

To automatically control a three-section reactor, you need to know the mechanisms of interaction of an ammonia-air mixture (APS) with a platinum-rhodium catalyst. A mathematical model that is adequate to the actual course of the oxidation process will ensure high management efficiency by meeting the quality requirements of the initial product and reducing the economic costs of nitric acid production.

It is important to create a mathematical model of the Reactor space in the contact layer, which would give an adequate reflection of the behavior of the catalyst in it when changing the properties of the ammonia-air mixture and the reaction volume continuously entering the reactor. Well-known modern modeling methods use generalized analysis of the input substance and are based on an approximation of experimental data on the nature of the oxidation process. In the article, a mathematical model was formed that describes the behavior of the reaction space in the reactor, taking into account non-stationary conditions, the course of the process.

It is proposed to consider a reactor with three contact layers, each layer as separate objects with separate reaction contact zones. The reaction volume in the reactor is formed as a set of reaction spaces, contact layers with the contact flow. The properties of the catalyst, which is located in the contact layer, change dynamically as a result of the manifestation of non-stationary flow of the process over time.

The oxidation reactor is considered as a phenomenon that involves the presence of countless random microprocessors. This verbal model made it possible to determine the methods of mathematical modeling that should be used when creating a model for the control system. The developed model gives an idea of the relationship between the ammonia-air mixture and the catalyst. Get the transfer functions for the channel with the input coordinate of the ammonia-air ratio and the channel with the input coordinate of the mixture temperature.

Keywords: ammonia oxidation, catalyst, kinetic model, catalyst, oxidation, ammonia, loss, platinoids, reaction mechanism, nitric acid reproduction, non-stationary, modeling, synthesis, conversion rate, catalyst aging, reducing properties, control system, process modeling, multi - layer reactor, catalyst regeneration.

References

1. Atroschenko, V. I. (1985) Technology of bound nitrogen / V. I. Atroschenko, Kiev: Vyshcha SHKOLA.
2. *Production of ammonia*, ed. by V. P. Semenov (1985), Moscow: Chemistry.
3. Atroschenko, V. I. (1980) Technology of nitric acid / V. I. Atroschenko, S. I. Kargin, L.: Chemistry.
4. *Production of nitric acid in aggregates of large unit capacity* / ed. by V. M. Olevsky. (1985), M.: Chemistry.
5. *Production of ammonium nitrate in aggregates of large unit capacity* / ed. by V. M. Olevsky, (1990), M.: Chemistry.
6. Kucheryavy, V. I. (1970). Synthesis and application of urea / V. I. Kucheryavy, V. V. Lebedev. M.: Chemistry.
7. Gorlovsky, D. M. (1981). Technology of urea / D. M. Gorlovsky, L. N. Altshuler, V. I. Kucheryavy, L.: Chemistry.
8. Atroschenko, V. I. (1978) Methods of calculations based on the technology of bound nitrogen / V. I. Atroschenko, Kiev: Vysh. SHKOLA.
9. Ammonia. Questions of technology / I. M. Demidenko [et al.] (2001), Donetsk: GIK "New seal": LLC "Swan".
10. Chemical technology of inorganic substances: textbook. manual: in 2 vols. / ed. by T. G. Akhmetov, (2002) M.: Higher school, Vol. 1, 2.
11. Azotchik's Handbook: in 2 vols. / ed. by E. Ya. Melnikov, (1987), M.: Chemistry, Vol. 1.

УДК 001.891.55, 519.252

ГАВРИШ Б. А., асп., інженер з АСКВ; КОРЖИК М. В., к. т. н., доц.;

ЛУКІНІЮК М. В., магістр, ст. вик.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського";

Товариство з додатковою відповідальністю "Інститут радіовиміральної апаратури"

СТАТИКА РОТОРНОГО РЕКУПЕРАТОРА: НАТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ

Описано проведення експерименту на роторних рекуператорах вентиляційних установок у холодну пору року і подальшу ідентифікацію моделі статички рекуператора. Дослідження проводились на рекуператорах

виробництва REMAK моделі XPXR. Описано схему вентиляційної установки з роторним рекуператором. Описано сучасний стан автоматизації керування рекуператором – за ПІ та ПІД законом керування без пошуку оптимальних статичних режимів. Розроблено схему проведення експерименту з метою знаходження статичної характеристики рекуператора. Представлено чотири набори експериментальних даних по трьом вентиляційним установкам технічні параметри яких різняться (на одній з установок експеримент проводився двічі).

