

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

2'2018

Видання засновано Харківським державним політехнічним університетом у 1998 році
(з листопада 2000 р. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»)

Держвидання
Свідоцтво Міністерства інформації України
КВ № 3427 від 18.08.1998 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО
постановою президії ВАК України
як наукове фахове видання
(протокол № 1-05/3 від 14.04.2010 р.)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор
Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ,
член-кор. НАН України

Відповідальний секретар
К. О. ГОРБУНОВ,
канд. техн. наук, доц.

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

В. П. Мешалкін, *д-р техн. наук, проф., РХТУ Москва (Росія)*
Д. Б. Ферст, *ВА, ген. директор F. Executive Co. (Великобританія)*
Й. Клемеш, *PhD, DSc (Нон) ун-та «Паннонія» (м. Веспрем, Угорщина) та ун-та Манчестера (Великобританія)*
В. Плешу, *PhD, проф., ун-т POLITEHNICA Бухарест (Румунія)*
П. Стехлік, *PhD, проф., VUT Брно (Чехія)*
О. Б. Аніпко, *д-р техн. наук, проф.*
Є. І. Сокіл, *член-кор. НАН України*
П. А. Качанов, *д-р техн. наук, проф.*
В. А. Малярєнко, *д-р техн. наук, проф.*
Д. Ф. Сімбірський, *д-р техн. наук, проф.*
В. П. Шапорєв, *д-р техн. наук, проф.*
Ю. Б. Данилов, *д-р техн. наук, проф.*
С. В. Яковлев, *д-р фіз.-мат. наук, проф.*
Ю. М. Мацевітій, *акад. НАН України*
В. Є. Ведей, *д-р техн. наук, проф.*
П. О. Капустенко, *акад. Академії будівництва України*
О. П. Арсєнєва, *д-р техн. наук, доц.*

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Малярєнко В. А., Льченко М. Б.

Метод оцінки резерву зниження енерговитрат на виробничо-технологічні потреби газотранспортної системи 3

Быканов С. Н., Данилов Ю. Б., Горбунов К. А., Симоненко К. О.

Снижение энергозатрат четырехкорпусной выпарной установки по выпариванию сульфата натрия 9

Бердишев М. Ю., Жадік А. Ю.

Автоматизована мала котельня 16

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Лимарєнко О. М.

Моделювання процесів теплообміну у вентильованих огорожуючих конструкціях для теплої пори року 22

Пугановський О. В., Подустов М. О., Букатенко О. І., Литвиненко Є. І., Горбунова О. В.

Проблеми автоматизації виробництва нітратної кислоти 38

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:

61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2
Тел. 70-76-958

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Горбунов К. А., Быканов С. Н.,
Пугановский О. В., Гарев А. О.,
Горбунова О. В., Сивцов М. Р.*
Интеграция тепловых процессов
в отделении пастеризации яблочного сока.. 43

Дзевочко О. М., Подустов М. О.
Дослідження процесу сульфатування
органічних речовин газоподібним
триоксидом сірки 50

*Дубовець О. М., Подустов М. О.,
Литвиненко Є. І., Пугановський О. В.,
Букатенко О. І.*
Модернізований щілинний регулятор
витрати 56

*Тарасенко Н. А., Пересёлков А. Р.,
Тарасенко А. Н.*
Численное исследование профиля
прокатного валка в камере тепловой
подготовки..... 61

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Назаренко О. М., Біченко К. О.
Порівняльна характеристика течешукачів
та методів пошуку витоків теплоносія
в теплових мережах (оглядова стаття) 66

Сторінка редколегії 75

Затверджено Вченою радою НТУ «ХП» (протокол № 4 від 04.05.2018 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. –
Харків : НТУ «ХП», 2018. – № 2. – 76 с.

Збірник наукових та науково-практичних статей з питань енергозбереження та сучасних технологій
різноманітних галузей промисловості.

УДК 621.643

Маляренко В.А., д.техн.н., професор, Ільченко М.Б., аспірант

Харківський національний університет міського господарства ім.О.М. Бекетова

МЕТОД ОЦІНКИ РЕЗЕРВУ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ НА ВИРОБНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОТРЕБИ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

Ключові слова: енерговитрати, оптимізація, паливний газ, математична модель, компресорний цех.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Транспортування природного газу пов'язане зі значними витратами енергоресурсів на виробничо-технологічні потреби. Значну їх частину складають витрати паливного газу, що споживають газоперекачувальні агрегати (ГПА). Одним з ефективних напрямків економії паливного газу є оптимізація режимів роботи газотранспортної системи (ГТС) [1,2].

У даний час розроблено низку методів структурної і параметричної оптимізації роботи ГТС, що дозволяють визначати навантаження між компресорними цехами (КЦ) і ГПА, що працюють на компресорних станціях (КС). Ці методи розроблено виходячи з мінімуму споживання паливно-енергетичних ресурсів, у тому числі паливного газу і електроенергії (для ГПА з електроприводом) [3].

Завдання оптимізації режиму роботи магістрального газопроводу розглядається, як завдання послідовної оптимізації роботи двох сусідніх КС (КС1 і КС2) при заданих граничних умовах на кінцях газопроводу [4–6].

При заданих тисках газу на вході КС1 і виході КС2, заданої продуктивності, відомих параметрах газопроводу і характеристиках обладнання обох КС потрібно вирішити задачу оптимального розподілення навантаження між КС виходячи з мінімізації сумарних витрат паливного газу за умови відсутності відбору або подачі природного газу в газопровід між КС1 і КС2.

Сформульована задача оптимізації вирішується в два етапи. На першому етапі вирішується завдання перевірки базового режиму підтримання максимального тиску на виході кожної з КС. На другому етапі вирішується завдання пошуку оптимального режиму у разі, якщо базовий режим не є оптимальним. Як точка відліку приймається базовий режим з максимально припустимим тиском на виході КС1 – $P_{вих}^1$. Зміна витрат паливного газу визначається при зниженні цього тиску. Очевидно, що у разі збільшення сумарних витрат паливного газу для обох КС при відхиленні від базового режиму, оптимальним є базовий режим. У іншому випадку базовий режим не є оптимальним і витрати паливного газу можливо знижені за рахунок зміни навантаження агрегатів.

Критерієм оптимізації є функціонал сумарних витрат паливного газу $G(P_{вих}^1)$ в функції від тиску газу на виході першої КС – $P_{вих}^1$:

$$G(P_{вих}^1) = G_{КС1}(\varepsilon_1, Q_{КОМ}^{КС}) + G_{КС2}(\varepsilon_2, Q_{КОМ}^{КС}), \quad (1)$$

де $G_{КС1}$ – сумарні витрати паливного газу КС1; $G_{КС2}$ – сумарні витрати паливного газу КС2; ε_1 – ступінь стиснення на КС1; ε_2 – ступінь стиснення на КС2.

Розв'язання задачі передбачає виконання таких дій:

- 1) обирається максимально можливе $P_{вих}^1 = P_{вих \max}^1$ в якості початкового значення тиску газу на виході КС1;
- 2) вирішується завдання розподілу навантаження між ГПА КС1 з урахуванням їх фактичного технічного стану для заданих значень $P_{вх}^1$, $P_{вих}^1$, $Q_{ком}^{КС}$;
- 3) обчислюється значення тиску газу на вході КС2 виходячи із залежності зміни тиску газу на лінійній ділянці:

$$\left(P_{вих}^1\right)^2 - \left(P_{вх}^2\right)^2 = f(\rho, \lambda, D, L, H) \cdot Q_{ком}^{КС}; \quad (2)$$

4) вирішується завдання розподілу навантаження між ГПА КС2 для отриманого значення $P_{вх}^2$ і заданих $P_{вих}^2$, $Q_{ком}^{КС}$;

5) обчислюються сумарні витрати паливного газу $G(P_{вих}^1)$ КС1 і КС2.

Потім обчислюється значення $P_{вих}^1$ виходячи з мінімуму функціоналу (1).

При цьому частоти обертання обраних агрегатів приймають однаковими тому, що зазвичай в КЦ встановлюють ГПА одного типу, які мають однакові характеристики.

Постановка проблеми. При значних термінах експлуатації ГПА, близьких до відпрацювання встановленого ресурсу, експлуатаційні характеристики агрегатів можуть суттєво відрізнитись [7]. Це означає, що одні й ті ж самі параметри (продуктивність, вихідний тиск компримованого газу) для різних агрегатів досягаються при різних витратах паливного газу. У такому разі й при паралельно з'єднаних агрегатах в КЦ навантаження між ними може бути розподілене таким чином, щоб сумарні витрати паливного газу були мінімальні. Для цього у даній статті розглянуто вирішення двох взаємопов'язаних задач:

- оптимальний розподіл навантажень в КЦ між ГПА, що мають різний технічний стан, який характеризується різними витратно-напірними, потужностними, ККД характеристиками, коефіцієнтами технічного стану за паливним газом і потужністю;
- побудування залежності можливої економії паливного газу від показників відмін в технічному стані ГПА.

Виклад основного матеріалу. До основи математичної моделі КЦ під час вирішення задач оптимізації закладені індивідуальні фактичні характеристики відцентрових нагнітачів (ВЦН) і газотурбінних установок (ГТУ) [7], а також рівняння, що описують спільну роботу ВЦН ГПА в КЦ. У разі паралельного з'єднання вони мають вигляд:

$$\begin{aligned} \varepsilon^{КЦ} &= \varepsilon_k, \quad P_{вх}^{КЦ} = P_{вх k}, \quad P_{вих}^{КЦ} = P_{вих k}, \quad T_{вх}^{КЦ} = T_{вх k}, \\ \rho^{КЦ} &= \rho_k, \quad k = \overline{1, NK}, \quad Q_{ком}^{КЦ} = \sum_{k=1}^{NK} Q_{ком k}, \end{aligned} \quad (3)$$

де $Q_{ком k}$ – комерційна продуктивність k -го ВЦН.

Критерій оптимальності $F(n_1, \dots, n_{NK})$:

$$F(n_1, \dots, n_{NK}) = \sum_{k=1}^{NK} G_{\text{ТГ}} \left(Y_k, N \left(Q_{\text{КОМ}k}, X_k, n_k \right) \right) \rightarrow \min, \quad (4)$$

де X_k – коефіцієнт технічного стану k -го ВЦН за потужністю; Y_k – коефіцієнт технічного стану k -го ГТУ за паливним газом; $N \left(Q_{\text{КОМ}k}, X_k, n_k \right)$ – потужність k -го ВЦН, що визначається за фактичною характеристикою технічного стану нагнітача, МВт; $G_{\text{ТГ}} \left(Y_k, N \left(Q_{\text{КОМ}k}, X_k, n_k \right) \right)$ – витрати паливного газу k -го ГТУ, що розраховані за фактичною характеристикою установки, кг/ч.

При оптимізації функціоналу (4) повинна виконуватися система обмежень:

- за максимально припустимим значенням тиску газу на виході ВЦН;
- за максимальним і мінімальним значеннями зведеної об'ємної продуктивності і частотам обертання ротора ВЦН;
- за максимально припустимим ступенем стиснення.

Ця задача вирішується через визначення мінімуму цільової функції методом по-координатного спуску [8,9].

Якщо працюючі в цеху агрегати мають однаковий функціонально-технічний стан (ФТС), то оптимальний режим роботи КЦ забезпечується при однакових частотах обертання роторів ВЦН. У разі істотної відміни ФТС ВЦН і ГТУ різних ГПА оптимальне розподілення навантаження між агрегатами КЦ також істотно відрізняється. Існує залежність між ступенем відмінності ФТС ВЦН і ГТУ у КЦ і ефективністю оптимального режиму роботи КЦ.

Для її визначення проведений числовий експеримент, який складається з наступних розрахунків.

Ефективність оптимального режиму роботи КС розраховується для послідовно змінюючихся коефіцієнтів технічного стану ВЦН і ГТУ кожного з агрегатів у різних комбінаціях. Для кожного набору оцінок ФТС ВЦН і ГТУ, включаючи їх фактичні характеристики, проведена серія розрахунків оптимального і рівномірного режимів навантаження ГПА для різних параметрів режиму роботи КЦ. Відносна економія паливного газу обчислювалася як середнє значення різниці показників оптимальності:

$$\Delta(\bar{X}, \bar{Y}) = \frac{\sum_{i=1}^{NI} \left(\frac{G_{\text{ТГ}}^{\text{равн}}(P_i) - G_{\text{ТГ}}^{\text{опт}}(P_i)}{G_{\text{ТГ}}^{\text{равн}}(P_i)} \right)}{NI}, \quad (5)$$

де $\Delta(\bar{X}, \bar{Y})$ – функціонал відносної економії витрат паливного газу ГПА КЦ; \bar{X}, \bar{Y} – вектори КТС ВЦН і ГТУ ГПА в КЦ; P_i – i -й вектор вимірюваних параметрів ГПА ($i = \overline{1, NI}$); NI – кількість вимірювань; $G_{\text{ТГ}}^{\text{равн}}(P_i)$ – сумарні витрати паливного газу при рівномірному навантаженні ГПА; $G_{\text{ТГ}}^{\text{опт}}(X_i)$ – сумарні витрати паливного газу при оптимальному навантаженні ГПА.

Використовуючи результати вище наведеного числового експерименту, в роботі отримані рівняння множинної лінійної регресії [10], що пов'язують величину обсягу економії паливного газу в КЦ з коефіцієнтами технічного стану ВЦН і ГТУ ГПА, ступенем стиснення, комерційною продуктивністю для агрегатів потужністю 6,0 і 10,0 МВт у вигляді:

$$\Delta = \alpha_1 X_{cp} + \alpha_2 Y_{cp} + \alpha_3 Q_{ком\ КЦ} + \alpha_4 \varepsilon_{КЦ}, \text{ кг/год}, \quad (6)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – коефіцієнти регресії; X_{cp}, Y_{cp} визначають за формулами:

$$X_{cp} = \frac{1}{NK} \cdot \sum_{k=1}^{NK} \left| X_k - \frac{\sum_{k=1}^{NK} X_k}{NK} \right|; \quad (7)$$

$$Y_{cp} = \frac{1}{NK} \cdot \sum_{k=1}^{NK} \left| Y_k - \frac{\sum_{k=1}^{NK} Y_k}{NK} \right|.$$

Ці залежності на практиці дозволяють оцінити резерв енергозбереження і визначити доцільність оптимізації навантаження між ГПА.

У якості прикладу для п'ятьох паралельно з'єднаних ГПА потужністю 10,0 МВт були розраховані значення витрат паливного газу при рівномірному розподіленні навантажень і оптимальному згідно(4) при обмеженнях (3). При цьому коефіцієнти технічного стану ВЦН за потужністю змінювались в обмеженнях $0,8 \leq X < 1,0$, коефіцієнти технічного стану ГТУ за паливним газом змінювались в обмеженнях $0,65 \leq Y < 1,0$. Розрахунок робочих параметрів ГПА для кожного з варіантів виконувався за допомогою програмного комплексу «Діагностика ГПА» [7].

У розглянутому прикладі максимальна економія складає 125 кг/год паливного газу або $\sim 0,9\%$, а середня за номінальних параметрів компримуємого газу $0,65\%$.

Цей результат доводить, що оптимізація навантажень ГПА в КЦ представляє значний резерв економії газу на виробничо-технологічні потреби.

Висновки

1. Розроблена постановка і вирішення задачі оптимального розподілення навантажень в компресорному цеху між ГПА з різним технічним станом за критерієм мінімуму витрат паливного газу з урахуванням режимних та технологічних обмежень.
2. Проведений числовий експеримент за результатом якого визначені навантаження ГПА, що відповідають мінімуму витрат паливного газу в широкому діапазоні зміни коефіцієнтів технічного стану ГПА, ступенів стиснення і продуктивності КЦ.
3. Отримані залежності економії паливного газу під час роботи КЦ в оптимальному режимі від коефіцієнтів технічного стану і параметрів режиму роботи ГПА.

Література

1. Говдяк Р.М. Підвищення енергоефективності газотранспортної системи // Трубопровідний транспорт. – 2011. – №5 – С. 27–35.
2. Поршаков Б.П., Калинин А.Ф., Купцов С.М. Энергосберегающие технологии при магистральном транспорте газа / Б.П. Поршаков, А.Ф. Калинин, С.М. Купцов//М. – МПА – Пресс. – 2006. – 311 с.

3. Будзуляк Б.В., Пашин С.Т., Китаев С.В. Повышение эффективности режимов работы компрессорных станций//Газовая промышленность. – 2005. – №1. – С. 17–29.
4. Вангин А.Г. Оптимизация совместной параллельной работы газоперекачивающих агрегатов//Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – №1. – 2013. – С. 31–37.
5. Калинин А.Ф. Расчет, регулирование и оптимизация режимов работы газоперекачивающих агрегатов /А.Ф. Калинин //М. – МПА – Пресс. – 2011. –264 с.
6. Иванов Э.С. Совершенствование процессов эксплуатации газоперекачивающих агрегатов/Э.С. Иванов, А.И. Гольянов // Территория нефтегаз. – №4. – 2012. – С. 64–71.
7. Ильченко Б.С. Діагностування функціонально-технічного стану газоперекачувальних агрегатів /Б.С. Ильченко //Х. – ХНАМГ. – 2011. – 228 с.
8. Маляренко В.А., Ильченко М.Б. Снижение энергозатрат при эксплуатации газотранспортных систем путем автоматизации их учета /В.А. Маляренко, М.Б. Ильченко // Комунальне господарство міст. – 2017. – №134. – С. 27–34.
9. Деннис Дж. Численные методы оптимизации и решение нелинейных уравнений / Дж. Деннис // М. – Мир – 1988. – 474 с.
10. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ/ А. Афифи, С. Эйзен // М. – Мир – 1982. – 488 с.

Bibliography (transliterated)

1. Govdyak R.M. Pidvischennya energoefektivnosti gazotransportnoyi sistemi // Truboprovodniy transport. – 2011. – #5 – P. 27–35.
2. Porshakov B.P., Kalinin A.F., Kuptsov S.M. Energoberegayushchie tehnologi pri magistralnom transporte gaza / B.P. Porshakov, A.F. Kalinin, S.M. Kuptsov//М. – МПА – Пресс. – 2006. – 311 p.
3. Budzulyak B.V., Pashin S.T., Kitaev S.V. Povyishenie effektivnosti rezhimov raboty kompressornyih stantsiy // Gazovaya promyshlennost. – 2005. – #1. – P. 17–29.
4. Vangin A.G. Optimizatsiya sovместnoy parallelnoy raboty gazoperekachivayushchih agregatov // Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Neftegazovoe delo». – #1. – 2013. – P. 31–37.
5. Kalinin A.F. Raschet, regulirovanie i optimizatsiya rezhimov raboty gazoperekachivayushchih agregatov /A.F. Kalinin //М. – МПА – Пресс. – 2011. –264 p.
6. Ivanov E.S. Sovershenstvovanie protsessov ekspluatatsii gazoperekachivayushchih agregatov / E.S. Ivanov, A.I. Golyanov // Territoriya neftegaz. – #4. – 2012. – P. 64–71.
7. Ilchenko B.S. Diagnostuvannya funktsionalno-tehnichnogo stanu gazoperekachivalnih agregativ / B.S. Ilchenko // H. – HNAMEG. – 2011. – 228 p.
8. Malyarenko V.A., Ilchenko M.B. Snizhenie energozatrat pri ekspluatatsii gazotransportnyih sistem putem avtomatizatsii ih ucheta / V.A. Malyarenko, M.B. Ilchenko // Komunalne gospodarstvo mist. – 2017. – #134. – P. 27–34.
9. Dennis Dzh. Chislennyye metody optimizatsii i reshenie nelineynyih uravneniy / Dzh. Dennis // М. – Мир – 1988. – 474 p.
10. Afifi A., Eyzhen S. Statisticheskiy analiz / A. Afifi, S. Eyzhen // М. – Мир – 1982. – 488 p.

УДК 621.643

Маляренко В.А., д.техн.н., профессор, Ильченко М.Б., аспирант

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова

**МЕТОД ОЦЕНКИ РЕЗЕРВА СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ
НА ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НУЖДЫ
ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ**

Приведен анализ методов снижения расхода природного газа на производственно-технологические нужды за счет оптимизации режимов работы газопроводов. Описана постановка и решение задачи распределения нагрузок между параллельно соединенными газоперекачивающими агрегатами компрессорного цеха, имеющими различное техническое состояние.

Проведен численный эксперимент, в результате которого определена экономия топливного газа за счет выбора оптимального режима при различных сочетаниях коэффициентов технического состояния газоперекачивающих агрегатов для различных степеней сжатия и производительностей компрессорного цеха.

На основании полученных экспериментальных данных получены регрессионные зависимости экономии топливного газа за счет оптимизации режимных параметров газоперекачивающих агрегатов. Рассчитана возможная экономия топливно-энергетических ресурсов за счет предложенного метода для парка ГПА мощностью 6.0–10.0 МВт

Malyarenko V., Ilchenko M.

**METHOD EVALUATING OF THE RESERVE FOR THE REDUCTION OF
ENERGY COSTS ON THE PRODUCTION AND TECHNOLOGICAL NEEDS OF
THE GAS TRANSPORTATION SYSTEM**

The analysis of methods for reducing the consumption of natural gas for industrial and technological needs is provided by optimizing the operation of gas pipelines. The formulation and solution of the problem of distribution of loads between parallel connected gas compressor units of the compressor shop having different technical state.

A numerical experiment has been performed, as a result of which the fuel gas economy has been determined due to the choice of the optimal mode for various combinations of the technical state of the gas compressor units for various compression ratios and the compressor shop productivity.

On the basis of the experimental data obtained, regression dependences of the fuel gas economy are obtained due to optimization of the operating parameters of the gas pumping units. The possible saving of fuel and energy resources is calculated at the expense of the proposed method for the gas compressor units park with a capacity of 6.0–10.0 MW

УДК 658.28:665.63:338

Быканов С.Н., к.техн.н., доцент, Данилов Ю.Б., д.техн.н., профессор, Горбунов К.А., к.техн.н., профессор, Симоненко К.О., студент

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ЧЕТЫРЕХКОРПУСНОЙ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКИ ПО ВЫПАРИВАНИЮ СУЛЬФАТА НАТРИЯ

Ключевые слова: выпаривание, пинч-анализ, теплоноситель, энергосбережение, сульфат натрия.

Введение. В химической и других отраслях промышленности приходится решать проблемы получения кристаллической соли и утилизации соленых растворов. Одним из методов решения проблемы является выпаривание растворов с получением продукционной кристаллической соли и достаточно чистого конденсата, который можно использовать обратно в технологических процессах производства. Процесс выпаривания является очень энергозатратным, поэтому анализ и разработка оптимального энергосберегающего процесса выпаривания, нагрева исходного раствора и утилизация тепла горячих конечных потоков (вторичного пара, упаренного раствора, конденсата вторичного пара) является весьма актуальной задачей.

Важнейшими инструментами снижения расхода теплоносителя (греющего пара) выпарной установки является кратность использования тепла греющего пара, подогрев исходного раствора, конструктивное исполнение выпарных аппаратов, выбор режимов концентрирования, обеспечивающих требуемое качество конечных продуктов (упаренного раствора, соли, конденсата).

Существуют литературные источники и методики выбора и расчетов многокорпусных выпарных установок, которые позволяют разработать выпарную установку. Однако они громоздки, основаны на итерационном методе (методе последовательных приближений) [1,2]. Авторами предложен метод анализа и выбора энергосберегающей технологии с использованием методов пинч-анализа.

Основная часть. Как правило, разработка и расчеты выпарных установок проводят, зная расход исходного раствора, подлежащего выпариванию, его начальную и конечную концентрацию, его температуру, и соответственно, физико-химические свойства раствора. Исходя из имеющихся данных по агрессивности растворов и коррозионной стойкости материалов, выбирают конструктивное исполнение оборудования. Как правило, коррозионная стойкость определяет верхний предел температур процесса. Так, для растворов сульфата натрия, а это достаточно агрессивный раствор, для изготовления оборудования применяются титановые сплавы ВТ1-0, но и его температура не может превышать 125 °С. Соответственно, ограничивается верхняя температура – температура пара. Процесс выпаривания необходимо проводить при температуре ниже указанной под вакуумом. Нижнюю температуру процесса определяет величина технически целесообразного вакуума в последнем корпусе выпарной установки, определяемого температурой охлаждающей воды, а также возможностью промышленных вакуумных систем (водокольцевых насосов, парожеткторных блоков). Это температура не ниже 50 °С.

Оптимальная кратность использования тепла определяется экономическими методами. Сначала ею задаются, исходя из максимально возможной полезной разности температур на выпарную установку, потом определяют максимально возможную кратность, исходя из оптимальных полезных разностей температур на принятые типы выпарных аппаратов путём деления общей полезной разности температур на полезные разности выпарных аппаратов. Затем, изменяя её значение, определяют минимальные затраты на стадии выпаривания с учетом энергозатрат и стоимости оборудования.

Определяют расходы выпаренной воды, исходного и упаренного раствора, охлаждающей воды, которая подаётся в конденсатор, концентрация раствора, кристаллизующихся и некристаллизующихся компонентов в многокомпонентных растворах, содержащих соли. Рассчитывают тепловые нагрузки, коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи, коэффициенты испарения и самоиспарения. Рассчитывают температуры греющего и вторичного паров, температуры кипения раствора, полезные разности температур и температуры исходного нагрева в подогревателях. Исходный раствор необходимо нагревать до температуры кипения в аппарате, в который он поступает. Определяют поверхность нагрева выпарных аппаратов. Как правило, в основном принимаются равные поверхности греющих камер в выпарных аппаратах. Определяются тип и размеры вспомогательного оборудования (подогреватели, конденсатоотводчики, водокольцевые или пароэжекторные вакуум-насосы) [1,2,4,5].

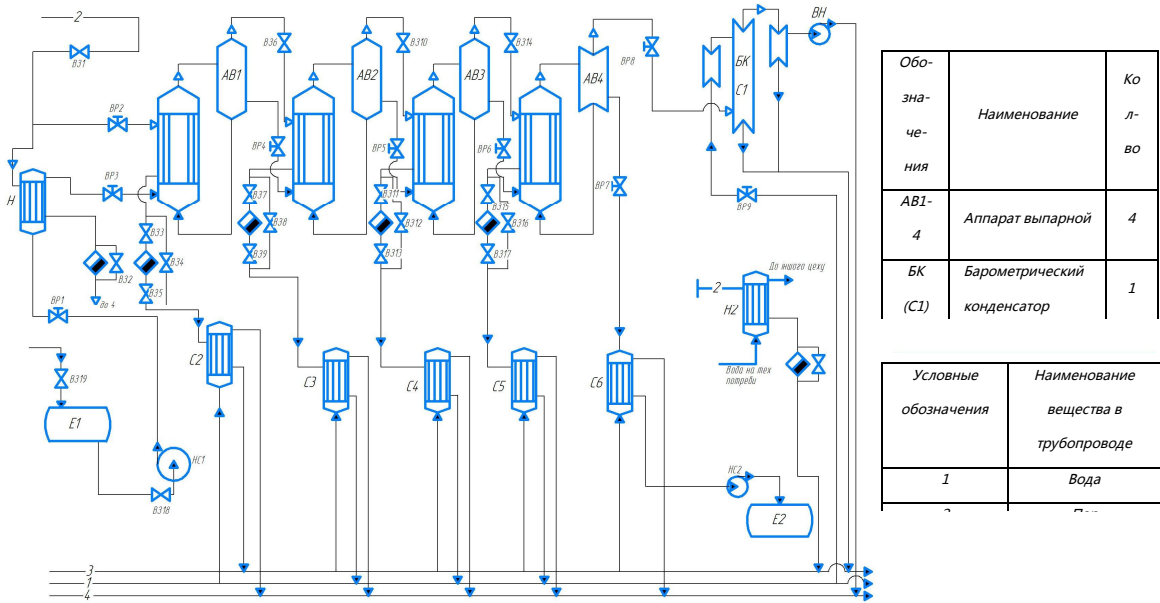
Перед проведением расчетов выпарной установки по литературным данным подбирают физико-химические свойства растворов, солей, конденсата в диапазоне температур и концентраций процесса выпаривания, схему установки (прямоток, противоток, смешанный ток), кратность использования тепла греющего пара, систему подогрева раствора. При составлении алгоритма расчета необходимо учитывать, что все параметры выпарной установки взаимосвязаны и изменение одного параметра приводит к изменению других.

