.

Ключевые слова*: холодильная машина, алгоритм, диагностирование, неисправность, хладагент, фазовое состояние, установка.*

In the course of the work of the air-conditioning system of coaches can happen malfunction which can affect the entire work of the chiller. It may lead to the topical problems in ensuring comfortable stay passengers in the coaches of railway transport.

In order to determine and eliminate malfunctions in the air-conditioning system we have to increase the importance of technical diagnostics. The technical diagnostics has being improved in the technological processes of the service and repair of the coaches for recent years in Ukraine. Thus, it requires the special development of the method of the diagnostic of the refrigeration equipment based on the specifics of the exploitation of rolling stock. The article shows us the search of a new approaches and timely troubleshooting of the air conditioning system, and also there is a description and a few instructions to solve of some malfunctions of the passenger wagons chiller in general.

Key words: *chiller, algorithm of diagnosing, air-conditioning system.*

Вступ. Однією з найбільш актуальних проблем у забезпеченні комфортності перебування пасажирів у пасажирських вагонах залізничного транспорту є забезпечення фізико-хімічної чистоти навколишнього повітря. При цьому найбільш важливими є такі параметри:

- метеорологічні умови (температура, вологість, швидкість повітря, тиск);
- хімічний склад повітря (вміст газів і парів);
- фізіологічні показники (вміст мікробів, мікроорганізмів, пилу).

На першу групу показників впливає кількість опадів, інтенсивність сонячної радіації, напрямок і швидкість вітру.

На жаль, перераховані явища природи непідвладні людині, хоча до деяких з них людство вже підбирає ключі управління, штучно змінюючи клімат на великих територіях. На відміну від штучного клімату кондиціонування повітря являє собою процес більш вузького значення і характеризує зміну стану повітря, що має бути в даному приміщенні або надходить у нього.

У пасажирських вагонах застосування кондиціонування повітря обумовлено

низькою теплостійкістю, малим об'ємом приміщення, який припадає на одного пасажира, внаслідок чого пасажири протягом короткого часу перетинають кліматичні зони з різними погодними умовами.

Більша частина пасажирських вагонів, що експлуатуються на українських залізницях, побудована у 70-80 рр. минулого століття і термін їх служби закінчується. Збереження чисельності пасажирського вагонного парку досягається шляхом проведення капітального ремонту старих вагонів з продовженням терміну їх служби чи закупівлі нових. За умов обмеженого фінансування виконання відновлювальних ремонтів вагоноремонтними заводами й залізницями залишається основним засобом підтримання парку вагонів у потрібній кількості. У цих умовах актуальним є завдання оснащення вагонів після модернізації сучасними системами життєзабезпечення, у тому числі і системою кондиціонування повітря.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У систему кондиціонування пасажирських вагонів входять системи вентиляції, опалення, охолодження, автоматичного управління. У літній період року система вентиляції працює сумісно із системою охолодження, яка відрізняється конструктивною складністю виконання та вимагає високої надійності.

У зв'язку з даною проблемою було розглянуто та проаналізовано методи удосконалення конструкцій системи кондиціонування повітря, технічної діагностики холодильної машини в сучасних вагонах за проектуванням і виробництвом пасажирських вагонів як в Україні – ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод», так і за кордоном. Результати робіт широко застосовуються фахівцями на виробництві [1], але система кондиціонування холодильної машини пасажирських вагонів постійно потребує удосконалення не тільки на конструктивному рівні, але й на рівні технічного обслуговування та ремонту.

Для моделювання процесів теплообміну в пасажирських вагонах інженерами компанії ТОВ «Інтер Кар Груп» використовувався метод скінченних елементів [2]. За допомогою цього методу вдалося виявити зони конструкції, у яких спостерігається найбільша втрата тепла. Завдяки цьому методу є можливість моделювати теплопередачі не тільки для віконного блока, але й для всього купе чи вагона в цілому.

Багато країн вважають за доцільне проводити модернізацію старих вагонів, де системи кондиціонування взагалі не існувало, це переважно вагони жорсткі відкритого типу, які і перевозять основну масу пасажирів [3-5]. Витрати на модернізацію одного старого вагона виявляються приблизно втричі нижчими, ніж на будівництво нового.

