

УДК 656.043.4

В.Г. ДЖЕНЧАКО^{1*}, А.В. ДЖЕНЧАКО^{2*}, ЧУЧМАЙ Р.Д.^{3*}, М.Л. ЯНГІЧЕР^{4*}

^{1*}Каф. «Транспортні технології підприємств», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Гоголя, 29, м. Дніпро, 49027, Україна, тел. +38 (067) 621 28 97, ел. адреса vadim.sok777@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4581-4174

^{2*}Каф. «Транспортні технології підприємств», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Гоголя, 29, м. Дніпро, 49027, Україна, тел. +38 (097) 512 29 51, ел. адреса a43557406@gmail.com.

^{3*}Каф. «Транспортні технології підприємств», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Гоголя, 29, м. Дніпро, 49027, Україна, тел. +38 (068) 438 23 86, ел. адреса rostitic17102001@gmail.com.

^{4*}Каф. «Транспортні технології підприємств», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», вул. Гоголя, 29, м. Дніпро, 49027, Україна, тел. +38 (098) 176 78 46, ел. адреса Gathioss222@gmail.com.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГАРАЖІВ РОЗМОРОЖВАННЯ ВАНТАЖНОЇ СТАНЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА У ДИНАМІЧНИХ УМОВАХ

Мета. На сучасному етапі функціонування гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства розморожування вагонів з масовою сировиною відбувається в умовах змінного середовища, що призводить до низької ефективності взаємодії залізничного транспорту і розвантажувального комплексу. Для вирішення цієї проблеми потрібно ідентифікувати режими роботи гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства у динамічних умовах, проаналізувати витрати природного газу на розморожування. **Методи дослідження.** При проведенні досліджень використовувалися наступні методи: синтезу і аналізу для дослідження питання та наукових публікацій щодо стану та шляхів ідентифікації режимів роботи гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства; планування експерименту - для отримання багатомірного, різнохарактерного масиву статистичних даних; теорії ймовірності та математичної статистики - для обробки даних, отримання кореляційних залежностей показників ідентифікації режимів роботи гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства у динамічних умовах. **Результати.** Робота присвячена вирішенню науково-технічної проблеми ідентифікації режимів роботи гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства в умовах змінного середовища. У роботі проведена оцінка режимів роботи гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства при розморожуванні масової сировини. Оцінено вплив зовнішніх факторів на витрату природного газу при розморожуванні масової сировини у вагонах. На основі проведених досліджень у процесі розморожування масової сировини у вагонах ідентифіковано два температурні режими роботи гаражів, що визначають різну витрату газу. Основний, нормативний режим із постійною температурою розморожування, встановленою технологічними нормативами та максимальною витратою газу. Періодичний, зі зниженою витратою газу, характеризується зниженням температури у секції гаражів після 6 – 7 годин та подальшого розморожування з використанням акумульованого тепла, що забезпечує зниження витрати газу. Встановлено можливість та доцільність широкого практичного використання акумульованого тепла в процесі розморожування масової сировини у вагонах. Запропоновано температурні та часові параметри процесу розморожування масової сировини у вагонах при використанні акумульованого тепла, що забезпечує суттєве зниження витрати енергоносія. Підвищення ефективності роботи гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства досягнуто на основі розробки методу і моделі витрати природного газу при розморожуванні масової сировини у вагонах з використанням акумульованого тепла. **Наукова новизна** полягає у ідентифікації режимів роботи гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства у динамічних умовах, яка базується на багатомірному, різнохарактерному масиві експериментальних даних. **Практична значимість.** Представлені теоретичні положення щодо режимів роботи гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства дозволили розробити метод і модель витрати природного газу при розморожуванні масової сировини у вагонах з використанням акумульованого тепла.

Ключові слова: вантажна станція, гаражі розморожування, розвантажувальний комплекс, промислове підприємство, масова сировина у вагонах, ідентифікація режимів роботи.