Из сказанного очевидно, что расчет оптимальной выпарной установки достаточно сложный и громоздкий. Учитывая высокую стоимость оборудования и большие энергетические затраты, расчеты должны быть достаточно точными и достоверными.

Одним из путей снижения энергозатрат является рекуперация тепла горячих и холодных технологических потоков. Максимальная эффективность рекуперации тепла достигается при использовании метода пинч-анализа [3].

Покажем использование метода пинч-анализа для снижения энергозатрат при выпаривании раствора сульфата натрия (Na_2SO_4). Число корпусов выпарной установки – четыре, схема выпаривания прямоточная, циркуляция раствора естественная (рис. 1).

За основу возьмем принципиальную технологическую схему четырехкорпусного выпаривания по прямоточной схеме. Производительность установки по исходному раствору Na_2SO_4 составляет 10000 кг/час. Исходный раствор подогревается греющим паром в наружном теплообменнике Н до температуры кипения, подается в первый корпус установки АВ1, который обогревается греющим паром. Далее раствор самотеком перетекает во второй корпус АВ2, который обогревается греющим паром из первого корпуса. Из второго корпуса раствор перетекает в третий корпус АВ3, который обогревается вторичным паром из второго и т.д. Из четвертого корпуса АВ4 вторичный пар отводится в барометрический конденсатор БК, а упаренный раствор охлаждается в теплообменнике С6 и направляется в емкость Е2.



Обозначения	Наименование	Количество
AB1-4	Аппарат выпарной	4
БК (С1)	Барометрический конденсатор	1

Условные обозначения	Наименование вещества в трубопроводе
1	Вода

Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема процесса выпаривания Na₂SO₄ (до реконструкции)

Для реализации задачи рекуперации тепла в выбранной четырехкорпусной выпарной установке, выберем горячие и холодные потоки, подлежащие рекуперации. Горячими потоками будут: конденсаты и вторичные пары всех четырех корпусов установки, а также упаренный раствор. Холодными потоками будут: раствор Na₂SO₄, выпаривающийся в каждом корпусе установки, исходный раствор, а также вода на технические нужды. На основе материального и теплового баланса выпарной установки рассчитывается расход, температура, теплоемкость потоков.

Определяем потоковые теплоемкости CP (кВт/К) и тепловые нагрузки потоков ΔH (кВт) по следующей формуле:

$$\Delta H = G \cdot C \cdot (T_H - T_K) = CP \cdot (T_H - T_K),$$

где G – массовый расход потока, кг/с; C – теплоемкость потока, кДж/(кг·К); T_H и T_K – начальная и конечная температура потока.

Рассчитанные данные технологических потоков приведены в потоковой таблице 1.

Для существующей схемы выпаривания строим составные кривые процесса и определяем, что минимальная разница температур существующего процесса составляет примерно 20 °С, целевые значения горячих утилит составляют $Q_{H\ min} = 2359$ кВт, холодных $Q_{C\ min} = 1988,2$ кВт. Количество рекуперированного тепла существующей схемы $Q_{рек} = 3001,5$ кВт. По расчетам, расход греющего пара на обогрев всей установки составляет около 1,16 кг/с. Расход охлаждающей воды для всей установки составляет 18,3 кг/с. Сеточная диаграмма для принципиальной технологической схемы выпаривания показывает, что тепло передается через пинч. Это свидетельствует о неполной рекуперации тепла в существующей схеме выпарки.

На основе технико-экономических расчетов задаемся новой минимальной разницей температур $\Delta T_{min} = 10$ °С. Сдвигаем составные кривые вдоль температурно-энтальпийной оси и определяем новые целевые значения горячих и холодных утилит для новой минимальной разницы температур в 10 °С. На основе этого строим сеточную

диаграмму и размещаем теплообменники для новой технологической схемы. Опираясь на данные сеточной диаграммы, получим новую технологическую схему процесса выпаривания с максимально полной рекуперацией тепла. Она представлена на рис. 2.

Таблица 1 – Поточковая таблица интеграции процесса выпаривания

№	Название потока	Тип потока	G , кг/с	T_H , °С	T_K , °С	C , кДж/(кг·К)	CP , кВт/К	ΔH , кВт
1	Конденсат 1 корпуса	гор.	0,48	140	35	4,21	2,02	212,2
2	Конденсат 2 корпуса	гор.	0,42	130	35	4,2	1,764	167,58
3	Конденсат 3 корпуса	гор.	0,442	118	35	4,196	1,86	154,38
4	Конденсат 4 корпуса	гор.	0,463	102	35	4,19	1,94	129,98
5	Вторичный пар из 1 корпуса	гор.	0,42	134	134	–	–	986,35
6	Вторичный пар из 2 корпуса	гор.	0,442	121	121	–	–	974,34
7	Вторичный пар из 3 корпуса	гор.	0,463	105	105	–	–	1040,82
8а	Вторичный пар из 4 корпуса	гор.	0,527	60	60	–	–	1178,5
8б	Охлаждение вторичного пара из 4 корпуса	гор.	0,527	60	55	4,19	2,208	11,04
9	Упаренный раствор	гор.	0,926	85	35	2,905	2,69	134,5
10	Исх. раствор	хол.	2,778	25	136	3,771	10,476	1162,8
11	Раствор Na ₂ SO ₄ в 1 корпусе	хол.	2,778	133	133	–	–	1026,72
12	Раствор Na ₂ SO ₄ во 2 корпусе	хол.	2,323	122	122	–	–	986,35
13	Раствор Na ₂ SO ₄ в 3 корпусе	хол.	1,883	107	107	–	–	974,34
14	Раствор Na ₂ SO ₄ в 4 корпусе	хол.	1,42	85	85	–	–	1040,82
15	Вода на техн.	хол.	1,35	20	50	4,19	5,65	169,5

Рекуперация тепла в предложенной новой схеме достигается тем, что теплота конденсатов 1,2,3,4 корпусов и тепло упаренного раствора идет на подогрев исходного раствора и воды на технологические нужды (см. рис. 2).

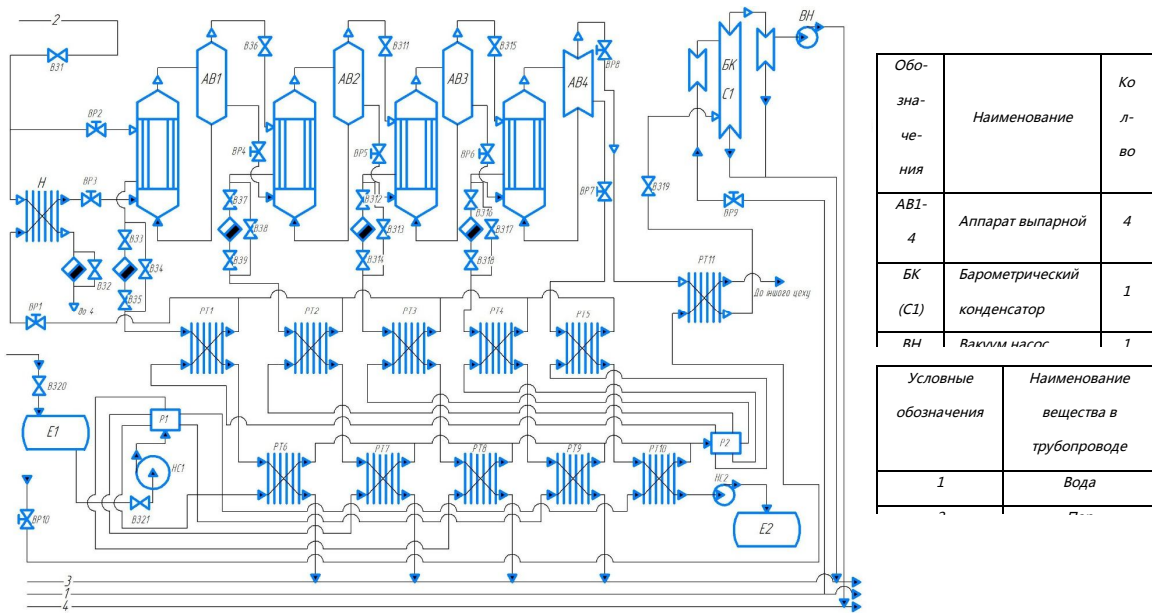


Рисунок 2 – Технологическая схема процесса выпаривания Na_2SO_4 после реконструкции

Для максимально полной рекуперации тепла необходимо расщепить поток исходного раствора Na_2SO_4 на пять потоков, пропустить их через рекуперативные теплообменники PT6, PT7, PT8, PT9, PT10, которые обогреваются конденсатами всех корпусов установки и упаренным раствором. Затем для выравнивания температуры поток соединяется, а затем опять расщепляется на пять потоков, которые снова нагреваются конденсатами всех корпусов установки и упаренным раствором в рекуперативных теплообменниках PT1, PT2, PT3, PT4, PT5. После этого поток исходного раствора Na_2SO_4 объединяется в один поток, который окончательно нагревается в утилитном теплообменнике – подогревателе Н до целевой температуры 136 °С и поступает на выпаривание в первый корпус установки. Поток воды на технологические нужды нагревается до целевой температуры 50 °С вторичным паром четвертого корпуса установки в рекуперативном теплообменнике PT11. Окончательная конденсация вторичного пара четвертого корпуса установки происходит в барометрическом конденсаторе БК. Анализ сеточной диаграммы показывает, что тепло вторичного пара каждого корпуса установки целесообразно использовать для обогрева последующих корпусов установки, а не затрачивать его для подогрева исходного раствора. Это полностью согласуется с традиционной схемой многокорпусного выпаривания.

Новая схема предусматривает установку 11 рекуперативных теплообменников (PT1-PT11) и одного утилитного – подогревателя Н (рис. 2). После реконструкции количество горячих утилит, т.е. тепла, необходимого для подогрева исходного раствора и воды на технологические нужды, снизится на 987,7 кВт и составит $Q_{H\ min} = 1371,3$ кВт. Количество холодных утилит, т.е. тепла, которое необходимо отнимать для охлаждения конденсатов, упаренного раствора и вторичного пара, снизится на 926,8 кВт и составит $Q_{C\ min} = 1061,4$ кВт. Согласно расчетам, после реконструкции расход греющего пара на обогрев всей установки уменьшится на 0,48 кг/с и составит около 0,68 кг/с (по сравне-

нию с принципиальной схемой выпарной установки). Расход охлаждающей воды уменьшится на 9,8 кг/с и составит около 8,5 кг/с.

Очевидно, что установка новых теплообменников, которые предусмотрены в новой технологической схеме (рис. 2) потребует капитальных затрат. Также необходимо предусмотреть средства автоматизации и контроля. Это также скажется на увеличении стоимости предложенной реконструкции. Однако, на наш взгляд, подобные затраты могут быть оправданы, поскольку они, в конце концов, приводят к снижению энергоёмкости выпарной установки. Как показывают расчёты, если за основу взять принципиальную схему выпарки (рис. 1), то срок окупаемости подобного проекта (рис. 2) составляет около трех лет.

Таким образом, в работе было рассмотрено применение метода пинч-анализа для снижения энергозатрат в процессе выпаривания на примере тепловой интеграции четырехкорпусной выпарной установки по выпариванию сульфата натрия (Na_2SO_4).

Литература

1. Перцев Л.П., Ковалёв Е.М., Фокин В.С. Трубчатые выпарные аппараты для кристаллизующихся растворов.– М. Машиностроение, 1982.–135 с.
2. РДРТМ 26-01-95-83. Установки выпарные многокорпусные для растворов, содержащих твердую фазу. Метод теплового расчёта. – Харьков-УКРНИИХИММАШ, 1983.– 47 с.
3. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов.– Харьков: НТУ «ХПИ». 2000.– 456 с.
4. Быканов С.Н., Горбунов К.А., Горбунова О.В., Ким А.Е. Тепловая интеграция процесса выпаривания едкого натра // Інтегровані технології та енергозбереження – 2016. – № 3. – С. 9–14.
5. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО О.Ю., ГАРЕВ А.О., ГОРБУНОВ К.О., БИКАНОВ С.М., ТОЛСТА Н.О. Покращення теплової інтеграції процесу концентрування квансного сула // Наукові праці.– Випуск 39, Т.2.– Одеса: Одеська національна академія харчових технологій.– 2011.– С. 146–151.

Bibliography (transliterated)

1. Pertsev L.P., Kovalyov E.M., Fokin V.S. Trubchatyie vyiparnyie apparaty dlya kristallizuyuschihsy rastvorov.– M. Mashinostroenie, 1982.–135 p.
2. RDRTM 26-01-95-83. Ustanovki vyiparnyie mnogokorpusnyie dlya rastvorov, so-derzhaschih tverduyu fazu. Metod teplovogo raschyota. – Harkov-UKRNIHIMMASH, 1983.– 47 p.
3. Smit R., Klemesh Y., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.A., Ulyev L.M. Osnovyi integratsii teplovyih protsessov.– Harkov: NTU «HPI». 2000.– 456 p.
4. Byikanov S.N., Gorbunov K.A., Gorbunova O.V., Kim A.E. Teplovaya integratsiya protsessa vyiparivaniya edkogo natra // Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya – 2016. – # 3. – P. 9–14.

5. Tovazhnyanskyy L.L., Perevertaylenko O.Yu., Garev A.O., Gorbunov K.O., Bikanov S.M., Tolsta N.O. Pokraschennya teplovoyi Integratsiyi protsesu kontsentrivannya kvasnogo susla // Naukovi pratsi.– Vipusk 39, T.2.– Odesa: Odeska natsionalna akademiya harchovih tehnologiy.– 2011.– P. 146–151.

УДК 658.28:665.63:338

Биканов С.М., к.техн.н., доцент, Данилов Ю.Б., д.техн.н., професор, Горбунов К.О., к.техн.н., професор, Симоненко К.О., студент

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ЧОТИРИКОРПУСНОЇ ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ З ВИПАРЮВАННЯ СУЛЬФАТУ НАТРІЮ

В роботі розглянуто застосування методу пинч-аналізу для зниження енерговитрат в процесі випарювання на прикладі теплової інтеграції чотирикорпусної випарної установки з випарювання сульфату натрію (Na_2SO_4).

Bykanov S.N., Danilov Yu.B., Gorbunov K.O., Simonenko K.O.

National Technical University "Kharkiv Politechnical Institute"

REDUCING OF THE POWER CONSUMPTION OF THE FOUR-FRAME EVAPORATOR FOR EVAPORATION OF SODIUM SULFATE

In the article, was considered using of the pinch-analysis method for reducing of the power consumption in the process of evaporation is considered using the example of thermal integration of a four-frame evaporator for evaporation of sodium sulfate (Na_2SO_4).

УДК 697.34

Бердишев М.Ю., к.техн.н., доцент, Жадік А.Ю., аспірант

Запорізька державна інженерна академія

АВТОМАТИЗОВАНА МАЛА КОТЕЛЬНЯ

Ключові слова: централізоване теплопостачання, кількісне регулювання, регресійна лінія, частотний регулятор, зворотний клапан, циркуляційний насос, коефіцієнт кореляції, гідравлічний режим.

Як відомо, централізоване теплопостачання в Україні використовує якісне регулювання відпуску теплоти, тобто при зміні зовнішньої температури змінюється температура теплоносія при постійній його витраті.

Прагнення до зменшення теплоспоживання викликає необхідність здійснювати регулювання не тільки на джерелі теплоти (котельня, ТЕЦ), а і у споживача. На рисунку 1 наведені схеми регулювання на вводі в будинок, які знайшли найбільше поширення в даний час.

Як бачимо, у споживача в основному використовується кількісне регулювання. Такий вид регулювання на вводах в будівлю, який добре себе зарекомендував в інших країнах (де і на джерелі використовується кількісне регулювання), викликає проблеми в разі якісного регулювання теплоти на джерелі. Це призвело до використання для такого випадку терміну «нестійке регулювання» [1]. В цій же статті автор досить обґрунтовано стверджував, що кількісне регулювання на введенні окремого споживача призводить не до економії газу, а тільки до перерозподілу теплоти - споживання будівлі з системою кількісного регулювання зменшується, а споживання сусідніх будівель (внаслідок відсутності обмежувачів витрати – регуляторів сталості перепаду тисків) відповідно збільшується.

Такі висновки вірні в разі строго якісного регулювання на джерелі, але введення елементів кількісного регулювання (тобто перехід до якісно-кількісного регулювання) дозволяє в значній мірі знизити вплив перерозподілу теплоти між сусідніми будівлями, тобто отримати реальну економію палива котельні.

У зв'язку з тим, що вже кілька років, навіть при відсутності систем регулювання у споживача, підключене навантаження котельні не є постійним (в перехідний період деякі будівлі в цілях економії підключаються до системи опалення з запізненням в листопаді або відключаються при позитивних зовнішніх температурах в березні), на деяких котельнях дослідним шляхом побачили необхідність у зменшенні витрат теплоносія в перехідний період.

Нижче за добовими даними роботи трьох крупних котельнь м. Маріуполь у грудні 2016 р., січні та березні 2017 року, побудовано динаміку змінення витрати теплоносія у подавальному трубопроводі у залежності від температури зовнішнього повітря. Було визначено середні значення градусо-діб і витрати мережевої води за 6 декад зимових місяців і 3 декади березня. Ці залежності представлено на рисунку 2.

Аналізуючи отримані регресійні лінії, особливо коефіцієнт кореляції R^2 , бачимо, що є достатній взаємозв'язок між витратою води і градусо-добами. Таким чином, можна зробити висновок, що регулювання на цих котельнях здійснюється не тільки якісним

способом, а й частково кількісним. На всіх цих котельнях в перехідний період (березень) витрата мережевої води приблизно на 15 % менше, ніж взимку.

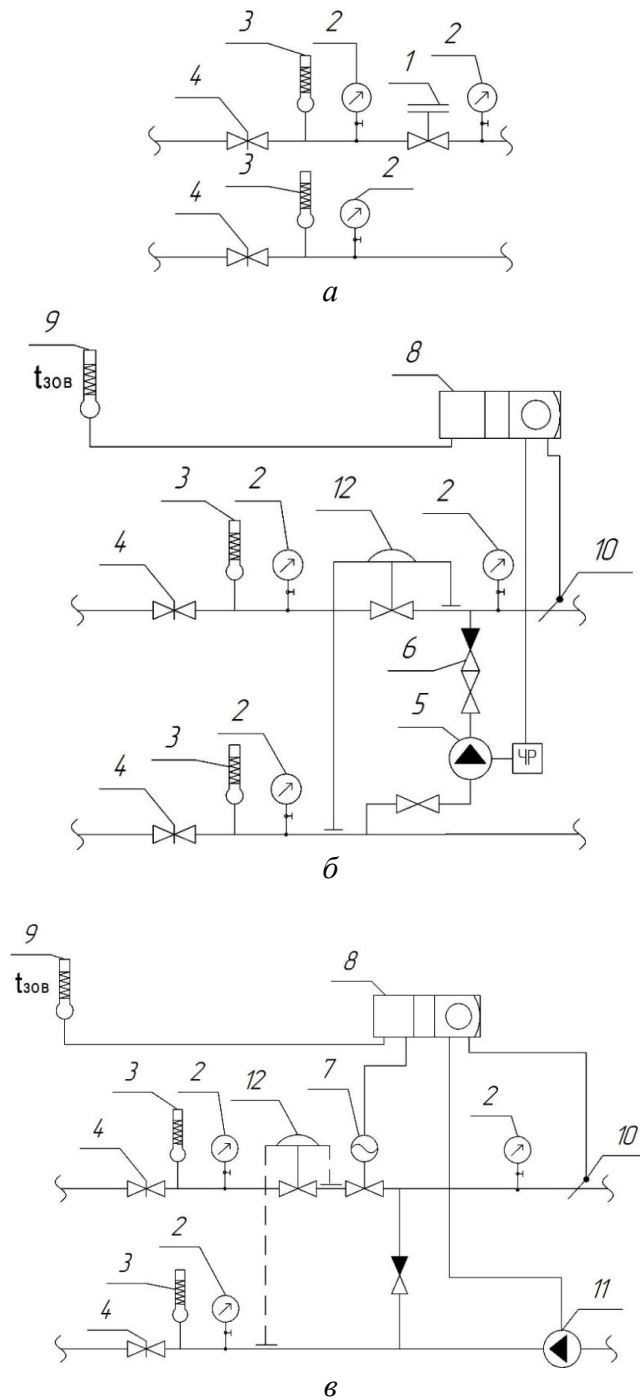


Рисунок 1 – Принципові схеми: а – ІТП з ручним регулюванням; б – ІТП з автоматичним регулюванням навантаження частотним регулятором; в – ІТП з автоматичним регулюванням навантаження регулятором теплового потоку; 1 – балансувальний клапан; 2 – манометр; 3 – термометр; 4 – запірна арматура; 5 – насос з частотно-регульовальним приводом; 6 – зворотний клапан; 7 – регулятор теплового потоку; 8 – електронний регулятор; 9 – термометр зовнішньої температури; 10 – датчик температури теплоносія; 11 – циркуляційний насос; 12 – регулятор перепаду тиску

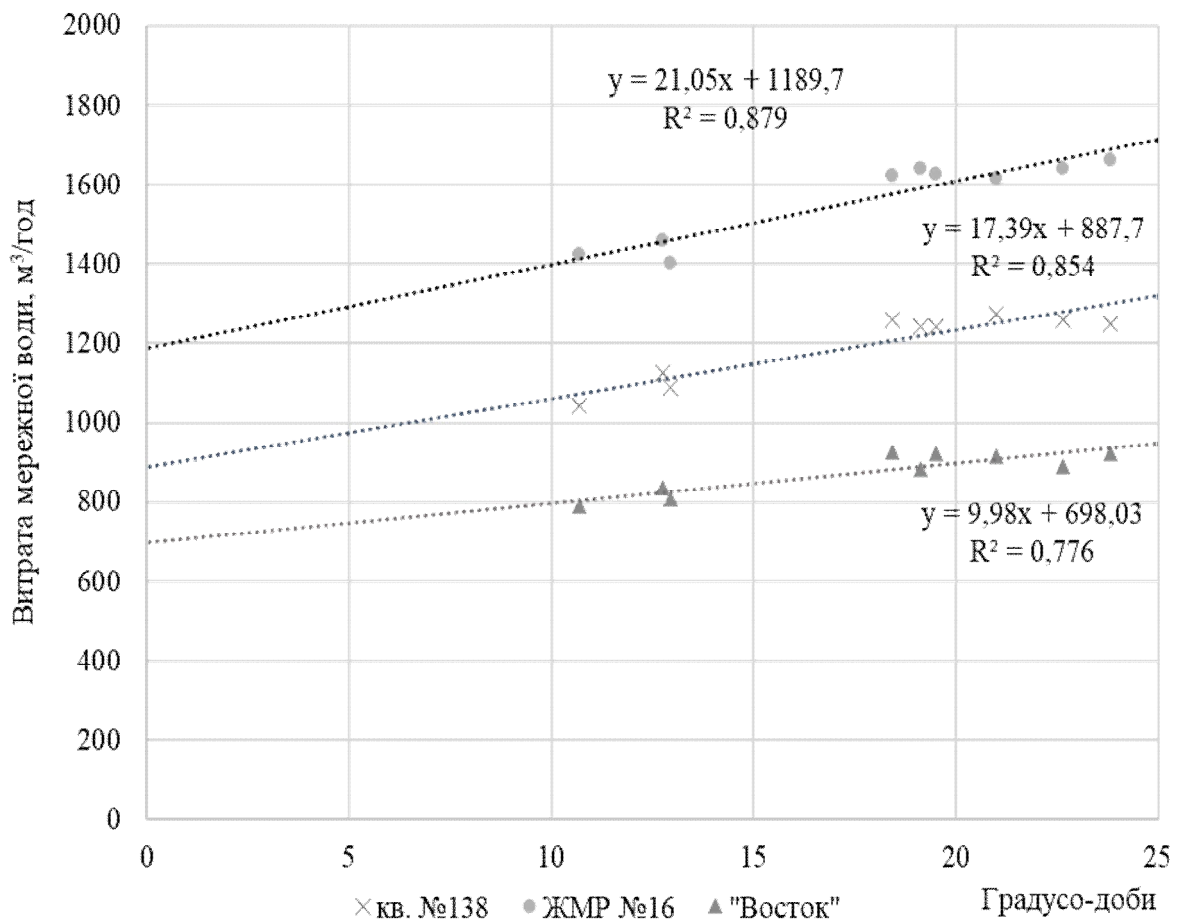


Рисунок 2 – Залежність витрати мережної води від градусо-днів (по декадам грудня, січня, березня котельні: кв. №138, ЖМР №16, «Восток»)

Відмітимо, що мережеві насоси котельнь кв. 138 і ЖМР-16 оснащені пристроями частотного регулювання, на котельні «Восток» таких пристроїв нема. Аналізуючи значення коефіцієнтів кореляції R^2 , бачимо, що на тих котельнях, де є пристрої частотного регулювання на мережевих насосах, R^2 на 10–13% більший, ніж на котельні, де цього пристрою нема (0,854, 0,879 проти 0,776). Це може вказувати на те, що ручним способом важко здійснити адекватне регулювання витрати мережевої води.

Зрозуміло, що на котельнях, які здійснюють теплопостачання великих теплових районів (при наявності ЦТП та при їх відсутності) при значній довжині теплових мереж, частотне регулювання мережевих насосів може лиш частково згладжувати змінення витрати у окремого споживача (при автоматичному, або ручному регулюванні на ввіді в будівлю). Але для невеликих теплових районів з невеликою протяжністю теплових мереж частотне регулювання мережевих насосів здатне своєчасно реагувати на змінення витрати води у споживачів, що надає можливість економити не тільки електроенергію, але й паливо.

Схеми сучасних малих автоматизованих котельнь в їх різноманітності представлені в [2]. К недолікам таких систем відноситься відсутність регулювання зменшення витрати мережевої води з підтриманням сталого гідравлічного режиму при зменшенні витрати у споживачів. Внаслідок цього відбувається перевитрата енергоносіїв котельнею.

Нами запропонована схема автоматизованої котельні [3], що вирішує цю проблему і може бути використана в системах опалення житлових та промислових будівель від малих котельнь.

В цій схемі за рахунок частотного регулювання параметрів мережевого та підживлювального насосів підтримується постійний тиск в мережі, зменшується витрата мережевої води і кількість спалюваного газу при зменшенні витрати води.

Запропонована схема представлена на рис. 3, де 1 – котел, з'єднаний з трубопроводами мережі 2, на зворотному трубопроводі якої встановлені підживлювальний насос з частотним регулятором 3, 4 – мережевий насос з частотним регулятором. Подавальний і зворотний трубопроводи з'єднані лінією рециркуляції з насосом 5. Всі насоси, котел і датчик температури зовнішнього повітря 6, датчик температури в подавальному трубопроводі 7 і зворотному трубопроводі теплової мережі 8 з'єднані з системою автоматики і керування 9. На вводах споживачів встановлені пристрої регулювання 10.