За експериментальними дослідженнями системи кондиціонування повітря у пасажирських вагонах, наведеними в роботі зарубіжних фахівців, отримано порівняльні фізичні параметри повітря в різних режимах і умовах [6]. Але не приділяється уваги конструктивним особливостям установки холодильної машини. Дослідження системи кондиціонування повітря вагона повинно бути спрямоване не тільки на забезпечення нормативів мікроклімату, але і передбачати оперативну методику функціонування основних вузлів холодильної машини.

Необхідно відзначити роботи, які пов'язані із системою діагностики кондиціонування повітря в пасажирських вагонах. За допомогою датчиків можна контролювати одночасно температуру повітря, вологість, тиск, температуру холодоагенту і проходження холодоагенту по системі трубопроводів холодильної машини [7, 8]. Поєднання функціональної діагностики і виконання на основі неї профілактичних (ремонтних) робіт дають змогу підвищити якість роботи системи і

продовжити ресурс роботи дорогого обладнання в умовах реальної експлуатації.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою досліджень є покращення умов комфортності пасажирів за рахунок не тільки удосконалення енергетичного та холодильного обладнання пасажирських вагонів, але й своєчасного усунення несправностей системи кондиціонування повітря та холодильної машини в цілому.

Основна частина дослідження. Вагонний кондиціонер АВК-30, який використовується в сучасних пасажирських вагонах побудови Крюківського ВБЗ, має моноблокову установку, яка призначена для забезпечення й автоматичного підтримання необхідних значень температури повітря всередині пасажирських приміщень. Установка може використовуватися в пасажирських вагонах, що входять до рухомого складу на електричній, дизель-електричній та тепловозній тязі, при швидкостях руху вагонів від 0 до 220 км/год і температурах зовнішнього повітря від +45 до +15°С при роботі в режимі охолодження і від +15 до -50°С та при роботі в режимах вентиляції, опалення. Вона являє собою підвісний горизонтальний автономний кондиціонер з рециркуляцією і складається з парокомпресійної холодильної машини, повітронагрівачів та вентиляційного обладнання. Загальний вигляд подано на рис. 1.

