

УДК 621.313

INNOVATIVE SHUT-OFF AND CONTROL DEVICES IN SUGAR PRODUCTION PROCESS FLOWS

V. Myronchuk, L. Kryvoplias-Volodina, V. Hera

National University of Food Technologies

S. Volodin

LCC CAMOZZI

Key words:

Shut-off and control devices
Interflange rotary disk valve
Ball valve
Numerical experiment
Sugar production

Article history:

Received 06.07.2023
Received in revised form 24.07.2023
Accepted 09.08.2023

Corresponding author:

V. Myronchuk

E-mail:

mironchukvg@ukr.net

Citation: В. Г. Мирончук, Л. О. Кривоप'яс-Володіна, В. М. Гера, С. О. Володін (2023). Інноваційні запірно-регулювальні пристрої в технологічних потоках виробництва цукру. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 107—116.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-10

ABSTRACT

The efficiency of sugar production largely depends on the reliability of the shut-off and control devices (SCDs) in the system of technological pipelines connecting the equipment into a single hardware and technological scheme operating in a continuous mode.

The results of experimental studies aimed at solving the urgent scientific and technical problem of efficiency and regulation of technological flows in sugar production pipelines by improving the structural and operational characteristics of the SCDs are presented in the article.

Based on the analysis of the actual state of the problem, it was determined that improving the reliability of the SCDs operation can be achieved by creating mathematical and physical models that determine the rational combination of initial design parameters with the standards of leakage, robustness, and service life while ensuring a given technological regulation.

By studying the operation of a DN40 interflange disc valve equipped with a pneumatic control device, the present values of the performance characteristics of the actuating SCDs' elements were calculated by the numerical modeling method, taking into account the flow capacity and closure leak tightness at the angle rotation value of the disc interflange valve by 30°, 60°, 90°. These results made it possible to determine the mode of rational use of the disc valve with smooth changes in flow characteristics, which eliminated impulse vibrations (hydraulic shocks).

The problem of correcting the steam temperature control in the stabilizing circuit of the reduction and cooling device was solved by means of dosed water supply using ball valves with a V-shaped cutout and an electro-pneumatic positioning drive. The average temperature was 132.9 °C with a set temperature of 132 °C.

The results of the research were implemented at the Yareskiv and Lynovyt'skyi sugar plants.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-10

ІННОВАЦІЙНІ ЗАПІРНО-РЕГУЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОТОКАХ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ

В. Г. Мирончук, Л. О. Кривопляс-Володіна, В. М. Гера

Національний університет харчових технологій

С. О. Володін

ТОВ КАМОЦЦІ

Ефективність цукрового виробництва значною мірою залежить від надійності роботи запірно-регулювальних пристроїв (ЗРП) у системі технологічних трубопроводів, що об'єднує обладнання в єдину апаратурно-технологічну схему, яка працює в безперервному режимі.

У статті наведено результати експериментальних досліджень, спрямованих на вирішення актуального науково-технічного завдання щодо ефективності роботи та регулювання технологічними потоками в трубопроводах цукрового виробництва шляхом удосконалення конструкційних та експлуатаційних характеристик ЗРП. На основі аналізу сучасного стану проблеми визначено, що підвищення надійності роботи ЗРП можна досягти шляхом створення математичних і фізичних моделей, які визначають раціональне поєднання вихідних конструктивних параметрів з нормами герметичності, міцності та ресурсу при забезпеченні заданого технологічного регламенту.

Дослідженнями роботи міжфланцевої дискової заслінки DN40, оснащеної пневматичним приладом керування, методом чисельного моделювання, розраховані поточні значення експлуатаційних характеристик виконавчих елементів ЗРП з урахуванням пропускної спроможності та герметичності замикання при величині кута повороту дискової міжфланцевої заслінки на 30°, 60°, 90°. Ці результати дали змогу визначити режим раціональної експлуатації дискової заслінки з плавними змінами витратних характеристик, що усуває імпульсні вібрації (гідравлічні удари).

Вирішено завдання корекції регулювання температури пари в стабілізаційному контурі РОУ шляхом дозованої подачі води за допомогою кульових кранів з V-подібним вирізом та електропневматичним позиційним приводом. Середнє значення температури складо 132,9 °C при заданому значенні температури 132 °C.