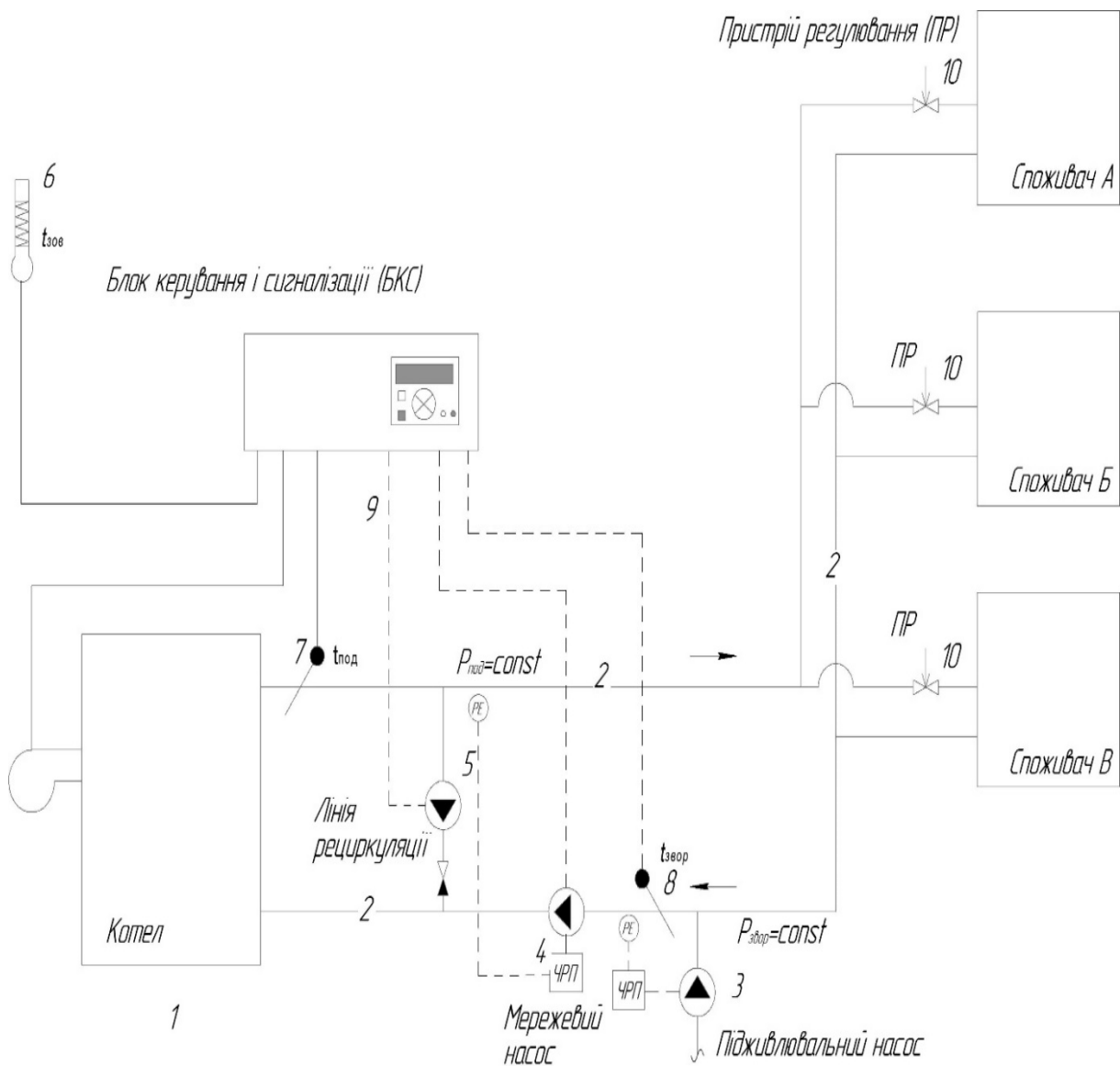


Рисунок 3 – Принципова схема автоматизованої малої котельні

Система теплопостачання працює таким чином. З котла 1 вода поступає в подавальний трубопровід тепломережі 2. При зміні витрати у споживача (за допомогою пристрою регулювання 10, яким може бути керований електронний регулятор або балансувальний клапан) змінюється тиск в подавальному трубопроводі теплової мережі 2, на що реагує мережевий насос 4 за допомогою частотного регулятора, зменшуючи витрату теплоносія в мережі. При цьому блок керування 9 підтримує температуру теплоносія в подавальному трубопроводі, корегуючи кількість палива, що подається на горіння відповідно температурному графіку роботи тепломережі. Підживлювальний насос з частотним регулятором 3 в автоматичному режимі підтримує постійний тиск в зворотному трубопроводі теплової мережі 2. Лінія рециркуляції 5 призначена для підтримання температури води на вході в котел 1.

В такій системі завжди є сталий гідравлічний режим, і при зміні витрати теплоносія у певного споживача зменшується витрата у мережі практично без підвищення витрати у решти споживачів. При цьому економія відпущеної теплоти (а отже і газу) на котельні кількісно близька до економії теплоти у споживача, який зменшив витрату теплоносія. До того ж встановлення частотного регулятора на мережевий насос, як звісно, призводить до економії електричної енергії при зменшенні витрати.

Використання такої схеми доцільно на малих котельнях через те, що велика протяжність і розгалуженість трубопроводів може впливати на швидкодію і адекватність реагування частотного регулятора на мережевому насосі.

Запропонована система дозволяє споживачам використовувати недорогі прилади регулювання, наприклад, балансувальний клапан, що важливо для малоповерхових будівель, де фінансова ефективність встановлення стандартних теплових пунктів дуже низька. Ще однією перевагою даної схеми є те, що навіть при відсутності пристроїв регулювання у споживачів, в разі зменшення з їх сторони витрати теплоносія в будинку за допомогою запірної арматури (що зараз чиниться повсюдно), на котельні автоматично буде зменшено витрату палива і отримана реальна економія.

Література

1. Гершкович В.Ф. Особенности гидравлически устойчивого регулирования теплового потока у потребителей тепловой сети / В.Ф. Гершкович // Энергосбережение в зданиях / под ред. Н.Ф. Деминой. – Киев, 2009. – С. 10–16.
2. Мирончук, О.В. Пособие «Проектирование и применение жаротрубных стальных котлов Колви» / О.В. Мирончук. – Киев: фирма «Eurotherm Technology», 2013. – 92 с.
3. Рішення про видачу патенту по заявці № u 2017 10711 "Автоматизована мала котельня".

Bibliography (transliterated)

1. Gershkovich V.F. Osobennosti gidravlicheski ustojchivogo regulirovanija teplovogo potoka u potrebitel'ej teplovoj seti / V.F. Gershkovich // Jenergoberezhenie v zdaniyah / pod red. N.F. Deminoj. – Kiev, 2009. – P. 10–16.
2. Mironchuk, O.V. Posobie «Proektirovanie i primenenie zharotrubnyh stal'nyh kotlov Kolvi» / O.V. Mironchuk. – Kiev: firma «Eurotherm Technology», 2013. – 92 p.
3. Rishennja pro vidachu patentu po zajavci № u 2017 10711 "Avtomatizovana mala kotel'nja".

УДК 697.34

Бердышев Н.Ю., к.техн.н., доцент, Жадик А.Ю., аспирант

Запорожская государственная инженерная академия

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МАЛАЯ КОТЕЛЬНАЯ

Приведен регрессионный анализ работы трех крупных котельных г. Мариуполь в отопительном сезоне 2016–2017 года. Показано, что имеет место достаточная взаимосвязь между расходом воды и градусо-сутками, то есть регулирование на этих котельных осуществляется не только качественном способом, но и частично количественным. На всех этих котельных в переходный период (март) расход сетевой воды примерно на 15% меньше, чем зимой.

Предложена автоматизированная малая котельная, в которой за счет частотного регулирования параметров сетевого и подпиточного насосов поддерживается постоянное давление в сети, так что при изменении расхода теплоносителя у определенного потребителя уменьшается расход в сети практически без повышения расхода у остальных потребителей. При этом экономия отпущенной теплоты на котельной практически равна экономии теплоты у потребителя, который уменьшил расход теплоносителя.

Berdyshev N.Y., Zhadik A.Y.

AUTOMATED SMALL BOILER HOUSE

The regression analysis of the work of three large boiler houses in the city of Mariupol in the heating season 2016–2017 is given. It is shown that there is a sufficient relationship between water consumption and degree-times, that is, regulation at these boiler houses is carried out not only qualitatively but also partially quantitative. At all these boiler-houses in the transition period (March), the consumption of network water is approximately 15% less than in winter.

An automated small boiler house is proposed in which the constant network pressure is maintained at the expense of frequency regulation of the network and feeder pumps, so that when the heat carrier's consumption changes with a particular customer, the consumption of the network decreases almost without increasing the cost to the rest of the consumers. At the same time, the savings of the released heat at the boiler house is practically equal to the user's saving of heat, which reduced the consumption of coolant.

Лимаренко О.М., викладач

*Миргородський художньо-промисловий коледж ім. М.В. Гоголя
Полтавського національного технічного університету ім. Юрія Кондратюка*

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ У ВЕНТИЛЬОВАНИХ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЯХ ДЛЯ ТЕПЛОЇ ПОРИ РОКУ

Ключові слова: пасивний будинок, тепловий баланс, стаціонарний теплообмін, вентилявані огороджувальні конструкції, тепловий потік.

Вступ. В Україні майже 40 % кінцевої енергії споживається будівлями, а енергоємність комунальних послуг майже в 4 рази перевищує середні показники країн з подібними кліматичними умовами [1]. Значне споживання енергії за повний цикл експлуатації будинків в Україні складає в середньому понад 300 кВт·год/ м² на рік опалюваної площі. При цьому, в житлових будинках створюється емісія близько 35 % всіх парникових газів [2]. Тому необхідність охорони навколишнього середовища через впровадження енергоефективного й пасивного будівництва є актуальним для сталого розвитку економіки держави.

Про необхідність забезпечення енергетичної безпеки Української держави наголошується у президентській Програмі економічних реформ на 2010–2014 р.р. “Заможне суспільство, конкурентоспроможна економіка, ефективна держава” та “Енергетичної стратегії України на період до 2030 року”. Одним із шляхів вирішення проблеми оптимізації споживання енергетичних ресурсів, які зазначені в рамках уже діючих та запланованих державних і міжнародних програм з підвищення енергоефективності та енергозощадження, є проектування пасивних будинків з використанням енергії сонячної радіації. Пасивне опалення будинку здійснюється при використанні відновлювальних джерел енергії, одним з яких є сонячне випромінювання. Конструкція будинку має бути запроєктована і розміщена так, щоб найбільш ефективно сприймати сонячне випромінювання в холодний період року. Якщо елементи будинку запроєктовані таким чином, що в холодний період можуть сприймати максимально можливу кількість енергії сонця, а в теплий період відбивати її, то таке проектування відповідає для пасивних будинків. Пасивне проектування будинку може значно зменшити експлуатаційні витрати, які йдуть на створення необхідних умов мікроклімату.

У будівництві досить широко використовують вентилявані огороджуючі конструкції (ВОК) з відкритими та замкненими шарами повітря. Останнім часом особливо цікавими для архітекторів є відкриті (вентилювані) конструкції.

Головним елементом ВОК є зовнішня стіна будинку в якій повітряний прошарок знаходиться між шаром ізоляції та фасадними плитами. Рух зовнішнього повітря у ВОК вздовж стіни будинку призводить до втрат тепла, однак повітря у вентиляваному шарі буде запобігати утворенню та скупченню конденсату. Це дозволить в зимовий період зберегти термічні властивості зовнішнього шару ізоляції будинку, зменшити витрати тепла на опалення та запобігти утворенню та розвитку грибкової плісняви. В літній період приміщення буде менше нагріватися, через охолодження стіни при надходженні повітря.

Відкриті огорожуючі конструкції широко використовуються при спорудженні стін, вентиляваних фасадів, горизонтальних перегородок (горищах, підлогах). ВОК також є ефективними в конструктивних елементах будинку для пасивного сонячного опалення (стіна Тромба). Прикладом такого застосування є елемент наскрізної ВОК, яка виконує роль каналу для подачі повітря у помешкання, а зовнішнє повітря нагрівається при русі вздовж прошарку і подається в приміщення. В стінах можливе застосування ВОК з метою однократного, двократного або багатократного руху повітря [3]. В літній період охолодження стіни в результаті надходження повітря скорочує обсяги надходження теплоти в приміщення та витрати коштів на кондиціонування, зменшує термічну деформацію матеріалу основи конструкції ВОК. Окрім перелічених вище функцій ВОК зберігає будинок від впливу атмосферного та механічного ушкоджень, запобігає проникненню води в пористі матеріали стін, яка в залежності від зовнішньої температури може замерзати, збільшуючись в об'ємі, танути та розповсюджуватися в будівельні конструкції і приводити до їх руйнування. Можливість заміни фасадного шару дозволяє подовжити термін експлуатації огорожуючих конструкцій і більш тривалий час зберігати привабливий архітектурний та естетичний вигляд. Отже можна зробити висновок, що ВОК разом з фасадним шаром виконує наступні функції:

- енергозаощадження (зменшення витрат на кондиціонування у літній період та капітальних видатків на будівництво масивних стін та фундаментів);
- охоронні (захищає конструкції стіни від механічних та атмосферних впливів, подовжуючи термін її експлуатації);
- естетичні.

Окрім того, ВОК може виконувати функцію акустичної ізоляції. Все вище згадане свідчить про те, що використання ВОК в конструкції будинків є дуже перспективним

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження енергоефективного будівництва відображені в роботах В.Н. Богословського, А.А. Долінського, Б.І. Баска, С.М. Гончарука, М.Ф. Калініна, І.К. Божко, Л.М. Кужель, Бойера Х., Е. Белоса, В. Файста, К.Ф. Фокина та інших. Основна мета дослідників полягала у розробці наукових та прикладних задач підвищення енергоефективності будинків шляхом їх реконструкції або при проектуванні, зниження втрат тепла та мінімізації витрат на обігрів житлових приміщень в будівлях з нульовим рівнем шкідливих викидів; нульовим споживанням енергії та енергоактивних будівель.

Одна з перших методик розрахунку процесів теплообміну у ВОК представлена в роботах [4]. Запропоноване рівняння для розрахунку зміни температури повітря вздовж вентиляваного шару ВОК є зручним для теплових розрахунків. Воно дозволяє визначити зміну температури повітря по довжині вентиляваного каналу та кількісно оцінити надходження тепла в будинок. Автор роботи розглядав ВОК як відкритий повітряний канал в якому через одну стінку тепловий потік рухається від повітря в приміщення до повітря в каналі, а через протилежну стінку виходить в атмосферу. Рівняння отримано на основі теплового балансу в повітряному каналі. В результаті математичних перетворень отримано формулу для розрахунку температури повітря в каналі на відстані x від точки надходження повітря до каналу

$$t_x = \frac{(k_g t_g + k_H t_H) + [t_0 (k_g + k_H) - (k_g t_g + k_H t_H)] e^{\frac{k_g - k_H}{W_c} x}}{k_g + t_g}, \quad (1)$$

де t_0 – температура повітря, що надходить до каналу.

Аналізуючи рівняння (1), можемо заробити наступні висновки:

– одним з головних недоліків цього рівняння є те, що процеси теплообміну представлені як один загальний фізичний процес; у випадку конвективного теплообміну потік тепла пропорційний до різниці температури у першому ступені, натомість при теплообміні шляхом випромінювання – у четвертому ступені, згідно закону Стефана-Больцмана;

– при спільному теплопереносі конвекцією та випромінюванням складно визначити кількісний внесок кожної складової в загальному процесі теплообміну, як наслідок важко відповісти на питання, що було б ефективніше: збільшення віддачі тепла через елеваційні плити або інтенсифікація процесу нагріву повітря і ВОК (це неможливо підтвердити розрахунково);

– за допомогою рівняння (1) неможливо визначити як впливає на потік тепла вибір конструкційне рішення або матеріал з якого складаються елементи ВОК, крім того, неможливо визначити коефіцієнт тепловіддачі;

– рівняння (1) не досить коректно віддзеркалює фізичний зміст процесів теплообміну.

Аналізуючи дослідження присвячені математичному моделюванню процесів теплообміну в відкритих вентиляваних огорожуючих конструкціях, ми прийшли до висновку, що запропоновані в роботі [5–6] рівняння (2, 3) не в повній мірі висвітлюють фізичний зміст теплового балансу для конструкцій будинку.

$$Q_{\text{сонця}} + Q_{\text{відб}} + Q_{\text{с-о}} + Q_{\text{з-р}} + Q_{\text{о-с}} + Q_{\text{з-с}} = 0; \quad (2)$$

$$Q_{\text{с-о}} + Q_{\text{з-с}} + Q_{\text{рад.кіми}} + Q_{\text{конв.кіми}} = 0, \quad (3)$$

де $Q_{\text{сонця}}$ – сонячне випромінювання; $Q_{\text{відб}}$ – сонячне випромінювання, що відбивається зовнішньою поверхнею; $Q_{\text{с-о}}$, $Q_{\text{о-с}}$ – променевий потік тепла відповідно між зовнішнім шаром і оточенням а також між оточенням і стіною; $Q_{\text{з-р}}$, $Q_{\text{з-с}}$ – конвективний потік тепла відповідно між зовнішнім шаром стінки і повітрям в каналі і конвективний потік тепла в повітрі.

Рівняння (2) може характеризувати тепловий баланс зовнішнього шару вентиляваного фасаду у тому випадку, коли всі знаки «+» замінити знаком «-». Варто також використати спрощуюче припущення: тепловий опір зовнішнього шару приймає невеликі значення і можна його не враховувати. Рівняння (3) не є рівнянням теплового балансу повітря в каналі а також поверхонь вентиляваного каналу. Для наближених розрахунків нагріву повітря у ВОК може бути також застосована методика визначення середньої температури в каналі [7,8]. В основі методики закладено тепловий баланс для певної точки перетину повітряного шару. Головним недоліком цієї методики є те, що неможливо оцінити зміну температури повітря у часі при русі повітря вздовж поверхні, В роботі [9,10] запропоновано наступне рівняння для визначення середньої температури повітря

$$t_p = \frac{U_i F_i t_i + U_e F_e t_e + c_p G_N t_g}{U_i F_i + U_e F_e + c_p G_N}, \quad (4)$$

де U_i, U_e – коефіцієнти теплопровідності даху і фасаду відповідно; F_i, F_e – площа поверхні фасаду і даху; t_i, t_e – температура внутрішнього і зовнішнього повітря; c_p – теплоємність повітря; G_N – витрати повітря.

Рівняння (4) було записано на підставі теплового балансу повітря при відомій швидкості руху зовнішнього повітря.

$$U_i F_i (t_i - t_p) + c_p G_N t_e = U_e F_e (t_p - t_e) + c_p G_N t_p. \quad (5)$$

Для розрахунку витрати повітря використовують рівняння (6), яке отримано з урахуванням втрат тиску на місцевих опорах (на вході повітря) і тиску вітру

$$G_N = \mu_N F_N \sqrt{2K_1 \frac{v^2}{2} \rho_N^2}, \quad (6)$$

де μ_N – коефіцієнт потоку $\mu_N = \frac{1}{\sqrt{\xi}}$; F_N – площа поверхні отвору для надходження повітря; K_1 – аеродинамічний коефіцієнт; ρ_N – густина зовнішнього повітря.

Тиск вітру в роботі [14] автор визначає з наступного рівняння

$$\Delta p_N = K_1 \frac{v^2}{2} \rho_N. \quad (7)$$

Варто зауважити, що рівняння (7) не враховує втрати тиску в прошарку горища. Аналізуючи наведене вище рівняння можна стверджувати, що автор припустив, що частина динамічного тиску, яка перетворюється в статичний тиск, повністю втрачається на вході в канал. В зв'язку з тим неможливо стверджувати про точність розрахунків за рівнянням (6) навіть з урахуванням коефіцієнта 2. Після розрахунку температури t_p можна записати тепловий баланс відповідної поверхні і визначити середню температуру поверхні. Зміна температури повітря вздовж поверхні каналу не враховується також в роботі [11, 12], де з урахуванням не стаціонарності розглядаються процеси теплообміну у відкритому каналі – конструктивному елементі стіни Тромба. Рівняння теплового балансу, що представлено в роботі, для скляної поверхні не є коректним. В холодний період року поверхня буде нагріватися випромінюванням від масивної стіни, а потім частина теплового потоку втрачається до зовнішнього середовища, а не навпаки як стверджує автор. Ця неточність впливає також на коректність запису рівняння, яке характеризує граничні умови на поверхні масивної стінки.

В розрахунках процесів теплообміну в відкритих огорожуючих конструкціях поняття рівноважної температури часто використовується для розрахунку теплових потоків через непрозорі конструкції будинку [13,14]. Рівняння теплового балансу для розрахунку рівноважної температури має вигляд

$$\alpha_z (t_s - t_z) = \alpha_z (t_z - t_s) + I_c a. \quad (8)$$

З рівняння (8) можна визначити рівноважну температуру

$$t_s = t_z + \frac{I_c a}{2\alpha_z} \quad (9)$$

В рівняннях (8), (9):

a – коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання; I_c – щільність сонячного випромінювання, Вт/м²; α_z – коефіцієнт тепловіддачі; t_{ot} – температура зовнішнього повітря; t_z – температура зовнішньої поверхні огороження.

При виводі рівняння (8) прийнято спрощення, що α_z , який характеризує процес теплопереносу від повітря з рівноважною температурою до зовнішньої поверхні дорівнює коефіцієнту тепловіддачі від зовнішнього повітря до зовнішньої поверхні конструкції. Насправді це не так. По перше, тому, що $(t_s - t_z) \geq (t_{ot} - t_z)$. Зазвичай при нагріванні зовнішньої поверхні її температура вища ніж температура зовнішнього повітря. В роботах [15,16] пропонується значення α_z , які можуть відрізнятися більш ніж у два рази. Досить коректно коефіцієнт α_z можна визначити тільки після розрахунку температури поверхні огороження t_z .

Мета роботи. Розробка математичної моделі теплообміну при русі повітря у вентильованих огорожуючих конструкціях для визначення зміни температури повітря та кількісної оцінки надходження тепла у приміщення для теплої пори року.

Виклад основного матеріалу. Головна функція, яку виконує ВОК у теплий період року є зменшення надходження тепла до приміщення. Надходження тепла залежить від інтенсивності сонячного випромінювання. При скороченні теплових надходжень в будівлю можна значно зменшити експлуатаційні витрати систем акліматизації і одночасно зберегти оптимальні параметри мікроклімату в приміщенні. При інтенсивному сонячному випромінюванні на зовнішній поверхні ВОК температура буде значно вищою ніж температура зовнішнього повітря. В такому разі частина теплового потоку від зовнішньої поверхні буде скерована до зовнішнього повітря, а друга частина до приміщення. Тепловий потік, що скерований до приміщення розділяється наступним чином: одна частина разом з повітрям, що рухається в каналі ВОК, повертається до зовнішнього повітря, а друга частина надходить до приміщення.

Основними елементами ВОК є зовнішні та внутрішні огорожуючі конструкції, стіни будівлі.

Тепловий баланс на зовнішній поверхні ВОК. В зазначеній методиці значення коефіцієнтів тепловіддачі приймаються наближено. Якщо для масивних конструкцій будинку з достатньо великим тепловим опором значення коефіцієнта тепловіддачі не суттєво впливає на коефіцієнт теплопередачі. Для ВОК з незначним тепловим опором орієнтовно прийнятий коефіцієнт тепловіддачі вносить велику похибку в кінцевий результат розрахунку. Для найбільш коректного визначення коефіцієнта тепловіддачі визначимо температуру зовнішньої поверхні конструкції будинку. Схему теплових потоків показано на рисунку 1.

Нагріта поверхня частково віддає тепло до зовнішнього повітря шляхом променево-конвективного теплообміну. Друга частина теплового потоку надходить у приміщення шляхом теплопровідності. Таким чином можна записати наступні рівняння:

$$\alpha_p Q_{\text{сонця}} = Q_i + Q_g, \quad (10)$$

де Q_g – тепловий потік від зовнішньої поверхні до навколишнього середовища, $Q_g = Q_{r_{s-a}} + Q_{c_{s-e}}$; Q_i – тепловий потік до приміщення, що надходить теплопровідністю.

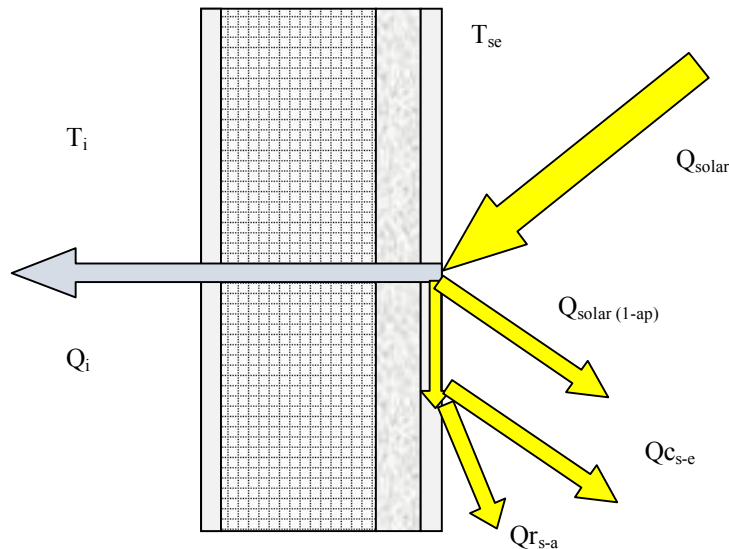


Рисунок 1 – Схема теплових потоків на зовнішній поверхні конструкції будинку:
 Q_{solar} – інтенсивність сонячного випромінювання; α_p – коефіцієнт поглинання поверхні;
 $Q_{r_{s-a}}$ – тепловий потік випромінюванням; $Q_{c_{s-e}}$ – конвективний тепловий потік;
 T_{s-e} – температура зовнішньої поверхні конструкції будинку

З рівняння (10)

$$Q_g = \alpha_p Q_{\text{сонця}} - Q_i \quad (11)$$

або

$$Q_i = \alpha_p Q_{\text{сонця}} - \alpha_g (T_{se} - T_g), \quad (12)$$

де α_g – коефіцієнт конвективно-променевої тепловіддачі (Вт/(м²К)).

Для стаціонарного процесу теплопровідності можна також записати рівняння

$$Q_i = \frac{\lambda}{\delta} (T_{se} - T_{si}); \quad (13)$$

$$Q_i = \alpha_i (T_{si} - T_i), \quad (14)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності конструкції будинку; δ – товщина прошарку; α_i – коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні конструкції; T_{si} – температура внутрішньої поверхні конструкції; T_i – температура в приміщенні.

Рівняння (12) можна записати в наступному вигляді

$$Q_i = \alpha_p Q_{\text{сонця}} - \alpha_e (T_e - T_{s_i}). \quad (15)$$

З рівнянь (13)–(15) визначимо різницю температур:

$$T_e - T_i = \frac{1}{\alpha_e} (Q_i - \alpha_p Q_{\text{сонця}}) + \frac{\lambda}{\delta} Q_i + \frac{1}{\alpha_i} Q_i \quad (16)$$

або

$$T_e - T_i = \frac{1}{\alpha_e} (Q_i - \alpha_p Q_{\text{сонця}}) + Q_i \left[\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\lambda}{\delta} + \frac{1}{\alpha_i} \right] - \frac{\alpha_p}{\alpha_e} Q_{\text{сонця}}; \quad (17)$$

$$Q_i = k(T_e - T_i) + k \frac{\alpha_p}{\alpha_e} Q_{\text{сонця}}, \quad (18)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі.

Якщо замінити частину потоку тепла випромінюванням

$$Q_s = k \frac{\alpha_p}{\alpha_e} Q_{\text{сонця}} \quad (19)$$

еквівалентним тепловим потоком,

$$Q_s = Q_r, \quad (20)$$

то тепловий баланс не зміниться. Еквівалентний тепловий потік визначається залежністю

$$Q_r = \alpha_e^r (T_r - T_e), \quad (21)$$

де α_e^r – еквівалентний коефіцієнт тепловіддачі; T_r – еквівалентна температура.