Обрано експоненційну структуру апроксимації. Знайдено параметри моделі методом сіток для умов за яких проводились експерименти. Порівняння моделі та експериментів показало гарну точність – середнє абсолютне відхилення по кожному набору експериментальних даних лежить в межах 0.0662-0.126 °C. Зроблено висновок про адекватність моделі і можливість її подальшого застосування. Недоліком моделі є параметр що потребує адаптації залежно від зовнішніх умов та установки, але він входить в модель лінійно, тож подібна адаптація швидко реалізується очевидними способами в режимі реального часу. Отриману модель буде використано для розробки алгоритму пошуку оптимальних режимів роботи роторних рекуператорів з метою заощадження електричної та теплової енергії.

Ключові слова: роторний рекуператор, ідентифікація моделі статички.

DOI: 10.20535/2617-9741.3.2020.217903

© Гавриш Б. А., Коржик М. В., Лукінюк М. В., 2020.

Постановка проблеми. На роботу рекуператора витрачається електроенергія (двигун обертає його, продуктивність двигуна визначається частотним перетворювачем), тож постає задача знаходження оптимальної продуктивності для досягнення оптимуму між вартістю енергії що витрачається на обертання та вартістю заощаджуваної теплової енергії. Для вирішення цієї задачі оптимізації в першу чергу необхідно отримати модель статички рекуператора що можна зробити шляхом ідентифікації експериментальних даних. Ця робота полягає у ідентифікації моделі статички за результатами проведених натурних досліджень.

Аналіз попередніх досліджень. У книзі [1] вказано типове рішення автоматизації системи рекуперації, проте не вказується сам алгоритм керування.

У [2] запропоновано модель пластинчатого рекуператора, проте вона не містить числових даних та будь-яких експериментальних підтверджень. Також там запропоновано критерій оптимальності що базується на максимізації коефіцієнту корисної дії рекуператора. Ми не вважаємо такий підхід коректним, оскільки за певних умов рекуперація теплоти вище певного рівня може бути економічно невигідною.

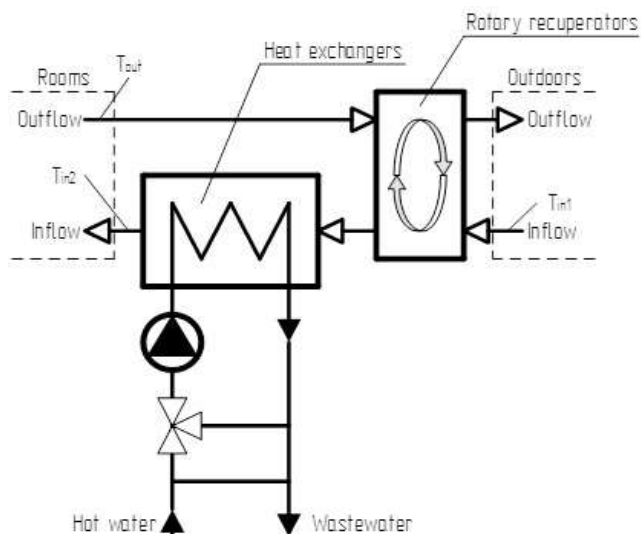
У [3] запропоновано модель динаміки базовану на представленні теплообміну "тіло рекуператора – повітря" моделлю теплопередачі "джерело – середовище". Також детальна модель запропонована у [4]. Використання цих моделей навіть для усталеного режиму потребує значних обрахункових потужностей. Оскільки модель має обраховуватись в режимі реального часу, ми прагнемо мінімізувати вимоги до використовуваного обладнання.

На практиці керування часто відбувається за ПІ чи ПІД законом з дозволом на роботу при температурі теплового потоку більшій за температуру холодного потоку на певну величину що задається (зазвичай 1-2 градуса). Звісно передбачена також система аварійного захисту рекуператора від обмерзання в холодну пору року. Таким чином при певних умовах система задає максимальну частоту обертання рекуператора навіть якщо вигреш від максимальної можливої рекуперації незначний і дорожчий ніж нагрів припливного повітря в теплообміннику гарячою водою з котельні.

Загальною науковою проблемою є пошук оптимальних режимів роботи роторних рекуператорів [5]. Невирішеною частиною наукової проблеми є знаходження структури і параметрів моделі статички що необхідно для постановки задачі оптимізації і, відповідно, її розв'язку.