Результати виконаних досліджень реалізовані на Яреськівському та Линовицькому цукрових заводах.

Ключові слова: запірно-регулювальні пристрої, міжфланцева поворотна дискова заслінка, кульовий кран, чисельний експеримент, цукрове виробництво.

Постановка проблеми. Ефективність цукрового виробництва значною мірою залежить від надійної роботи запірно-регулювальних пристроїв у системі технологічних трубопроводів, що об'єднують обладнання в єдину апаратурно-технологічну схему, яка працює в безперервному режимі.

Аналіз тенденцій розвитку конструкцій запірно-регулювальних пристроїв (ЗРП) свідчить (рис. 1), що основними параметрами їх удосконалення є збільшення ресурсу роботи його складових елементів при гарантованому забезпеченні

визначених робочих параметрів, заданої точності необхідних витратних характеристик технологічних потоків, зменшення собівартості виготовлення, енергоспоживання та їх ремонтну придатність.

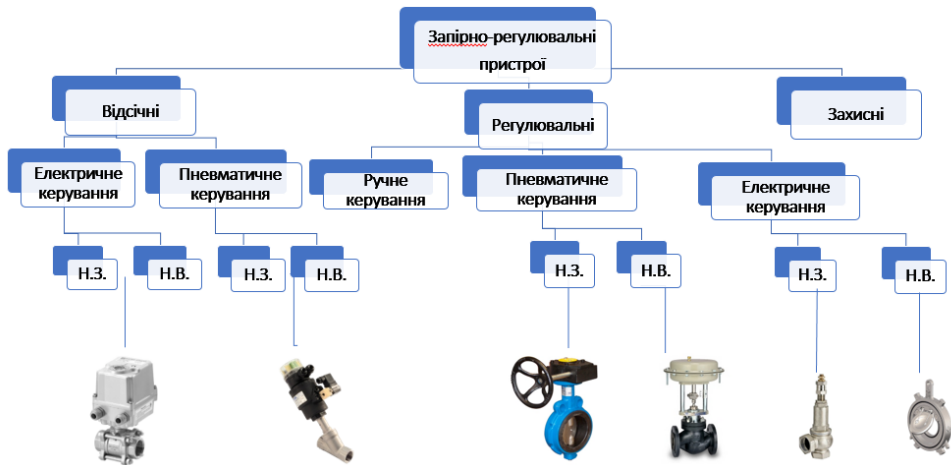


Рис. 1. Узагальнена класифікація промислових запірно-регулювальних пристроїв цукрового виробництва:

Н.В. — нормально відкриті; Н.З. — нормально-закриті

Тенденції удосконалення конструкцій запірно-регулювальних пристроїв:

- розробка нових методів розрахунку конструкційних елементів ЗРП на основі фізичних процесів гідродинаміки;
- використання нових конструкцій і матеріалів ущільнювачів;
- застосування новітніх способів обробки робочих поверхонь деталей ЗПП;
- удосконалення системи керувань ЗРП;
- усунення нестаціонарних процесів імпульсної вібрації в трубопровідних мережах;
- підвищення вимог щодо точності керування ЗРП.

При роботі запірно-регулювальної арматури неминуче виникає взаємодія потоку робочого середовища з елементами проточної частини арматури. Результатами такої взаємодії є виникнення вібрації корпусу елементів, шум, перепади тиску, зміни швидкісних характеристик потоку робочого середовища, температурні зміни, тому актуальним є дослідження гідродинаміки потоку робочого середовища при різних режимах для визначення стану трубопроводів і обладнання, пов'язаного з елементами запірно-регулювальних систем.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Наразі значне зростання актуальності застосування трубопровідної арматури призводить до уточнення системи стандартів. Так, (Chinyayev, 2016) трубопровідною арматурою вважають технічний пристрій, що встановлюється на трубопроводах, обладнанні і смонтованих, призначений для управління потоком робочого середовища шляхом зміни прохідного перерізу. Більшість розробників запірно-регулювальних пристроїв (Jonaitis, 2006) під управлінням розуміє процеси перекриття потоку, відкриття, регулювання,

скидання, розподіл, змішування і розділення різних робочих середовищ (рідкої, газоподібної, порошкоподібної, багатofазної).