Для використання рівняння (12) необхідно знати α_e^r , T_r . З урахуванням рівнянь (19)–(21) отримаємо

$$k \frac{\alpha_p}{\alpha_e} Q_{\text{сонця}} = \alpha_e^r (T_r - T_e) \quad (22)$$

або

$$T_r = T_e + \frac{k}{\alpha_e^r} \frac{\alpha_p}{\alpha_e} Q_{\text{сонця}}. \quad (23)$$

Аналізуючи рівняння (21) зауважимо, що еквівалентний коефіцієнт тепловіддачі α_e^r можна приймати виходячи з рекомендацій літературних джерел, а температуру T_r

необхідно визначити з рівняння (21) або (22). Для спрощення (23) можна прийняти, що $\alpha_e^r = k$, тоді (23) перетвориться до

$$T_r = T_e + \frac{\alpha_p}{\alpha_e} Q_{\text{сонця}}. \quad (24)$$

Якщо значення еквівалентної температури відоме, то

$$Q_s = Q_r = \alpha_e^r (T_r - T_e) = k(T_r - T_e) \quad (25)$$

або

$$Q_i = k(T_e - T_i) + k(T_r - T_e) = k(T_e - T_i). \quad (26)$$

Особливості математичної моделі процесів теплообміну у непрозорій ВОК.

Аналізуючи отримані вище рівняння, можна прийти до висновку, що для розрахунків процесу проникнення тепла через конструкцію будинку з ВОК доцільно використовувати не еквівалентну температуру, а рівняння теплового балансу поверхні. Таким чином на першому етапі визначається зовнішня температура поверхні, а потім тепловий потік. До системи балансових рівнянь необхідно додати рівняння теплового балансу зовнішньої поверхні. На рисунку 2 показана схема розподілу теплових потоків.

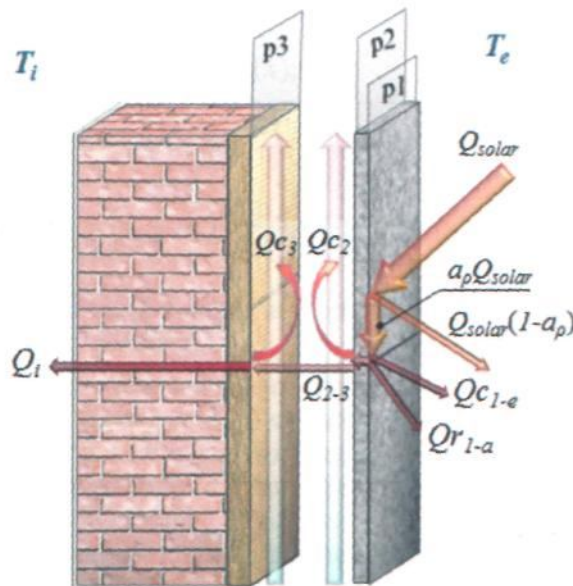


Рисунок 2 – Схема розподілу теплових потоків

На основі фізичної моделі представимо математичну модель процесу теплообміну

$$\left\{ \begin{aligned}
 & \alpha_p Q_{\text{сонця}} - \alpha_\epsilon (T_1(x) - T_\epsilon) dx \cdot 1 = \epsilon_1 c_0 \left[\left(\frac{T_1(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{surr}} + 273}{100} \right)^4 \right] dx \cdot 1 + \\
 & + \frac{T_1(x) + T_2(x)}{R_1} dx \cdot 1, \\
 & \frac{T_1(x) + T_2(x)}{R_1} dx \cdot 1 = \epsilon_2 c_0 \left[\left(\frac{T_2(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3(x) + 273}{100} \right)^4 \right] dx \cdot 1 + hc_2 (T_2(x) - \\
 & - T_{a2}(x)) dx \cdot 1, \\
 & k_3 (T_3(x) - T_i) dx \cdot 1 = \epsilon_{2-3} c_0 \left[\left(\frac{T_2(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3(x) + 273}{100} \right)^4 \right] dx \cdot 1 - hc_3 (T_3(x) - \\
 & - T_{a3}(x)) dx \cdot 1, \\
 & cG_2 dT_{a2}(x) = hc_2 (T_2(x) - T_{a2}(x)) dx \cdot 1, hc_3 (T_3(x) - T_{a3}(x)) dx \cdot 1 = cG_3 dT_{a3}(x), \\
 & \left(\sum \xi + \lambda_f \frac{h}{D_h} \right) \frac{v_m^2}{2} \rho_m = (n_1 - n_2) \frac{v_w^2}{2} \rho_\epsilon + Hg(\rho_\epsilon - \rho_m),
 \end{aligned} \right. \quad (27)$$

де R_1 – тепловий опір зовнішньої частини вентилязованого фасаду.

Математична модель процесів теплообміну у прозорій ВОК. Прозорі зовнішні вентилязовані огорожуючі конструкції будівель часто використовують в системах пасивного опалення. Фізична модель процесу теплообміну в такій системі представлена на рис. 3.

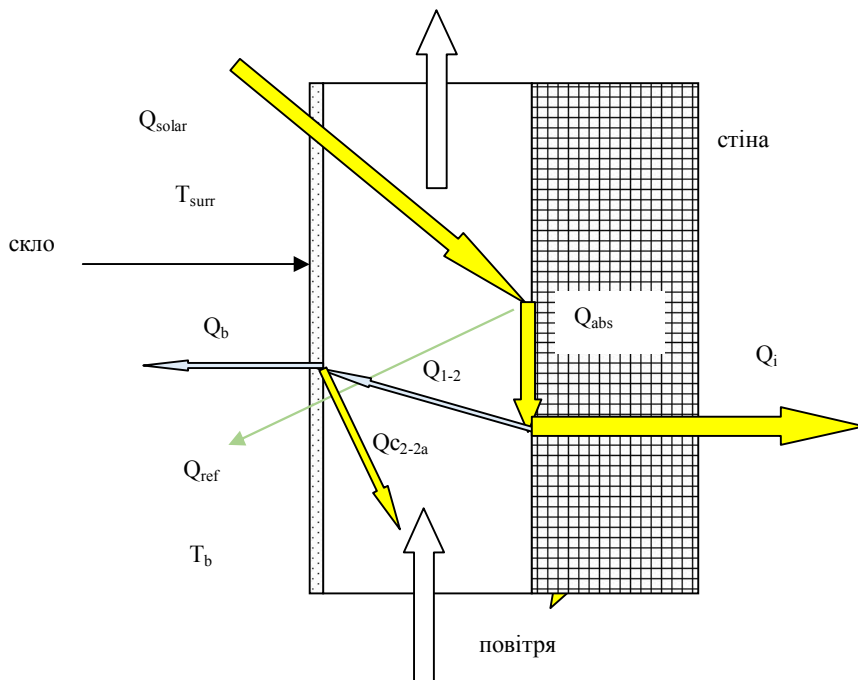


Рисунок 3 – Схема розподілу теплових потоків у прозорій ВОК

Оскільки прозорі конструкції пропускають сонячне випромінювання, то потік Q_{solar} передається до зовнішньої поверхні масивної стіни. Частина цього потоку поглинається масивною стіною (Q_{abs}) і частково відбивається від поверхні (Q_{ref}). Біля поверхні стіни відбувається конвективний теплообмін між поверхнею і повітрям ($Q_{C_1-\alpha_1}$). Через масивну стіну частина тепла Q_i передається теплопровідністю. Оскільки скло не є прозорим для випромінювання довгих хвиль, то воно буде поглинати частину випромінювання Q_{1-2} , в результаті температура скла буде підвищуватися. біля поверхні скла також відбувається конвективний теплообмін ($Q_{C_2-\alpha_2}$). Зовнішня поверхня віддає тепло до зовнішнього середовища (Q_e). На підставі фізичної моделі (рис. 3) можна записати систему рівнянь

$$\begin{cases} Q_{abs} = Q_{1-2} + Q_{C_1-\alpha_1} + Q_i, \\ Q_{1-2} = Q_{C_2-\alpha_2} + Q_e, \\ cG\Delta T_{a1} = Q_{C_1-\alpha_1} + Q_i, \\ cG\Delta T_{a2} = Q_{C_2-\alpha_2} + Q_i \end{cases} \quad (28)$$

або

$$\begin{cases} \alpha_p t Q_{соня} = \varepsilon_{1-2} c_0 \left[\left(\frac{T_1(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2(x) + 273}{100} \right)^4 \right] dx \cdot 1 + \\ + hc_1 (T_1(x) - T_{a1}(x)) dx \cdot 1 + k_1 (T_1(x) - T_i) dx \cdot 1, \\ \varepsilon_{2-3} c_0 \left[\left(\frac{T_1(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2(x) + 273}{100} \right)^4 \right] dx \cdot 1 = \\ = hc_2 (T_2(x) - T_{a2}(x)) dx \cdot 1 + k_2 (T_2(x) - T_e) dx \cdot 1, \\ hc_1 (T_1(x) - T_{a1}(x)) dx \cdot 1 = cG_1 dT_{a1}(x), \\ hc_2 (T_2(x) - T_{a2}(x)) dx \cdot 1 = cG_2 dT_{a2}(x) \\ \left(\sum \xi + \lambda_f \frac{h}{D_h} \right) \frac{v_m^2}{2} \rho_m = (n_1 - n_2) \frac{v_m^2}{2} \rho_e + H_g (\rho_e - \rho_m) \end{cases} \quad (29)$$

При формулюванні математичної моделі (29) припущено, що тепловий опір скла дорівнює нулю.

З метою зменшення теплового потоку випромінюванням зазвичай використовують різні протисонячні конструктивні елементи [24]. На рис. 4 представлена схема конструкції ВОК, теплові потоки якої можна представити у виді системи рівнянь

$$\left. \begin{aligned}
 \alpha_p t Q_{\text{сонця}} &= \varepsilon_{1-3} c_0 \left[\left(\frac{T_1(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3(x) + 273}{100} \right)^4 \right] dx \cdot b + \\
 &+ hc_1 (T_1(x) - T_{a_1}(x)) dx \cdot b + \\
 &+ \varepsilon_{1-2} c_0 \left[\left(\frac{T_1(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2(x) + 273}{100} \right)^4 \right] dx \cdot b + \\
 &+ k_1 (T_2(x) - T_i) dx \cdot b, \\
 \varepsilon_{1-3} c_0 &\left[\left(\frac{T_1(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3(x) + 273}{100} \right)^4 \right] dx \cdot b = \\
 &= hc_3 (T_3(x) - T_{a_3}(x)) dx \cdot b + k_3 (T_3(x) - T_i) dx \cdot b, \\
 \varepsilon_{1-2} c_0 &\left[\left(\frac{T_1(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2(x) + 273}{100} \right)^4 \right] dx \cdot b = \\
 &= hc_2 (T_2(x) - T_{a_2}(x)) dx \cdot b + \\
 &+ \varepsilon_2 c_0 \left[\left(\frac{T_2(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{surr}} + 273}{100} \right)^4 \right] dx \cdot b, \\
 2hc_1 (T_1(x) - T_{a_1}(x)) dx \cdot b &= \frac{cG}{2} \frac{dT_{a_1}(x)}{dx}, \\
 hc_2 (T_2(x) - T_{a_2}(x)) dx \cdot b &= \frac{cG}{4} \frac{dT_{a_2}(x)}{dx}, \\
 hc_3 (T_3(x) - T_{a_3}(x)) dx \cdot b &= \frac{cG}{4} \frac{dT_{a_3}(x)}{dx} \\
 \left(\sum \xi + \lambda_f \frac{h}{D_h} \right) \frac{v_m^2}{2} \rho_m &= (n_1 - n_2) \frac{v_m^2}{2} \rho_s + H_g (\rho_s - \rho_m)
 \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

Пропозиції та обговорення. На основі проведеного аналізу літературних джерел можна стверджувати, що класична методика оцінки теплообмінних процесів у ВОК базується на рівняннях теплового балансу повітря для нескінченно малого об'єму dx . При використанні цього рівняння неможлива врахувати розподіл променевого та конвективного потоків тепла, а також оцінити вплив втрат енергії. Процес теплообміну краще представити у вигляді системи рівнянь, враховуючих недоліки існуючих методів, які представлені в попередньому аналізі.

В математичній моделі (27) перше, друге і третє рівняння системи характеризують теплові баланси поверхонь p_1, p_2, p_3 (див. рис. 1 та 2). Четверте і п'яте рівняння (27) описують теплові баланси повітря. Математична модель (27) застосовується для умов, коли температура зовнішньої поверхні ВОК вище, ніж температура зовнішнього повітря.

Якщо сонячне випромінювання не потрапляє на зовнішню поверхню ВОК, то тепло у приміщенні буде надходити тільки від зовнішнього повітря.

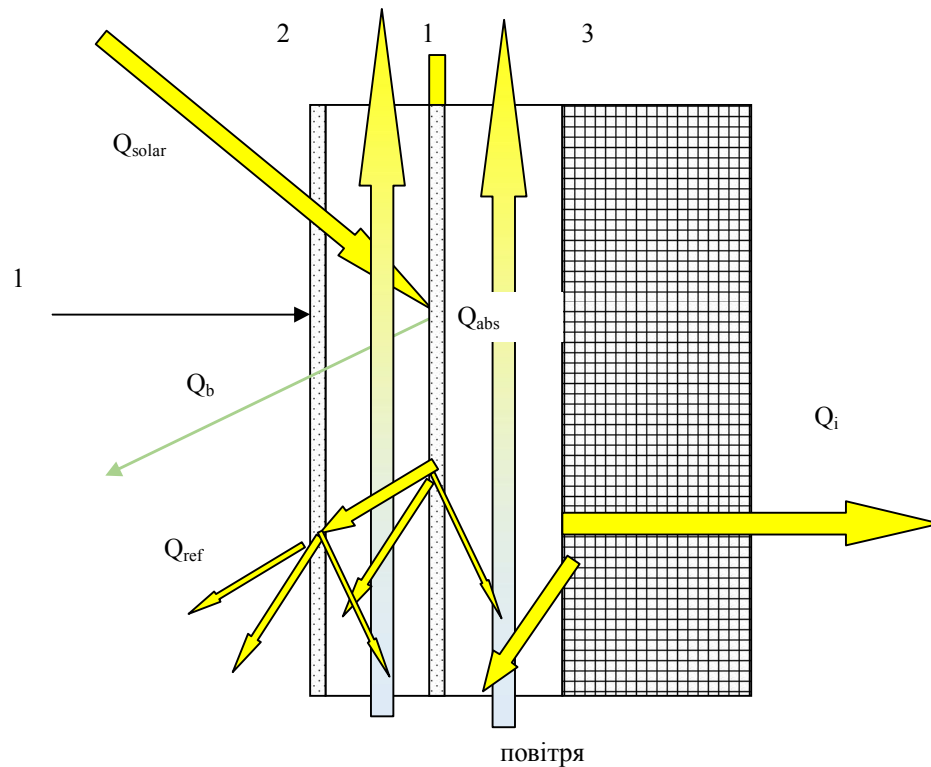


Рисунок 4 – Схема розподілу теплових потоків:
1– скло; 2– заслінка; 3– масивна стіна

Результати розрахунків розподілу температур поверхонь та повітря за допомогою рівнянь математичної моделі (27) представлені графічно на рис. 5.

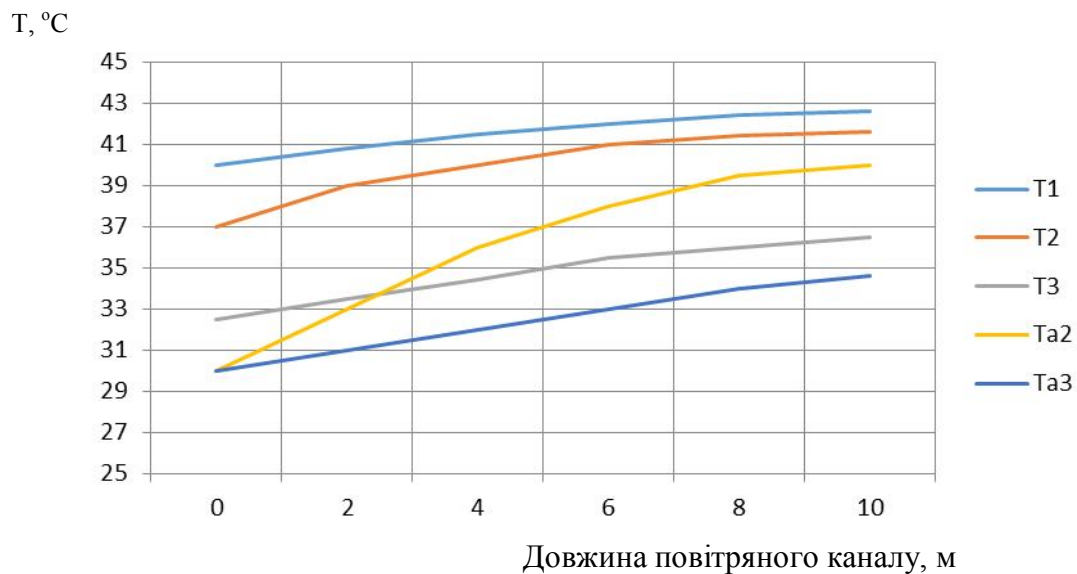
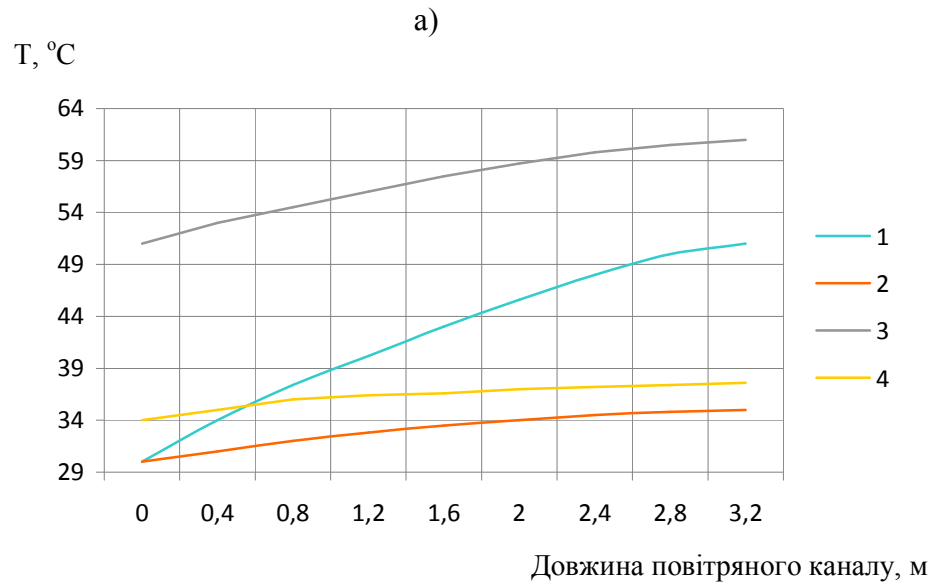
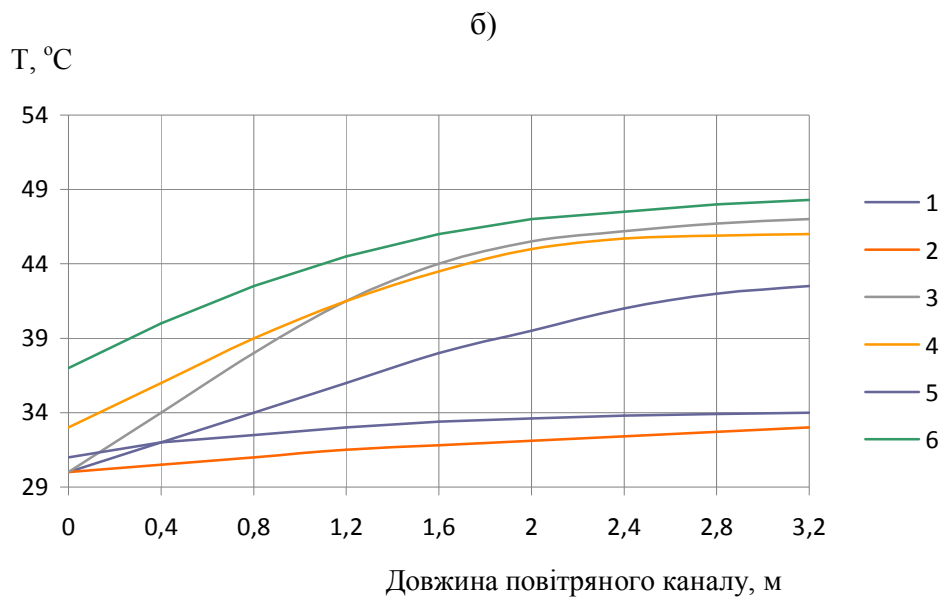


Рисунок 5 – Графіки розподілу температур поверхонь ВОК та повітря в каналі

Перші три рівняння системи (30) характеризують тепловий баланс відповідно заслонки, зовнішньої поверхні масивної стіни і скла. Рівняння 4-6 системи (30) описують тепловий баланс повітря, що рухається відповідно біля заслонки, зовнішньої поверхні масивної стіни і внутрішньої поверхні скла. Рівняння 7 (30) – рівняння руху повітря у каналі. Представлена математична модель записана для стаціонарного теплообміну. Результат розрахунку наведений на рис. 6.



1- температура повітря біля масивної стіни; 2 – температура повітря біля скляної стіни;
3 – температура поверхні стіни; 4 – температура скляної стінки



1 – температура повітря біля масивної стіни; 2 – температура повітря біля скляної стіни;
3 – температура повітря біля заслонки; 4 – температура поверхні стіни; 5 – температура скла;
6 – температура заслонки

Рисунок 6 – Розрахункові графіки

Висновки. На підставі аналізу даних представлених в даному розділі можна зробити наступні висновки.

1. Для теплого періоду року запропонована фізична і математична модель теплообміну повітря у ВОК, що базується на рівняннях теплового балансу. Розроблені моделі характеризують стаціонарний процес теплообміну для перехідних процесів нагрівання повітря.

2. Запропоновані математичні моделі можна використовувати для розрахунку ВОК для випадків поєднання повітряного каналу як з зовнішнім так і з внутрішнім повітрям (у приміщенні).

Література

1. Долінський, А.А. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації [Текст] / А.А. Долінський, – К.: 2007. – 827 с.

2. Долінський, А.А. Створення експериментального енергоефективного будинку пасивного типу [Текст] / А.А. Долінський, Б.І. Басок // Праці Восьмої науково-практичної конференції «Енергетична безпека на транспорті: підвищення енергоефективності, зниження залежності від природного газу», 9–10 жовтня 2014 року, м. Київ, с. 26–30.

3. Гончарук, С.М. Створення експериментального енергоефективного будинку пасивного типу «нуль енергії» [Текст]/ С.М. Гончарук, М.Ф. Калініна, І.К. Божко, Л.М. Кужель, О.М. Лисенко // Пром. Теплотехніка.– 2014.– т. 36. – №3. – С. 88–95.

4. Недбайло, А.Н. Особенности теплопередачи через многослойную ограждающую конструкцию в нестационарном режиме [Текст]/ Керамика: наука и жизнь. – №1 (22). – 2014. – С. 4–9.

5. Степаненко, О.І. Пасивний будинок – шлях до ефективного використання енергії [Текст]/ О.І. Степаненко, В.В. Дубровська // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – № 3. – С. 56–58.

6. Беляев В.С. Вентилируемые стеновые панели [Текст]/ / В.С. Беляев, Н.В. Борисова, Г. Ижевская, Я.П. Бондарь, Сельское строительство. – 1984. –№1. – С. 12–14.

7. Bajc T. CFD analyses for passive house with Trombe wall and impact to energy demand / T.Bajc, M. Todorovic, J. Svorcan // Energy and Buildings. –2014. – Vol. 15. – P. 30–33.

8. Jinling Z. Dynamic thermal performance simulation of an improved passive solar house with Trombe wall / Z. Jinling, C. Bin, L. Jingjun, W. Yongxun // Beijing China: ISES Solar word Congress.– 2007. – Vol.1. – P. 2234–2237.

9. Boyer H. Heat transfer in buildings: application to air solar heating and Trombe wall design / H. Boyer, F. Miranville, D. Bigot, S. Guichard, I. Idriss, A. Jean // Evaporation, condensation and heat transfer. – 2011. – p. 227–244.

10. Lobna M. A numerical study of heating and cooling by a Trombe wall in Tunisia / M. Lobna, L. Dehmani // The fifth International Renewable energy congress.– Tunisia: Hammamet.– 2014.

11. Bellos E. An innovative Trombe wall as a passive heating system for a building in Athens. A comparison with the conventional Trombe wall and the insulated wall / E. Bellos, C. Tzivanidis, E. Zisopoulou, G. Mitsopoulos // Energy and Buildings.– 2016.–Vol. 133. –Pages 754–769.

12. Yin Z. of a Composite Trombe Wall to Adapt to the Climate in Victoria, Canada / Z. Yin. –BEng, Northwestern Polytechnical Simulation and Modification University, 2016.– 64 с.
13. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика [Текст]/ В.Н. Богословский. – М. : Высшая школа, 1982. – 415 с.
14. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / [Текст]/ К.Ф. Фокин.–М.: АВОК-Пресс, 2006. –256 с.
15. Клемм, П. Загальне будівництво.Будівельна фізика Т.2 [Текст]/ П. Клемм. – Варшава: Аркадій, 2006.
16. Михеев, М.А. Основы теплопередачи [Текст]/ М.А. Михеев, И.М. Михеева. –М.: Энергия, 1977. –344 с.

Bibliography (transliterated)

1. Dolinskyi A.A. Komunalna teploenerhetyka Ukrainy: stan, problemy, shliakhy modernizatsii. Kyiv, 2007. 827 p.
2. Dolinskyi A.A., Basok B.I. Stvorennia eksperymentalnoho enerhoefektyvnoho budynku pasyvnoho typu: proceedings // Enerhetychna bezpeka na transporti: pidvyshchennia enerhoefektyvnosti, znyzhennia zalezhnosti vid pryrodnoho hazu. Kyiv, 2014. P. 26–30.
3. Stvorennia eksperymentalnoho enerhoefektyvnoho budynku pasyvnoho typu «nul enerhii» / Honcharuk S. M. et al. // Promyslova teplotekhnika. 2014. Vol. 36, No. 3. P. 88–95.
4. Nedbaylo A.N. Osobennosti teploperedachi cherez mnogoslounuyu ograzhdayushhuyu konstruktsiyu v nestatsionarnom rezhime // Keramika: nauka i zhizn. 2014. No. 1 (22). P. 4–9.
5. Stepanenko O.I., Dubrovska V.V. Pasyvnyi budynok – shliakh do efektyvnoho vykorystannia enerhii // Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. 2014. No. 3. P. 56–58.
6. Ventiliruemye stenovye paneli / Belyaev V. S. et al. // Sel'skoe stroitel'stvo. 1984. No. 1. P. 12–14.
7. Bajc T., Todorovic M.N., Svorcan J. CFD analyses for passive house with Trombe wall and impact to energy demand // Energy and Buildings. 2015. Vol. 98. P. 39–44. doi:10.1016/j.enbuild.2014.11.018.
8. Dynamic thermal performance simulation of an improved passive solar house with Trombe wall / Jinling Z. et al. // Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol. I–Vol. V). 2007. Vol. 1. P. 2234–2237. doi:10.1007/978-3-540-75997-3_451.
9. Heat transfer in buildings: application to air solar heating and Trombe wall design / Boyer H. et al. // Evaporation, condensation and heat transfer. 2011. P. 227–244. doi:10.5772/23025.
10. Lobna M., Dehmani L. A numerical study of heating and cooling by a Trombe wall in Tunisia // The fifth International Renewable energy congress. Tunisia: Hammamet, 2014. doi:10.1109/irec.2014.6826940
11. An innovative Trombe wall as a passive heating system for a building in Athens-A comparison with the conventional Trombe wall and the insulated wall / Bellos E. et al. // Energy and Buildings. 2016. Vol. 133. P. 754–769. doi:10.1016/j.enbuild.2016.10.035.
12. Yin Z. Simulation and Modification of a Composite Trombe Wall to Adapt to the Climate in Victoria, Canada. University of Victoria, 2016. 65 p.
13. Bogoslovskiy V.N. Stroitel'naya teplofizika. Moscow: Vysshaya shkola, 1982. 415 p.

14. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ogradhdayushhikh chastei zdaniy /ed. by Tabunshnikov Yu.A., Gagarin V.G. Moscow: AVOK-Press, 2006. 256 p.