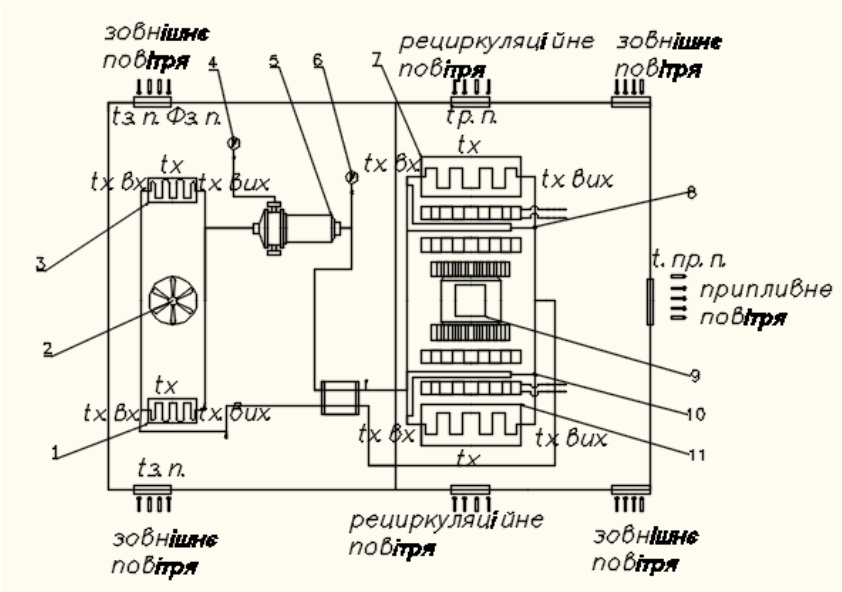


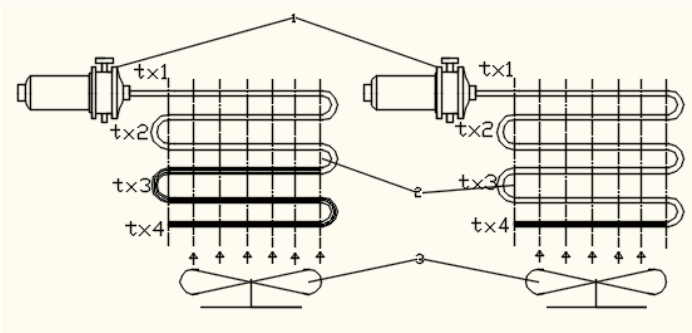
Рис. 1. Моноблокова установка системи кондиціонування повітря АВК 30:
1-3 – конденсатор; 2 – вентилятор конденсаторів; 4 – манометр нагнітання; 5 – компресор; 6 – манометр всмоктування; 7, 11 – повітроохолоджувачі; 8,10 – терморегулювальні вентилі; 9 – вентилятор повітроохолоджувачів

Під час експлуатації вагонного кондиціонера можуть виникнути несправності. Наприклад, підвищений тиск у конденсаторі може бути викликаний різними чинниками: недостатньою кількістю холодоагенту в системі, забрудненням поверхні теплопередачі або системи охолодження самого конденсатора і т. п. У деяких літературних джерелах наведені рекомендації для пошуку несправностей, які базуються на аналізі причин, які викликають появу високого або

низького тиску холодоагенту у конденсаторі та повітроохолоджувачі [9, 10].

Однак в експлуатації не завжди можна своєчасно визначити тип і місцезнаходження несправності. Недостатньо мати тільки два манометри фіксуючого тиску холодоагенту на стороні нагнітання і всмоктування в компресор. Для підвищення працездатності та проведення діагностики системи необхідно оснастити теплообмінні апарати додатковими засобами контролю технічного стану.

Для своєчасного усунення несправностей у системі кондиціонування пасажирських вагонів необхідно знати характер зміни теплових процесів безпосередньо в конденсаторі і повітроохолоджувачі, а також мати порівняльні характеристики зі зміни температури і фазового стану холодоагенту по довжині трубопроводу конденсатора або повітроохолоджувача. Зміна фазового стану холодоагенту подана на рис. 2, 3.



а б

Рис. 2. Схема зміни фазового стану холодоагенту:
1 – кондесатор; 2 – трубопровод конденсатор; 3 – вентилятор конденсатора;
а – нормальна робота; б – аномальна робота

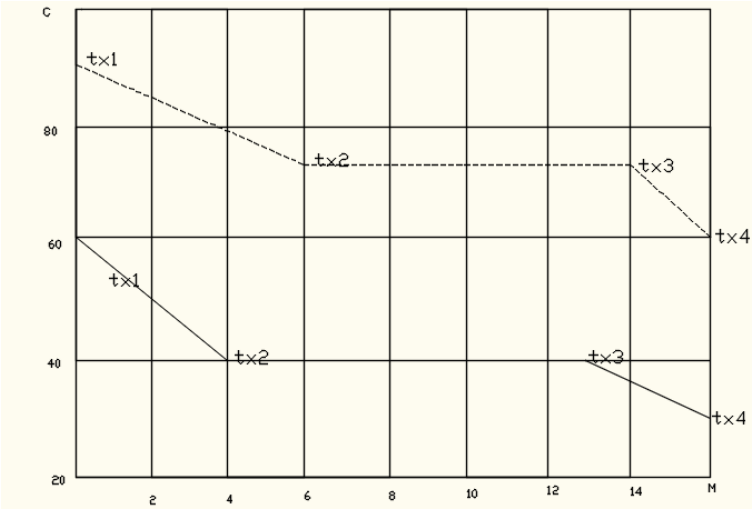


Рис. 3. Зміна температури холодоагенту у місцях трубопроводу конденсатора

Доцільним є використання пристрою для визначення температури і тиску холодоагенту в місцях трубопроводів конденсатора і повітроохолоджувача, визначення витрати повітря і відносної вологості на вході і виході з конденсатора і повітроохолоджувача.

