

УДК 681.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.1-65.4>

**Кулінченко Г. В.**, кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління  
Сумського державного університету  
ORCID: 0000-0002-8501-5636

**Панич А. О.**, асистент  
кафедри комп'ютеризованих систем управління  
Сумського державного університету  
ORCID: 0000-0003-2511-5763

**Журба В. О.**, кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління  
Сумського державного університету  
ORCID: 0000-0003-4475-9898

**Соколов С. В.**, кандидат фізико-математичних наук,  
доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління  
Сумського державного університету  
ORCID: 0000-0001-8707-4616

## SCADA-СИСТЕМА УТИЛІЗАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ НАДЛИШКОВОГО ТИСКУ ГАЗУ

*По мірі зростання потужностей установок утилізації надлишкового тиску, які будуються на базі детандер-генераторного агрегату (ДГА), підвищується увага до збільшення ефективності цих установок. Зміна параметрів потоку, що надходить до установки утилізації, обумовлює необхідність стабілізації параметрів електроенергії, що генерується у мережу споживання. У значній мірі збурення режимів обертання турбіни, що входить до складу ДГА, пов'язані із зміною у часі параметрів електричного навантаження.*

*Оскільки кроки по удосконаленню систем керування установками малої енергетики при сучасних темпах розвитку мікропроцесорної техніки становляться все більш популярними, то розробка інструментарію налаштувань багатоконтурних регуляторів повинна відповідати вимогам ринку.*

*Розглянута структура дворівневої SCADA-системи, що забезпечує стабілізацію параметрів функціонування ДГА в умовах зміни навантажень та збурень потоку газу. Операторська станція забезпечує моніторинг процесу, а блок регулювання – зв'язок з польовим рівнем та генерацію керуючих впливів для драйвера крокового двигуна. Відповідно до керуючих сигналів кроковий двигун відпрацьовує положення засувки трубопроводу газу, яке визначає тиск та витрати потоку.*

*НМІ-інтерфейс дає змогу відображати стан працюючого обладнання установки, а SCADA-система – фіксувати дані для наступної обробки та налаштувань контурів керування. Використання технології OPC сервера при побудові SCADA-системи дає змогу налагодити взаємодію результатів моделювання об'єкта керування у середовищі MATLAB та середовища програмування PLC S7-300 фірми SIMATIC.*

*Практична значимість досліджень полягає у розширенні можливостей налаштувань локальних регуляторів, що взаємодіють в системі керування установкою утилізації надлишкового тиску.*

*Перспектива використання SCADA-системи полягає у побудові мережі утилізаційних установок, що підвищить ефективність використання енергії надлишкового тиску.*

*Ключові слова: енергозбереження, НМІ-людина машинний інтерфейс, схема автоматизації, турбіна, локальний регулятор.*

**Kulinchenko H. V., Panych A. O., Zhurba V. O., Sokolov S. V. Scada system of disposal plantgas excess pressure**

*As the capacity of excess pressure utilization units, which are built on the basis of the expander-generator unit (EGA), increases, attention is being paid to increasing the efficiency of these units. A change in the parameters of the flow coming to the recycling plant necessitates the stabilization of the parameters of the electricity generated in the consumption network. To a large extent, disturbances in the rotation modes of the turbine, which is part of the EGA, are associated with the change in time of the electrical load parameters.*

*Since the need to improve the control systems of low-energy installations at the current pace of development of microprocessor technology are becoming more and more popular, the development of tools for setting multi-loop regulators must meet market requirements.*

© Г. В. Кулінченко, А. О. Панич, В. О. Журба, С. В. Соколов, 2023

---

*The structure of the two-level SCADA system, which ensures the stabilization of the parameters of the DGA operation under the conditions of load changes and gas flow disturbances, is considered.*

*The operator station provides process monitoring, and the control unit provides communication with the field level and generation of control influences for the stepper motor driver. According to the control signals, the stepper motor works out the position of the valve of the gas pipeline, which determines the pressure and flow rates.*

*The HMI interface allows you to display the state of the plant's operating equipment, and the SCADA system captures data for subsequent processing and control circuit adjustments. The use of OPC server technology in the construction of a SCADA system makes it possible to establish the interaction of the results of modeling the control object in the MATLAB environment and the PLC S7-300 programming environment of the SIMATIC company.*

*The practical significance of the research lies in the expansion of the possibilities of setting local regulators that interact in the control system of the excess pressure disposal plant.*

*The prospect of using the SCADA system is to build a network of utilization facilities that will increase the efficiency of using overpressure energy*

Key words: energy saving, HMI – human-machine interface, automation scheme, turbine, local regulator.