Метою роботи є проведення активного експерименту на роторних рекуператорах в холодну пору року і ідентифікація моделі за отриманими даними. Необхідно провести експерименти на різних установках за різних умов для забезпечення адекватності майбутньої моделі.

Виклад основного матеріалу. Роторний рекуператор в системах вентиляції дозволяє підігрівати припливне повітря за рахунок витяжного повітря шляхом теплообміну «витяжне повітря – тіло рекуператора – припливне повітря» та часткового змішування повітря. Це дозволяє зекономити кошти на подальшому нагріві припливного повітря до заданої температури. Те ж саме стосується і охолодження припливного повітря в теплу пору року [6]. В даній роботі розглянуто роботу рекуператора саме в холодну пору року.



T_{in1} – температура вулиці, °С; T_{in2} – температура притоку, °С; T_{out} – температура приміщення, °С

Рис. 1 – Технологічна схема припливно-витяжної вентиляційної установки з рекуперацією

Технологічна схема припливно-витяжної вентиляційної установки з роторним рекуператором наведена на рисунку (фільтри, повітряні заслонки, вентилятори тощо опущено). Детальний опис процесу вентиляції і роботи роторного рекуператора можна знайти в літературі, зокрема у [1, 7, 8].

Було розроблено наступну схему експерименту:

1. Перекрити трьохходовий клапан теплообмінника так щоб у внутрішній контур не поступала гаряча вода (така необхідність була спричинена відсутністю датчика температури повітря між рекуператором та теплообмінником в доступних установках). Теплопередачею через матеріал запірної арматури та шляхом змішування води з внутрішнього та зовнішнього контурів в точці зустрічі можна знехтувати через незначущий тепловий потік (за принципом змішування).
2. Задати максимальну продуктивність рекуператора (в абсолютних одиницях l) в ручному режимі.
3. Дочекались закінчення перехідного

процесу (в тому числі температури води що в теплообміннику).

4. Задати меншу продуктивність рекуператора.
5. Повторювати пункти 3 та 4 до закінчення цікавого діапазону продуктивності. Випадки малої продуктивності не розглядалися через похибки спричинені передачею сигналу від контролера до частотного перетворювача і далі на двигун що, в свою чергу, не дозволяє забезпечити задану швидкість обертання з достатньою точністю.
6. Виконати пункти 1-5 за іншої температури зовнішнього повітря та на інших установках.
7. Зібрати дані про сигнали датчиків з архіву системи диспетчеризації.

Збирати необхідно такі дані: продуктивність рекуператора, температура зовнішнього повітря, температура повітря з приміщення, температура припливного повітря після рекуператора.

В результаті проведення натурного дослідження були отримані дані про відповідність температур припливного повітря продуктивності рекуператора. Отримані залежності мають однакову структуру для різних установок та зовнішніх умов. Ця інформація представлена нижче.

Таблиця 1 – Результати натурних досліджень для установки ПВ1

n	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.2	0.15	0.1	0.08	0.06	0.04
$T_{in1}, ^\circ\text{C}$	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.5	7.7	7.8	8	8	8	8	8.1
$T_{in2}, ^\circ\text{C}$	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.2	23.9	24	23	22.3	21.2	19.3
$T_{out}, ^\circ\text{C}$	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.9	25.9	25.9	25.9	25.8	25.6

Таблиця 2 – Результати натурних досліджень для установки ПВ2

n	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.2	0.15	0.12	0.1	0.08	0.06	0.04	0.03
$T_{in1}, ^\circ\text{C}$	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.5	7.7	7.8	7.8	8	8	8	8	8	8
$T_{in2}, ^\circ\text{C}$	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.2	24.1	23.7	23	22.6	21.5	20	17.1	16.1
$T_{out}, ^\circ\text{C}$	23	23	23	23	23	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.2	23.2	23.2	23	22.9

Таблиця 3 – Результати натурних досліджень для установки ПВ3 (перший випадок)

n	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.15	0.12	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
-----	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	-----	------	------	------	------	------	------