Промислова трубопровідна арматура залежить від пристроїв, що встановлюються на трубопроводі і ємності та забезпечують управління потоком робочого середовища шляхом зміни прохідного перерізу (Kopytov, & Taranov, 2015). Питання проєктування, розрахунку, вибору та особливостям експлуатації арматури висвітлені у (Bhagwat, Kedar, & Jayshri, 2017). Авторами досліджувалась протяжність трубопроводів цукрового заводу, яка може становити кілька десятків кілометрів, загальна кількість арматури, яка застосовується в технологічних системах та особливості конструктивного виконання і призначення позиційних систем. Натепер основні вимоги щодо вибору запірно-регулювальних пристроїв та їх приводів (Kang, & Yuan, 2020) такі: необхідний ступінь герметичності, довговічності, циклічної стійкості, ймовірності безвідмовної роботи, ремонтпридатності, розміщення в трубопровідних системах із контролювальними системами віддаленого зв'язку, раціональні характеристики системи керування. Перелік контрольованих характеристик обладнання, пов'язаного з роботою трубопровідної системи, закладено в результатах дослідження (Kim, & Tsao, 2020). Важлива складова для вибору запірно-регулювальних пристроїв — максимальна відповідність експлуатаційним параметрам. На основі праць (Liu, & Jiang, 2014; ДСТУ EN 12266-1:2009, 2009) для різних видів ЗРП складена класифікація експлуатаційних характеристик. У дослідженнях (Hu, & Li, 2015; Wang, & Zhu, 2020; Mironchuk, & Volodin, 2015) виділені окремі недоліки роботи ЗРП, які мають обмежувальний характер (герметичність, габарити, властивості робочих середовищ). Опір потоку кульового крана може призвести до значних експлуатаційних затрат (Zhao, & Han, 2022).

З іншого боку, у дослідженнях (Balacco, & Apollonio, 2015; Ghidaoui, 2004) описано характеристики кульових кранів і дискових заслінок з чверть поворотними системами, які для підтримки заданого часу на відкриття/закриття вимагають правильно підбирати виконавчий механізм з приводом меншої потужності.

На основі досліджень (Ferreira, Martins, & Covas, 2018; Mingjiang ShiTing Ye, 2022) обґрунтовано актуальність розв'язання задач щодо впливу пружно-дисипативних властивостей ланок з урахуванням тертя в контактних парах запірно-регулювальних елементів на роботу електропневматичного приводу та його технологічних параметрів. Проведений аналіз чинних досліджень, пов'язаних з ефективністю роботи пристроїв запірно-регулювальних елементів, показав недостатність досліджень щодо їх експлуатаційних характеристик.

Метою статті є дослідження параметрів удосконалення конструкцій і підвищення ефективності роботи ЗРП шляхом чіткого регулювання потоками в трубопроводах цукрового виробництва завдяки підвищенню їх експлуатаційних характеристик.

Матеріали і методи. Дослідження проводили методом чисельного моделювання на розроблених і виготовлених експериментальних стендах:

- на експериментальному стенді для дослідження кінематичних і аналітичних параметрів ЗРП в умовах змінної продуктивності, в якому передбачено можливість зміни законів руху вихідної ланки (диска, кулі, клапана), що дає змогу задавати та відстежувати кінематичні та динамічні характеристики ЗРП за умов змінної продуктивності технологічної ділянки;

- на експериментальному стенді досліджували роботу ЗРП з пропорційним керуванням за допомогою цифрового витратоміра і датчиків тиску. Дослідження проводили за умов двоконтурної мережі: зона керування — повітря тиском 6 барів, температурою 20 °С; робоча зона — вода тиском 0,2—4,0 бари, температурою 20—70 °С.