**Вступ.** Використання детандер-генераторних агрегатів (ДГА) на компресорних станціях сформувалося у перспективний напрямок збільшення економічної ефективності процесів, в яких утилізується надлишковий тиск. В результаті використання енергії цього тиску, електричний генератор, що задіяний у схемі ДГА, перетворює механічну енергію в електричну. По мірі зростання потужностей установок підвищується увага до ефективності установок утилізації та параметрів якості згенерованої електроенергії [1]. Навіть у випадках, коли згенерована енергія не видається в мережу, а використовується на власні потреби газорозподільчих станцій (ГРС), стабільність електричних параметрів є актуальною. Необхідність стабілізації електричних параметрів пов'язана з тим, що параметри потоку, що надходить до ДГА, змінюються у часі. З іншого боку, електричне навантаження мережі споживання теж не є сталим.

Оскільки впровадження енергозберігаючих технологій становиться стійкою тенденцією розвитку енергетики, то запит на вдосконалення засобів керування енергетичними процесами теж не втрачає своєї актуальності.

Аналізуючи фактори, які визначають можливості практичного впровадження засобів автоматизації керування ДГА, можна констатувати, що успішність реалізації розроблених методів керування у значній мірі залежить від інструментарію налаштувань. Необхідність відслідковування взаємопов'язаних параметрів процесу утилізації, зокрема стану обладнання експериментальної установки утилізації [2], обумовлює створення SCADA-системи цієї установки. Доцільність запровадження такої системи ґрунтується на перспективах використання SCADA-систем у промислових масштабах, особливо при дистанційному керуванні мережею ГРС.

Подальші дослідження представляються у розробці методик налаштувань регуляторів процесів установок малої енергетики на базі SCADA-систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При розгляді варіантів побудови SCADA-системи на перший план виходить задача конфігурації її структури, яка залежить від об'єму завдань, що вирішуються системою керування. Якщо ці завдання сформовані на рівні локальних контурів керування, то структура має класичний вигляд. При цьому для вирішення завдань первинного збору та обробки даних, а також вироблення керуючих впливів на технологічне обладнання, достатньо уніфікованих програмно-технічних засобів.

Проте, при необхідності підвищення ефективності роботи установки утилізації тиску газу пропонується комплексний підхід до організації роботи установки [3], в якій об'єднуються функції регулювання тиску джерела енергії та витрат газу. Іншим фактором підвищення ефективності установки утилізації є процес підігріву газу, що надходить до детандера [4] ДГА. Необхідність його підігріву пов'язана із суттєвим зниженням температури на виході детандера, яка впливає на умови подальшого використання або транспортування газу.

Втім, головний контур керування ДГА будується з огляду на завдання забезпечення якості генерованої електроенергії. Тому для реалізації загальної системи керування установкою необхідно враховувати не тільки взаємозв'язок підсистем [3,4], але й динамічну реакцію об'єкту керування (ОК) на керуючі впливи програмно-технічних засобів [5].

Таким чином комплексний підхід до автоматизації ДГА призводить до ускладнення структури системи керування, побудувати яку на базі одного ПЛК проблематично. Додатковим фактором ускладнення системи керування ДГА є необхідність моніторингу та візуалізації параметрів установки.

Специфічність ОК, яким є ДГА, обумовлює складнощі при його дослідженнях в умовах реальної експлуатації. Тому на перших етапах досліджень створюваної системи вважається доцільним створення експериментальної установки утилізації надлишкового тиску [2]. Використання цієї експериментальної установки дає змогу імітувати зміну режимів навантаження з різними типами регуляторів. Оптимізація налаштувань параметрів системи керування здійснюється в результаті аналізу трендів, що отримуються під системою візуалізації експериментів.

---

Пошук компромісів налаштувань локальних регуляторів здійснюється на базі результатів моделювання [6]. Тим не менш, питання взаємодії програмно-технічних засобів системи керування та результатів моделювання на даному етапі досліджень залишаються відкритими. Тому, поряд із завданням розробки SCADA-системи установки на базі формальних процедур, ставиться завдання впровадження результатів моделювання у технічні засоби діючої установки.

