

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

¹Вінницький національний технічний університет

Наведено методика комплексних факторів для експерта проекту з оцінювання технічного стану теплового насоса, що дає змогу отримати належні управлінські рішення з врахуванням кількісних та якісних збуджувальних факторів, які впливають на надійність та довговічність роботи теплового насоса. З метою створення експертно-модельовальної системи для багатофакторного аналізу процесу накопичення факторів, що впливають на технічний стан теплового насоса, був використаний математичний апарат, що базується на теорії нечіткої логіки та лінгвістичної змінної. Цей метод як взаємозв'язана сукупність математичних моделей дозволяє використовувати експертно-лінгвістичну інформацію для прогнозування технічного стану теплового насосу в залежності від факторів, що його обумовлюють. Побудовано функції належності нечітких оцінок впливу факторів на прогнозований технічний стан теплового насоса. Розроблено дерево логічного висновку ієрархічних зв'язків факторів, які впливають на оцінку стану теплового насоса.

ВСТУП

Загострення енергетичних і екологічних проблем потребує вирішення питань щодо використання поновлювальних джерел енергії та технологій в системах забезпечення мікроклімату в промислових будівлях. На сьогодні актуальним є впровадження енергоощадних систем забезпечення мікроклімату будівель з використанням теплових насосів, що відповідає реалізації рішень Закону України про енергозбереження [1].

У зв'язку з постійним зростанням світових цін на енергоносії доцільно зменшити споживання енергії від зовнішніх джерел, це важливо в економічному та екологічному плані, оскільки зменшиться кількість шкідливих викидів і відходів[2].

Досвід розвинутих країн використання теплових насосів як відновлювальних джерел енергії свідчить, що вони порівняно з котельними дозволяють економити 30–70 кг палива на вироблену 1 МВ·год теплової енергії. Ступінь термодинамічної досконалості парокомпресійних теплових насосів визначають коефіцієнтом перетворення, який залежить від температури кипіння і конденсації робочого тіла і дорівнює 1,5–5. Іншими словами, на 1 кВт електричної потужності, що витрачається на привід компресора, при використанні низькопотенційних джерел можна отримати 1,5–5 кВт теплоти з вищим температурним потенціалом. Цикл абсорбційного теплового насоса на відміну від парокомпресійного супроводжується витрачанням теплової енергії при порівняно високій температурі. На 1 Мвт теплоти, витраченої на випаровування води з розчину броміду літію в генераторі, тепловий насос може видати 1,6 МВт у результаті використання теплоти низькопотенційного джерела. Незважаючи на широке використання теплових насосів, які використовують низькопотенційні джерела теплоти різних джерел, відсутнє наукове обґрунтування надійності їх технічного стану з врахуванням їх кількісних та якісних чинників[2,6].

Метою роботи є аналіз факторів оцінки надійності технічного стану теплових насосів, які в якості низькопотенційної теплоти використовують природну воду з артезіанських свердловин.

В процесі експлуатації виявляються помилки і прорахунки, допущені при розробці проекту станції, а також якість виготовлення будівельних конструкцій і монтажу обладнання. Тому є велика відповідальність, яка полягає не тільки в правильній експлуатації споруд, механізмів і машин, але і в своєчасному виявленні й усуненні можливих будівельних, заводських і монтажних дефектів. При введенні насосної станції в експлуатацію необхідно кількісно оцінити її надійність, визначити тривалість роботи обладнання до виведення в ремонт, тривалість збереження оптимальних параметрів.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Оцінка надійності технічного стану теплового насоса з використання низькопотенційної теплоти природної води з артезіанських свердловин вимагає комплексного підходу з врахуванням кількісних та якісних чинників впливу. Для багатофакторного аналізу процесу накопичення даних, щодо надійності теплового насоса, використовується математичний апарат, що базується на теорії нечіткої логіки та лінгвістичної змінної [3].