Вступ

Вантажна станція промислового підприємства, яка приймає масову сировину, характеризується відносно стабільним вагонопотоком. У

період негативних температур у технологію роботи вантажної станції, яка обслуговує розвантажувальний комплекс включаються гаражі розморожування (ГР). Особливістю роботи ГР є велика витрата природного газу на розморожування.

Для більш поглибленого дослідження впливу витрати природного газу на процес розморожування було виконано моделювання температурного режиму розморожування масової сировини у вагонах з прив'язкою витрати газу кожної секції в діапазоні тривалості розморожування від 1 до 21 години. З цією метою фіксувалися температура розморожування та витрата газу окремо по кожній секції ГР при розморожуванні масової сировини у вагонах. При цьому диференціювалася витрата газу, що йде безпосередньо на процес розморожування, а також на підтримку печей ГР у робочому стані при обміні груп вагонів з масовою сировиною та виведенні груп вагонів для контрольного проміру ступеню розморожування.

Дослідження щодо витрати природного газу при розморожуванні масової сировини в ГР проводилися для шести секцій ГР місткістю 22 вагони кожна. Розрахунок витрати природного газу однією секцією ГР проводився на кожну постановку групи вагонів з масовою сировиною за різної тривалості розморожування.

На підставі проведених досліджень було встановлено, що витрата природного газу в процесі розморожування йде з різною інтенсивністю і є чітко виражені дві групи випадків з максимальними і технологічно необхідними значеннями витрати природного газу. При аналізі отриманих експериментальних даних було виявлено, що максимальні значення відповідають нормативному режиму з постійною витратою газу.

Нормативний (традиційний) режим характерний тим, що протягом всього процесу розморожування підтримується постійна температура, що відповідає умовам безпеки конструкції вагонів. Тому при нормативному режимі витрата газу практично не змінюється протягом усієї тривалості розморожування. При нормативного режиму розморожування на початковому етапі від 0 до 6 годин відбувається підвищення температури в секції від 30 до 117 °С, потім витрата газу знижується і температура в секції на етапі від 6 до 15 годин встановлюється постійною на рівні 117 °С, що забезпечує збереження конструкції вагонів. Після закінчення розморожування вагонів з масовою сировиною подача газу припиняється і відповідно припиняється подача теплоносія в секцію ГР. У період очікування прибирання групи вагонів з ГР температура в секції знижується зі 117 °С до 100 °С, а при збиранні зниження відбувається інтенсивніше і вона опускається до 60 °С. На етапах очікування та

постановки групи вагонів у секцію ГР температура у секції знижується до 30 °С.

Максимальні значення витрати природного газу визначено в залежності від температури та тривалості розморожування вагонів з масовою сировиною. На основі регресійного аналізу зазначену залежність можна надати наступним рівнянням:

$$P_{\max} = 47,3 + 1507,7t_p - 17,2t_p^2, \quad (1)$$

де t_p – тривалість розморожування, годин.

У процесі дослідження було встановлено, що у деяких часових періодах має місце зниження витрати газу проти нормативних значень. Вони мають нерегулярний характер і зумовлені зниженням витрати газу, яке виконується на основі інтуїтивних дій персоналу, який враховує механізм тепломасообмінних процесів.

Режим зі зниженою витратою газу відповідає ситуації, коли в процесі розморожування масової сировини у вагонах, витрата природного газу знижується з умови підтримки технологічно необхідної температури.

Слід зазначити, що на початковому етапі розморожування сировини у вагонах відбувається за аналогією до нормативного режиму, потім витрата газу скорочується і температура в секції знижується до 92 °С на етапі від 6 до 15 годин. Слід зазначити, що на цьому етапі розморожування відбувається за рахунок накопиченого внутрішнього акумульованого тепла сировиною та конструкцією вагона. У період очікування прибирання групи вагонів з ГР температура в секції знижується з 92 до 85 °С, а при прибиранні зниження температури відбувається більш інтенсивно і вона опускається до 48 °С. На етапах очікування та постановки групи вагонів у ГР температура у секції знижується до 30 °С.