Відповідність вимірів роботи вагонної установки з початковими технічними характеристиками є нормальною умовою експлуатації. У випадку аномальної роботи холодильної машини виникає надлишок пароподібного холодоагенту, що призводить до «запізнювання» конденсації через нестачі холодоагенту в рідкому стані.

Запропонований метод пошуку несправностей базується на перевірному розрахунку теплообмінних апаратів вагонних установок [11], які описуються в такій залежності:

$$Q = K \times F \times \Delta t, \qquad (1)$$

де Q – тепловий потік, кДж/год (кВт);

K – коефіцієнт теплопередачі, кДж/м^2×К×год (кВт/м^2×К);

F – поверхня теплопередачі (площа теплообмінника), м^2;

Δt – середній температурний напір між теплоносіями.

Визначення коефіцієнта теплопередачі К теплообмінювача визначається за такою формулою [11]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_{впр} \cdot \varphi_{зов}}}, \qquad (2)$$

де α_k – коефіцієнт тепловіддачі від холодоагенту до стінки труби, Вт/(м^2×К);

$R_i = \delta_i / \lambda_i$ – термічний опір теплопровідності матеріалу стінки труби і відкладень на її поверхні, (м^2×К)/Вт;

δ_i – товщина стінки або шару відкладення, м;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки або шару відкладення, Вт/(м^2×К);

$\alpha_{впр}$ – приведений коефіцієнт тепловіддачі від ребристої зовнішньої поверхні труби до охолоджуючого середовища (повітря), Вт/(м^2×К);

$\varphi_{зов}$ – ступінь ребристості зовнішньої поверхні труби.

Визначити величину α_k в цілому по конденсатору досить складно. Як правило, цю роботу виконують роздільно для основних процесів, що характеризують тепловіддачу від холодоагенту до стінки труби: тепловіддача без зміни агрегатного стану і плівкової конденсації.

Тепловіддача без зміни агрегатного стану холодоагенту при його турбулентному русі всередині каналу (труби):

$$\alpha_k = B \cdot \omega^{0,8} \cdot \varepsilon \cdot d_{екв}^{-0,2}, \qquad (3)$$

де В – коефіцієнт, який залежить від фізичних властивостей холодоагенту;

ω – швидкість течії холодоагенту (для пари 5-20 м/с, для рідини 0,5-1,5 м/с);

ε – поправковий коефіцієнт, що враховує зміну коефіцієнта тепловіддачі по довжині каналу;

$d_{екв}$ – еквівалентний діаметр каналу (для труби – внутрішній діаметр $d_{вн}$, м).

Формула (3) відповідає значенням числа Рейнольдса, що характеризує режим течії:

$$\mathbf{Re} = \frac{\omega \cdot d_{екв}}{\nu}, \quad (4)$$

де $d_{екв}$– кінематична в'язкість холодоагенту, м^2/с.

Коефіцієнт ε визначають за формулою

$$\varepsilon = 0,6 \cdot \left(\frac{1}{Re} \cdot \frac{1}{d_{екв}}\right)^{-\frac{1}{7}} \cdot \left(1 + 2,5\frac{1}{Re \cdot d_{екв}}\right), \quad (5)$$

де l – довжина каналу (труби), м.

Для течії холодоагенту всередині труби формула справедлива при виконанні співвідношення $l/d_{вн} < 0,1R_e$.

Приведений коефіцієнт тепловіддачі від ребристої зовнішньої поверхні труб конденсатора до охолоджуючого повітря знаходять

$$\alpha_{впр} = \alpha_в \left(\frac{F_р}{F_{мр}} E_р \psi + \frac{F_{пор}}{F_{мр}}\right), \quad (6)$$

де $F_р$ – площа поверхні ребер на 1 м довжини труби, м^2;

$E_р$ – коефіцієнт ефективності ребра;

ψ – коефіцієнт нерівномірності тепловіддачі по висоті ребра.