Для встановлення ієрархічного зв'язку факторів, що впливають на технічний стан теплового насоса, виконано їх класифікацію (рис. 1). Використовуючи цей процес на системному рівні, лінгвістичну змінну $A_{СТН}$, що характеризує вплив на тепловий насос, можна представити у вигляді співвідношення [3, 5]

$$A_{СТН} = f(X; Y; Z), \quad (1)$$

де X – лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує науково-технічний рівень проектних рішень; Y – ЛЗ, що описує якість будівельно-монтажних робіт; Z – ЛЗ, що описує технічні умови експлуатації системи.

Лінгвістична змінна, яка описує проектні рішення, може бути представлена виразом

$$X = f_x(x_1; x_2; x_3; x_4; x_5), \quad (2)$$

де x_1 – ЛЗ «Помилки в визначенні розрахунку потужності теплового насоса»; x_2 – ЛЗ «Конструктивне виконання схем»; x_3 – ЛЗ «Відхилення технічних характеристик теплового насоса від паспортних даних»; x_4 – ЛЗ «Принцип роботи теплового насоса»; x_5 – ЛЗ «Автоматизація та диспетчеризація управління частинами теплового насоса».

Лінгвістична змінна, що описує будівельно-монтажні роботи, може бути представлена виразом

$$Y = f_y(y_1; y_2; y_3; y_4), \quad (3)$$

де y_1 – ЛЗ «Механічні пошкодження при транспортуванні та монтажі комплектуючих системи»; y_2 – ЛЗ «Відхилення від глибини закладання колекторів теплового насоса»; y_3 – ЛЗ «Відхилення від проміжної відстані між колекторами теплового насоса»; y_4 – ЛЗ «Дотримання правил та чинних норм під час виконання будівельно-монтажних робіт».

Лінгвістична змінна, яка описує якість експлуатаційних показників, представлена виразом

$$Z = f_z(z_1; z_2; z_3; z_4; z_5), \quad (4)$$

де z_1 – ЛЗ «Попадання сміття (іржі) у випарник під час експлуатації або затоплення теплового насоса»; z_2 – ЛЗ «Мінералізація води, яку використовує система теплового насоса»; z_3 – ЛЗ «Кваліфікаційний рівень обслуговуючого персоналу»; z_4 – ЛЗ «Якість міжремонтних та ремонтних заходів»; z_5 – ЛЗ «Дотримання чинних норм та правил під час експлуатації».

У вираз (2) входять змінні x_2 , x_4 які в свою чергу залежать від інших факторів [3]:

$$x_2 = f_{x_2}(a_1; a_2; a_3), \quad (5)$$

$$x_4 = f_{x_4}(b_1; b_2), \quad (6)$$

де a_1 – ЛЗ «Горизонтальна схема замкнутого типу»; a_2 – ЛЗ «Вертикальна схема замкнутого типу»; a_3 – ЛЗ «Водна схема замкнутого типу»; b_1 – «Компресійні теплові насоси»; b_2 – ЛЗ «Абсорбційні теплові насоси»;