15. Klemm P. Zahalne budivnytstvo. Budivelna fizyka. Vol. 2. Warsaw: Arkadij, 2006.

16. Mikheev M.A., Mikheeva I.M. Osnovy teploperedachi. Moscow: Energiya, 1977. 344 p.

УДК 697.9

Лимаренко А.Н., преподаватель

*Миргородский художественно-промышленный колледж им. Н.В. Гоголя
Полтавского национального технического университета им. Юрия Кондратюка*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ДЛЯ ТЕПЛОГО ВРЕМЕНИ ГОДА

В данной статье предложена физическая и математическая модель теплообмена воздуха в вентилируемых ограждающих конструкциях (ВОК), базирующаяся на уравнениях теплового баланса для теплого периода года. Разработанные модели характеризуют стационарный процесс теплообмена для переходных процессов нагрева воздуха. Предложенные математические модели позволят определять изменения температуры воздуха вдоль вентилируемого слоя ограждающих конструкций и количественно оценивать поступления или потери тепла в помещение в теплое время года.

Lymarenko Oleksiy

MODELING OF HEAT EXCHANGE PROCESSES IN VENTILATED ENERGY STRUCTURES FOR HEAT TIME OF THE YEAR

In this article, the physical and mathematical models of air heat transfer in ventilated enclosing structures (VES) is proposed based on the heat balance for the warm period of the year. The developed models characterize the stationary heat transfer process for the transitional processes of air heating. The proposed mathematical models will allow to determine changes in the temperature of air along the ventilated layer of enclosing structures and to quantify the incoming or loss of heat in the premises during the warm season.

УДК 661.566

Пугановський О.В., ст. викладач, Подустов М.О., д.техн.н., професор,
Букатенко О.І., к.техн.н., доцент, Литвиненко Є.І., к.техн.н., доцент,
Горбунова О.В., асистент

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ

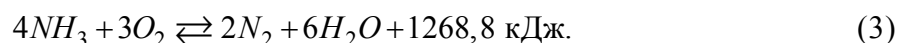
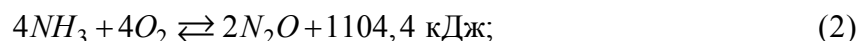
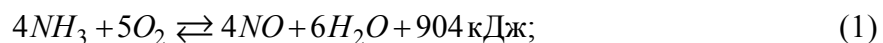
Ключові слова: нітратна кислота, абсорбція, автоматизація, система управління, нечітке управління

Вступ. Азотовмісні сполуки є основою багатьох галузей промисловості та найбільшим споживачем залишається аграрний сектор. Потреби у мінеральних азотовмісних добривах щорічно підвищуються, наразі набувають поширення технології закритого ґрунту та гідропонні технології. Україна має величезний аграрний потенціал, розкриття якого не можливе без забезпечення азотовмісними мінеральними добривами. Єдиним джерелом отримання азотовмісних сполук є їхній синтез із аміаку або нітратної кислоти.

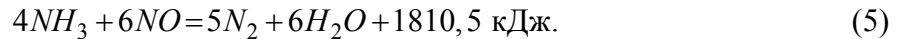
Наразі основним промисловим способом одержання нітратної кислоти є каталітичне окислення аміаку киснем повітря з подальшим поглинанням отриманих оксидів нітрогену водою. В Україні діють установки з комбінованими схемами у яких окислення проходить під атмосферним тиском а абсорбція відбувається під тиском 0,343 МПа. Також є установки під єдиним тиском 0,716 МПа і великотоннажні установки АК-72, АК-72М з тиском на стадіях конверсії та абсорбції відповідно 0,392 і 1,079 МПа. Очищення викидів від залишків оксидів нітрогену у великотоннажних агрегатах проводять за допомогою високотемпературних каталізаторів з використанням природного газу в якості відновника. Недоліком такого очищення є викид у атмосферу оксидів вуглецю і зниження економічних показників виробництва.

Аналіз технологічних процесів. Виробництво нітратної кислоти, що використовується в Україні складається з трьох основних стадій [1]: окиснення аміаку, абсорбції оксидів нітрогену, каталітичного очищення викидів. Кожна із стадій має свої особливості, зміни у роботі попередніх стадій дає сильний ефект у роботі наступних.

На першому етапі відбувається окиснення аміаку за рівняннями

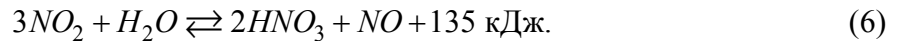


Відхилення від технологічного режиму викликають збільшення частки реакцій, що ведуть до втрат аміаку та як наслідок зниження ефективності процесу:



Наслідком реакцій (4) і (5) є також зниження кінцевої концентрації нітрозних газів і порушення технологічного режиму абсорбційної колони.

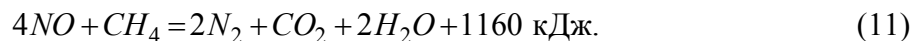
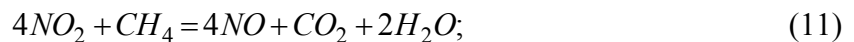
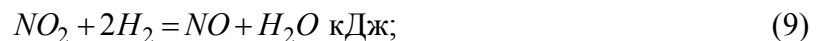
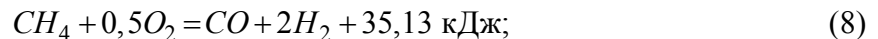
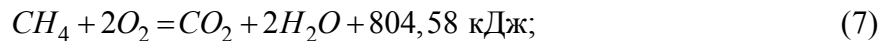
Стадія абсорбції оксидів нітрогену найбільш складний процес, наразі дослідники розходяться в теорії, щодо процесів утворення нітратної кислоти [1,2]. Узагальнену реакцію отримання нітратної кислоти можна надати в наступному вигляді:



Узагальнена реакція включає багато фізико-хімічних процесів, таких як

- 1) окислення оксиду нітрогену (II) в газовій фазі і частково в рідкій;
- 2) дифузія оксидів нітрогену з газового потоку до кордону розділу фаз;
- 3) абсорбція оксидів нітрогену водою і утворення нітратної і нітритної кислот;
- 4) часткове взаємодія вищих оксидів нітрогену з водяною парою в газовій фазі;
- 5) розкладання нітритної кислоти і повернення утвореного оксиду нітрогену (II) в газову фазу;
- 6) дифузія кисню з газового потоку до кордону розділу фаз;
- 7) десорбція NO в газову фазу.

Для очищення викидів від залишків оксидів азоту використовують каталітичне високотемпературне відновлення природним газом, яке можна описати рівняннями [2]:



Мета роботи. Визначити структуру системи управління абсорбційної колони в технології нітратної кислоти.

Основна частина. Керуванню таким складним виробництвом, як виробництво нітратної приділяється значна увага. В основному досліджуються системи керування стадіями окиснення та каталітичного очищення, як найбільш енергоємні.

За класичною схемою, регулювання потужності агрегату відбувається зміною витрати повітря у змішувач. Витрата аміаку підстроюється під витрату повітря і зазвичай нею керує регулятор співвідношення «аміак – повітря». Такий принцип керування є

найбільш ефективним, так як витрата повітря, що використовується при окисненні аміаку значно вища за витрату аміаку а це у свою чергу підвищує точність регулювання навантаження. Також за витратою повітря регулюють такі параметри, як витрата додаткового повітря та витрата конденсату, що подають у абсорбційну колону.

Процес окиснення проходить з виділенням великої кількості тепла, яке використовують на потреби виробництва – випаровування аміаку, підігрів аміачно – повітряної суміші та інше. Відповідно, регулюють рівень води у казані – утилізаторі та тиск у контактних апаратах. Тиск в контактних апаратах є важливим фактором якості окиснення і регулюється витратою нітrogenого газу на абсорбцію.

Технологічні режими стадії каталітичного очищення, як правило підтримуються регулюванням витрати природного газу і співвідношенням «природний газ – повітря». Тепло, що утворюється в процесі каталітичного очищення використовують для виробництва водяної пари в казані – утилізаторі. Для якого основними параметрами регулювання є підтримання рівня води і тиску виробленої пари.

До останнього часу автоматизації процесу абсорбції не приділялось уваги і регульованими параметрами в ньому залишались концентрація продукційної кислоти, впливом на витрату води і рівень кислоти в абсорбері. У системах з додатковою подачею повітря, для корекції використовується сигнал про навантаження (витрату повітря) на вході у змішувач стадії окиснення. Зважаючи на деякі відмінності в технологічному оформленні, кожна система управління з однаковою структурою має відмінності в реалізації.

Потрібно звернути увагу на те, що робота абсорбційної ланки визначає суттєві параметри виробництва і концентрація продукційної кислоти тільки один з них. Не менш важливим параметром є остаточна концентрація оксидів нітрогену у викидах з колони. Ця проблема вирішується в основному за рахунок змін в апаратурному оформленні і при цьому не звертають увагу на те, що найбільші викиди відбуваються через неякісне управління, наприклад, в моменти зміни концентрації вхідного нітrogenого газу або зміні навантаження агрегату. Проблема в першу чергу полягає в тому, що класична система управління реагує на параметр, що вже почав змінюватись. З іншого боку проблема зміни параметрів обладнання в процесі експлуатації і їх вплив на систему управління вирішується шляхом поступової корекції завдання регуляторам ручним способом.

Не зважаючи на зміни у технічному забезпеченні систем автоматизації, змін у структурі системи управління не відбувалось. Сучасні засоби автоматизації практично цілком побудовані на основі високотехнологічних мікропроцесорних засобів, що відкриває широкі можливості для використання складних систем управління з використанням математичних моделей. Вхідними даними до них можуть бути будь-які технологічні параметри та фізико-хімічні показники, що дає змогу швидкої корекції завдань регуляторам.

Виробництво нітратної кислоти можна віднести до складних технологічних комплексів. Для систем управління такими комплексами при синтезі структури управління виділяють три основні складові: синтез структури об'єкта; синтез частини системи, в якій реалізуються алгоритми управління, а саме: вибір кількості рівнів, формування ієрархії системи; розподілення функцій між рівнями та елементами та між оператором та ПЕОМ; синтез структури системи передачі та обробки інформації. Для організації процесу управління реалізується універсальний набір функцій, які складають функціональну структуру: інформаційні, програмування режимів управління, розрахунок управляючих дій, реалізація управляючих дій.

Найбільш часто використовуються наступні системи управління: системи управління за збуренням, системи управління за відхиленням, системи каскадного управління, системи комбінованого управління, системи адаптивного управління. Також необхідно підкреслити, що особливістю виробництва нітратної кислоти є одночасне протікання процесів тепло- та масообміну, хімічних перетворень, дифузії та гідродинаміки які забезпечують одержання готового продукту. Крім того при експлуатації обладнання можуть змінюватися в часі коефіцієнти теплообміну. Це пов'язано з появою непередбачуваної поведінки, тобто, невизначеності технологічного об'єкту. Якщо до цього додати, що при експлуатації системи управління змінюються параметри керування, то в цілому система управління виробництвом нітратної кислоти буде характеризуватися значною невизначеністю.

Таким чином на основі розглянутих факторів можна запропонувати наступну узагальнену структуру системи управління концентрацією нітратної кислоти, рис. 1.

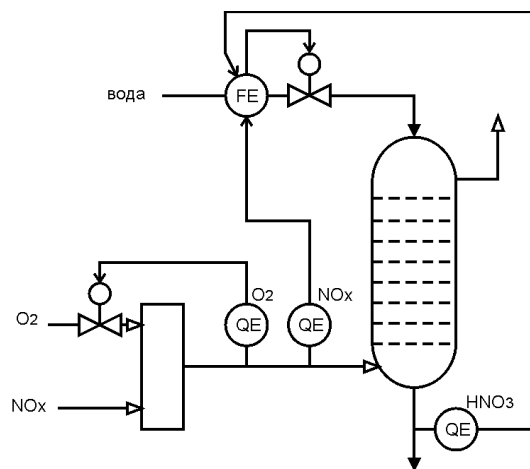


Рисунок 1 – Структура системи управління

Задана концентрація продукційної кислоти підтримується витратою води, що подають в колону. Величина витрати обчислюється на основі математичної моделі за даними про концентрацію вихідної нітратної кислоти та вхідною концентрацією нітrogenних газів. Якщо у технологічній схемі передбачено додавання кисню, то цей параметр також можна вводити для обчислень у математичну модель. Використання контуру стабілізації витрати води з корекцією за результатами обчислень по моделі дозволяє підвищити стійкість системи до можливих збоїв. Контур витрати може бути переведений на автономний режим. Додатковою перевагою такої системи є можливість заміни математичної моделі або зміни її коефіцієнтів без зупинки системи автоматизації.

Сучасні засоби автоматизації дозволяють легко інтегрувати мікропроцесорні регулятори у складну, багаторівневу систему управління. Така складна, що система функціонує на рівні підприємства може отримувати доступ до складових нижчого рівня з метою оптимізації роботи окремих ланок. Перевагами даної структури є можливість модифікації окремих складових без зупинки виробництва і в безударному режимі.

Окремою складовою може бути, наприклад, підсистема інтелектуального управління на основі нечіткої логіки. Така підсистема, що отримує інформацію не тільки з контурів регулювання але і з контрольних точок технологічної схеми усього виробництва може більш ефективно розраховувати параметри системи управління. Також інте-

лектуальні системи ефективно працюють в умовах невизначеності та при зміні параметрів обладнання.

Висновки. Використання математичної моделі процесу в системі управління забезпечує додаткове упередження роботи регуляторів та розрахунок більш точних завдань до них. Це дозволяє уникати стрибкоподібних відхилень при збуреннях у технологічній системі. Запропонована система управління процесом поглинання може забезпечити зменшення викидів оксидів нітрогену і таким чином зменшити навантаження на ланку каталітичного очищення.

Література

1. Методи розрахунків у технології неорганічних речовин / Лобойко О.Я., Товажнянський Л.Л., Слабун І.О. та ін. – Х. : НТУ «ХПІ», 2001. – 512 с.
2. Hupen B., Rigorous modelling of NO_x absorption in tray and packed columns / B. Hupen, E.Y. Kenig // Chemical Engineering Science. – 2005. – vol. 60. – P. 6462–6471.

Bibliography (transliterated)

1. Metody rozrakhunkiv u tekhnolohii neorhanichnykh rehovyn / Loboiko O.Ia., Tovazhnianskyi L.L., Slabun I.O. ta in. – Kh. : NTU «KhPI», 2001. – 512 p.
2. Hupen B., Rigorous modelling of NO_x absorption in tray and packed columns / B. Hupen, E.Y. Kenig // Chemical Engineering Science. – 2005. – vol. 60. – P. 6462–6471.

УДК 661.566

Пугановский О.В., ст. преподаватель, Подустов М.А., д.техн.н., профессор, Букатенко А.И., к.техн.н., доцент, Литвиненко Е.И., к.техн.н., доцент,
Горбунова О.В., ассистент

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

Проведен анализ современного состояния уровня автоматизации в производстве азотной кислоты. Рассмотрены проблемы разработки эффективной системы автоматизации для участка абсорбции оксидов азота. Предложена структура системы управления участком абсорбции с применением современных компьютерных технологий.

Puhanovskyi O.V., Podustov M.O., Bukatenko O.I., Lytvinenko E.I., Gorbunova O.V.

PROBLEMS OF AUTOMATION OF NITROGEN ACID PRODUCTION

The analysis of the current state of the automation level in the production of nitric acid is carried out. The problems of developing an effective automation system for the nitrogen oxide absorption site are considered. The structure of the control system of the absorption site using modern computer technologies is proposed.

УДК 658.28:665.63:338

Горбунов К.А., к.техн.н., профессор, Быканов С.Н., к.техн.н., доцент,
Пугановский О.В., ст. преп., Гарев А.О., Горбунова О.В., ассистент,
Сивцов М.Р., магістр

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОТДЕЛЕНИИ ПАСТЕРИЗАЦИИ ЯБЛОЧНОГО СОКА

Ключевые слова: холодильная машина, хладагент, пинч-анализ, энергосбережение.

Современные тенденции относительного удешевления энергоэффективного компрессорного и теплообменного оборудования за счет жесткой конкуренции и постоянного обновления технологий с одной стороны, и резкий рост цен на тепловую, электрическую энергию – с другой, дают дополнительный импульс для развития новых технических решений по применению теплонасосных технологий и тепловой интеграции на предприятиях пищевой промышленности.

С другой стороны, анализ технологических схем производственных процессов многих отраслей пищевой промышленности Украины указывают на типичность структуры энергопотребления предприятий. Теплота к процессам подводится горячими утилитными потоками, а отводится холодными. Некоторые процессы требуют охлаждения технологических потоков до достаточно низких температур. Это может быть обеспечено только низкотемпературными холодильными утилитами, получаемых в холодильных установках [1, 3–6].

Однако, как показал литературный обзор и анализ технического уровня, существующие в настоящее время технологические схемы таких производств являются низкоэнергоэффективными, так как требуют значительных затрат тепла [2–6].

В связи с этим целью исследования является совершенствование действительной и разработка энергоэффективной технологической схемы холодильной машины.

Анализ холодильных систем отечественных пищевых производств показывает, что в основном как хладагент применяется аммиак (R717). Аммиак обладает благоприятным для его использования в качестве хладагента теплофизическими свойствами и высоким термодинамическим потенциалом. Негативными свойствами аммиака является токсичность, взрывоопасность и горючесть [7].

В данной работе предлагается альтернатива аммиака – хладагент R600a (изобутан), который имеет ряд преимуществ перед другими хладагентами: будучи природным веществом, он не оказывает негативного воздействия на окружающую среду, не разрушает озоновый слой и не вызывает парниковый эффект. Важным является тот факт, что изобутан, в отличие от любого другого хладагента, имеет достаточно высокую температуру конденсации при относительно низком значении давления в рабочем контуре, способствует продолжительному сроку службы оборудования.

На рис. 1 представлена энерго-функциональная схема четырехсекционного пластинчатого теплообменника для пастеризации яблочного сока.

В пластинчатом пастеризаторе по ходу движения жидкости осуществляются следующие процессы:

- частичный нагрев исходного продукта теплотой пастеризованного продукта (секция рекуперации теплоты);
- нагрев продукта горячей водой или паром до заданной температуры (секция пастеризации);
- охлаждения исходного продукта с передачей теплоты продукту, который поступает на нагрев (секция рекуперации теплоты);
- охлаждения продукта холодной водой (секция охлаждения водой);
- охлаждения продукта рассолом (секция охлаждения рассолом).

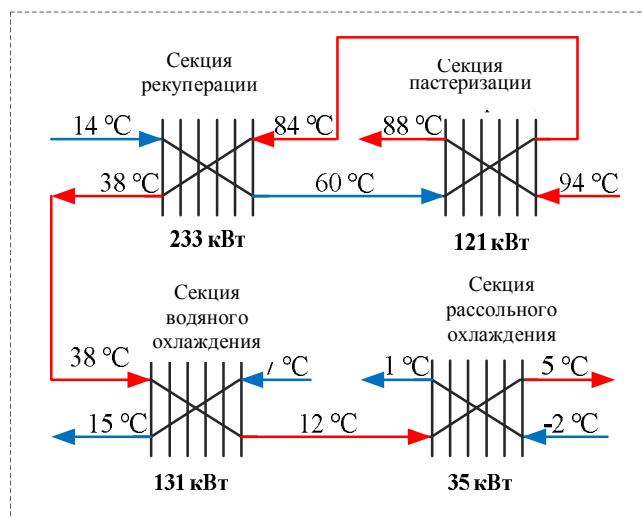


Рисунок 1 – Энерго-функциональная схема четырехсекционного пластинчатого теплообменника для пастеризации яблочного сока

Воспользуемся одним из методов интеграции технологических процессов – пинч-анализом [8]. Основное его достоинство заключается в возможности провести экономическую оценку целесообразности проведения реконструкции еще на этапе проведения самих расчетов. Данный метод интеграции используется авторами и в других научно-исследовательских работах, в частности, при интенсификации процессов выпаривания и ректификации [9–12].

На рис. 2 представлена сеточная диаграмма и построены составные кривые для традиционной схемы пастеризации яблочного сока производительности 5 т/ч. Величина тепловой энергии от рекуперации составила 233 кВт, тепловая нагрузка на горячие утилиты – 121 кВт, на холодные утилиты – 167 кВт. Холодные утилиты, которые подводятся в отделение пастеризации получают с помощью холодильных машин. Их стоимость значительно выше, чем, например, стоимость оборотной воды градирни. Поэтому, основная задача данного исследования заключается в интеграции в систему пастеризации современной холодильной машины, которая позволила бы исключить использование внешних горячих утилит и минимизировать нагрузку на внешние холодные утилиты.

Был разработан вариант ХМ, использующей изобутан в качестве хладагента. Это позволило достичь температуры конденсации хладагента 88 °С, что было достаточным для реализации процесса пастеризации яблочного сока на высоком температурном уровне – 84 °С. При этом давление конденсации, которое нужно обеспечить компрессо-

ром составляет около 16 кг/см^2 , что является хорошей предпосылкой для использования стандартного теплообменного оборудования, запорной арматуры трубопроводов и др.

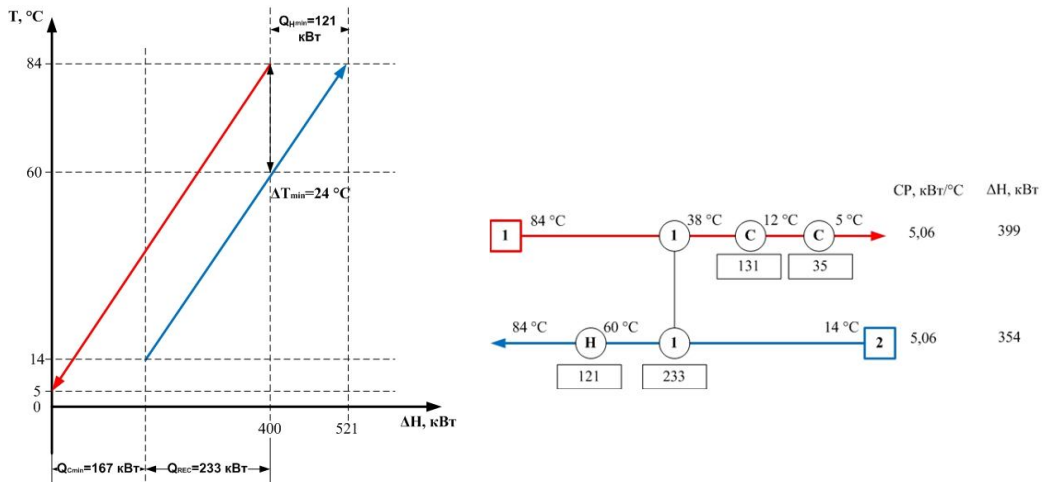


Рисунок 2 – Составные кривые и сеточная диаграмма для традиционной схемы пастеризации яблочного сока производительности 5 т/ч

В данной статье будет рассмотрена одна из схем реконструкции, а именно, вариант холодильной машины с дополнительным охладителем.

Холодильный агент испаряется в пластинчатом испарителе при температуре $-10 \text{ }^\circ\text{C}$, а пара хладагента в свою очередь перегреваются до $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ и поступают на линию всасывания компрессора, где сжимаются до давления, соответствующем температуре конденсации – $88 \text{ }^\circ\text{C}$. Далее пары ХА конденсируются, отдавая тепло потоку яблочного сока и через ресивер жидкий хладагент проходит через дроссельный вентиль, где давление уменьшается до давления испарения. Далее хладагент поступает в испаритель и цикл повторяется (рис. 3).

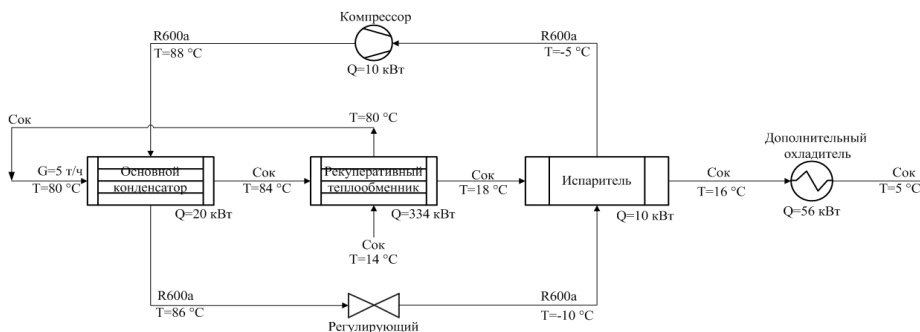
Яблочный сок с температурой $14 \text{ }^\circ\text{C}$ поступает в рекуперативный теплообменник, где после того, как холодильная система выходит на рабочий режим пастеризации, нагревается до $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Далее, яблочный сок пастеризуется при нагреве с $80 \text{ }^\circ\text{C}$ до $84 \text{ }^\circ\text{C}$ в пластинчатом конденсаторе за счет тепла конденсации хладагента; проходит через рекуператор, где нагревает поток сока на пастеризацию, далее поступает в испаритель ХМ, где охлаждается с $18 \text{ }^\circ\text{C}$ до $16 \text{ }^\circ\text{C}$. Охлаждение яблочного сока после холодильной машины с $16 \text{ }^\circ\text{C}$ до $5 \text{ }^\circ\text{C}$ нужно осуществлять с помощью существующих холодильных мощностей.

Данная схема (рис. 3) позволяет избежать необходимость использования горячих утилит, уменьшает потребление холодных и максимизирует тепловую нагрузку рекуперации – 334 кВт . Электрическая мощность компрессора 10 кВт не является высокой, что подтверждается последующими экономическими расчетами.

Результатом пинч-интеграции явилось построение сеточной диаграммы технологического процесса пастеризации сока. При этом размещенные потоков на ней соответствует правилам пинч проектирования (рис. 4).

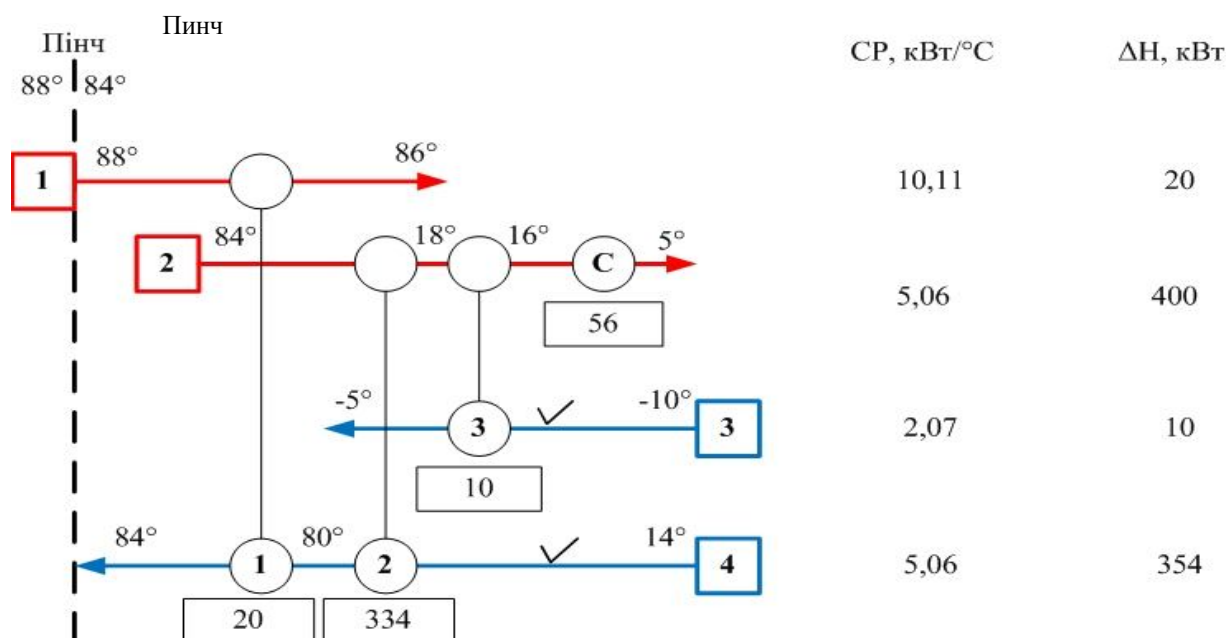
В модернизированной технологической схеме холодильной машины с дополнительным охладителем предлагается использовать энергоэффективное теплообменное оборудование фирмы Alfa Laval. На позициях испарителя и конденсатора могут быть

использованы пластинчатые полуразборные теплообменники, на остальных позициях пластинчатые разборные. Подбор современного теплообменного оборудования позволит обеспечить высокие показатели коэффициента теплопередачи при целевом проектном значении $\Delta T_{\min} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$.