$T_{in1}, ^\circ\text{C}$	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	6	6.1	6.2	6.1	6.1	6.3	6.4	6.4	6.5
$T_{in2}, ^\circ\text{C}$	21.1	21.1	21.1	21.2	21.2	21.2	21.1	21	20.5	20.1	18.9	18.3	17.9	17.5	17	16.3	16	15.2
$T_{out}, ^\circ\text{C}$	21.5	21.5	21.5	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.5	21.5	21.4	21.4	21.5	21.5	21.4	21.3

Таблиця 4 – Результати натурних досліджень для установки ПВЗ (другий випадок)

n	1	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.15	0.12	0.1	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03
$T_{in1}, ^\circ\text{C}$	10.9	10.9	10.9	11	11.1	11.1	11	10.9	10.9	10.9	10.8	10.8	10.8	10.9	10.6	10.5
$T_{in2}, ^\circ\text{C}$	22.7	22.7	22.7	22.7	22.8	22.7	22.5	22.1	21.7	21	20.4	19.8	18.7	18.3	17.7	17.2
$T_{out}, ^\circ\text{C}$	22	22	22	22	22.1	22.1	22	21.9	21.9	21.8	21.7	21.7	21.6	21.5	21.4	21.3

Графічно це виглядає так:

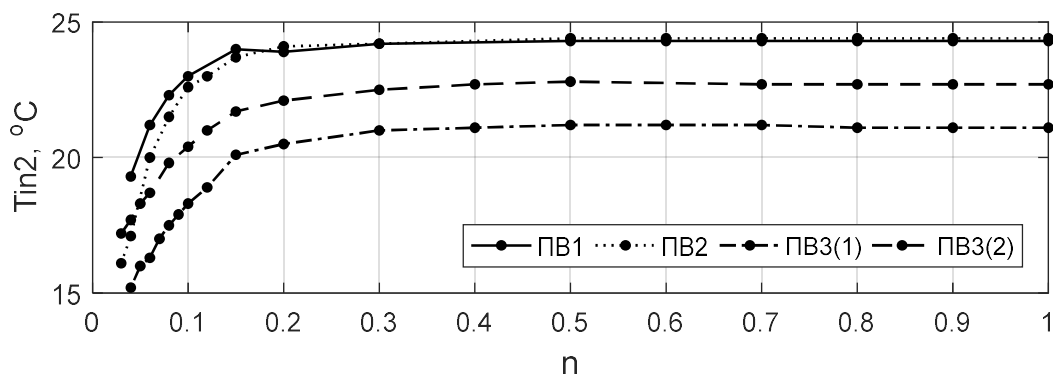


Рис. 2 – Результати натурних досліджень

Потужність двигунів рекуператорів становить 180 Вт у ПВ1 та ПВ2 і 90 Вт у ПВ3. Схема підключення двигуна рекуператора у ПВ2 – трикутник, у ПВ1 та ПВ3 – зірка.

Припливно-витяжні установки зазвичай виконують таким чином, що витрати притоку і витoku приблизно однакові. Оскільки різниця в більшості випадків в певних вузьких межах, то знехтуємо різним співвідношенням витрат притоку та витoku. Про це можуть свідчити каталоги виробників, наприклад [9].

Оскільки температури витoku та зовнішнього повітря змінювались слабо, можемо вважати їх вплив незмінним в цих межах. Тобто будемо вважати що ці графіки поокремо не відображають впливу температур зовнішнього повітря та витoku на температуру притоку.

Було помічено подібність цих кривих на експоненти, тож була обрана наступна структура апроксимації:

$$T_{in2} = a - be^{-cn}, \text{ де } a, b, c - \text{ параметри моделі.}$$

Інші структури також були розглянуті, але показали значно гірші результати. Очевидно що на об'єкт впливають і інші фактори, наприклад, температури витoku та зовнішнього повітря. Розглянемо крайні точки роботи рекуператора. Очевидно що при $n = 0$ температура притоку має бути майже такою ж як і температура зовнішнього повітря. Відхилення спричинене тепловими потоками від двигунів, стінок повітропроводів та теплопередачею через нерухоме тіло рекуператора. Виходячи з цього можемо записати:

$$a - be^{-cn} \Big|_{c=0} = a - b = T_{in1} + \Delta_1,$$

де Δ_1 – відхилення спричинене, в основному, теплообміном з двигуном вентилятора та стінками, $^\circ\text{C}$.