Результати і обговорення. Дослідження роботи міжфланцевої дискової заслінки DN40, оснащеної електропневматичним приладом керування, здійснювали методом чисельного моделювання з використанням програмного пакета Solidworks. Адекватність отриманих результатів перевірено на власно розробленій експериментальній установці для дослідження гідродинамічних процесів. Зокрема досліджено удосконалену, за формою ущільнень, дискову міжфланцеву заслінку з електропневматичним позиційним приводом керування ERDNAF-N52N (рис. 2) на базі розробленої моделі. Базові моделі дослідження ґрунтуються на рівнянні Нав'є-Стокса (рівняння збереження імпульсів разом із рівнянням нерозривності потоку).

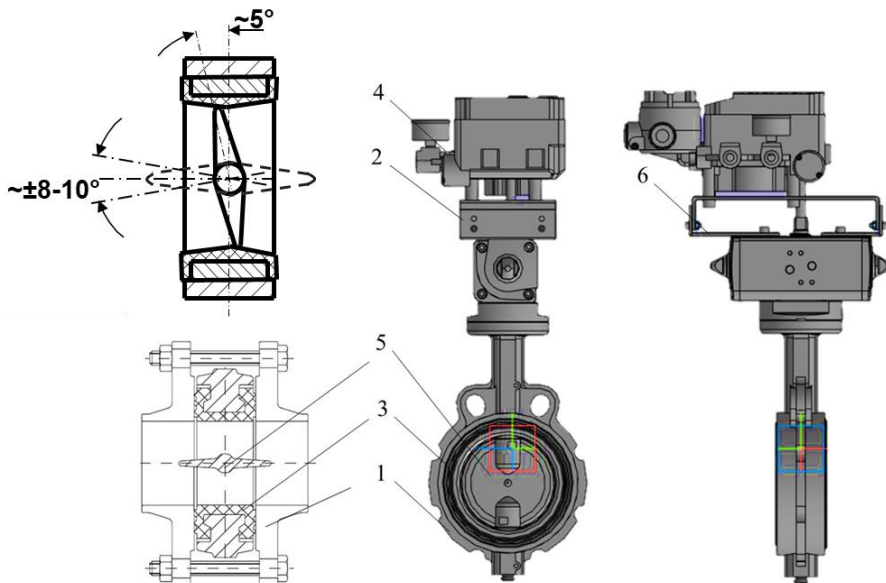


Рис. 2. Дослідна модель ЗРП: 1 — корпус; 2 — поворотний пневматичний привод; 3 — ущільнення; 4 — електропневматичний позиційний привод; 5 — диск; 6 — монтажна платформа

Розраховано поточні значення експлуатаційних характеристик виконавчих елементів ЗРП обладнання цукрового виробництва з урахуванням пропускної спроможності та герметичності замикання при заданій величині ходу ланки.

Дослідження проводили за умов відкривання–утримання–закривання дискової заслінки на кут повороту 30°, 60°, 90°. У результаті отримали розподіл тиску за вищезазначених умов положення диска заслінки (рис. 3).

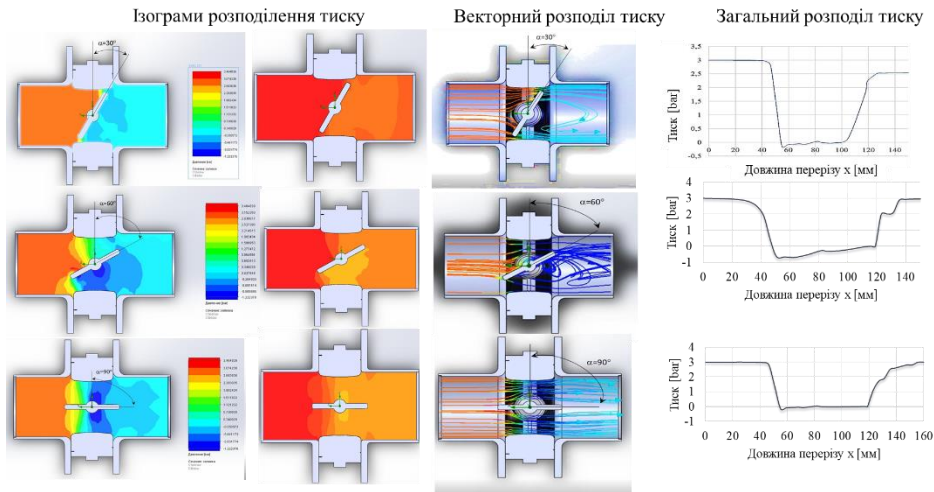


Рис. 3. Моделі, побудовані для отримання графічних залежностей розподілення тисків, для встановленого кута відкриття диска заслінки: 30°, 60°, 90 °С