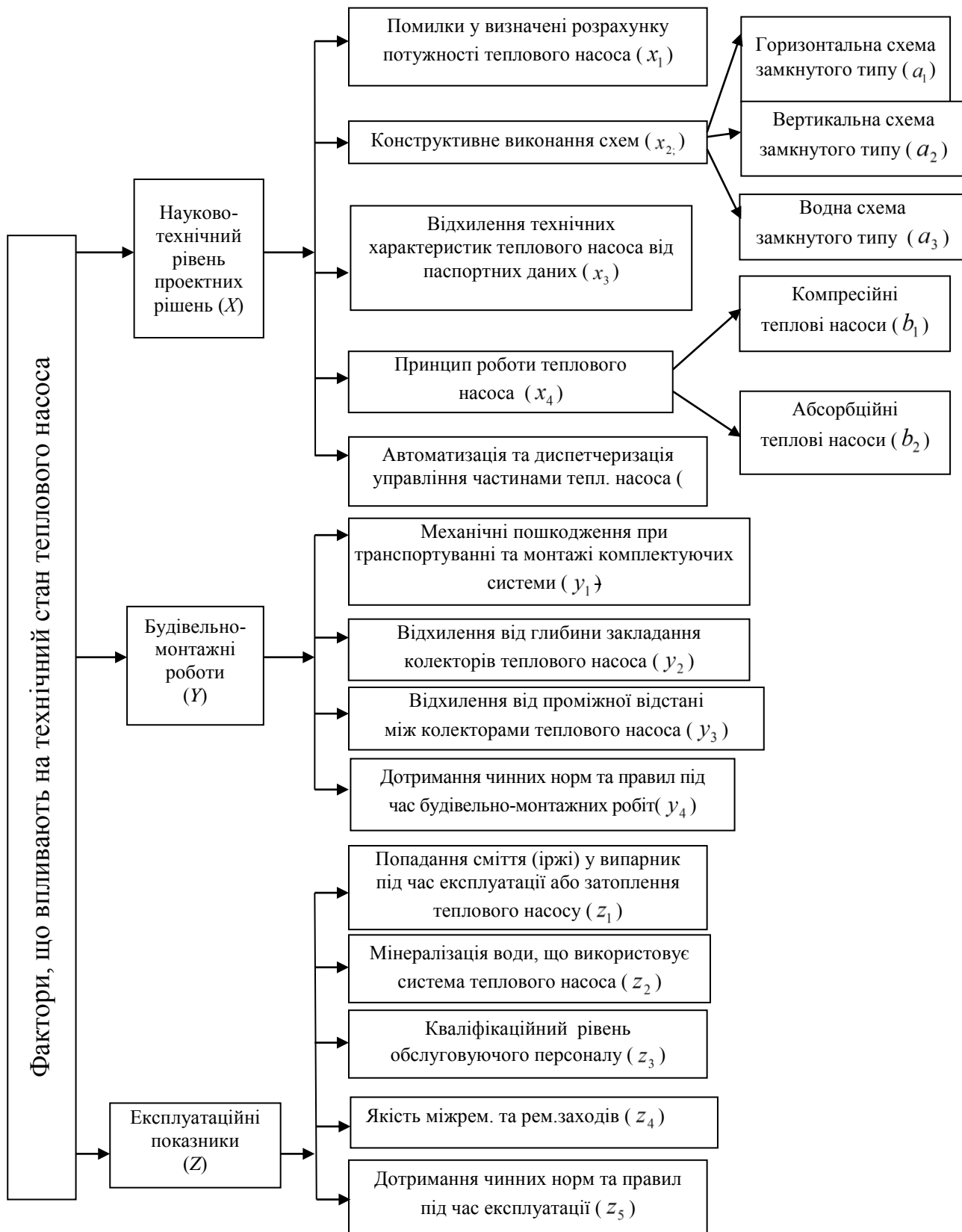


Рисунок 1 – Класифікація факторів, що впливають на надійність технічного стану теплового насоса