З експериментальних даних видно що при максимальній продуктивності рекуператора температура притоку приблизно рівна температурі витoku. Виходячи з властивостей обраної структури моделі очевидно що якби продуктивність рекуператора була нескінченно велика, то температура притоку була б приблизно такою ж (звісно якщо знехтувати тертям тощо). Тоді можемо записати:

$$a - be^{-cn} \Big|_{n=1} \approx a - be^{-cn} \Big|_{n=\infty} = a = T_{out} + \Delta_2,$$

де Δ_2 – відхилення тієї ж природи що і Δ_1 , $^\circ\text{C}$.

Тобто два з параметрів моделі, а саме $a = T_{out} + \Delta_2$ та $b = T_{out} - T_{in1} + \Delta_2 - \Delta_1$. Можемо записати:

$$T_{in2} = T_{out} + \Delta_2 - (T_{out} - T_{in1} + \Delta_2 - \Delta_1) e^{-cn}.$$

Δ_1 та Δ_2 будуть змінюватись, тож їх важко визначити. Для спрощення поки відкинемо їх. Внівши параметри φ та P замість c (про них нижче) та підбору супутніх параметрів отримали:

$$T_{in2} = T_{out} - \varphi(T_{out} - T_{in1}) e^{-(5.83+0.078P)n} + \Delta,$$

де φ – параметр що залежить від типу підключення двигуна рекуператора (при підключенні типу трикутник $\varphi = 1$, при підключенні типу зірка $\varphi = 0,644$); P – потужність двигуна рекуператора, Вт; Δ – відхилення спричинене нагрівом повітря двигунами, потоком тепла через стінки тощо, °C.

Повернемось до припущення $a - be^{-cn} \Big|_{n=1} \approx a - be^{-cn} \Big|_{n=\infty}$. Виходячі з моделі можемо записати:

$$T_{out} - \varphi(T_{out} - T_{in1}) e^{-(5.83+0.078P)1} + \Delta - (T_{out} - \varphi(T_{out} - T_{in1}) e^{-(5.83+0.078P)\infty} + \Delta) = -\varphi(T_{out} - T_{in1}) e^{-(5.83+0.078P)}.$$

Припустимо що різниця температур вулиці і приміщення рівна 10 °C, підключення типу трикутник, а потужність двигуна 100 Вт, тоді похибка складає всього $1.135 \cdot 10^{-5}$ °C.

Варто зауважити що числові значення параметрів моделей підбирались по даним другого та третього експерименту, а дані з першого та четвертого використовувались лише для перевірки моделі.

Остання складова (Δ) спричиняє найбільше незручностей через те що змінюється в залежності від погоди, двигунів, геометрії повітропроводів та форкамер тощо. Проте вона входить в рівняння лінійно і її можна легко адаптувати при роботі установки в автоматичному режимі.

Порівняємо модель з експериментальними даними. Для кожного випадку параметр Δ обирався окремо підбором, його значення склали -1.5, 1.4, -0.4 та 0.65 відповідно. Середні абсолютні відхилення (MAD) склали 0.126 °C, 0.0825 °C, 0.0662 °C та 0.0903 °C. Графічно це представлено на рисунках нижче.