У цьому випадку обраховували зв'язок перепаду тиску і швидкості потоку за рівнянням:

$$\Delta P = \zeta \frac{V^2}{2g} = (\zeta_1 + \zeta_2) \frac{V^2}{2g}, \quad (1)$$

де ζ_1 , ζ_2 — безрозмірні коефіцієнти гідравлічного опору ЗРП та трубопроводу; V — швидкість течії робочої рідини, м/с; g — прискорення вільного падіння, м/с².

Узагальнені результати чисельного моделювання за коефіцієнтом гідравлічного опору (2) залежно від кута повороту диска заслінки, тобто від ступеня перекриття прохідного перерізу ЗРП наведені на рис. 4.

Коефіцієнт гідравлічного опору:

$$\zeta = \frac{2g\Delta P}{V^2}. \quad (2)$$

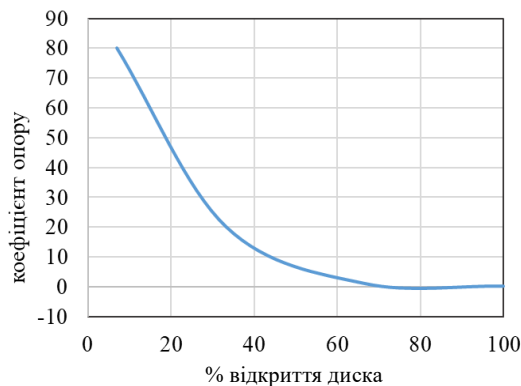


Рис. 4. Залежність коефіцієнта гідравлічного опору від ступеня перекриття ЗРП дисковою міжфланцевою заслінкою

Результати досліджень дали змогу визначити режим раціональної експлуатації дискових заслінок, що забезпечуються сигналами керування на здійснення плавних змін витратних характеристик з метою усунення імпульсних вібрацій (гідравлічних ударів). При цьому точність відпрацювання керуючого сигналу переміщення виконавчого переміщення ЗРП складає один відсоток від загального кута повороту заслінки.

Результати виконаних досліджень використовують для відпрацювання і вибору на стадії проектування проточних частин ЗРП за гідродинамічними характеристиками. Під час натурних випробувань дискові заслінки типу DN використали для підтримання заданого рівня соку (сиропу) в корпусах випарної станції цукрового заводу.

На рис. 5 продемонстровано результати підтримання необхідного рівня соку першого і другого корпусах випарної станції за допомогою зміни кута повороту диска заслінки. При цьому середнє значення рівня соку в першому корпусі склало 65,86% при заданому значенні 66%, у другому корпусі — 84,75% при заданому значенні 66%, що відповідає вимогам технологічного регламенту.