Таблиця 1 – Фактори впливу на лінгвістичні змінні

Позначення та назва змінної	Універсальна множина	Терми для оцінки
x_1 – помилки у визначенні розрахунку потужності теплового насоса	1–5 бали	грубі, вищі середніх, середні, нижчі середніх, відсутні
a_1 – горизонтальна схема замкнутого типу	1–3 бали	Примітивна (пр), традиційна (тр), вдосконалена (вд)
a_2 – вертикальна схема замкнутого типу	1–3 бали	Примітивна (пр), традиційна (тр), вдосконалена (вд)
a_3 – водна схема замкнутого типу	1–3 бали	Примітивна (пр), традиційна (тр), вдосконалена (вд)
x_3 – відхилення технічних характеристик теплового насоса від паспортних даних	1–5 бали	низькі, нижчі середнього, середні, вищі середнього, високі
b_1 – компресійні теплові насоси	Електроенергія Вт 6, 9, 11, 13 Вт	низька, нижча середнього, середня, вища середнього, висока
b_2 – абсорбційні теплові насоси	Електроенергія або паливо 9, 11, 13 Вт	низький, нижчий середнього, середній, вищий середнього, великий
x_5 – автоматизація та диспетчеризація управління частинами теплового насоса	1–3 бали	відсутня, частково відсутня, присутня
y_1 – механічні пошкодження при транспортуванні та монтажі комплектуючих системи	1–3 бали	відсутні, частково відсутні, присутні
y_2 – відхилення від глибини закладання колекторів теплового насоса	1–200 м	низька, нижча середнього, середня, вища середньої, висока
y_3 – відхилення від проміжної відстані між колекторами	1–6 м	низька, середня, висока
y_4 – дотримання чинних норм та правил під час будівельно-монтажних робіт	1–5 бали	низьке, нижче середнього, середнє, вище середнього, високе
z_1 – попадання сміття (іржі) у випарник під час експлуатації або затоплення теплового насоса	1–5 бали	низький, нижчий середнього, середній, вищий середнього, високий
z_2 – мінералізація води, яку використовує система теплового насоса	6,5–8,5 рН	низький, нижчий середнього, середній, вищий середнього, високий
z_3 – кваліфікаційний рівень обслуговуючого персоналу	1–5 у. о	низький, нижчий середнього, середній, вищий середнього, високий
z_4 – якість міжремонтних та ремонтних заходів	1–3 бали	відсутні, частково відсутні, присутні
z_5 – дотримання чинних норм та правил під час експлуатації	1–3 у. о	низьке, середнє, високе

Використовуючи результати системного аналізу, що представлені співвідношеннями (1–6) та факторами впливу на надійність технічного стану теплового насоса (табл. 1), на етапі структурної ідентифікації виконано узагальнений елемент у вигляді дерева логічного висновку ієрархічних зв'язків, кількісних та якісних параметрів теплового насоса (рис. 2).