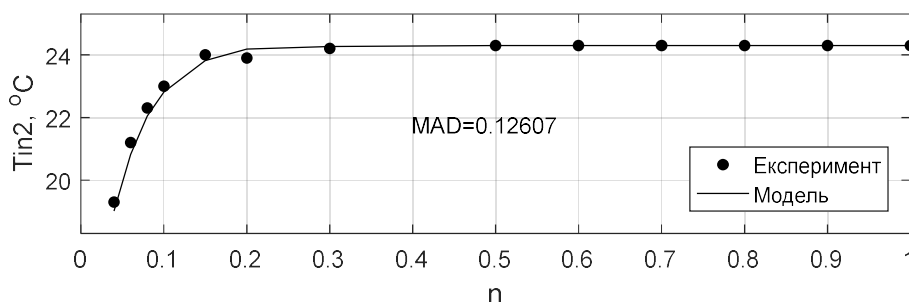


Рис. 3 – Порівняння моделі з першим експериментом

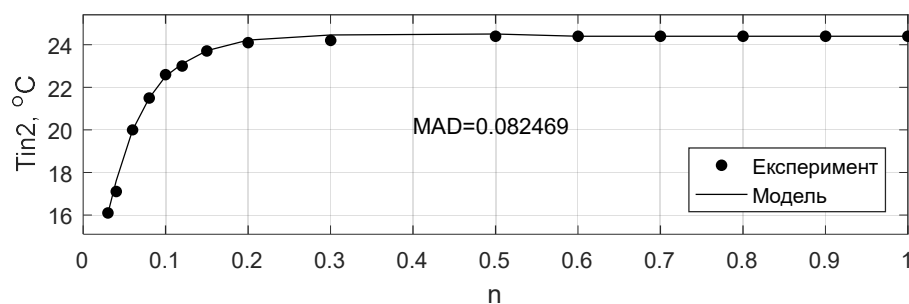


Рис. 4 – Порівняння моделі з другим експериментом

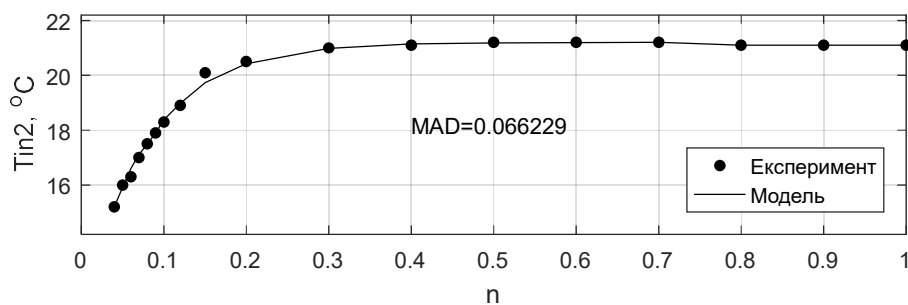


Рис. 5 – Порівняння моделі з третім експериментом

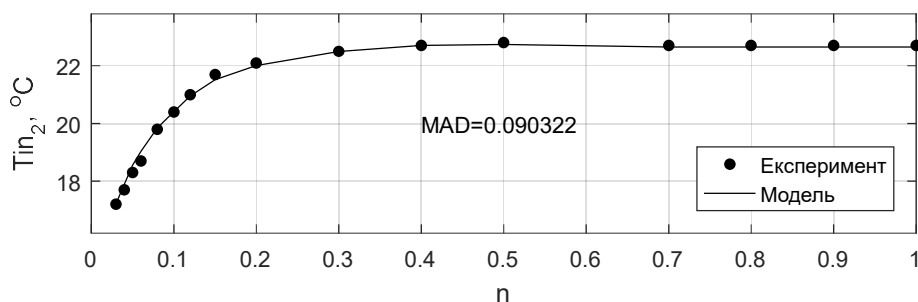


Рис. 6 – Порівняння моделі з четвертим експериментом

Оскільки відхилення дуже малі, будемо вважати отриману модель достатньо точною.

Висновки. Було розроблено план проведення натурних досліджень роторних рекуператорів вентиляційних припливно-витяжних установок в теплу пору року. Представлені результати натурних досліджень. Дослідження проводились на різних установках за різних зовнішніх умов що дозволило ідентифікувати адекватну модель статички. Отримано структуру моделі і знайдено її параметри для розглянутих випадків. Порівняння моделі з експериментами показало високу точність моделі.

Перспективи подальших досліджень. Отримана модель буде використана для розробки алгоритму пошуку оптимальних режимів роботи рекуператора. Це дозволить збільшити економічну ефективність роботи вентиляційних припливно-витяжних установок шляхом знаходження оптимуму між витратами електричної та теплової енергії.

Для підвищення економічної ефективності в теплу пору року необхідно провести серію експериментальних досліджень в режимі рекуперації холоду з метою ідентифікації моделі статички для пошуку оптимальних статичних режимів. Ми припускаємо що модель статички для теплого періоду року буде мати таку ж структуру, проте це потребує експериментального підтвердження.