№ пото-ка	Название потока	Тип потока	Температура снабжения, T_S , $^\circ\text{C}$	Целевая температура, T_T , $^\circ\text{C}$	Тепловая мощность, ΔH , кВт	Потоковая теплоемкость, CP , кВт/ $^\circ\text{C}$
1	Конденсация изобутана	Гор.	88	86	-20	10,11
2	Охлаждение сока	Гор.	84	5	-400	5,06
3	Выпаривание изобутана	Хол.	-10	-5	10	2,07
4	Пастеризация сока	Хол.	14	84	354	5,06

Рисунок 3 – Энерго-функциональная схема изобутановой холодильной машины с дополнительным охладителем



1-2 – горячие потоки; 3-4 – холодные потоки; 1-2 – теплообменник; С– охладитель

Рисунок 4 – Сеточная диаграмма для холодильной машины с дополнительным охладителем

Таким образом, результатом проведенных расчетов технико-экономической целесообразности явились данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технико-экономические показатели

Затраты на проектирование, $Z_{\text{П}}$, грн.	131519
Общая стоимость оборудования, $Z_{\text{Об}}$, грн.	383490
Общая сумма капитальных затрат, K , грн.	607883
Общая сумма годовых затрат на эксплуатацию, $Z_{\text{екс}}$, грн.	48263
Годовая экономия, ΔS , грн.	980536
Годовой прирост чистой прибыли, Прч , грн.	764464
Время окупаемости, $T_{\text{ок}}$, року.	8 міс.
Коэффициент эффективности капитальных вложений, E , грн./грн.	1,25

Полученные значения технико-экономических показателей говорят о том, что внедрение пинч-интеграции технологической схемы, использующей холодильную машину с дополнительным охладителем, является экономически целесообразным.

Литература

1. Аверин Г.Д. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов: Учеб-справ, пособие / Г.Д. Аверин, Н.К. Журавская, Э. И. Каухчешвили и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 254 с.
2. Алямовский И.Г. Исследования в области холодильной технологии пищевых продуктов. / И.Г. Алямовский, Н.А. Головкин, Г.Б. Чижов // Холодильная техника. 1981. № 5. – С. 53–58.
3. Бражников А.М. Инженерные расчеты процессов отвода тепла при холодильной обработке / А.М. Бражников, Э.И. Каухчешвили // Холодильная техника. 1982. № 9. – С. 35–38.
4. Вейник А.И. Техническая термодинамика и основы теплопередачи: Учебник. М.: Металлургиздат, 1956. – 448 с.
5. Головкин Н.А. Холодильная технология пищевых продуктов: Учебник. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1984. – 240 с.
6. Применение холода в пищевой промышленности: Справочник / Под ред. А.В. Быкова. -М.: Пищевая промышленность, 1979. 151 с.
7. Генель Л.С., Галкин М.Л. Состояние и тенденции развития европейского рынка хладоносителей. // Холодильный бизнес. 2006, №12 – С. 16–19.
8. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457 с.
9. Хіміч О.І., Перевертайленко О.Ю., Горбунов К.О., Рябова І.Б. Теплова інтеграція процесу концентрування суміші у виробництві броміду натрію // Наукові

праці.– Випуск 45, Т.3.– Одеса: Одеська національна академія харчових технологій.– 2014.– С. 176–179.

10. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО О.Ю., ГАРЄВ А.О., ГОРБУНОВ К.О., БИКАНОВ С.М., ТОЛСТА Н.О. Покращення теплової інтеграції процесу концентрування квасного сусла Наукові праці.– Випуск 39 Т.2.– Одеса: Одеська національна академія харчових технологій.– 2011.– С. 146–151.

11. Болдирєв С.О., Крикун О.І., Толста Н.О. Застосування засобів комп'ютерної інтеграції та автоматизація процесу концентрування розчину нітрату натрію // Тези доповідей на науковій конференції «Мікрокад-2010» Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта здоров'я: Тези доповідей XVIII міжнародної науково-практичної конференції, Ч. III (12–14 травня 2010 р., Харків). С. 7.

12. Быканов С.Н., Горбунов К.А., Горбунова О.В., Ким А.Е. / Тепловая интеграция процесса выпаривания едкого натра // Интегрированные технологии и энергосбережение. – Харьков: НТУ «ХПИ», №3.–2016.– С. 9–14.

Bibliography (transliterated)

1. Averin G.D. Fiziko-tehnicheskie osnovyi holodilnoy obrabotki pischevyih produktov: Ucheb-spray, posobie / G.D. Averin, N.K. Zhuravskaya, E. I. Kauhcheshvili i dr. – M.: Agropromizdat, 1985. – 254 p.

2. Alyamovskiy I.G. Issledovaniya v oblasti holodilnoy tehnologii pischevyih produktov. / I.G. Alyamovskiy, H.A. Golovkin, G.B. Chizhov // Holodilnaya tehnika. 1981. # 5. – P. 53–58.

3. Brazhnikov A.M. Inzhenernyie raschetyi protsessov otvoda tepla pri holodilnoy obrabotke / A.M. Brazhnikov, E.I. Kauhcheshvili // Holodilnaya tehnika. 1982. # 9. – P. 35–38.

4. Veynik A.I. Tehnicheskaya termodinamika i osnovyi teploperedachi: Uchebnik. M.: Metallurgizdat, 1956. – 448 p.

5. Golovkin H.A. Holodilnaya tehnologiya pischevyih produktov: Uchebnik. M.: Lyogkaya i pischevaya promyshlennost, 1984. – 240 p.

6. Primenenie holoda v pischevoy promyshlennosti: Spravochnik / Pod red. A.V. Byikova. – M.: Pischevaya promyshlennost, 1979. 151 p.

7. Genel L.S., Galkin M.L. Sostoyanie i tendentsii razvitiya evropeyskogo ryinka hladonositeley. // Holodilnyiy biznes. 2006, #12 – P. 16–19.

8. Smit R. Osnovyi integratsii teplovyih protsessov / R. Smit, Y. Klemesh, L.L. Tovazhnyansky, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev. – Harkov: HGPU, 2000. – 457 p.

9. Himich O.I., Perevertaylenko O.Yu., Gorbunov K.O., Ryabova I.B. Teplova Integratsiya protsesu kontsentruvannya sumishi u virobnitstvi bromidu natriyu // Naukovi pratsi.– Vipusk 45, Т.3.– Одеса: Одеська національна академія харчових технологій.– 2014.– С. 176–179.

10. Товажнянський Л.Л., Перевертайленко О.Ю., Гарєв А.О., Горбунов К.О., Биканов С.М., Толста Н.О. Покращення теплової інтеграції процесу концентрування квасного сусла Наукові праці.– Випуск 39 Т.2.– Одеса: Одеська національна академія харчових технологій.– 2011.– С. 146–151.

11. Boldirev S.O., Krikun O.I., Tolsta N.O. Zastosuvannya zasobiv komp'yuternoyi Integratsiyi ta avtomatizatsiya protsesu kontsentruvannya rozchinu nitratu natriyu // Tези доповідей на науковій конференції «Мікрокад-2010» Інформаційні технології: наука, тех-

nika, tehnologiya, osvita zdorov'ya: Tezi dopovidey XVIII mizhnarodnoyi naukovopraktichnoyi konferentsiyi, Ch. III (12–14 travnya 2010 r., Harkiv). P. 7.

12. Bykanov S.N., Gorbunov K.A., Gorbunova O.V., Kim A.E. / Teplovaya integratsiya protsessa vyiparivaniya edkogo natra // Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie. – Harkov: NTU «NPI», #3.–2016.– P. 9–14.

УДК 658.28:665.63:338

Горбунов К.О., к.техн.н., професор, Биканов С.М., к.техн.н., доцент,
Пугановський О.В., ст. викл., Гарев А.О., Горбунова О.В., асистент,
Сівцов М.Р., магістр

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У ВІДДІЛЕННІ ПАСТЕРИЗАЦІЇ ЯБЛУЧНОГО СОКУ

У статті розглянуті питання інтеграції існуючої та розробка нової енерго-ефективної технологічної схеми холодильної машини при пастеризації яблучного соку. Отримано значення техніко-економічних показників. Результати дослідження говорять про те, що впровадження пінч-інтеграції технологічної схеми, що використовує холодильну машину з додатковим охолоджувачем, є економічно доцільним.

Gorbunov K.O., Bykanov S.N., Puhanovskij O.V., Garev A.O., Gorbunova O.V.,
Syvtsov M.R.

INTEGRATION OF THERMAL PROCESSES IN COMPARTMENT OF PASTEURIZATION OF THE APPLE JUICE

The article deals with the issues of the existing integration and the development of a new energy-efficient technological scheme of a refrigerating machine during pasteurization of apple juice. The values of technical and economic indicators are obtained. The research results suggest that the introduction of pinch-integration of the technological scheme using a refrigeration machine with an additional cooler is economically feasible.

УДК 661.185:66.02

Дзевочко О.М., к.техн.н., доцент, Подустов М.О., д.техн.н., професор

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУЛЬФАТУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ГАЗОПОДІБНИМ ТРИОКСИДОМ СІРКИ

Ключові слова: органічна речовина, триоксид сірки, процес сульфатування, лабораторна установка, об'ємний реактор, поверхнево-активна речовина.

Вступ. Поверхнево-активні речовини (ПАР) отримали широке розповсюдження як у побуті, так і в промисловості [1, 2]. У щорічних довідкових виданнях перелічуються тисячі варіантів використання ПАР в самих різних областях народного господарства. ПАР мають асиметрично побудовану молекулу, яка містить гідрофільну і гідрофобну групи. Цією дифільною структурою і пояснюється поверхнева активність молекул ПАР, тобто їх здатність накопичуватися на поверхні.

Однією з основних стадій виробництва ПАР є стадія сульфатування органічної сировини різними сульфоагентами. Аналіз історії розвитку технології сульфатування показав [3, 4], що практично всі основні типи промислових ПАР були одержані в різний час шляхом сульфатування органічної сировини сірчаною кислотою, олеумом, хлорсульфоновою кислотою сульфаміновою кислотою і газоподібним триоксидом сірки.

Найбільшого поширення в практиці зарубіжних фірм в якості сульфатуючого агенту отримав газоподібний триоксид сірки [5]. Сульфатування газоподібним триоксидом сірки має ряд переваг [6], зокрема виключається відпрацьована сірчана кислота, досягається високий ступінь перетворення вихідної сировини.

Необхідно зупинитися на сировинній базі для одержання ПАР. Слід зазначити, що сульфатуванню підлягають як поодинокі продукти, так і їх суміші. Сульфатуванню сумішей органічної сировини приділяється менше уваги, ніж одиначній сировини, хоча використовується в промисловості і побуті як правило суміші ПАР.

Ціль та задачі дослідження. Метою досліджень є розробка процесу сульфатування органічної сировини газоподібним триоксидом сірки з одержанням поверхнево-активних речовин високої якості.

Матеріали та методи дослідження процесу сульфатування. В якості органічної сировини був обраний вищий спирт фракції $C_{12} - C_{14}$ з середньою молекулярною масою 188 г/моль при сульфатуванні одиначної сировини та його суміш з моноетаноламідом жирних кислот кокосової олії з середньою молекулярною масою 280 г/моль при сульфатуванні сумішей органічних продуктів.

Дослідження проводилися на лабораторній установці представленої на рис. 1.

Робота на установці проводилася таким чином. В реактор 11 завантажувалася необхідна кількість органічної сировини. Очищене у фільтрі 1 повітря надходило в компресор 2. Стисле повітря далі накопичувалось в ресивері 3. З ресивера повітря через осушувач 5 і ротаметр 6 подавалося у випарник 9, сюди ж подавався і рідкий SO_3 з дозатора 8. Газова суміш з випарника прямувала через холодильник 10 в реактор 11, де і проходила взаємодія SO_3 з органічною сировиною. Температура в реакторі підтримувалася за допомогою термостату 12.

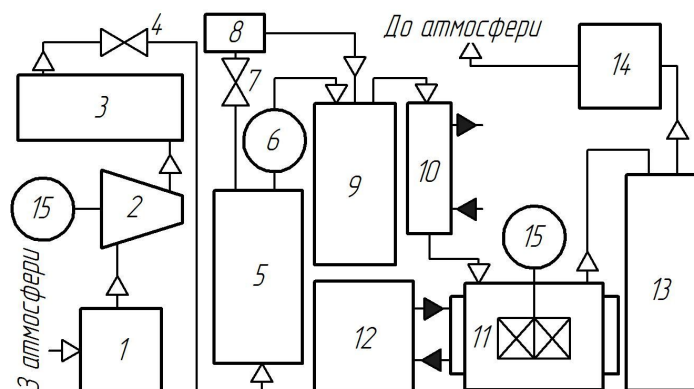


Рисунок 1 – Лабораторна установка з об'ємним реактором сульфатування
 1 – фільтр; 2 – компресор; 3 – ресивер; 4 – вентиль; 5 – осушувач; 6 – ротаметр; 7 – редуктор;
 8 – дозатор; 9 – випарник; 10 – холодильник; 11 – реактор; 12 – термостат; 13 – абсорбер;
 14 – фільтр; 15 – електродвигун

Ступінь сульфатування органічної сировини визначали хімічним аналізом зразків нейтралізованих продуктів сульфатування. Поверхневий натяг водних розчинів ПАР вимірювали тензіометром Дю-Нуї.

Основна частина. В ході експериментальних досліджень було встановлено, що сульфатуванням вищих спиртів фракції $C_{12} - C_{14}$ та їх сумішей, які включають 5–20 % моноетаноламідів жирних кислот (МЕА ЖК) кокосового масла досягається одержання продуктів на сумішах, які мають більш низький поверхневий натяг, особливо при низьких концентраціях ПАР (рис. 2).

Температуру процесу сульфатування підтримували 318К, мольне співвідношення сульфатуючого агента до органічного сировини 1,1: 1,0, концентрація триоксида сірки 5% об. Реакційну суміш нейтралізували 12% водним розчином гідроксиду натрію.

Експериментальні дослідження показали також, що при сульфатуванні суміші вищого спирту і МЕА ЖК кокосового масла збільшення вмісту МЕА ЖК веде до падіння ступеня сульфатування і підвищенню кольоровості одержуваних паст (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність ступеня сульфатування і кольоровості паст від змісту МЕА ЖК в вихідній суміші (% мас.)

Показники	Концентрація МЕА ЖК в суміші		
	5	10	15
Ступінь сульфатування, η , %	93,2	92,9	91,4
Кольоровість паст, j, одиниць за йодною шкалою (5% розчин)	1	2	5

Погіршення якості одержуваних ПАР обумовлено збільшенням в'язкості реакційної маси в ході процесу сульфатування. Експериментальні дослідження показали, що вміст МЕА ЖК в вищих спиртах доцільно підтримувати на рівні 10% мас.

Аналіз літературних даних [7] показав, що основними технологічними параметрами при проведенні процесу сульфатування є: мольне співвідношення реагентів, концентрація триоксида сірки в газоповітряному потоці, температура в реакторі. Тому в подальшому уточнювали кількісні дані цих параметрів.

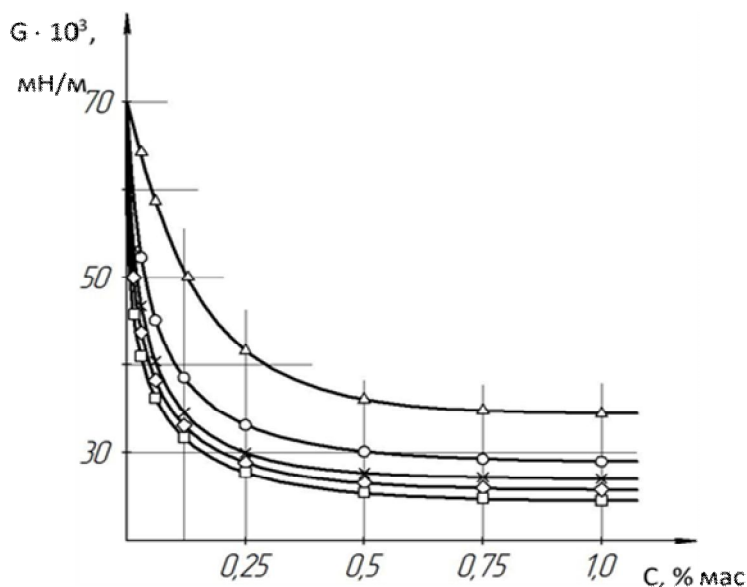


Рисунок 2 – Залежність поверхневого натягу водних розчинів ПАР від їх концентрації
 $T=293\text{K}$; вміст МЕА ЖК: 1–0%; 2–5%; 3–10%; 4–15%

Таблиця 2 – Залежність ступеня сульфатування і кольоровості паст від мольного співвідношення реагентів

Мольне співвідношення реагентів	Ступінь сульфатування, η , %		Кольоровість паст, j , одиниць за йодною шкалою (5% розчин)	
	Вищий спирт	Суміш вищого спирту та МЕА ЖК	Вищий спирт	Суміш вищого спирту та МЕА ЖК
0,5	47,4	47,1	1	1
0,7	67,6	67,2	1	1
0,9	85,3	84,3	1	1
1,0	92,2	91,0	1	1
1,04	93,4	91,9	1	2
1,06	94,1	92,5	1	2
1,08	93,5	92,9	2	2
1,1	93,0	92,0	4	6
1,15	91,2	90,5	6	10

Як видно з табл. 2 при температурі в реакторі 318 К, концентрації триоксида сірки в газоповітряному потоці 5% об. максимальне значення ступеня сульфатування вищих спиртів досягається при мольному співвідношенні реагентів 1,06:1,0, а при сульфатуванні суміші вищих спиртів і МЕА ЖК при 1,08:1,0.

Концентрація триоксида сірки в газоповітряному потоці надає більший вплив на суміш органічної сировини, ніж на вищий спирт (табл. 3). Дослідження проводилися при оптимальному мольному співвідношенні і температурі в реакторі 318 К.

Таким чином концентрацію триоксида сірки в газоповітряному потоці необхідно підтримувати на рівні 5,0% для вищих спиртів і 4% для сумішей вищих спиртів і МЕА ЖК.

Таблиця 3 – Залежність ступеня сульфатування і кольоровості паст від концентрації триоксида сірки в газоповітряному потоці

Концентрація триоксида сірки в газоповітряному потоці, % об.	Ступінь сульфатування, η %		Кольоровість паст, j, одиниць за йодною шкалою (5% розчин)	
	Вищий спирт	Суміш вищого спирту та МЕА ЖК	Вищий спирт	Суміш вищого спирту та МЕА ЖК
2,5	94,2	93,3	1	2
3,0	94,2	93,3	1	2
3,5	94,2	93,3	1	2
4,0	94,1	93,3	1	2
4,5	94,1	93,0	1	2
5,0	94,1	92,9	1	2
5,5	94,0	92,2	1	4
6,0	93,5	91,0	2	6

Результати досліджень щодо впливу температури на якість одержуваних продуктів наведені в табл. 4. При цьому підтримувалися оптимальні значення мольного співвідношення реагентів та концентрації триоксида сірки в газоповітряному потоці.

Таблиця 4 – Залежність ступеня сульфатування і кольоровості паст від температури в реакторі

Температура в реакторі, T _p , К	Ступінь сульфатування, η, %		Кольоровість паст, j, одиниць за йодною шкалою (5% розчин)	
	Вищий спирт	Суміш вищого спирту та МЕА ЖК	Вищий спирт	Суміш вищого спирту та МЕА ЖК
308	94,0	92,0	1	6
313	94,4	93,1	1	2
318	94,1	93,3	1	2
323	93,2	92,9	2	4
328	91,5	90,8	4	8

Як видно з табл. 4 ця залежність має екстремальний характер. Зниження температури тягне за собою зниження якості паст, що пов'язано зі збільшенням в'язкості реакційної маси. Підвищення температури створює передумови збільшення швидкості побічних реакцій. Експериментальні дані дозволяють вважати, що оптимальною температурою в реакторі можливо вважати: для вищих спиртів - 313К, для суміші спиртів і МЕА ЖК - 318 К.

Були проведені дослідження з визначення температури застигання реакційної маси в ході реакції сульфатирования (табл. 5).

Як видно з табл. 5 температура застигання реакційної маси на основі вищого спирту практично не змінюється, на відміну від реакційної маси на суміші вищих спиртів і МЕА ЖК, яка знижується до 285 К. У зв'язку з цим для суміші спиртів і МЕА ЖК були проведені дослідження з поступовим зниженням температури в реакторі після мо-

льної співвідношення 0,5: 1,0. Змінний температурний режим (табл. 6) покращує якість одержуваних паст.

Таблиця 5 – Залежність температури застигання реакційної маси від мольного співвідношення реагентів

Мольне співвідношення реагентів	Температура застигання, К	
	Вищий спирт фр. C ₁₂ –C ₁₄	Суміш вищого спирту і МЕА ЖК
0	295	295
0,2	294	294
0,5	294	285
0,7	294	285
0,9	293	286
1,0	294	287
1,08	295	288

Таблиця 6 – Залежність ступеня сульфатування і кольоровості паст при змінному температурному режимі

Температура в реакторі		Ступінь сульфатування, η %	Кольоровість паст, j одиниць за йодною шкалою (5% розчин)
Початкова	Кінцева		
318	313	93,5	2
318	309	93,7	2
318	305	93,9	2
318	301	92,5	4

Висновки. Результати дослідження показали, що сульфатуванням вищих спиртів і суміші вищих спиртів і МЕА ЖК газоподібним триоксидом сірки можна одержати продукти з високими якісними показниками.

Такі продукти можуть знайти широке використання в миючих, піномиючих і піноутворюючих складах.

Література

1. Плетнёв М.Ю. Поверхностно-активные вещества и композиции / М.Ю. Плетнёв. – М.: ООО "Фирма Клавель", 2002. – 768 с.
2. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение / К.Р. Ланге, Л.П. Зайченко. – СПб.: Профессия, 2004. – 240 с.
3. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества: свойства и применение / А.А. Абрамзон. – Л.: Химия, 1981. – 304 с.
4. Серебряков З.Т. Поверхностно-активные вещества / З.Т. Серебряков. – М.: Химия, 1986. – 192 с.
5. Правдин В.Г. Сульфирования и сульфатирование нефтехимических продуктов газообразным серным ангидридом в производстве ПАВ / В.Г. Правдин, М.А. Подустов, Д.И. Земенков. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1981. – 44 с.
6. Norman C. Foster (2009). Sulfonation and Sulfation Processes. Ph. D., P.E. – 27 с.

7. Ortega I.A. (2012). Sulfonation / Sulfation Processing Technology for Anionic Surfactant Manufacture / Advances in Chemical Engineering. – № 11. – p. 269–294.

Bibliography (transliterated)

1. Pletnëv M.Yu. Poverkhnostno-aktyvni veshchestva y kompozytsyy / M.Yu. Pletnëv. – M.: ООО "Fyrma Klavel", 2002. – 768 p.
2. Lanhe K.R. Poverkhnostno-aktyvni veshchestva: syntez, svoistva, analiz, pryomenenye / K.R. Lanhe, L.P. Zaichenko. – SPb.: Professyia, 2004. – 240 p.
3. Abramzon A.A. Poverkhnostno-aktyvni veshchestva: svoistva y pryomenenye / A.A. Abramzon. – L.: Khymyia, 1981. – 304 p.
4. Serebriakov Z.T. Poverkhnostno-aktyvni veshchestva / Z.T. Serebriakov. – M.: Khymyia, 1986. – 192 p.
5. Pravdyn V.H. Sulfyrovanyia y sulfatyrovanye neftekhymycheskykh produktov hazoobraznim semim anhydrydom v proyzvodstve PAV / V.H. Pravdyn, M.A. Podustov, D.Y. Zemenkov. – M.: TsNYYTЭNeftekhym, 1981. – 44 p.
6. Norman C. Foster (2009). Sulfonation and Sulfation Processes. Ph. D., P.E. – 27 p.
7. Ortega I.A. (2012). Sulfonation / Sulfation Processing Technology for Anionic Surfactant Manufacture / Advances in Chemical Engineering. – № 11. – p. 269–294.

УДК 661.185:66.02

Дзевочко А.М., к.техн.н., доцент, Подустов М.А., д.техн.н., профессор

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СУЛЬФАТИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ
ВЕЩЕСТВ ГАЗООБРАЗНЫМ ТРИОКСИДОМ СЕРЫ**

Проведены экспериментальные исследования процесса сульфатирования высших спиртов и их смесей с моноэтаноламидами жирных кислот кокосового масла газообразным триоксидом серы. Определены оптимальные технологические параметры процесса сульфатирования для получения поверхностно-активных веществ с высокими качественными показателями.

Dzevochko O.M. Podustov M.O.

**RESEARCH OF THE PROCESS OF SULFATHING ORGANIC SUBSTANCES
BY GASEOUS SULFUR TRAYOXIDE**

Experimental studies of the process of sulphation of higher alcohols and their mixtures with monoethanolamides of fatty acids of coconut oil with gaseous sulfur trioxide were carried out. Optimum technological parameters of the sulfation process for obtaining surface-active substances with high quality parameters are determined.

УДК 628.1

Дубовець О.М., к.техн.н., доцент, Подустов М.О., д.техн.н., професор, Литвиненко Є.І., к.техн.н., доцент, Пугановський О.В., ст. викладач, Букатенко О.І., к.техн.н., доцент

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

МОДЕРНІЗОВАНИЙ ЩІЛИННИЙ РЕГУЛЯТОР ВИТРАТИ

Ключові слова: вимірювання, витрата, модернізація, регулятор, щілинний витратомір

Вступ. Щілинний метод для вимірювання витрати довгий час використовують у багатьох галузях. Найчастіше цей метод застосовують для виміру витрати рідин у відкритих руслах, наприклад для виміру витрати стоків або у промисловості, для виміру агресивних рідин. Перевагами цього методу є простота виготовлення і використання, можливість виготовлення приладів для великих і малих витрат, можливість виготовлення з будь-якого матеріалу. У загальному випадку щілинний витратомір, містить прямокутний корпус з двома штуцерами: бічним – для введення контрольованої рідини і нижнім – для зливу рідини у відкритий приймач. Усередині корпус розділений глухою перегородкою, до якої герметично прикріплений щит з профільованою щілиною. Рівень рідини над щілиною вимірюють п'єзометричним методом. Для цього в посудину перед зливною щілиною в захисному чохлі занурена п'єзометрична трубка, через яку безперервно продувається повітря. Кількість повітря, що продувається, контролюється за допомогою контрольної скляночки, а тиск повітря підтримують постійним за допомогою редуктора, контролюючи манометром. Тиск в п'єзометричній трубці однозначно пов'язаний з щільністю і висотою стовба рідини перед щілиною, а, отже, і з масовою витратою рідини. Для виміру гідростатичного тиску в п'єзометричній трубці використовується вторинний прилад - диференціальний манометр, шкала якого проградуєрована в одиницях масової витрати. Цей витратомір може використовуватися як регулятор витрати, якщо вимірювальний прилад вибраний зі вбудованим блоком регулювання [1].