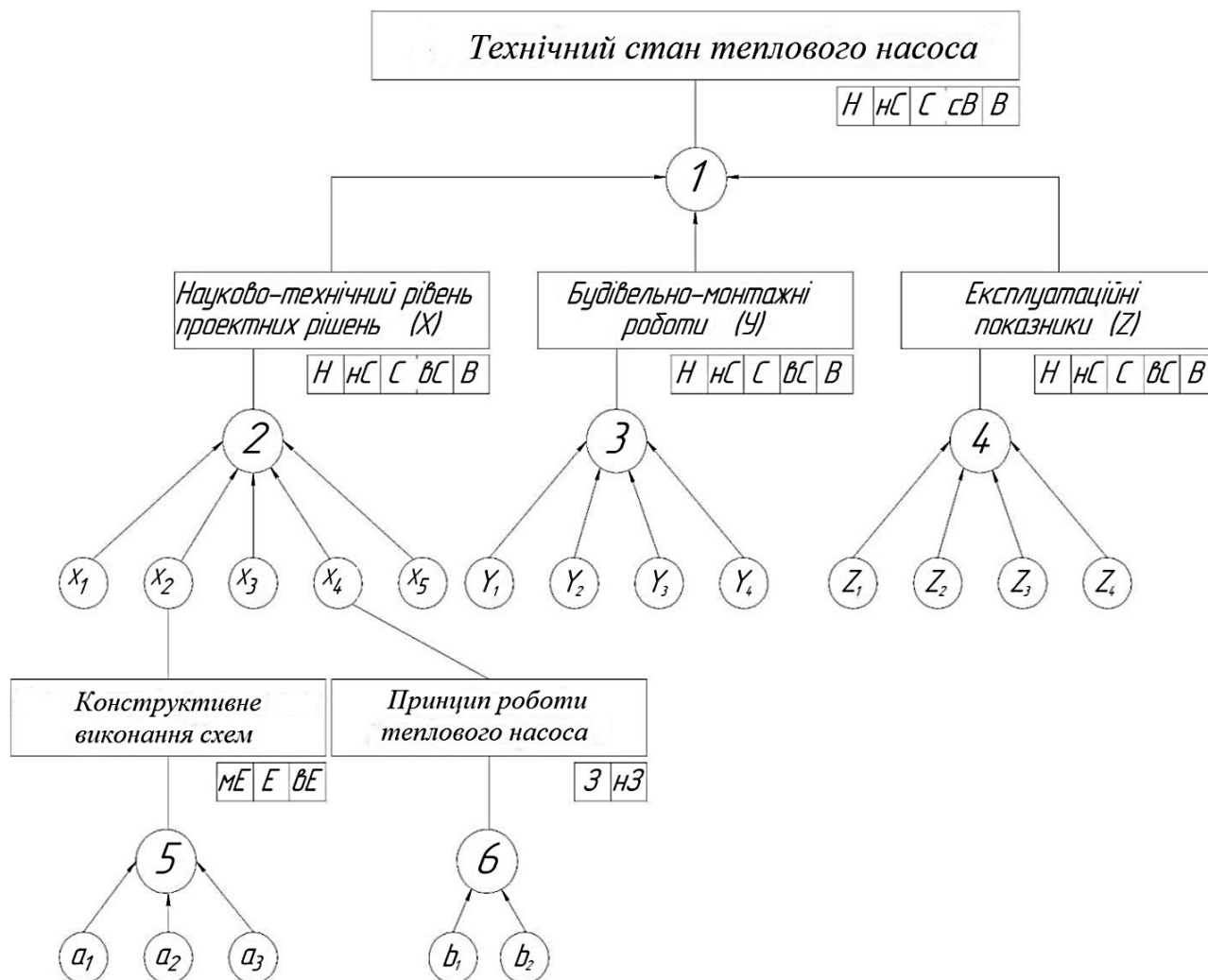


Рисунок 2 – Дерево логічного висновку ієрархічних зв’язків факторів, які впливають на надійність технічного стану теплового насоса [3, 5]

Оцінка рівнів лінгвістичних змінних, що встановлює зв’язок між факторами, що впливають на технічний стан теплового насоса (T_H) з проектними рішеннями (X), будівельно-монтажними роботами (Y) та експлуатацією системи (Z), виконується з використанням системи терм-множини:

$T() = \langle \text{низький, нижчий середнього, середній, вищий середнього, високий} \rangle$;

$T(X) = \langle \text{низькі, нижчі середніх, середні, вищі середніх, високі} \rangle$;

$T(Y) = \langle \text{низькі, нижчі середніх, середні, вищі середніх, високі} \rangle$;

$T(Z) = \langle \text{низькі, нижчі середніх, середні, вищі середніх, високі} \rangle$.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу науково-технічних та проектних рішень, якості будівельно-монтажних робіт та експлуатаційних показників теплових насосів, виконано їх ієрархічну класифікацію.

Формалізація та ієрархічна класифікація факторів, що впливають на оцінку надійності технічного стану теплового насоса, є підґрунтям моделювання організаційно-технологічних рішень щодо забезпечення стабільної роботи системи тепlopостачання з використанням відновлювального джерела енергії, яким є низькопотенційна теплова енергія ґрунтових вод з артезіанських свердловин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії України / НАН України, Інститут відновлюваної енергетики, Держ. ком. України з енергозбереження –К., 2005.– 45 с.

2. Аналіз сучасного стану альтернативної енергетики та рекомендації по екологізації паливно-енергетичного комплексу України. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<http://eco.com.ua/content/analiz-suchasnogo-stanu-alternativnoi-energetiki-ta-rekomendatsii-po-ekologizatsii-palivno-e>

3. Ратушняк Г. С. Моделювання надійності систем теплопостачання на основі лінгвістичної інформації. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві / Г. С. Ратушняк, О. Левицький, О. Г. Ратушняк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – С. 179–192.

4. Ратушняк Г. С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання : навч. посіб. / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2010.

5. Теплові насоси. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://tteh.com.ua/pub.php?id=15&lang=ukr>.