Список використаної літератури

1. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: [навч. посіб.] / Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов, Г. В. Немич. Під заг. ред. Е. С. Бондаря – К.: ТОВ "Видавничий будинок "Аванпост-Прим". 2005. 560 с.: іл. – Бібліогр.: с. 548 – 549. ISBN 966-8571-15-0.
2. Кряклина И. В. Математическая модель и оптимизация параметров работы пластинчатого рекуператора // Инженерный вестник Дона, Vol. 28, no. 1, 2014, pp. 14.
3. Andrzej Grzebielec, Artur Rusowicz, Adam Ruciński Analysis of the performance of the rotary heat exchanger in the real ventilation systems // The 9th International Conference "Environmental Engineering". 2014.
4. Stefano De Antonellis, Manuel Intini, Cesare Maria Joppolo, Calogero Leone Design Optimization of Heat Wheels for Energy Recovery in HVAC Systems // Energies. 2014. Vol. 7, Issue 12, 7348-7367. doi: <https://doi.org/10.3390/en7117348>
5. Qi Xu, Saffa Riffat, Shihao Zhang Review of Heat Recovery Technologies for Building Applications // Energies. 2019. Vol. 12, Issue 7, 1285. doi: <https://doi.org/10.3390/en12071285>

6. Applicability of rotary thermal wheels to hot and humid climates / H. M. D. P. Herath, M. D. A. Wickramasinghe, A. M. C. K. Polgolla, A. S. Jayasena, R. A. C. P. Ranasinghe, M. A. Wijewardane // *Energy Reports*. 2020. Vol. 6, Supplement 2, P. 539 – 544. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.116>
7. Ghaith Alshami Rotary heat exchangers for Heat Recovery in Ventilation Systems Handbook for Design, Installation and Operation / Hoval Aktiengesellschaft, Liechtenstein, 2011.
8. Mohammad Rasouli, J. Simonson, Robert W. Besant Applicability and optimum control strategy of energy recovery ventilators in different climatic conditions // *Energy and Buildings*. 2010. Vol. 42(9), 1376-1385. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.006>
9. Припливно-витяжні установки Aerostart, Aerosmart 2020 [Електронний ресурс]. URL: http://www.ccktm.com/contentimages/catalog-ukr/Aerostart_Aerosmart_ukr.pdf (дата звернення: 15.11.2020).

Надійшла до редакції 21.09.2020

Havrysh B. A., Korzhyk M. V., Lukiniuk M. V.

ROTARY RECUPERATOR STATICS: NATURAL RESEARCH AND IDENTIFICATION

An experiment on rotary recuperators of ventilation units in the cold season and subsequent identification of the model of recuperator statics is described. The research was carried out on recuperators manufactured by REMAK model XPXR. The scheme of ventilation installation with a rotary recuperator is described. The current state of recuperator control automation is described – according to PI and PID control law without searching for optimal static modes. The scheme of carrying out experiment for the purpose of finding of the static characteristic of a recuperator is developed. Four sets of experimental data on three ventilation units whose technical parameters differ are presented (on one of the units the experiment was conducted twice).

The exponential structure of the approximation is chosen. The parameters of the model by the grid method were found for the conditions under which the experiments were performed. Comparison of the model and experiments showed good accuracy - the average absolute deviation for each set of experimental data is in the range of 0.0662-0.126 °C. The conclusion about the adequacy of the model and the possibility of its further application is made. The disadvantage of the model is the parameter that requires adaptation depending on external conditions and installation, but it is included in the model linearly, so such adaptation is quickly implemented in obvious ways in real time. The obtained model will be used to develop an algorithm for finding the optimal modes of operation of rotary recuperators in order to save electricity and heat.

Keywords: rotary recuperator, statics model identification.

References

1. "Avtomatizacija sistem ventiljacii i kondicionirovanija vozduha" [Automation of ventilation and air conditioning systems], E. S. Bondar, A. S. Hordyenko, V. A. Mykhailov, H. V. Nymych. Pid zah. red. E. S. Bondaria, Kyiv, Vydavnychiy budynok "Avanpost-Prym" (2005), ISBN 966-8571-15-0.
2. Kriaklyna Y. V. (2014) "Matematicheskaja model' i optimizacija parametrov raboty plastinchatogo rekuperatora" [Mathematical model and optimization of the operating parameters of the plate recuperator], *Inzhenernyj vestnik Dona*. Vol. 28, no. 1, pp. 14.
3. Andrzej Grzebielec, Artur Rusowicz, Adam Ruciński Analysis of the performance of the rotary heat exchanger in the real ventilation systems // The 9th International Conference "Environmental Engineering". 2014.
4. Stefano De Antonellis, Manuel Intini, Cesare Maria Joppolo, Calogero Leone (2014) Design Optimization of Heat Wheels for Energy Recovery in HVAC Systems // *Energies*, Vol. 7, Issue 12, 7348-7367. doi: <https://doi.org/10.3390/en7117348>
5. Qi Xu, Saffa Riffat, Shihao Zhang (2019) Review of Heat Recovery Technologies for Building Applications // *Energies*, Vol. 12, Issue 7, 1285. doi: <https://doi.org/10.3390/en12071285>
6. Applicability of rotary thermal wheels to hot and humid climates / H. M. D. P. Herath, M. D. A. Wickramasinghe, A. M. C. K. Polgolla, A. S. Jayasena, R. A. C. P. Ranasinghe, M. A. Wijewardane // *Energy Reports*. 2020. Vol. 6, Supplement 2, P. 539-544. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.116>
7. Ghaith Alshami Rotary heat exchangers for Heat Recovery in Ventilation Systems Handbook for Design, Installation and Operation / Hoval Aktiengesellschaft, Liechtenstein, (2011).