Отримані дані при діагностуванні значення холодопродуктивності порівнюються з номінальним її значенням. При різниці значення більше 15 % виконують тестове діагностування холодильної машини для пошуку несправностей [12, 13].

Для визначення характеру можливих несправностей холодильної машини та системи кондиціонування пасажирських вагонів запропонований алгоритм пошуку несправностей. Алгоритм проведення діагностування технічного стану холодильної машини наведений на рис. 4.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розроблена методика діагностування дає змогу виявити несправності обладнання без демонтажу установки і тим самим забезпечити швидке усунення цих несправностей на шляху прямування пасажирського складу.

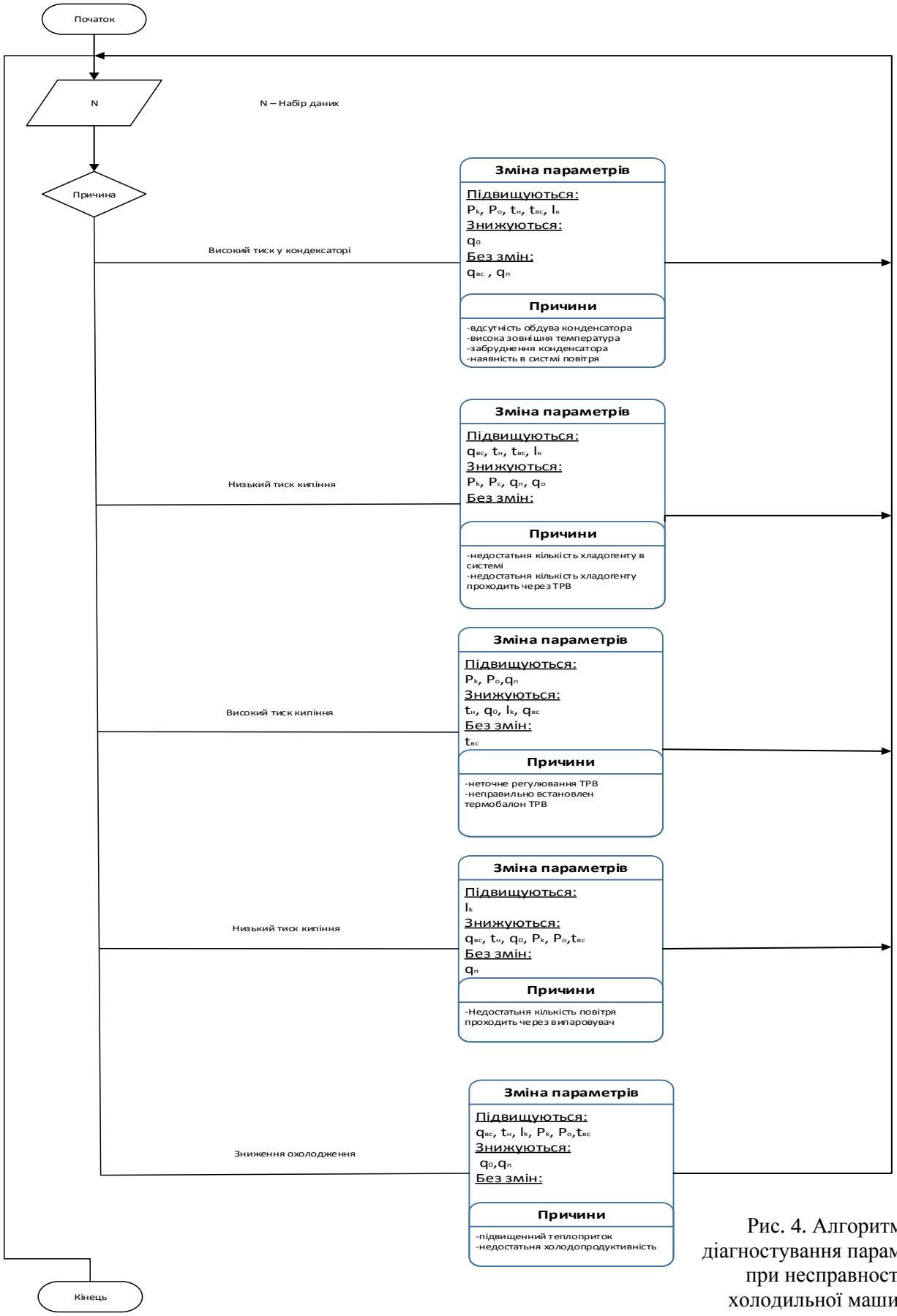


Рис. 4. Алгоритм діагностування параметрів при несправності холодильної машини

Список використаних джерел

1. Особенности развития конструкций установок кондиционирования воздуха пассажирских вагонов [Текст] / В. И. Приходько, О. А. Шкабров, В. И. Коляденко, [и др.] // Вісник ДНУЗТ. – 2005. – № 7. – С. 61-66.

2. Назаренко, К. В. Применение метода конечных элементов для моделирования теплообменных процессов в пассажирских вагонах [Текст] / К. В. Назаренко // Вагонный парк. – 2010. – №9. – С. 31-33.

3. Мокроусов, С. Д. Модернизация пассажирского подвижного состава в Великобритании (обзор зарубежной печати) [Текст] / С. Д. Мокроусов, Б. Г. Цыган, А. Б. Цыган // Вагонный парк. – 2013. – № 11(80). – С. 52- 60.

4. Modernization of passenger cars with the replacement of the body [Text] / International Railway Journal. – 1998. – № 10. – P. 58.

5. Cordner K. Modernization of passenger trains in the UK [Text] / K. Cordner // Modern Railways. – 2002. – № 9. – P. 39-42.

6. Mahendra Kumar. State Space Based Modeling and Performance Evaluation of an Air-Conditioning System [Text] / Mahendra Kumar , I. N. Kar & Anjan Ray // Senior Divisional Electrical Engineer Northern Railway. – 2011. –P. 797-816.