До недоліків цього витратоміру слід віднести:

- 1) залежність результатів виміру від щільності контрольованої рідини і, отже, можливість виміру тільки масової витрати;
- 2) необхідність використання в процесі контролю стислого повітря, яке поступає в контрольовану рідину, що негативно впливає на якісні показники деяких рідких середовищ;
- 3) необхідність використання в процесі контролю блоку підготовки повітря, очищеного від супутніх включень і забезпечує стабільну витрату через п'єзометричну трубку;
- 4) необхідність пропускання усього об'єму рідини через вимірювальний бункер;
- 5) збільшення діаметру струменя рідини при збільшенні діаметру патрубка, що приводить до її розбризкування і попадання бризок на фотоелементи, що призводить до виникнення додаткової погрішності;
- 6) збільшення діаметру витратного патрубка вимірювального бункера ускладнюється можливість його калібрування.

Модернізацію конструкцій, що існують можна провести як на рівні засобів вимірювання рівня так і за рахунок покращення конструкції – шляхом усунення переліче-

них недоліків. Це дозволить покращити експлуатаційні та метрологічні показники щілинного регулятора витрати

Мета роботи. Розробити конструкцію з мінімальним об'ємом рідини, що протікає через вимірювальний бункер, виключення розбризкування струменя рідини, витікаючого з патрубку, що калібрується, в зоні виміру (між фотоелементами і освітлювачем); забезпечення умов, необхідних для точного калібрування вимірювального патрубка.

Основна частина. Для вирішення поставлених задач, запропоновано ряд конструктивних змін. Перед вимірювальним бункером встановлений розвантажувальний бункер, який приймає на себе основну частину рідини. На виході з каліброваної щілини встановлено розсікач, що розподіляє рідину на два потоки – для вимірювального бункера і для розвантажувального. Конструктивно, положення розсікача розраховується для висоти заповнення щілини рідиною до 70 мм нижче розсікаючої пластини і 15 мм вище пластини. Таким чином основний потік проходить через розвантажувальний бункер. Об'єм рідини, що надходить у вимірювальний бункер, буде забезпечувати необхідний рівень у ньому та, відповідно, просторове положення струменя на виході з патрубка. Фотоелементи, дозволяють відстежувати положення струменя рідини і змінювати витрату рідини у приймальний бункер.

Схема запропонованого щілинного регулятора витрати рідини представлена на рис. 1а, на рис. 1б показано розташування розсікача на поверхні фігурної зони загальної стінки між розвантажувальним і вимірювальним бункерами, на рис. 1в показано взаємне розташування фотоприймачів, освітлювача і струменя. Перед вимірювальним бункером встановлено розвантажувальний бункер, розвантажувальний та вимірювальний бункери мають загальну фігурну стінку, верхня зона якої виконана у вигляді частини еліпса а нижня зона – вертикальна. На поверхні верхньої зони фігурної стінки закріплений розсікач, довжина якого знаходиться в межах $\ell_{pc} = (0,25-0,30)B$, де B – ширина розвантажувального бункера. Розсікач встановлено дотично до верхньої зони фігурної стінки, і висунуто (відносно краю поверхні верхньої зони фігурної стінки) у бік щілини, що калібрується на відстань $\ell_{cm} = 5-7$ мм і знаходиться на відстані h від нижнього краю щілини по вертикалі і на відстані ℓ від щілини по горизонталі, розсікач ділить висоту щілини – $H_{щ}$ на дві зони – розвантажувальну з висотою h і вимірювальну з висотою Δh , які знаходяться в співвідношенні $h/\Delta h = (3-4)$, де $(h + \Delta h) = 0,9H_{щ}$, $\Delta h \approx \ell$, при цьому діаметр – d_p витратного патрубка розвантажувального бункера, ширина b вимірювального бункера та рівень рідини h_n у вимірювальному бункері вибрані так, щоб виконувалися вимоги: $h_p = (0,35-0,45)H_p$, $b = B(\Delta h/h)$, $h_n = (0,45-0,55)H_n$, а зміна рівня рідини в зоні Δh (над розсікачем) на ± 1 мм забезпечувала зміну рівня рідини h_n у вимірювальному бункері до межі $(h_n \pm \Delta h_n)$, при якому дальність польоту L струменя, що витікає з витратного патрубка вимірювального бункера, змінювалася не менше ніж на $\Delta L = \pm 5$ мм, де H_n – висота вимірювального бункера, H_p – допустима висота рідини в розвантажувальному бункері, $H_{щ}$ – висота щілини, що калібрується.

Щілинний регулятор витрати такої конструкції працює наступним чином.

Регулятору, який вбудований в корпус вимірювального (сигналізуючого, регулюючого) приладу 11, встановлюється завдання на підтримку заданої витрати рідини, яка після заповнення приймальної ємності 1 витікає з неї через щілину 2, що калібрується та ділиться розсікачем 16, що встановлений у щілині, на 2 потоки. Перший потік (під розсікачем) спрямовується в розвантажувальний бункер 3, другий (над розсікачем)

– у вимірювальний бункер 5, при цьому висота потоку рідини над розсікачем Δh визначається за формулою $\Delta h = 0,9H_{щ}/h$. Рідина, що витікає з щілини 2 над розсікачем заповнює вимірювальний бункер до висоти $h_{и}$ та витікає з нього через витратний патрубок 6 з діаметром d_k у вигляді сформованого (що не розбризкується) струменя 9, який в процесі вільного руху розташовується між з'єднаними зустрічно фотоелементами 7 диференційного фотоелектричного перетворювача (7, 8).

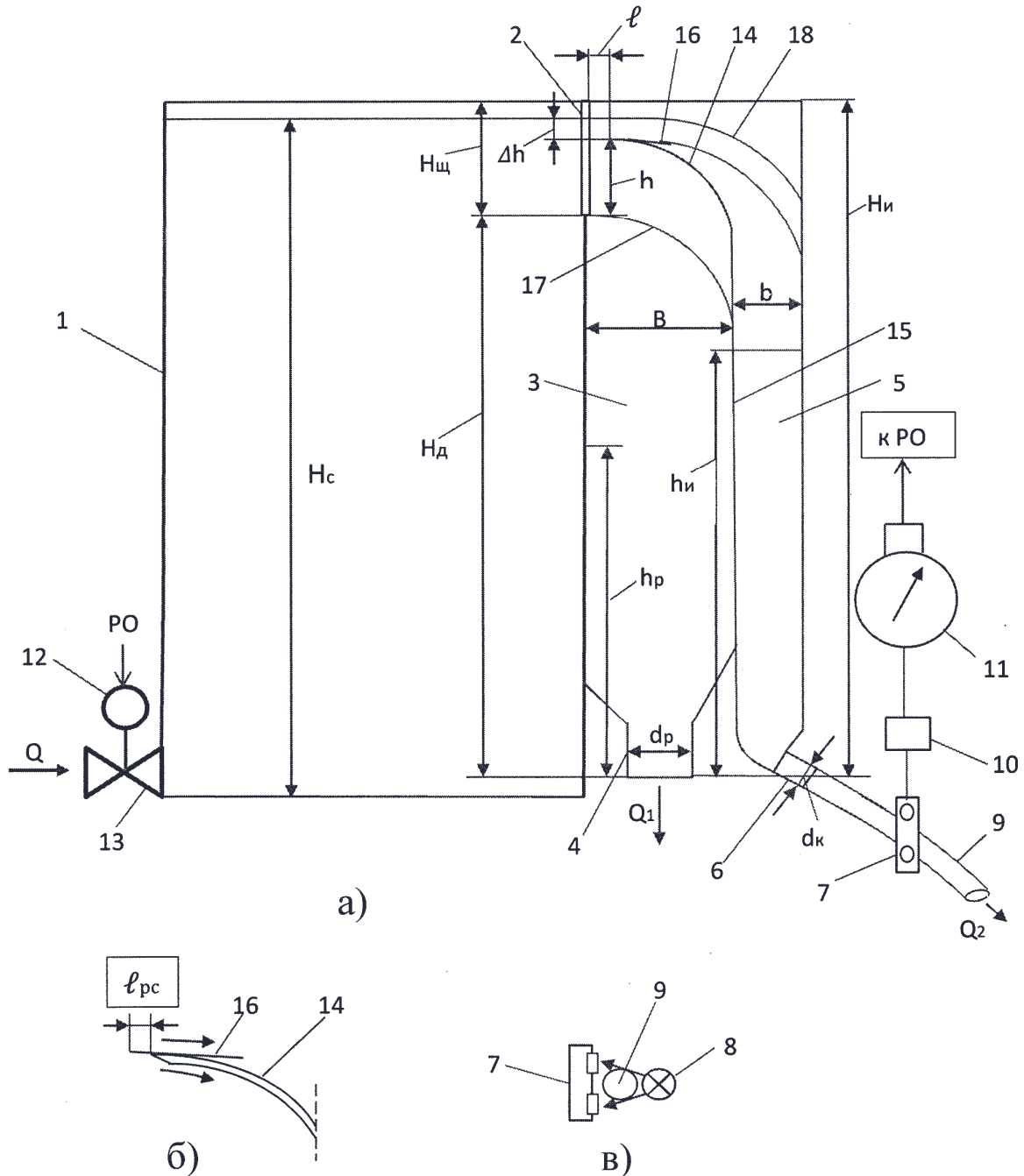


Рисунок 1 – Схема щілинного регулятора витрати рідини: а – загальна схема пристрою; б – розташування розсікача на поверхні фігурної зони; в – взаємне розташування фотоприймачів освітлювача і струменя

Вказаний перетворювач встановлюється так, щоб при заданій регулятором витраті рідини через щілину 2, вісь струменя перетинала центр фотоелектричного перетворювача (7, 8) і знаходилася на рівній відстані від фотоелементів 7 та в рівному ступені перекривала потік світла, спрямований на них джерелом світла 8, що формує на виході фотоелектричного перетворювача вихідний сигнал, що дорівнює 0. Таким чином, вихідний сигнал аналогового перетворювача 10 та керуючий вихідний сигнал регулятора, вбудованого в корпус приладу 11 також дорівнює 0, внаслідок чого система регулювання знаходиться в рівноважному стані. Якщо витрата рідини Q на вході у приймальну ємність 1 змінюється, то змінюється її рівень Δh над розсікачем на $\pm\Delta h$ а також на $\pm h_{и}$ рівень рідини $h_{и}$ у вимірювальному бункері 5. Це призводить до зміни просторового положення струменя 9, який витікає з патрубку 6, що калібрується, на $\pm L$ та зміщенню осі струменя відносно центру фотоелектричного перетворювача (7, 8). В результаті один з фотоелементів даного перетворювача освітлюється у більшій, а інший – у меншій мірі. Це змінює фазу вимірювального сигналу, який перетворюється в аналоговому перетворювачі та надходить на вхід регулюючого блоку, який вбудований у корпус приладу 11 і далі на вхід виконавчого механізму 12 з регулюючим органом 13. Фаза сигналу фотоелектричного перетворювача обрана так, що при зменшенні рівня Δh над розсікачем (та відповідно зменшення дальності польоту L струменя 9) виконавчий механізм 12 збільшує витрату рідини в приймальну ємність, впливаючи на регулюючий орган 13 або навпаки, що забезпечує підтримку регулятором заданої витрати рідини, що витікає з приймальної ємності 1 через щілину 2, що калібрується.

Пропонований щілинний регулятор витрати направляє в розвантажувальний бункер об'єм рідини, що забезпечує заповнення щілини до 70 мм і до вимірювального бункера (в розглянутому випадку) – об'єм рідини, який забезпечує заповнення щілини над розсікачем, рівним 15 мм. При прирості рівня рідини над розсікачем на 1мм відносно первинного $K_2 = 1/15 = 0,066$. Отже, зміна рівня рідини в просторі над розсікачем в $K_2/K_1 = 0,066/0,012 = 5,5$ разів більше, ніж при відсутності розсікача.

Оскільки потік рідини, що рухається вище за розсікач 16, спрямовується у вимірювальний бункер, то приріст рівня рідини в ньому при вибраному діаметрі витратного патрубка вимірювального бункера буде (в порівнянні з прототипом) також більший в 5,5 разів. Швидкість руху v рідини, що витікає з витратного патрубка в загальному випадку дорівнює $v = \kappa(2gH)^{0,5}$. На основі цього можна стверджувати, що більший приріст рівня в щілині забезпечує більший приріст швидкості її руху у встановленому під кутом $\beta = (20-25)^\circ$ до горизонту витратному патрубку та більший приріст дальності польоту струменя рідини, що витікає з вказаного патрубка.

Отже, пропонований щілинний регулятор витрати забезпечує можливість зменшення порогу чутливості щілинного регулятора більше ніж у 5 разів.

Висновки. Пропонований щілинний регулятор витрат в порівнянні з прототипом має наступні переваги.

Зменшується в межах до 5 разів, поріг чутливості регулятора до зміни витрати.

Виключається можливість розбризкування струменя в просторі між фотоприймачем та освітлювачем.

Виключається необхідність пропускання усього об'єму рідини (особливо при значних витратах) через вимірювальний бункер і в просторі між фотоприймачем і освітлювачем.

Запропоновані модифікації можна провести в пристроях, що використовуються і таким чином підвищити ефективність їх експлуатації і точність вимірювання та регулювання витрати.

Література

1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. Учебник для вузов. 3-е издание. – М: Машиностроение, 1983. – С. 182.
2. Патент України на корисну модель № 103199 "Регулятор витрати рідини". МПК (2015.01) G05D 7/00, G01F 1/00. Бюл. № 23 від 10.12.2015.

Bibliography(transliterated)

1. Kulakov M.V. Tekhnolohycheskye yzmerenyia y prybori dlia khymycheskykh proyzvodstv. Uchebnyk dlia vuzov. 3-e yzdanye. – М: Mashynostroenyie, 1983. – Р. 182.
2. Patent Ukrainy na korysnu model № 103199 "Rehuliator vytraty ridyny". МРК (2015.01) G05D 7/00, G01F 1/00. Biul. № 23 vid 10.12.2015.

УДК 628.1

Дубовец А.Н., к.техн.н., доцент, Подустов М.А., д.техн.н., профессор, Литвиненко Е.И., к.техн.н., доцент, Пугановский О.В., ст. преподаватель, Букатенко А.И., к.техн.н., доцент

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ЩЕЛЕВОЙ РЕГУЛЯТОР РАСХОДА

Предложен способ модернизации существующих конструкций щелевых расходомеров, который позволяет увеличить их метрологические и эксплуатационные характеристики. Модернизация основана на дополнении устройств приёмным и разгрузочным бункером специальной конструкции а также модернизации измерительной части.

Dubovets O.M., Podustov M.O., Litvinenko E.I., Puhanovskij O.V., Bukatenko O.I.

UPGRADED SLOTTED FLOW REGULATOR

A method for modernizing existing designs of slotted flowmeters is proposed, which allows increasing their metrological and operational characteristics. Modernization is based on the addition of devices to the receiving and unloading hopper of a special design and also to the modernization of the measuring part.

УДК 621.771.07

Тарасенко Н.А., к.техн.н., профессор, Пересёлков А.Р., к.техн.н., доцент,
Тарасенко А.Н., к.техн.н., доцент

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ПРОКАТНОГО ВАЛКА В КАМЕРЕ ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ

Ключевые слова: тепловое профилирование, прокатные валки, эксплуатационная стойкость, несортовой лист, тепловой профиль, орошение, форсунка.

Введение. Тепловое профилирование бочки валка при его тепловой подготовке является важной составляющей формирования профиля валков перед завалкой его в прокатный стан. В результате предварительного подогрева валков существенно уменьшается период неустановившегося теплового режима и неустойчивого режима прокатки, сопровождающегося выходом несортового листа, а также уменьшаются температурные напряжения. Эксплуатационная стойкость подогретых валков в 2,5 раза выше, чем валков без подогрева [1–3].

Для подогрева валков перспективно использование камер тепловой подготовки, в которых можно также проводить мойку и охлаждение перед шлифовкой.

В настоящей работе рассматривается возможность теплового профилирования бочки валка прокатного стана при подогреве в камере тепловой подготовки с помощью горячей воды, подаваемой на поверхность плоскоструйными форсунками. В зоне натека капельного потока, а также в прилегающей к ней области, покрытой растекающейся пленкой воды, происходит интенсивный теплообмен. Необходимо выяснить, как влияет ширина зоны интенсивного теплообмена на поверхности валка, на формирование его теплового профиля при предварительном подогреве. Это необходимо для выдачи рекомендаций на проектирование системы подачи воды, т.е. количество и расположение стояков с форсунками, размеры, число и режимы работы форсунок.

Алгоритм решения. Исследование выполнено методом математического моделирования нестационарного процесса нагрева валка при граничных условиях 3^{го} рода.

Для тела вращения в цилиндрической системе координат при осесимметричной задаче дифференциальное уравнение, описывающее распределение значений температуры в теле валка имеет вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где t – температура, К; τ – время, с; a – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Для решения этого уравнения применен метод элементарных балансов [4].

Выражения для определения температуры при расположении расчетной линии на границе раздела сред имеют вид

$$t_{\tau+\Delta\tau} = A_0 t + A_1 t(\tau, z) + A_2 t_{R-\Delta r} + A_3 t_{z+\Delta z} + A_3 t_{z-\Delta z}, \quad (2)$$

где коэффициенты уравнения определяются соотношениями

$$A_1 = \frac{\alpha(\tau, z) \Delta \tau}{c(t) \rho \Delta z} \cdot \frac{2R}{R - \frac{\Delta r}{4}}; \quad (3)$$

$$A_2 = 2 \frac{\lambda(t) \Delta \tau}{c(t) \rho \Delta r^2} \cdot \frac{R - \frac{\Delta r}{2}}{R - \frac{\Delta r}{4}}; \quad (4)$$

$$A_3 = \frac{\lambda(t) \Delta \tau}{c(t) \rho \Delta z^2}; \quad (5)$$

$$A_0 = 1 - A_1 - A_2 - 2A_3, \quad (6)$$

где c – удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Если расчетная линия окружена твердой средой, формулы имеют вид

$$t_{\tau+\Delta\tau} = D_0 t + D_1 t_{r+\Delta r} + D_2 t_{r-\Delta r} + D_3 t_{z-\Delta z} + D_4 t_{z+\Delta z}, \quad (7)$$

где

$$D_1 = \frac{\lambda(t)}{c(t) \rho} \cdot \frac{r + \frac{\Delta r}{2}}{r \Delta r^2} \cdot \Delta \tau; \quad (8)$$

$$D_2 = \frac{\lambda(t)}{c(t) \rho} \cdot \frac{r - \frac{\Delta r}{2}}{r \Delta r^2} \cdot \Delta \tau; \quad (9)$$

$$D_3 = D_4 = \frac{\lambda(t)}{c(t) \rho} \cdot \frac{\Delta \tau}{\Delta z^2}; \quad (10)$$

$$D_0 = 1 - D_1 - D_2 - D_3 - D_4. \quad (11)$$

Результаты численного эксперимента. Объектом исследования является чугунный валок чистой клетки прокатного стана 2500. Длина всего валака 6300 мм; длина бочки – 2800 мм, ее диаметр – 850 мм. Расчетная схема валака рассматривалась для 1/4 части его продольного сечения. Осевой шаг разбивки расчетной сетки $\Delta z = 125$ мм; радиальный – $\Delta r = 25$ мм. Температура греющей воды – 90 °С. Продолжительность нагрева – 90 мин. Начальная температура тела валака $t_0 = 20$ °С.

Для корректного задания величины коэффициента теплоотдачи в зоне интенсивного теплообмена проведены дополнительные исследования с помощью α -калориметра. Выполненного в виде нихромовой ленты, нагреваемой постоянным электрическим током [6, 7]. Температура орошаемой поверхности ленты определялась по значению температуры на ее нижней (неорошаемой) поверхности, измеряемой термопарой. В результате была получена корреляционная зависимость коэффициента теплоотдачи α_k от температуры поверхности t_n , °С; удельного расхода капельной жидкости, подаваемой на орошаемую поверхность, j , кг/(м²с) и перепада давления на плоскоструйных форсунках, продуцирующих капельный поток, ΔP , Па; вида

$$\alpha_k = 1083,1 \cdot t_n^{0,48} \cdot j^{0,435} \cdot \Delta P^{0,129}, \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}). \quad (8)$$

Также экспериментально было получено корреляционное уравнение для коэффициента теплоотдачи при течении пленки воды по поверхности теплообмена в зависимости от температуры поверхности t_n , °C и скорости течения пленки ω , м/с вида

$$\alpha_{пл} = 500,3 \cdot t_n^{0,59} \cdot \omega^{0,41}, \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}). \quad (9)$$

Кроме того экспериментально установлено, что при капельно-пленочном взаимодействии воды с поверхностью, интенсивность теплообмена составляет примерно 0,8÷0,9 арифметической суммы коэффициентов теплоотдачи, полученных при раздельном натекании капель и пленки на поверхность теплообмена.

Установлено, что при капельном, пленочном или совместном капельно-пленочном взаимодействии воды с поверхностью вала, очень высока интенсивность теплообмена. Поэтому в этой зоне принято значение коэффициента теплоотдачи $\alpha_1 = 10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.

Это вполне корректно, так как в результате дополнительных расчетов было установлено, что при значениях критерия $Bi > 20$ в сопряженной задаче теплообмена, определяющим фактором уже является теплопроводность в теле вала, а не значение коэффициента теплоотдачи на его поверхности.

Вне зоны капельно-пленочного взаимодействия воды с поверхностью вала имеет место контакт с воздушно-паровой средой, где условия теплоотдачи аналогичны рассматриваемым в работе [5]. Используя результаты этой работы, задаем значение коэффициента теплоотдачи на этих поверхностях вала $\alpha_2 = 100 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.

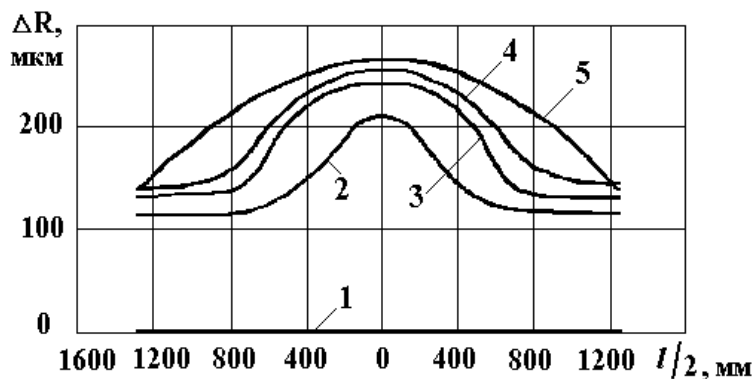


Рисунок 1 – Тепловой профиль бочки вала прокатного стана 2500 после подогрева при разной ширине зоны орошения его поверхности горячей водой

1 – исходный профиль до нагрева; 2 – при ширине зоны интенсивного теплообмена $\delta = 0,25 \text{ м}$; 3 – $\delta = 0,75 \text{ м}$; 4 – $\delta = 1,25 \text{ м}$; 5 – $\delta = 2 \text{ м}$

С помощью ЭВМ выполнен расчет температурного поля в теле бочки вала и среднеарифметические значения температуры в поперечных сечениях t_{cp_i} . Радиальное температурное расширение вала $\Delta R_i = \sigma R_0 (t_{cp_i} - t_0)$, где $t_0 = 20 \text{ °C}$; $R_0 = 425 \text{ мм}$; σ – коэффициент линейного расширения материала вала, $\frac{1}{\text{К}}$.

Выводы. Анализ результатов расчета (рис. 1) показал, что изменяя ширину зоны интенсивного теплообмена от 0,25 до 2 м можно существенно изменять тепловой профиль валка, получая увеличение его радиуса до $0,28 \cdot 10^{-3}$ м и выпуклость до $0,13 \cdot 10^{-3}$ м. Таким образом, при предварительном нагреве валка горячей водой, возможно добиться чтобы профиль его бочки стал близкий к профилю при установившемся режиме работы стана. Это позволяет существенно сократить период неустановившегося режима прокатки при пуске прокатного стана.

Применение результатов работы будет способствовать разработке и внедрению камер тепловой подготовки валков, а соответственно снижению брака и энергозатрат при эксплуатации прокатных станов.

Литература

1. Гарбер Э.А. Моделирование и совершенствование теплового режима и профилировок валков широкополосных станов горячей прокатки/ Э.А. Гарбер, М.В. Хлопоты// Череповецкий государственный университет. – Череповец : ЧГУ, Москва : Теплотехник, 2013. – 113 с.
2. Боровик Л.И., Добронравов Е.П. Технология подготовки и эксплуатации валков тонколистовых станов. – М.: Metallurgiya, 1984. – 104 с.
3. Николаев В.А. Профилирование и износостойкость листовых станов / В.А. Николаев. – Киев: Техніка, 1992. – 160 с.
4. Федоров В.И. Метод элементарных балансов для расчета нестационарных процессов поверхностных теплообменных аппаратов/ В.И. Федоров, З.А. Марценюк. – К.: Наукова думка, 1977.–140 с.
5. Кремнев О.А., Сатановский А.Л. Воздушно-водоиспарительное охлаждение оборудования. – М.: Машиностроение, 1967. – 240 с.
6. Пересёлков А.Р. Теплообмен при охлаждении высокотемпературной поверхности диспергированной водой/ А.Р. Пересёлков // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: сб. научн. трудов. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2009. – № 3. – С. 168–170.
7. Пересёлков А.Р. Методика и результаты исследования теплообмена при разном ориентировании высокотемпературной поверхности, охлаждаемой диспергированной водой/ А.Р. Пересёлков // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: сб. научн. трудов. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2015. – № 3. – С. 88–90.

Bibliography (transliterated)

1. Garber E.A. Modelirovanie i sovershenstvovanie teplovogo rezhima i profilirovok valkov shirokopolosnyih stanov goryachey prokatki / E.A. Garber, M.V. Hlopoti // Cherepovetskiy gosudarstvennyiy universitet. – Cherepovets : ChGU, Moskva : Teplotehnik, 2013. – 113 p.
2. Borovik L.I., Dobronravov E.P. Tehnologiya podgotovki i ekspluatatsii valkov tonkolistovyih stanov. – M.: Metallurgiya, 1984. – 104 p.
3. Nikolaev V.A. Profilirovanie i iznosostoykost listovyih stanov / V.A. Nikolaev. – Kiev: Tehnika, 1992. – 160 p.

4. Fedorov V.I. Metod elementarnyih balansov dlya rascheta nestatsionarnyih protsesov poverhnostnyih teploobmennyih apparatov/ V.I. Fedorov, Z.A. Martsenyuk. – K.: Naukova dumka, 1977.–140 p.

5. Kremnev O.A., Satanovskiy A.L. Vozdushno-vodoisparitelnoe ohlazhdenie oborudovaniya. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 240 p.

6. Peresjolkov A.R. Teploobmen pri ohlazhdenii vysokotemperaturnoj poverhnosti dispergirovannoy vodoj. Jenergeticheskie i teplotehnicheskie processy i oborudovanie. Vestnik NTU "KhPI": Sb. nauchn. trudov. No 3. Kharkov : NTU "KhPI", 2009.– P. 168–170.

7. Peresjolkov A.R. Metodika i rezultaty issledovaniya teploobmena pri raznom orientirovanii vyisokotemperaturnoy poverhnosti, ohlazhdaemoy dispergirovannoy vodoj. Jenergeticheskie i teplotehnicheskie processy i oborudovanie. Vestnik NTU "KhPI": Sb. nauchn. trudov. No 3. Kharkov : NTU "KhPI", 2015.– P. 88 – 90.

УДК 621.771.07

Тарасенко М.О., к.техн.н., професор, Пересёлков О.Р., к.техн.н., доцент,
Тарасенко О.М., к.техн.н., доцент

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОФІЛЮ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ В КАМЕРІ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ

Розглянуто метод профілювання валків прокатного стану в камері теплової підготовки. На основі математичного моделювання запропонована методика розрахунку теплового стану валків. Отримано залежність профілю валка від ширини зони зрошення гарячою водою. На основі отриманих результатів встановлено, що використання камер теплової підготовки дозволить знизити кількість браку і підвищити експлуатаційну стійкість валків прокатного стану.

Tarasenko N.A., Pereselkov A.R., Tarasenko A.N.