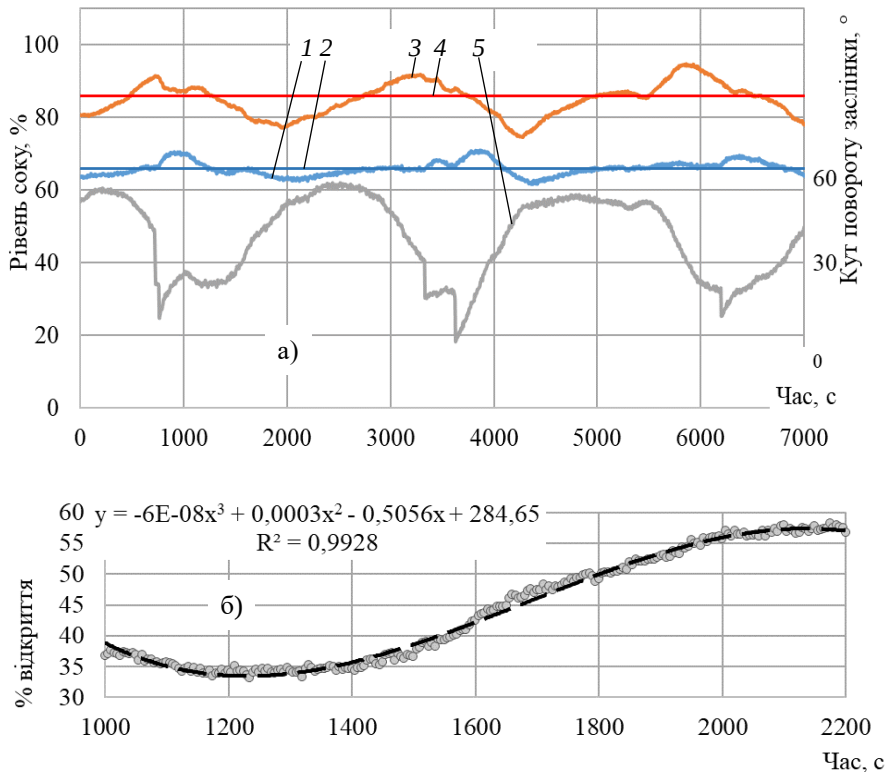


Рис. 5. Результати регулювання рівня соку в першому та другому корпусах випарної станції дисковою заслінкою з позиційним електропневматичним приводом, отримані при впровадженні запропонованого ЗРП в ТОВ «ІНВЕСТПРОМХОЗ»: а) діаграма значень рівня соку в першому та другому корпусах та кута повороту дискової заслінки: 1 — рівень у 1 корпусі, 2 — завдання 1, 3 — рівень у 2 корпусі, 4 — завдання 2, 5 — кут повороту заслінки; б) узагальнена характеристика кута повороту заслінки та результати математико-статистичної обробки

Отримані результати досліджень застосовані на випарних станціях Яреськівського та Линовицького цукрових заводів при впровадженні ЗРП дискових міжфланцевих поворотних заслінок із позиційним електропневматичним приводом.

Окрім дискових заслінок, на Линовицькому цукровому заводі успішно пройшли випробовування кульові крани в V-подібним вирізом під кутом 60° (рис. 6) та електропневматичним позиційним приводом для регулювання температури пари в стабілізуючому контурі редуційно-охолоджувальної установки (РОУ) за рахунок дозованої подачі води. Якщо порівняти зі звичайними кульовими кранами (без V-подібного вирізу), кульові крани DN32 з V-подібним вирізом та електропневматичним позиційним приводом забезпечують практично лінійні характеристики змін витрат води на охолодження пари в РОУ, що підтверджує ефективну роботу таких кранів.

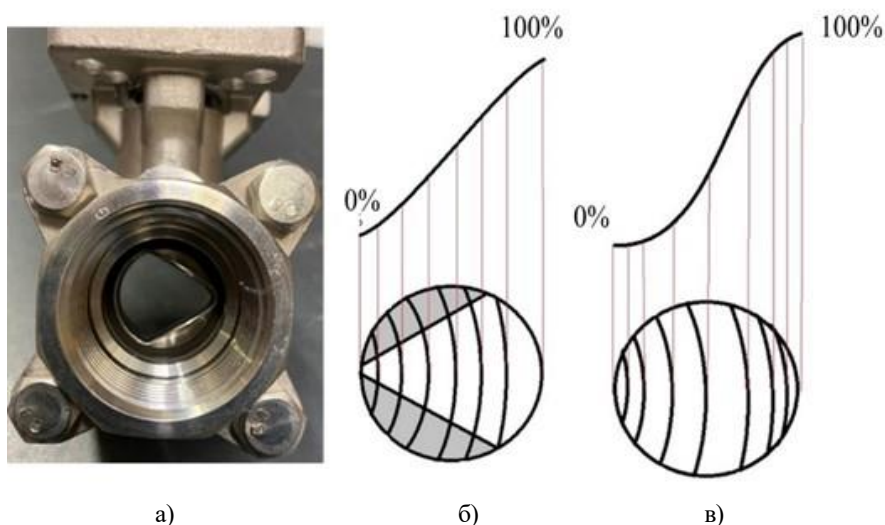


Рис. 6. Запірно-регулювальний пристрій стабілізуючого контура РОУ:

а) кульовий кран; б), в) порівняльні характеристики зміни витрат води в стабілізуючому контурі РОУ при використанні кульового крана з V-подібним вирізом під кутом 60° і звичайного кульового крана

Результати випробувань засвідчили, що при заданому значенні температури пари 132°C після РОУ середнє значення температури пари на виході із РОУ склало $132,9^\circ\text{C}$. На рис. 7 продемонстровано характеристики зміни температури пари в стабілізаційному контурі РОУ при використанні кульового крана з V-подібним вирізом під кутом 60° та умовним проходом 32 мм.

Результати досліджень показали, що запропоновані рішення щодо стабілізації надходження технологічної пари на випарну станцію цукрового заводу шляхом використання кульового крана з V-подібним вирізом у стабілізаційному контурі РОУ забезпечує чітке підтримання заданої температури пари на виході з РОУ.

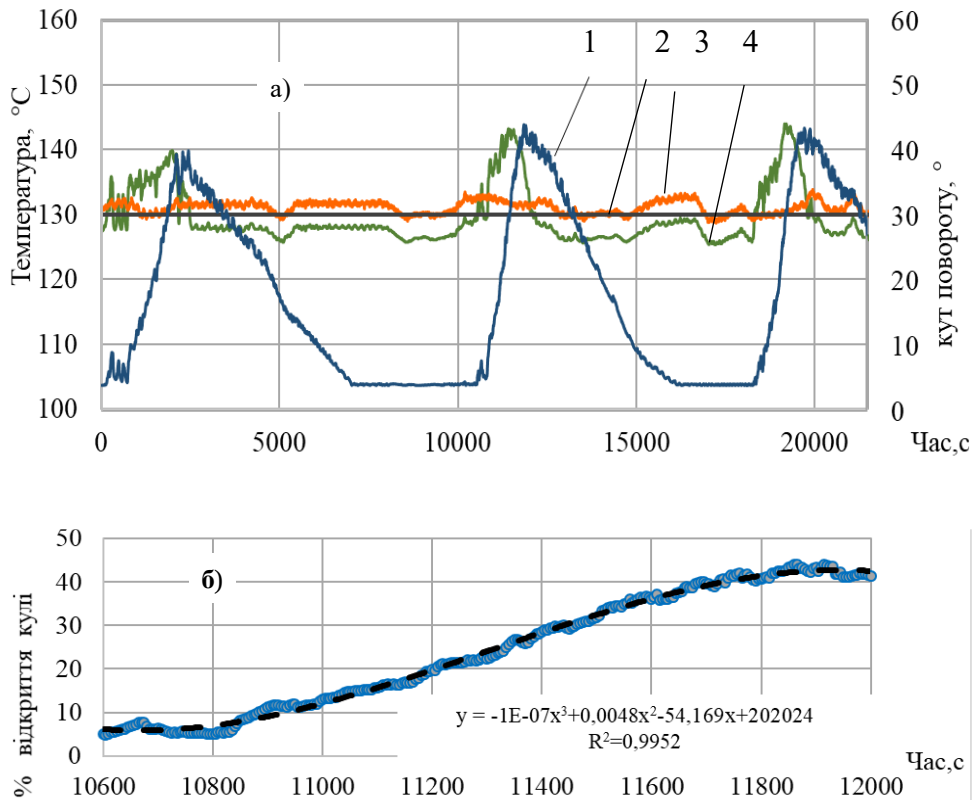


Рис. 7. Характеристика зміни температури пари у стабілізуючому контурі редукційно-охолоджувальної установки при використанні кульового крану з V-подібним вирізом з позиційним електропневмоприводом для регульованої подачі води, отримана при впровадженні в ТОВ «ІНВЕСТПРОМХОЗ»: а) узагальнена характеристика зміни температурних показників від кута повороту ЗРП: 1 — кут повороту кулі, 2 — завдання; 3 — температура ретурної пари після турбіни; 4 — температура редукційованої пари; б) кут повороту кулі та результати математично-статистичної обробки

Висновки

Застосування інноваційних запірно-регулювальних пристроїв у технологічних потоках виробництва цукру гарантують підтримання визначеного технологічного регламенту та заданої точності витратних характеристик технологічних потоків цукрового виробництва.