У зв'язку із зазначеним виникла необхідність проведення додаткових досліджень процесу акумуляції тепла сировиною і конструкцією вагона та його використання у процесі розморожування для скорочення витрати газу.

Аналіз останніх публікацій та досліджень

В останній час у різних сферах наукових досліджень набув розвитку інтегрований, комплексний підхід, заснований на ідентифікації режимів роботи.

Аналіз наявних публікацій [1-10] з питань розморожування масової сировини у вагонах, які прибувають на вантажні станції промислових підприємств показав, що використання

акумуляованого тепла є дуже важливим питанням економії енергоресурсів.

Слід зазначити, що якщо питанням оптимізації тривалості розморожування присвячено цілу низку досліджень [1-3] та запропоновано низку рекомендацій [4, 5], то щодо розробки температурних режимів та витрати газу для розморожування, які відповідно дозволяють підвищити ефективність самого процесу розморожування змерзлої сировини публікацій практично немає.

Ідентифікація режимів роботи гаражів розморожування, їх значущості для регламентованого функціонування вантажної станції промислового підприємства у динамічних умовах та подальша порівняльна оцінка кількісних та якісних показників витрат та втрат створюють основу для визначення шляхів її оптимізації.

Отже, новий напрямок у вирішенні питань ідентифікації режимів роботи ГР вантажної станції ґрунтується на методі синтезу та аналізу, а синхронізація роботи елементів транспортної системи по переробним спроможностям ГР, розвантажувального комплексу та вантажної станції, яка створює передумови для оптимізації роботи транспортних систем промислових підприємств [6].

Резюмуючи результати проведених експериментальних досліджень є підстави вважати, що ідентифікація режимів роботи ГР вантажної станції відкриває нові можливості у вирішенні питань скорочення витрати природного газу на розморожування масової сировини у вагонах [7-10].

У зв'язку з цим наукова проблема ідентифікації режимів роботи гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства у динамічних умовах є своєчасною та актуальною.

Мета

На сучасному етапі функціонування промислових підприємств потрібно проведення ідентифікації режимів роботи гаражів розморожування вантажної станції у динамічних умовах для формування ефективної потокової лінії по розморожуванню та вивантаженню масової сировини у період негативних температур.

Методи дослідження

При проведенні досліджень використовувалися наступні методи: синтезу і аналізу для дослідження питання та наукових публікацій щодо стану та шляхів ідентифікації режимів роботи

гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства; планування експерименту - для отримання багатомірного, різнохарактерного масиву статистичних даних; теорії ймовірності та математичної статистики - для обробки даних, отримання кореляційних залежностей показників ідентифікації режимів роботи гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства у динамічних умовах.

Виклад основного матеріалу

У процесі експериментальних досліджень було встановлено, що при розморожуванні масової сировини у вагонах мають місце певні регульовані персоналом періоди, які характеризуються скороченою витратою природного газу. Контрольні виміри показали, що при 15-годинному розморожуванні сировини у вагонах температура в секції ГР з початку скорочення витрати газу в процесі розморожування до початку прибирання вагонів з секції ГР може знизитися на 27 – 37 °С. Слід зазначити, що дія акумуляованого тепла продовжується при виконанні операцій з прибирання групи вагонів з ГР, постановки вагонів на вантажний фронт, простоїв в очікуванні звільнення основних елементів станції та вантажного фронту.

У зв'язку з вищевикладеним розробка методу розрахунку витрати природного газу при розморожуванні масової сировини у вагонах має проводитися з урахуванням фактору використання акумуляованого тепла.

Для загальної оцінки залежності витрати природного газу від тривалості розморожування по групах вагонів з масовою сировиною та з урахуванням його регулювання було побудовано діаграму розсіювання (рис. 1).