8. Mohammad Rasouli, J. Simonson, Robert W. (2010) Besant Applicability and optimum control strategy of energy recovery ventilators in different climatic conditions // Energy and Buildings, Vol. 42(9), 1376-1385. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.006>
 9. "Pryplyvno-vytiazhni ustanovky Aerostart Aerosmart 2020" [Supply and exhaust installations Aerostart, Aerosmart 2020] [Electronic resource]. URL: http://www.ccktm.com/contentimages/catalog-ukr/Aerostart_Aerosmart_ukr.pdf (date of application: 15.11.2020).
-

УДК 681.519-658.516

**ЖУЧЕНКО А. І., д.т.н., проф.; ЯРОЩУК Л. Д., к.т.н., доц.; ПОПОВИЧ Н. В., магістр;
ПОПОВИЧ О. В., магістр**
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ СТВОРЕННІ СИСТЕМИ ISO

Суспільство завжди оцінювало виробництво за багатьма показниками, серед яких економічна ефективність, якість продукції та екологічна безпека. Важелями для забезпечення показників якості використовували нормативні документи та технологічні регламенти.

Одна з найбільш поширених міжнародних систем, яка покликана виконати функції узгодження чисельних національних вимог до якості та екологічності, – ISO (International Organization for Standardization). Її створення та дотримання дають суттєві результати тільки при плідній співпраці фахівців, які працюють в різних предметних областях. Актуальність дослідження пов'язано з висвітленням компетенцій фахівців з автоматизації технологічних процесів в цій кооперації розробників ISO.

Дослідження полягало у визначенні шляхів застосування компетенцій фахівців з автоматизації для створення системи ISO на прикладі виробництва глинозему. У статті на основі відомої системи (піраміди) **Дані → Інформація → Аналіз → Знання → Рішення** показано, які дії і які методи такі фахівці можуть застосовувати.

Етап **Дані** пов'язаний з аналізом технологічної системи і визначенням важливих показників перебігу технологічних процесів, місць їх відбору та методів аналізу. Запропоновано розглядати вимірювання характеристик речовин і оцінювання їх працівниками як однаково важливі методи отримання даних, що можуть підвищити надійність роботи системи контролю.

Стосовно етапу **Інформація** зазначено, що існують певні перетворення даних для отримання об'єктивних властивостей речовин та характеристик технологічних об'єктів. Враховано, що ці перетворення мають деякі відмінності для даних, які визначені технічними засобами та органолептично.

Визначено, що етапи **Аналіз** та **Знання** повинні забезпечити розуміння існуючого стану технологічних процесів і передбачають наявність знань про можливі сценарії розвитку цих процесів та про ідентифікацію поточного сценарію. В системах управління якістю найчастіше використовують методи статистичного аналізу інформації. Вказано, що аналіз інформації може бути виконаний також на основі емпіричного досвіду працівників.

Показано, що етап **Знання** пов'язаний також з етапом **Рішення**. Розроблена діаграма Ісікави, як приклад формалізації зв'язків між характеристиками речовин в технологічній системі.

Зазначено, що прийняття рішень в складних системах, якими є технологічні системи виробництв, найчастіше використовують неформальні знання фахівців. Апаратом, який може бути застосований на етапі **Рішення**, є методи штучного інтелекту, зокрема експертні системи.

Описані в статті знання фахівців з автоматизації технологічних процесів, які потрібні для створення та реалізації ISO, дозволяють обґрунтувати програму підготовки студентів або випускників для роботи в цьому напрямку діяльності.

Ключові слова: якість продукції, ISO, автоматизація, факторний аналіз, експертна система, глинозем