Вдосконалено типові конструкції запірно-регулювальних пристроїв у складі технологічних трубопроводів виробництва цукру, оснащених міжфланцевими дисковими поворотними заслінками типу DN та кульовими кранами з V-подібним вирізом.

Вирішена задача дотримання стабільного рівня соку в першому та другому корпусах випарної станції цукрового заводу при забезпеченні плавності роботи системи керування ЗРП, а також проблема корекції регулювання температури пари на виході з РОУ шляхом точно дозованої подачі води.

Результати впровадження вищезгаданих напрацювань свідчать про високу ефективність їх використання для забезпечення стабільності витратних характеристик технологічних трубопроводів виробництва цукру.

Література

Chinyaev, I. R. (2016). The Valve is a Shutoff for the Passive Protection Systems of Pipelines. *Procedia Engineering*, 150, 220—224. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.750>.

Ionaitis, R. R. (2006). Passive means, systems, security items, Glossary of terms, definitions, and interpretations. *Pipeline valves, and equipment*, 4, 85—87.

Kopytov, I. I., Taranov, G. S. (2005). Passive system of emergency cooling of reactor cores in modern NPP designs and ways for their further improvement. *Proceedings of AEDs*, 6, 17—21.

Bhagwat B. Kedar, Jayshri S. (2017). Gulave Mitigations to Flow Induced Vibration (FIV) in Control Valve Piping System using Visco-Elastic Dampers & Neoprene Pads. *International Journal of Science Technology & Engineering*, 3, 40—49. Взято з: <http://surl.li/jgwgz>.

Jian Kang, Zhaohui Yuan (2020). Numerical Simulation and Experimental Research on Flow Force and Pressure Stability in a Nozzle-Flapper Servo Valve. *Processes*, 8(11), 1404. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr8111404>.

Kim, D. H. Tsao, T. C. (2020). A Linearized Electrohydraulic Servovalve Model for Valve Dynamics Sensitivity Analysis and Control System Design. *J. Dyn. Syst. Meas. Control*, 122, 179—187.

Liu, C. Jiang, H. A (2014). Seventh-order model for dynamic response of an electro-hydraulic servo valve. *Chin. J. Aeronaut.*, 27, 1605—1611. doi: <https://doi.org/10.1115/1.3153006>.

Hu, J. P. Li, K. J. (2015). Numerical simulation for a twin-flapper-nozzle servo valve's working process. Zhendong Yu Chongji. *J. Vib. Shock*, 34, 109—114. DOI: 10.13465/j.cnki.jvs.2015.15.020.

Wang, Y. Zhu, C. (2020) Numerical Analysis to the Effect of Guiding Plate on Flow Characteristics in a Ball Valve. *Processes*, 8, 69. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr8010069>.

Zhao, B. Han, L. (2022). Effects of blade angle on mixed-flow pump on internal vortex structure and impeller-guide vane adaptability. *J. Drain. Irrig. Mach. Eng.*, 40, 109—114. DOI: <https://10.3969/j.issn.1674-8530.20.0269>

Balacco, G.; Apollonio, C. (2015). Experimental analysis of air valve behavior during hydraulic transients. *Appl. Water Eng. Res.*, 3, 3—11. DOI: <https://doi.org/10.1080/23249676.2015.1032374>.

Ghidaoui, M. S. (2004). On the fundamental equations of water hammer. *Urban Water J.*, 1, 71—83. DOI: <https://doi.org/10.1080/15730620412331290001>.

Ferreira, J. P.; Martins, N. M.; Covas, D. I. (2018). Ball valve behavior under steady and unsteady conditions. *Hydraul. Eng.*, 144, 04018005. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001434](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001434).

Mingjiang ShiTing Ye (2022). Design and experimental research of internal leakage detection device of buried pipeline ball valve based on valve cavity pressure detection. *Flow Measurement and Instrumentation*. 83(2):102112. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2021.102112.