З діаграми видно, що отримані дані обмежуються зверху максимальними значеннями витрати газу, а регульовані - певними зонами тривалості розморожування: перша зона 1 – 6 годин, друга 6 – 21 год.

При цьому чітко простежується, що зниження величини витрати газу починається лише з другої зони тривалості розморожування масової сировини у вагонах.

Це підтверджують теоретичні положення, викладені в публікаціях [1-5] про те, що тільки після 6 – 7 годин розморожування у вагоні з вантажем накопичується тепло і починається тепломасобмін, що забезпечує подальше розморожування зі зниженою витратою газу.

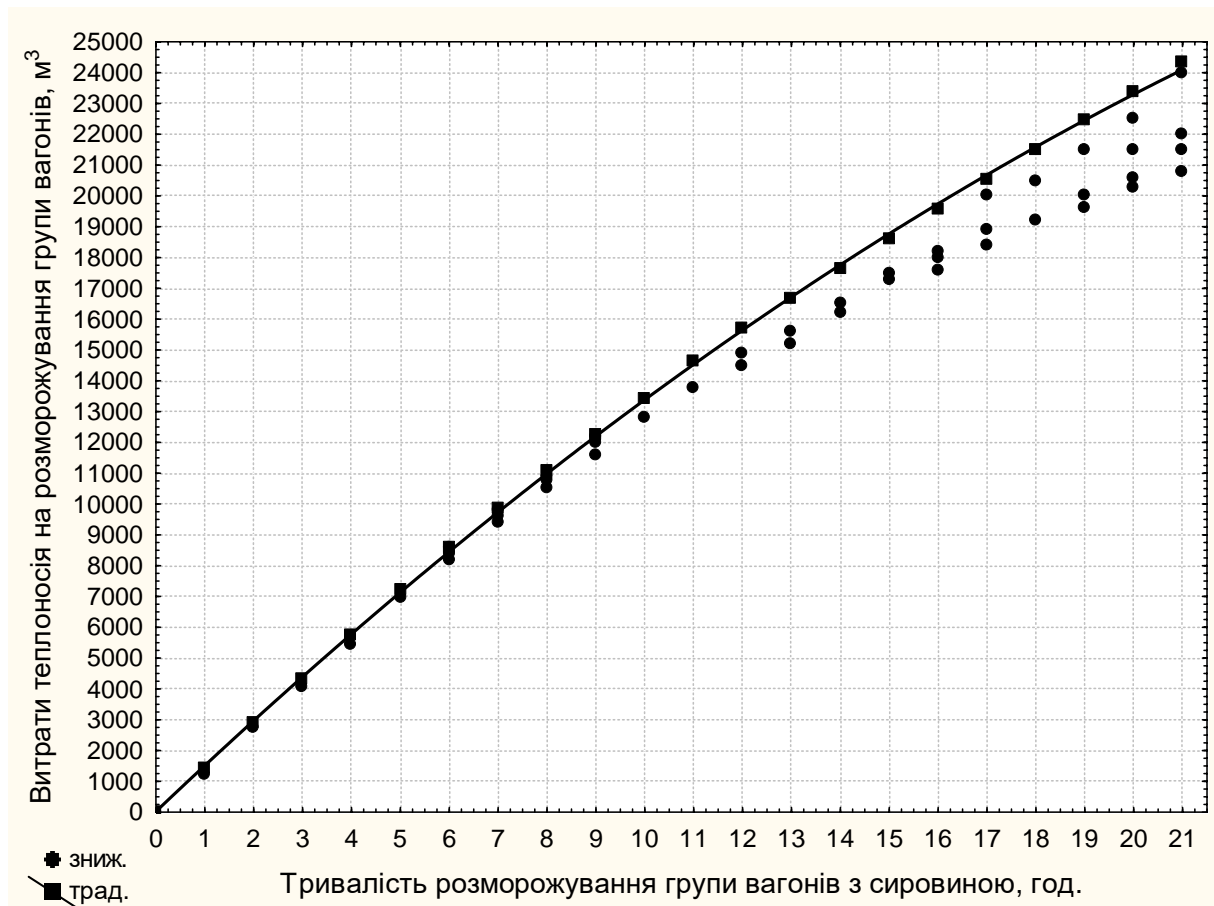


Рис. 1 Діаграма розсіювання, яка характеризує вплив тривалості розморожування на витрату природного газу за групами вагонів з масовою сировиною

Зазначені зони добре узгоджуються з теоретичною класифікацією видів змерзання, які характеризують першу зону як процес примерзання сировини до кузова вагона.

Наявність великої кількості груп вагонів з різною тривалістю розморожування вимагала визначення усередненої витрати газу на кожен з них по всьому діапазону тривалості розморожування. З цією метою при систематизації експериментальних даних витрата природного газу на різні групи вагонів за однакової тривалості розморожування приймалася усереднено. За результатами систематизації експериментальних даних у кожному діапазоні тривалості розморожування масової сировини у вагонах визначено витрату природного газу, представлену на рис. 2.

З графіка видно, що зі збільшенням тривалості розморожування середньогодинна витрата газу скорочується. На основі статистичних даних було визначено, що максимальне значення скорочення витрати природного газу за

діапазоном тривалості розморожування 6 – 21 година становить 3100 – 3400 м³. За результатами експериментальних досліджень була отримана узагальнена залежність витрати газу від тривалості розморожування, яка представлена у вигляді полінома другого ступеня та описується наступною формулою:

$$P = a + bt_p + ct_p^2, \quad (2)$$

де a – коефіцієнт, що враховує додаткову технологічну витрату газу;

b – коефіцієнт, що характеризує вид сировини;

c – коефіцієнт, що характеризує температурний режим розморожування;

Коефіцієнт, що враховує додаткову технологічну витрату газу, обумовлений необхідністю підтримки запальних пристроїв печей ГР у робочому стані, а також втратами тепла в печах та змішувальних камерах при обміні груп вагонів та виведенні групи вагонів для контрольного проміру якості розморожування сировини.