6. Низькопотенційна енергетика : навчальний посібник / А. О. Редько, М. К. Безродний, М. В. Загорученко, О. Ф. Редько, Г. С. Ратушняк, М. Г. Хмельнюк. – Харків, 2016.

7. Мальований М. С. Світовий досвід, переваги та недоліки застосування теплових насосів у теплоенергетиці України / М. С. Мальований, О. Ю. Берлінг // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 3 – С. 89–94.

8. Адаменко О. М. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії : монографія / О. М. Адаменко, В. А. Височанський, В. М. Лютко. – Івано-Франківськ : ІМЕ, 2001. – 432с.

9. Васильев Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли : монография / Г. П. Васильев. – М. : Граница, 2006. – 176 с.

10. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Москомархитектура. ГУП «НИАЦ», 2001.

11. Амерханов Р. А. Гетротермальная энергия в системах теплоснабжения / Р. А. Амерханов // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 2. – С. 30–34.

12. Безродний М. К. Оптимальна робота теплового насоса в низькотемпературних системах опалення з використанням теплоти ґрунту / М. К. Безродний, Н. О. Притула // Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2012. – № 1. – С. 7–12.

REFERENCES

1. Atlas of the energy potential of renewable and non-traditional energy sources of Ukraine / NAS of Ukraine, Renewable Energy Institute, State. com Ukraine on energy saving – K., 2005. - 45 s.

2. Analysis of the current state of alternative energy and recommendations on ecologization of the fuel and energy complex of Ukraine. [Electronic resource] – Access mode: <http://eco.com.ua/content/analiz-suchasnogo-stanu-alternativnoi-energetiki-ta-rekomendatsii-po-ekologizatsii-palivno-e>

3. Ratushniak G. S. Modeling of reliability of heat supply systems on the basis of linguistic information. Modern technologies, materials and constructions in construction. – Ratushniak G. S., Levytsky O., Ratushniak O. G. Vinnytsia, UNIVERSUM. - 2004. – pp. 179-192.

4. Ratushniak G.S. Energy saving renewable heat sources: Teaching. manual / G. S. Ratushniak, V. V. Djejula, K. V. Anokhina – Vinnytsya : VNTU, 2010

5. Heat pumps. [Electronic resource] – Access mode: <http://tteh.com.ua/pub.php?id=15&lang=ukr>.

6. Tutorial. Low-power energy. A. O. Redko, M. K. Bezrodny, M. V. Zagoruchenko, O. F. Redco, G. S. Ratushniak, M. G. Khmelnyuk. – Kharkiv. – 2016.

7. Malovany M. S. World experience, advantages and disadvantages of using heat pumps in heat power engineering in Ukraine / M. S. Malovany, A. Yu Berling // Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute. – 2012. – No. 3 – P. 89-94.

8. Adamenko O. M. Alternative fuels and other non-traditional energy sources. Monograph / O. M. Adamenko, V. A. Visochansky, V. M. Liotko – Ivano-Frankivsk : IME, 2001. – 432с.

9. Vasiliev G. P. Heat supply of buildings and constructions with using low-potential thermal energy of the surface layers Earth: Monograph / G. P. Vasiliev. – M. : Publishing House "Granitsa", 2006 - 176 p.

10. Guidelines for the application of heat pumps using secondary energy resources and non-conventional renewable energy sources. Mosomarkhitektura. GUP "NIATS", 2001.

11. Amerkhanov R. A. The heterothermal energy in heat supply systems / R. A. Amerhanov // Industrial heat engineering. – 2006. – Vol. 28, No. 2. – P. 30-34.

12. Bezrodnyy M. K. Optimal work of a heat pump in low-temperature heating systems using heat of soil / M. K. Bezrodny, N. O.Prytula // Scientific reports of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". – 2012. – №1. – P. 7-12.