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE PROFILE ROLLED SHAFT IN THE HEAT PREPARATION CHAMBER

The method of profiling rolls a rolled mill in a heat preparation chamber is considered. The depending of zone hot waterfall width for roller surface of rolling machine on it heat profile with early heating by method mathematical modeling is developed. The experimental border conditions of heatexchange are determined. On the basis of the obtained results it was established that the use of heat preparation chambers will reduce the amount of defects and increase the operational stability of rolling mill rolls.

УДК 621.1:657.6:620.9

Назаренко О.М., к.техн.н., доцент, Біченко К.О., аспірант

Запорізька державна інженерна академія

**ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕЧЕШУКАЧІВ
ТА МЕТОДІВ ПОШУКУ ВИТОКІВ ТЕПЛОНОСІЯ
В ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖАХ (ОГЛЯДОВА СТАТТЯ)**

Ключові слова: течешукачі, витоки, теплові мережі, трубопровід, теплоносій, економія.

Вступ

Теплові мережі різних міст України у своїй більшості мають незадовільний стан: корозія металевих трубопроводів, витоки теплоносія, погіршення прохідності теплоносія за рахунок відкладень у трубопроводі, теплові втрати через відсутність або руйнування теплоізоляції. Все це збільшує накладні витрати міських теплових мереж та призводить до подорожчання послуг теплових мереж. Відсоток зношеності теплових мереж досягає 68 % [1].

Останнім часом можемо спостерігати щорічне зростання кількості аварій, пов'язаних із порушенням тепло- та водопостачання. Найбільш розповсюдженим типом аварій на трубопроводах є порушення цілісності труб та виникнення місць витоку теплоносія – течі.

На сьогоднішній день, стан трубопровідних мереж України характеризується однією-двома аваріями на один кілометр труби протягом року. З урахуванням загальної довжини та продуктивності водопроводів, показник має складати близько 0,2 аварій на один кілометр труби протягом року [2].

Для усунення витоку необхідно доволі точно визначити його місце. На сьогодні, найбільш доступним та найпоширенішим способом пошуку витоку в теплових мережах країни є метод відключення ділянок теплових мереж із аналізом витрати теплоносія на ТЕЦ, або ж аналіз перепаду тиску на ділянці теплової мережі. Такий спосіб пошуку витоку займає дуже багато часу та потребує злагодженої роботи мінімум двох робітників теплових мереж – під час відключення гілок мережі на місці, оператор ТЕЦ повинен перевірити зміну витрати живильної води. Спосіб ресурсоємний та складний. Інколи, використовуються акустичні течешукачі. За час визначення течі втрачається велика кількість теплоносія, що особливо важливо для трубопроводів систем опалення, де окрім самої води, втрачається і тепла енергія.

У сучасному світі для пошуку течій використовуються течешукачі. Для оцінки раціональності використання тих чи інших течешукачів в умовах обмеженого бюджету та при незадовільному стані теплових мереж, слід чітко визначити переваги та недоліки кожного з них.

Основні види течешукачів та методи пошуку витоків

Наразі існують наступні методи пошуку витоків: акустичні течешукачі, кореляційні течешукачі, пошук витоків по розподілу температури по поверхні над трубопроводом, пошук витоків тепловізором, манометричний метод пошуку витоків, метод контролю електромагнітного поля над поверхнею трубопроводів, використання предізованих трубопроводів із датчиками витоків теплоносія, системи віддаленого моніторингу параметрів теплоносія на трубопроводах та ряд інших.

Найбільше розповсюдження отримали акустичні течешукачі. Вони бувають двох типів: кореляційні та шумофони.

Шумофон – найбільш простий та найменш точний прилад для пошуку витоків. Точність визначення витоків такими приладами залежить від здатності оператора аналізувати шуми. Шумофон – це комплект із одного, або двох геофонів та блока оператора. Геофони розташовують на поверхні землі над трубопроводом. Вони реєструють звукові сигнали та передають їх на блок оператора. Далі оператор на слух аналізує шуми, йдучи вздовж трубопроводу. Для допомоги, на екрані приладу відображається рівень шуму. Точність визначення витоків залежить лише від суб'єктивної оцінки оператора, що й є основним недоліком приладу. До акустичних течешукачів відносяться такі течешукачі, як «Успех АТ-407Н», «СТЕТНОФОН 04» та інші.

Зазначеного недоліку позбавлені кореляційні течешукачі. Кореляційні течешукачі – це комплект приладів, що включає до свого складу два віброакустичних датчика і блок оператора. Віброакустичні датчики встановлюються на поверхні труби в точках відкритого доступу, розташованих на кінцях обстежуваної ділянки трубопроводу. Датчики фіксують звукові сигнали, що поширюються по поверхні труби, і передають їх на блок оператора по радіоканалу або кабельній лінії зв'язку. У блоці оператора здійснюється цифрова обробка сигналів, в ході якої відбувається фільтрація для виділення корисних сигналів від течі на тлі різних шумів, а також кореляційний аналіз сигналів, що дозволяє визначити місце розташування течі. В даний час кореляційні течешукачі набули широкого поширення в зв'язку з тим, що вони порівняно прості і зручні в експлуатації, а також мають відносно високі показники точності [3]. До кореляційних течешукачів відносяться такі, як «LC-2500», «Eureka 3», «Aquascan 610» та інші.

Менш поширений метод теплового контролю заснований на контролі розподілу температури по поверхні землі над трасою. Основною характеристикою витоків, при контролі цим методом, служить зміна температури на поверхні над теплотрасою. У деяких випадках, при дуже близьких температурах теплоносія та поверхні землі, спосіб не може бути використаний, і тоді переходять до іншого способу пошуку витоків. До контактних датчиків температури відносять такі, як «IFM Electronic TS2229», «ТКП-100» та інші.

Електронні термометри дозволяють вимірювати температуру поверхні над трубопроводом контактним методом – найдешевшим, але дуже повільним. Набагато швидше можна виконати цю операцію, маючи в руках безконтактний прилад контролю температури – пірометр. Швидкодія сучасних пірометрів становить близько однієї секунди, а точність виміру температури, для деяких моделей, може складати не більше 1 градуса Цельсія. Пірометр дозволяє практично безперервно проводити вимірювання тем-

ператури, що підвищує оперативність і достовірність контролю. Можна використовувати будь-які пірометри із допустимим значенням похибки. Наприклад, «ADA TempPro 550», «GM530» та інші.

Тепловізійний метод контролю теплотрас найбільш швидкий і ефективний. Оператор, озброєний високочутливим інфрачервоним приладом - тепловізором, спостерігає картину теплового стану об'єкта. Серед недоліків цього методу – висока вартість обладнання та необхідність знаходитися оператору на великій висоті, інакше площа контрольованих ділянок буде замалою [4]. У містах останній недолік можна вирішити за допомогою будівель та інших високих споруд – цієї висоти достатньо для аналізу теплотрас невеликої протяжності. У тому випадку, якщо поряд з теплотрасою немає високих споруд, використовують аеротепловізійну зйомку. У якості літального приладу зараз використовуються коптери. Серед їх недоліків – значна вартість та обмежений час роботи. Дуже часто потребується заміна АКБ під час роботи або зарядка АКБ.

Манометричний метод часто застосовують на практиці, так як це один з найдоступніших в реалізації методів. Він заснований на реєстрації зміни загального тиску в системі або на окремих її ділянках. В останні роки в зв'язку з розвитком техніки контролю малих змін тиску і температури можливості методу розширилися. На практиці, зазвичай, контролюють падіння (підвищення) тиску за певний час. Допустиму зміну тиску теплоносія в об'єкті встановлюють на основі встановлених конструктором норм герметичності. До недоліків такого методу пошуку витоків можна віднести необхідність відключення окремих гілок теплової мережі. Зазвичай, це робиться вручну – бригада робітників теплової мережі вимикає окремі гілки, а оператор ТЕЦ заміряє тиск. Або ж тиск вимірюється у каналних/напівканалних мережах у вузлових точках, де встановлені виводи для підключення манометра (у камерах).

Наразі, в Україні частіше за все використовується саме такий спосіб, що не потребує багато коштів на обладнання.

Метод контролю електромагнітного поля над поверхнею трубопроводів полягає в наступному. Уздовж трубопроводу орієнтовано посилають надвисокочастотні електромагнітні випромінювання зі змінною в часі частотою за допомогою розміщеного в ньому випромінювача передачі. По витoku з отвору течі електромагнітного випромінювання шляхом наземної пеленгації визначають її місце на трасі, отримують електромагнітні випромінювання за допомогою приймача, смуга пропускання якого дорівнює діапазону частот випромінювання передавача, при цьому місце розташування і характерний розмір отвору течі визначають по появі різкого зростання електромагнітного сигналу, фіксуючи частоту спаду, формують зондуєчий сигнал з лінійною частотою модуляції в якості електромагнітного випромінювання, переміщують приймач уздовж траси підземного трубопроводу, виявляють і селектують ЛЧМ-сигнал в місці витoku, а потім отриманий ЛЧМ-сигнал визначають по частоті і амплітуді. Далі формують за допомогою протектованих сигналів горизонтальну розгортку і частотну мітку на екрані осцилографічного індикатора. [5]

Серед недоліків метода – необхідність високого рівня кваліфікації працівників, невелика швидкість визначення витoku та відносно велика вартість обладнання.

Предізольовані труби із датчиками витоків теплоносія широко розповсюджені у країнах Європи, Африки та ін. У шарі ізоляції предізольованого трубопроводу розташовані два дроти. Останні проходять уздовж всього трубопроводу та поєднані із електронним обладнанням для моніторингу. У разі виникнення течії електронне обладнання передає точні данні щодо витоків теплоносія оператору ТЕЦ. Будь яке мінімальне проникнення вологи через шар утеплення буде визначено, навіть у вологостійких зонах та зонах із будівельною вологою. Обладнання для моніторингу може бути розташовано у будівлях, окремих установках або безпосередньо на трубопроводі. Предізольовані труби із датчиками витоків теплоносія не тільки забезпечують своєчасний вияв течії, але й є енергоефективними через шар утеплювача.

До недоліків такої системи можна віднести необхідність повної заміни теплової магістралі, установка обладнання на вже існуючі трубопроводи неможлива. Тож такий спосіб можна застосовувати лише у випадку повної заміни трубопроводів, або ж часткової, тоді моніторинг витоків можна буде виконувати лише на цих ділянках [6]. На сьогодні, на території України вже є подібні трубопроводи. Їх встановлюють на аварійних ділянках трубопроводу замість старих. Обладнання для моніторингу не підключають, тобто такий трубопровід використовується лише як предізольований [3].

Для моніторингу витоків та параметрів теплоносія у теплових мережах в будь-якій точці можна використовувати систему віддаленого моніторингу параметрів теплоносія на трубопроводах (рис. 1).

Система призначена для двотрубних теплових мереж. Вона містить цифрові датчики температури, що встановлені на двотрубному трубопроводі теплових мереж. На прямому та зворотному трубопроводах встановлені електронні датчики тиску та електронні датчики витрати, які підключено до електронного блоку збору та обробки даних, вихід якого підключено до 3G/GPRS-модулю із зовнішньою антеною. Один з входів блоку збору та обробки даних через стабілізатор напруги підключено до елемента Пельтьє, який поєднано тепловими трубками через шар термопасти до прямого та зворотного трубопроводів, другий вихід стабілізатора напруги підключено до акумуляторної батареї з контролером заряду [7]. Таке обладнання може бути встановлено у вузлових точках теплотраси із каналіною або напівканаліною прокладкою. Обладнання дозволяє визначати ділянку трубопроводу, на якій є теча. Крім того, у режимі он-лайн можливо аналізувати температуру теплоносія для визначення теплових втрат, що дозволяє визначити ділянки трубопроводу із порушенням теплової ізоляції.

До недоліків такої системи можна віднести складність монтажу та відносно велику вартість обладнання. Серед переваг – таке обладнання може бути встановлено на будь-який трубопровід. Заміна трубопроводу, як у випадку із предізольованими трубопроводами, не потрібна.

Переваги та недоліки течешукачів та методів пошуку витоків теплоносія

Якщо говорити про переваги та недоліки окремих типів течешукачів, то слід врахувати недостатність фінансування житлово-комунальної та енергетичної сфер України та неможливість повної реставрації теплових мереж.

На основі використаних літературних джерел складена таблиця 1, у якій зазначені переваги та недоліки різних типів течешукачів та методів пошуку витоків.

Висновки

Для теплових мереж міст України, з урахуванням незадовільного стану трубопроводів, більш доцільним буде використання предізольованих труб із датчиками витоків теплоносія. Заміна старого трубопроводу на новий зменшить аварійність теплових мереж, зменшить теплові втрати, дозволить визначити несанкціоновані врізки у трубопровід, зменшить витрати, пов'язані із витокami теплоносія. Але така заміна трубопроводу можлива лише за наявності коштів на балансі підприємств. Як більш дешеву альтернативу можна використати систему віддаленого моніторингу параметрів теплоносія у комбінації із кореляційними течешукачами. Тобто, спочатку оператор ТЕЦ отримує достовірну інформацію щодо гілки мережі із витокom. А сам виток на гілці можна знайти за допомогою кореляційного течешукача. Крім того, оператор ТЕЦ у режимі он-лайн зможе слідкувати за станом мережі, зможе визначити несанкціоновані врізки у трубопровід та ділянки із поганою тепловою ізоляцією.

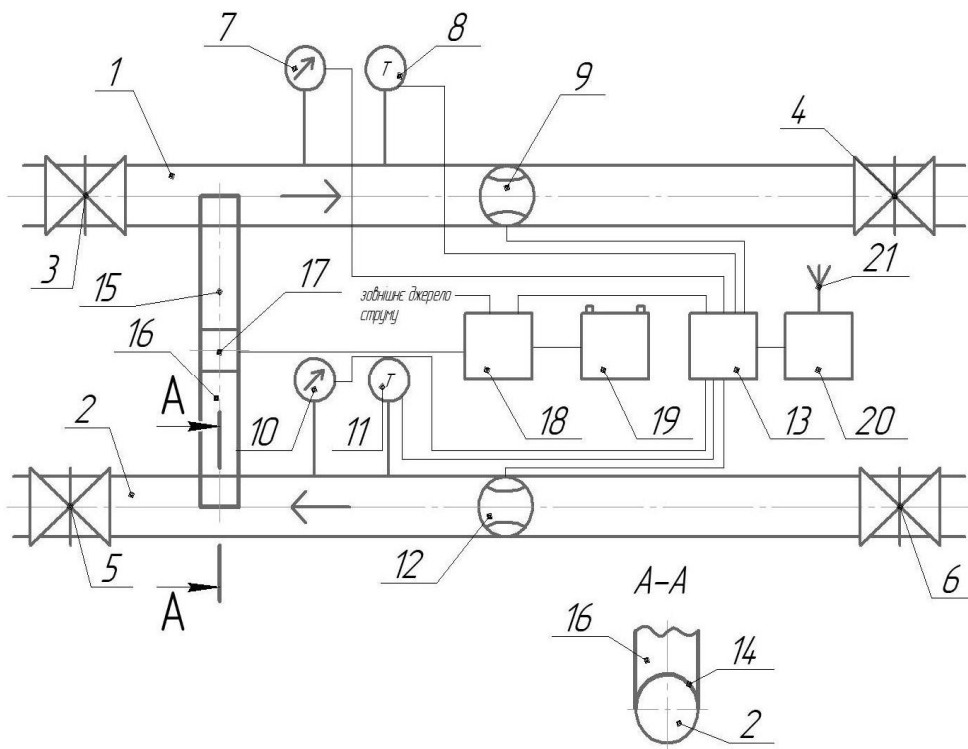


Рисунок 1 – Система віддаленого моніторингу параметрів теплоносія у двотрубних теплових мережах

- 1 – прямий трубопровід; 2 – зворотний трубопровід; 3,4,5,6 – засувки;
- 7, 10 – електронний датчик тиску, 8, 11 – цифровий датчик температури;
- 9, 12 – електронний датчик витрати; 13 – блок збору та обробки даних;
- 14 – шар термопасти; 15, 16 – теплові трубки; 17 – елемент Пельтьє;
- 18 – стабілізатор напруги; 19 – контролер заряду; 20 – 3G/GPRS-модуль; 21 – зовнішня антена

Таблиця 1 – Переваги та недоліки різних типів течешукачів та методів пошуку витоків теплоносія

Тип обладнання або метод визначення витoku	Переваги	Недоліки
1	2	3
Акустичні течешукачі, шумофони	<ul style="list-style-type: none"> – Можливість використувати один комплект обладнання на велику ділянку теплових мереж – Відносно невелика вартість обладнання 	<ul style="list-style-type: none"> – Низька точність визначення течі – Залежність від суб'єктивної оцінки оператора – Низька швидкість визначення течі
Кореляційні течешукачі	<ul style="list-style-type: none"> – Можливість використувати один комплект обладнання на велику ділянку теплових мереж – Високі показники точності – Зручні та прості в експлуатації 	<ul style="list-style-type: none"> – Низька швидкість визначення течі
Тепловий контроль датчиками температури	<ul style="list-style-type: none"> – Невелика вартість обладнання – Достатньо велика точність – Зручні та прості в експлуатації – Можливість визначити ділянки теплотраси із поганою теплоізоляцією 	<ul style="list-style-type: none"> – Низька швидкість визначення течі – Неможливо визначити незначні витoki
Тепловий контроль пірометром	<ul style="list-style-type: none"> – Невелика вартість обладнання – Достатньо велика точність – Можливість визначити ділянки теплотраси із поганою теплоізоляцією 	<ul style="list-style-type: none"> – Низька швидкість визначення течі – Неможливо визначити незначні витoki
Тепловізійний контроль	<ul style="list-style-type: none"> – Висока точність – Можливість визначити ділянки теплотраси із поганою теплоізоляцією 	<ul style="list-style-type: none"> – Велика вартість обладнання – Для визначення витоків на довгій ділянці необхідно застосовувати аеротепловізійну зйомку – Неможливо визначити незначні витoki

1	2	3
Манометричний метод	– Низька вартість обладнання	– Низька точність визначення витоку – Низька швидкість визначення витоку – Великі трудозатрати на відключення гілок теплових мереж
Метод контролю електромагнітного поля	– Висока точність визначення витоку	– Низька швидкість визначення витоку – Відносно велика вартість обладнання – Необхідність високої кваліфікації оператора обладнання
Предізольовані труби із датчиками витоку теплоносія	– Висока точність визначення витоку – Наявність теплової ізоляції на трубопроводі – Зниження аварійності трубопроводу – Висока швидкість визначення витоку – Можливість визначити несанкціоновану врізку у мережу – Мінімальне людське втручання у процес пошуку витоку – Можливість поточного моніторингу стану всієї мережі	– Висока вартість обладнання – Неможливість застосування на існуючому трубопроводі
Система віддаленого моніторингу параметрів теплоносія на трубопроводах	– Висока швидкість визначення ділянки із витоком – Можливість визначення ділянок трубопровода із поганою тепловою ізоляцією – Можливість визначення витрати теплоносія на окремій ділянці трубопровода – Можливість поточного моніторингу стану всієї мережі – Установка обладнання не вимагає повної заміни трубопроводів	– Висока вартість обладнання – Низька точність визначення місця витоку теплоносія – Складність монтажу обладнання

Література

1. Фігурка М.В. Аналіз зношеності теплових мереж в Україні: проблеми й шляхи вирішення / Марія Василівна Фігурка. // Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету “Економічна думка”. – 2015. – С. 306–311.
2. Душкін С.С. Конспект лекцій з дисципліни: Надійність водопровідно-каналізаційних систем / С.С. Душкін, М.В. Дегтяр. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. – 115 с. – (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова).
3. Ващишак І.Р. Безконтактне виявлення місць витоків у підземних тепломережах безканалної прокладки / І.Р. Ващишак, С.П. Ващишак, А.В. Яворський. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. – №2. – С. 125–132.
4. Цих В.С. Проблеми безконтактного виявлення та ідентифікації дефектів підземних нафтогазопроводів з поверхні землі / В.С. Цих, А.В. Яворський, С.П. Ващишак. // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2011. – №3. – С. 104–111.
5. Способ определения места и характерного размера течи в подземном трубопроводе: Пат. 2219429 Россия, МПК7 F17D5/02 / Кармазинов Ф.В., Прядкин Е.И., Дикарев В.И.; Кармазинов Ф.В., Прядкин Е.И., Дикарев В.И. – N 2001129478/06; Заявл. 20.06.2003; Оpubл. 10.05.2006.
6. Network monitoring [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.isoplus-pipes.com/pipeline-monitoring.html>.
7. Патент України 123556 МПК F17D 5/02 (2006.01). Системи віддаленого моніторингу параметрів теплоносія у двотрубних теплових мережах / Назаренко О.М., Біченко К.О.; заявл. 02.11.2017, опубл. 26.02.2018, Бюл. №4 (кн.1).

Bibliography (transliterated)

1. Figurka M.V. Analiz znoshenosti teplovih merezh v Ukrayini: problemi y shlyahi virishennya / Mariya Vasilivna Figurka. // Vidavnichopoligrafichniy tsentr Ternopil'skogo natsionalnogo ekonomichnogo unversitetu “Ekonomichna dumka”. – 2015. – P. 306–311.
2. Dushkin S.S. Konspekt lektsiy z distsiplini: Nadiynist vodoprovodno-kanalizatsiynih sistem / S. S. Dushkin, M. V. Degtyar. – Harkiv: HNUMG im. O.M.Beketova, 2015. – 115 p. – (Harkivskiy natsionalniy universitet miskogo gospodarstva imeni O.M. Beketova).
3. Vaschishak I.R. Bezkontaktne viyavlennya mistv vitokiv u pidzemnih teplomerezhah bezkanalnoyi prokladki / I.R. Vaschishak, S.P. Vaschishak, A.V. Yavorskiy. // Rozvldka ta rozrobka naftovih i gazovih rodovisch. – 2013. – №2. – P. 125–132.
4. Tsih V.S. Problemi bezkontaktnogo viyavlennya ta identifikatsiyi defektiv pidzemnih naftogazoprovodiv z poverhni zemli / V.S. Tsih, A.V. Yavorskiy, S.P. Vaschishak. // Naukoviy visnik IFNTUNG.. – 2011. – №3. – P. 104–111.
5. Sposob opredeleniya mesta i harakternogo razmera techi v podzemnom truboprovode: Pat. 2219429 Rossiya, MPK7 F17D5/02 / Karmazinov F.V., Pryadkin E.I., Dikarev V.I.; Karmazinov F.V., Pryadkin E.I., Dikarev V.I. – N 2001129478/06; Zayavl. 20.06.2003; Opubl. 10.05.2006.

6. Network monitoring [Elektronniy resurs] – Rezhim dostupu do resursu: <http://www.isoplus-pipes.com/pipeline-monitoring.html>.

7. Patent Ukraini 123556 MPK F17D 5/02 (2006.01). Sistemi viddalenoogo monitoringu parametriv teplonosiya u dvotrubnih teplovih mrezhah / Nazarenko O.M., Bichenko K.O.; zayavl. 02.11.2017, opubl. 26.02.2018, Byul. №4 (kn.1).

УДК 621.1:657.6:620.9

Назаренко А.Н., к.техн.н., доцент, Биченко К.О., аспирант

Запорожская государственная инженерная академия

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕЧЕЙСКАТЕЛЕЙ И МЕТОДОВ
ПОИСКА ТЕЧЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ
(ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ)**

В работе представлена сравнительная характеристика различных видов течеискателей и методов поиска утечек, которые могут быть использованы в условиях неудовлетворительного состояния тепловых сетей Украины.

Преимущества и недостатки рассмотренного оборудования для поиска утечек и методов поиска утечек сведены в таблицу.

Предложены варианты течеискателей, которые могли бы быть использованы в условиях ограниченного бюджета и неудовлетворительного состояния трубопроводов.

Nazarenko O.M., Bichenko K.O.

**COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF LEAK DETECTORS
AND LEAK DETECTION METHODS IN THERMAL NETWORKS (REVIEW)**

The article presents a comparative description of different types of leak detectors and leak detection methods that can be used in conditions of unsatisfactory condition of Ukraine's heating networks.

Advantages and disadvantages of the examined equipment for leak detection and methods of leak detection are summarized in the table.

Variants of leak detectors that could be used in conditions of limited budget and unsatisfactory condition of pipelines are offered.

«ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Ежеквартальный научно-практический журнал

Редколлегией к опубликованию принимаются статьи по следующим научным направлениям:

- ✓ энергетика и энергосбережение; энерготехнология энергоемких отраслей промышленности; нетрадиционная энергетика; ресурсосбережение; энергетика и окружающая среда;
- ✓ теплоиспользующие установки; моделирование процессов промышленного оборудования; процессы и аппараты различных отраслей промышленности (химической, пищевой, мед. оборудования и проч.);
- ✓ применение ЭВМ в технологических процессах; автоматизированные системы управления и обработки информации;
- ✓ тепло- и массообменные процессы и оборудование специальной техники; тепловые процессы и криогенное оборудование медицинского назначения;
- ✓ электроэнергетика; оборудование электростанций и передача электроэнергии;
- ✓ экономические аспекты энергетики и промышленной экологии; коммерческий инжиниринг, реинжиниринг и технологический менеджмент,

а также другим направлениям, на стыке различных отраслей знаний.

Материалы к опубликованию в каждый последующий номер принимаются до 20 числа последнего месяца предыдущего квартала. Рукописи авторам не возвращаются.

Материал должен быть подготовлен на IBM-совместимом компьютере и распечатан в 2-х экземплярах. К материалам должен прилагаться диск CD-R или CD-RW со статьей, набранной в редакторе текстов **MS Word for Windows версий 97, XP, 2000 или 2003.**

К статье необходимо приложить экспертное заключение о возможности опубликования материалов в открытой печати и рецензию доктора наук по профилю подаваемой статьи.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ:

Размер бумаги А4 (210×297 мм); левое и правое поля – 25 мм, верхнее и нижнее – 30 мм; рекомендуемый шрифт Times New Roman Сут; размер шрифта – 12; межстрочный интервал – 1.

ПОРЯДОК РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛА:

- непосредственно под верхней границей слева **БОЛЬШИМИ БУКВАМИ** печатается УДК статьи;
- пропустив одну строку, по центру печатаются инициалы и фамилии авторов;
- пропустив одну строку, по центру полужирным шрифтом **БОЛЬШИМИ БУКВАМИ** печатается название статьи;
- пропускается одна строка и с абзаца (1,25 см) печатается основной текст, отформатированный по ширине страницы;
- перед и после формул и уравнений должно быть расстояние в одну пустую строку до текста с интервалом 1;
- формулы и уравнения должны быть выровнены по центру;
- номера формул и уравнений выровнены по правому краю;
- размер шрифта формул и уравнений для основного текста – 12 пт.;
- рисунки, схемы и графики должны быть выполнены в черно-белом изображении;
- пропустив одну строку, следует список литературы, оформленный в соответствии с требованиями ДСТУ;
- в конце статьи на украинском (русском – для статьи на украинском языке), русском и английском языках должны быть напечатаны УДК, авторы, название и аннотация.

РЕДКОЛЛЕГИИ

Украина, 61002,
Харьков-2, ул. Кирпичева, 2,
НТУ «ХПИ», редколлегия журнала
«Интегрированные технологии и энергосбережение»,
секретарю редколлегии Горбунову К.А.
Тел. (057) 707-69-58.
(057) 707-61-99
Email: gor.kona2016@gmail.com

**СТАТЬИ, ОФОРМЛЕННЫЕ НЕ В СООТВЕТСТВИИ
С ПРАВИЛАМИ,
РЕДКОЛЛЕГИЕЙ НЕ РАССМАТРИВАЮТСЯ**

**НА ЖУРНАЛ ОТКРЫТА ПОДПИСКА
В ПОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ УКРАИНЫ**

Наукове видання

Щоквартальний науково-практичний журнал

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

2'2018

Технічний редактор *К. О. Горбунов*

Підп. до друку 22.06.2017 р. Формат 60 × 84 1/8. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 5,2. Наклад 300 пр. 1-й з-д 1–60.
Зам. № 85. Ціна договірна.

Видавець і виготовлювач
Видавничий центр НТУ «ХПІ»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків-2, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.