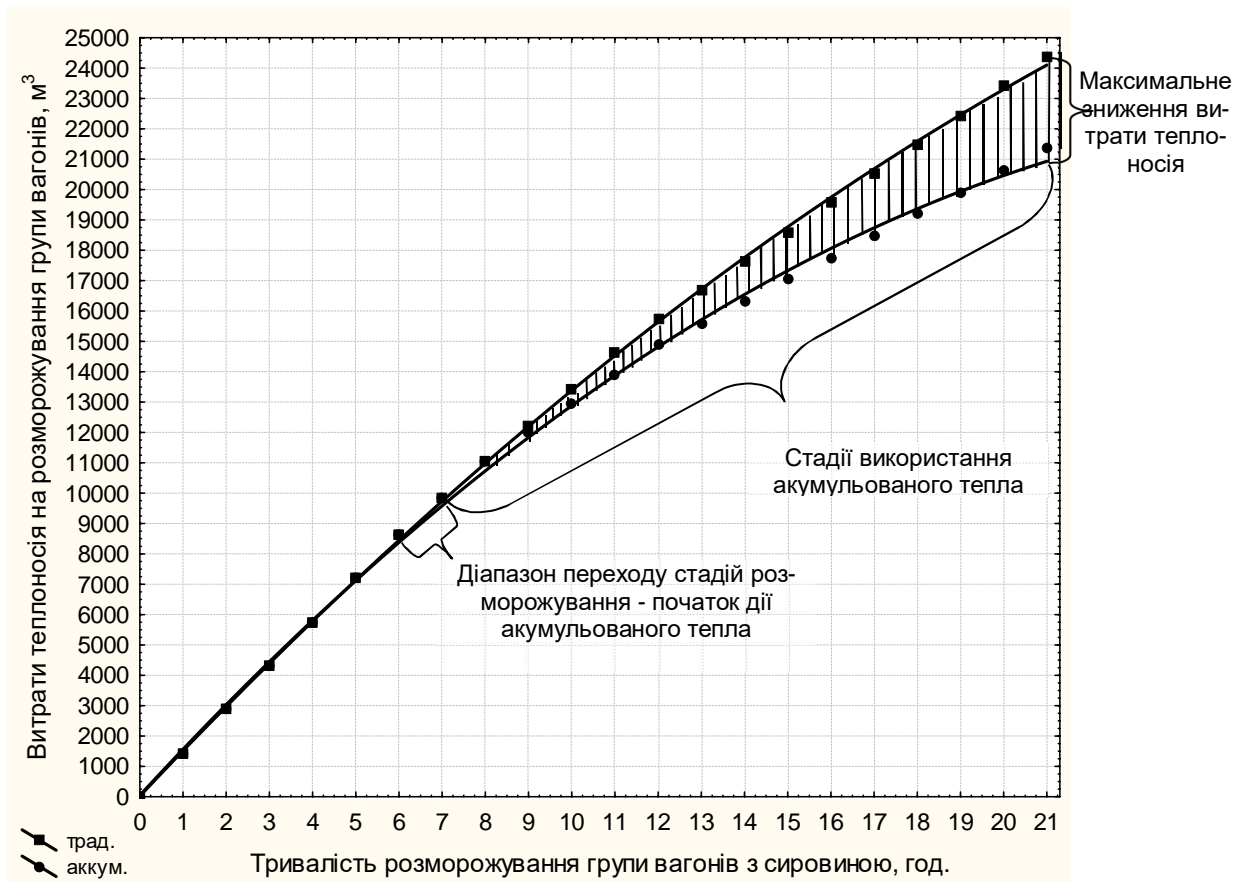


Рис. 2. Залежність витрати природного газу при тривалості розморожування 1-21 год.

Відповідно до проведених розрахунків встановлено, що величина коефіцієнта, що враховує додаткову технологічну витрату газу, коливається в діапазоні 42,5...50,9. Для розрахунків приймаємо середнє значення коефіцієнта 46,7.

Коефіцієнт, що характеризує фізико-механічні властивості вантажу обумовлений різною вологістю та вмістом заліза, способом виробництва залізорудного концентрату, умовами магнітної сепарації та родовища. Величина коефіцієнту, що характеризує вид сировини, коливається в діапазоні 1543,1...1549,3. Встановлено, що мінімальне значення коефіцієнта відповідає вологості залізорудного концентрату 8% та 64,5% вмісту заліза, а максимальне значення вологості 12% та вмісту заліза 68%. Для розрахунків приймаємо середнє значення коефіцієнта 1546,2.

Коефіцієнт, що характеризує температурний режим розморожування (нормативний та зі зниженою витратою газу) який визначається витратою газу та температурою розморожування. Відповідно до проведених розрахунків встановлено, що величина коефіцієнта, що характеризує температурний режим розморожування, коливається в діапазоні 25,0...27,6. Мінімальне значення коефіцієнта відповідає температурі розморожування 60 – 80 °С, а максимальне

значення температури 100 – 120 °С. Для розрахунків приймаємо середнє значення коефіцієнта 26,3. На підставі проведених досліджень для кліматичних умов України встановлено такі значення коефіцієнтів: $a = 46,7$; $b = 1546,2$; $c = 26,3$. Отже, залежність описується формулою (2) набуде вигляду:

$$P = 46,7 + 1546,2t_p - 26,3t_p^2, \quad (3)$$

На основі теоретичних та фактичних значень знайдено їхнє кореляційне відношення для залізорудного концентрату $\eta = 0,84$ (гарантійні межі $0,80 \leq \eta \leq 0,87$).