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

¹Вінницький національний технічний університет

Наведено методіку комплексних факторів для експерта проекту з оцінювання технічного стану теплового насоса, що дає змогу отримати належні управлінські рішення з врахуванням кількісних та якісних збуджувальних факторів, які впливають на надійність та довговічність роботи теплового насоса. З метою створення експертно-моделювальної системи для багатofакторного аналізу процесу накопичення факторів, що впливають на технічний стан теплового насоса, був використаний математичний апарат, що базується на теорії нечіткої логіки та лінгвістичної змінної. Цей метод як взаємозв'язана сукупність математичних моделей дозволяє використовувати експертно-лінгвістичну інформацію для прогнозування технічного стану теплового насосу в залежності від факторів, що його обумовлюють. Побудовано функції належності нечітких оцінок впливу факторів на прогнозований технічний стан теплового насоса. Розроблено дерево логічного висновку ієрархічних зв'язків факторів, які впливають на оцінку стану теплового насоса.

Ключові слова: моделювання, фактори впливу, теплові насоси, функції належності, прогнозований технічний стан, лінгвістичні змінні.

Ратушняк Георгій Сергійович, кандидат технічних наук, професор кафедри теплогазопостачання, Вінницький національний технічний університет, e-mail: ratusnak@gmail.com.

Шпіта Дмитро Анатолійович, аспірант, факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, e-mail: DimaShpita95@e-mail.ua.

H. Ratushniak¹, D. Shpita¹

ANALYSIS OF THE ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF THE TECHNICAL STATE OF THE HEAT PUMP

¹Vinnytsia national technical university

The methodology of complex factors for the expert of the project on the evaluation of the technical status of the heat pump is presented, which allows to receive the appropriate management decisions taking into account quantitative and qualitative excitatory factors that influence the reliability and durability of the heat pump operation. In order to create an expert-modeling system for multifactorial analysis of the process of accumulation of factors influencing the technical state of the heat pump, a mathematical apparatus based on the theory of fuzzy logic and a linguistic variable was used. This method as an interconnected set of mathematical models allows using expert-linguistic information to predict the technical condition of a heat pump, depending on the factors that determine it. The functions of membership of fuzzy estimations of the influence of factors on the predicted technical condition of the heat pump are constructed. The tree of the logical conclusion of the hierarchical relations of factors that may influence the assessment of the state of the heat pump is developed.

Key words: modeling, factors of influence, heat pumps, membership functions, predicted technical condition, linguistic variables.

Ratushniak Heorhiy, Ph.D., Professor of the Chair of Heating, Ventilation and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, e-mail: ratusnak@gmail.com

Shpita Dmitriy, postgraduate, Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, e-mail: DimaShpita95@e-mail.ua

Г. С. Ратушняк¹, Д. А. Шпита¹

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

¹Винницкий национальный технический университет

Приведена методика комплексных факторов для эксперта проекта по оценке технического состояния теплового насоса, что позволяет получить надлежащие управленческие решения с учетом количественных и качественных возбуждающих факторов, влияющих на надежность и долговечность работы теплового насоса. С целью создания экспертно-моделирующей системы для многофакторного анализа процесса накопления факторов, влияющих на техническое состояние теплового насоса, был использован математический аппарат, основанный на теории нечеткой логики и лингвистической переменной. Этот метод как взаимосвязанная совокупность математических моделей позволяет использовать экспертно-лингвистическую информацию для прогнозирования технического состояния теплового насоса в зависимости от факторов, его обуславливающих. Построены функции принадлежности нечетких оценок влияния факторов на прогнозируемое техническое состояние теплового насоса. Разработано дерево логического вывода иерархических связей факторов, которые могут влиять на оценку состояния теплового насоса.

Ключевые слова: моделирование, факторы влияния, тепловые насосы, функции принадлежности, прогнозируемое техническое состояние, лингвистические переменные.

Ратушняк Георгий Сергеевич, кандидат технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения, Винницкий национальный технический университет, e-mail: ratusnak@gmail.com.

Шпита Дмитрий Анатольевич, аспирант, факультет строительства, теплоэнергетики и газоснабжения, Винницкий национальный технический университет, e-mail: DimaShpita95@e-mail.ua.