7. Mahendra Kumar. Fault Detection and Diagnosis of Air-Conditioning Systems using Residuals [Text] / Mahendra Kumar , I. N. Kar // Senior Divisional Electrical Engineer Northern Railway, Delhi Division, New Delhi, INDIA. Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi, INDIA. – 2008. –P. 553-600.

8. Mahendra Kumar. Fault Diagnosis of an Air-Conditioning System Using LS-SVM [Text] / Mahendra Kumar, I. N. Kar // Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi, INDIA. – 2009. –P. 555-560.

9. Зворыкин, М. А. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах [Текст] / М. А. Зворыкин, В. М. Черкез. – М. : Транспорт, 1977. – 286 с.

10. Маханько, М. Г. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах и локомотивах [Текст] / М. Г. Маханько. – М. : Транспорт, 1981. – 254 с.

11. Мартинов, І. Е. Холодильне обладнання вагонів [Текст] / І. Е. Мартинов, В. М. Іщенко, А. В. Труфанова – Харків: УкрДАЗТ, 2012.– 158 с.

12. Демьянков, Н. В. Холодильные машины и установки [Текст] / Н. В. Демьянков. – М.: Транспорт, 1976. – 360 с.

13. Борзілов, І. Д. Улосконалення технології технічного обслуговування та ремонту вагонів засобами технічної діагностики [Текст] / І. Д. Борзілов. – Харків, УкрДАЗТ, 2003. – Ч. 2. – 91 с.

Труфанова Альона Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35. E-mail: alena.hiit@rambler.ru/.
Шаблій Вікторія Вітальєвна, студент-магістрант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту.
Гавенда Яна Іванівна, студент-магістрант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту.

Trufanova Alyona Volodymyrivna, candidate of technical sciences, associate Professor, chair Wagons, The Ukrainian state university of railway transport. Tel.: (057)730-10-35.
Shablii Viktoriia Vitalievna, student-master, chair wagons, The Ukrainian state university of railway transport.
Havenda Yana Ivanovna, student-master, chair wagons, The Ukrainian state university of railway transport.

Стаття прийнята 21.09.2016 р.