У ході контрольної перевірки запропонованої формули було визначено витрати газу по 4 групах вагонів. В результаті було визначено збіжність між фактичною та розрахованою за формулою (3) витратою газу на рівні 0,84, яка підтверджує правомірність та доцільність її практичного використання. Слід зазначити, що із збільшенням тривалості розморожування збіжність знижується від 0,87 до 0,8, причому найбільша збіжність відповідає діапазону тривалості розморожування 1-6 годин.

Висновки

1. Проведено аналіз роботи гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства з прийому і вивантаження масової сировини у період негативних температур. Оцінено вплив зовнішніх факторів на витрату природного газу при розморожуванні сировини у вагонах.

2. За результатами проведених досліджень у процесі розморожування масової сировини у вагонах ідентифіковано два температурні режими роботи гаражів, що визначають різну витрату газу. Основний, нормативний режим із постійною температурою розморожування, встановленою технологічними нормативами та максимальною витратою газу. Періодичний, зі зниженою витратою газу, характеризується зниженням температури після 6 – 7 годин та подальшого розморожування з використанням акумульованого тепла, що забезпечує зниження витрати газу.

3. Встановлено можливість та доцільність широкого практичного використання акумульованого тепла в процесі розморожування масової сировини у вагонах. Запропоновано температурні та часові параметри процесу розморожування масової сировини у вагонах при використанні акумульованого тепла, що забезпечує суттєве зниження витрати енергоносія.

4. Підвищення ефективності роботи гаражів розморожування вантажної станції промислового підприємства досягнуто на основі розробки методу і моделі витрати природного газу при розморожуванні масової сировини у вагонах з використанням акумульованого тепла.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Парунакян В.Э. Методика определения продолжительности разогрева грузов в конвективных гаражах размораживания / В.Э. Парунакян, В. Г. Дженчако // *Вісник Приазовського державного технічного університету*. – 2004. – №14. – С. 319-322.

2. Дженчако В.Г. Оптимізація взаємодії вантажної станції, гаражів розморожування і розвантажувального комплексу агломераційної фабрики при вивантаженні масової сировини / В. Г. Дженчако // *Наука і виробництво: Міжвузівський тематичний збірник наукових праць*. – 2021. – № 24. – С. 272 – 284. <http://sap.pstu.edu/article/view/250774>

3. Дженчако В.Г. Розробка методу оцінки пропускної спроможності гаражів розморожування транспортної системи промислового підприємства / В. Г.

Дженчако // *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень»*. Вип. 22. – 2021. – С. 21 – 27. <https://doi.org/10.15802/tstt2021/247879>

4. Дженчако В.Г. Определение продолжительности размораживания железосодержащего сырья в вагонах с использованием технологии «Data mining» / В. Г. Дженчако // *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. – 2010. – №10 (152). – Ч.1. – С. 45-50.

5. Парунакян В.Э. Определение продолжительности разогрева груза в вагонах на основе метода планирования эксперимента / В.Э. Парунакян, В. Г. Дженчако // *Вісник Приазовського державного технічного університету*. – 2006. – №16. – С. 232-239.

6. Дженчако В.Г. Підвищення ефективності перевезення масової сировини на промислові підприємства у зимовий період / В.Г. Дженчако // *Наука і виробництво: Міжвузівський тематичний збірник наукових праць*. – 2019. – № 21. – С. 224 – 237. <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/24835>

7. Fomin, O., Lovska, A., Dzhenchako, V., Zhylinkov, O., Fomina, A., & Lytvynenko, A. (2022). Determining the features of temperature influence on the load-bearing structure of a hopper car with a composite cladding when transporting pellets to metallurgical enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(7(115)), 32 – 41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251300>; <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/251300>

8. Дженчако В.Г. Ідентифікація функцій транспортно-вантажного комплексу промислового підприємства / В.Г. Дженчако, Г.В. Маслак // *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень»*, 2022. – Вип. 24. С. 21 - 27. <http://tstt.diit.edu.ua/article/view/272055>

9. Дженчако В.Г. Функціональний аналіз роботи розвантажувального комплексу транспортної системи металургійного підприємства / В.Г. Дженчако, Г.В. Маслак, О.С. Завгородній // *Наука і виробництво: Міжвузівський тематичний збірник наукових праць*. – Маріуполь, 2023. - Вип. № 25. С. 142-151. <http://sap.pstu.edu/issue/view/17020>

10. Дженчако В.Г. Оцінка експлуатаційних показників функціонування транспортно-вантажного комплексу агломераційної фабрики в умовах змінного середовища / В.Г. Дженчако, Г.В. Маслак, М.В. Хара, О.Ю. Нетребко // *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень»*, 2023. – Вип. 26. С. 37 - 44. <http://tstt.diit.edu.ua/issue/current>

Надійшла до редколегії 17.03.2024.

Прийнята до друку 16.05.2024.

IDENTIFICATION OF OPERATING MODES OF THE DEFROSTING GARAGE OF THE LOAD STATION OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE IN DYNAMIC CONDITIONS

Purpose. At the current stage of operation of the defrosting garages of the freight station of the industrial enterprise, the defrosting of wagons with bulk raw materials takes place in conditions of a changing environment, which leads to low efficiency of the interaction of railway transport and the unloading complex. To solve this problem, it is necessary to identify the modes of operation of the defrosting garages of the cargo station of the industrial enterprise in dynamic conditions, to analyze the consumption of natural gas for defrosting. **Research methods.** The following methods were used during the research: synthesis and analysis for the study of the issue and scientific publications regarding the state and ways of identifying the modes of operation of the defrosting garages of the cargo station of the industrial enterprise; experiment planning - to obtain a multidimensional, diverse array of statistical data; theory of probability and mathematical statistics - for data processing, obtaining correlation dependences of indicators of identification of modes of operation of defrosting garages of a cargo station of an industrial enterprise in dynamic conditions. **The results.** The work is devoted to the solution of the scientific and technical problem of identifying the operating modes of the defrosting garages of the cargo station of the industrial enterprise in the conditions of a changing environment. The work evaluates the modes of operation of the defrosting garages of the cargo station of the industrial enterprise when defrosting bulk raw materials. The influence of external factors on the consumption of natural gas during defrosting of bulk raw materials in wagons was evaluated. On the basis of research conducted in the process of defrosting bulk raw materials in wagons, two temperature modes of operation of garages were identified, which determine different gas consumption. Basic, regulatory mode with a constant defrosting temperature set by technological standards and maximum gas consumption. Periodic, with reduced gas consumption, is characterized by a decrease in temperature after 6-7 hours and subsequent defrosting using accumulated heat, which ensures a decrease in gas consumption. The possibility and expediency of wide practical use of accumulated heat in the process of defrosting bulk raw materials in wagons has been established. The temperature and time parameters of the process of defrosting bulk raw materials in wagons using accumulated heat are proposed, which ensures a significant reduction in energy consumption. Increasing the efficiency of the defrosting garages of the freight station of the industrial enterprise was achieved on the basis of the development of a method and model of natural gas consumption when defrosting bulk raw materials in wagons using accumulated heat. **The scientific novelty** consists in the identification of the operating modes of the defrosting garages of the cargo station of the industrial enterprise in the conditions of a changing environment, which is based on a multidimensional, diverse array of experimental data. **Practical significance.** The presented theoretical provisions regarding the modes of operation of the defrosting garages of the freight station of the industrial enterprise made it possible to develop a method and model of natural gas consumption during defrosting of bulk raw materials in wagons using accumulated heat.

Key words: cargo station, defrosting garages, unloading complex, industrial enterprise, bulk raw materials in wagons, identification of work modes.