Узагальнюючи завдання для створення SCADA-систем відновлюваної енергетики, в роботі [7] запропоновано інструмент моделювання, який легко підключається до реальної SCADA. Перевагою запропонованого симулятора є можливість навчання операторів електростанцій, оскільки керування симулятором подібно діям на реальної установці.

Дослідження по реалізації SCADA-системи для керування потужністю системи наповнення [8] спрямовані на реалізацію апаратних компонентів системи та інтерфейс зв'язку між головною станцією та блоками керування даними. Основним завданням запропонованої SCADA-системи є забезпеченню сумісності підсистем баз даних.

Найбільшу зацікавленість викликає SCADA-система, що використовується для керування енергетичними вітровими установками [9]. Ця зацікавленість пов'язана з подібністю процесів, що відбуваються у ДГА та вітрогенераторі. Проте, як стверджують автори, серед проблем, які необхідно подолати, є різниця даних від турбіни до турбіни, а також зміна даних від умов експлуатації. Заходи, що пропонуються по розвитку SCADA-систем вітрової енергетики, є використання технологій штучного інтелекту. Ці технології (NN, Fuzzy, ANFIS, GA) сприяють вирішенню завдань оптимальних налаштувань, прогнозування потужності, оцінки ефективності, прогнозування несправності турбіни. Використання методів консолідації даних дозволяє SCADA-системі здійснювати моніторинг стану вітрової установки.

Розуміючи, що на виборі програмного продукту розробка SCADA-системи ще не закінчується, проєктні та дослідницькі процедури створення системи спрямовуються на мінімізацію зусиль кінцевих користувачів. Втім, на даному етапі досліджень ставиться завдання побудови SCADA-системи, що забезпечує автоматизацію робіт по збору та обробці експериментальних даних, які необхідні для загальної структури регуляторів процесів у ДГА.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності керування роботою ДГА за рахунок використання методів розбудови SCADA-систем. Такий підхід обумовлений різною динамікою процесів, що відбуваються в установках утилізації надлишкового тиску потоку газу, що надходить до пристроїв його розподілу.

Зазначена мета передбачає вирішення наступних завдань:

- формалізувати завдання відображення параметрів процесів, що забезпечують утилізацію надлишкового тиску;
- виконати структурно-параметричний синтез SCADA-системи керування установкою утилізації надлишкового тиску потоку газу;
- оцінити доцільність вибору різних варіантів реалізації програмно-технічних засобів SCADA-системи;
- реалізувати SCADA-систему експериментальної установки утилізації надлишкового тиску потоку газу.

**Матеріали досліджень.** Вирішення завдань керування режимами генерації електричної енергії установки утилізації залежить від досягнення балансів між параметрами потоку, та параметрів споживання згенерованої енергії. Необхідність моніторингу параметрів балансування процесу генерації обумовлено наявністю збурень, які мають випадковий характер. Оскільки загальна модель системи на даний час ще не розроблена, то SCADA-система установки утилізації тиску представляється сукупністю окремих пов'язаних каналів керування.

Головним завданням SCADA-системи, що розглядається, є забезпечення завдань автоматизації експерименту, зокрема оцінка можливостей реалізації регулятора процесу та налаштування його параметрів.

На рис. 1 зображена функціональна схема автоматизації експериментальної установки утилізації тиску.

Регулювання обертів турбіни детандера здійснюється в результаті зміни тиску потоку шляхом зміни положення засувки. Алгоритми керування тиском, що реалізовані на програмно-технічних засобах ПЛК, дозволяють мінімізувати вплив зміни параметрів потоку, що надходить до детандера [2]. В той же час стабілізація параметрів генерованої електричної енергії здійснюється по зовнішньому контуру регулювання системи. Саме для дослідження цього контуру використовується інструментарій SCADA-системи установки утилізації тиску.

Реалізація функціональних завдань керування установкою ґрунтується на технічних засобах автоматизації та програмному забезпеченні SCADA. Дворівнева архітектура системи підтримується інтерфейсом між операторським місцем та блоком керування даними. Іншою особливістю структури, що розглядається, є зв'язок з «нульовим» рівнем, тобто генерація ШІМ сигналів для керування кроковим двигуном (КД), що змінює положення засувки.

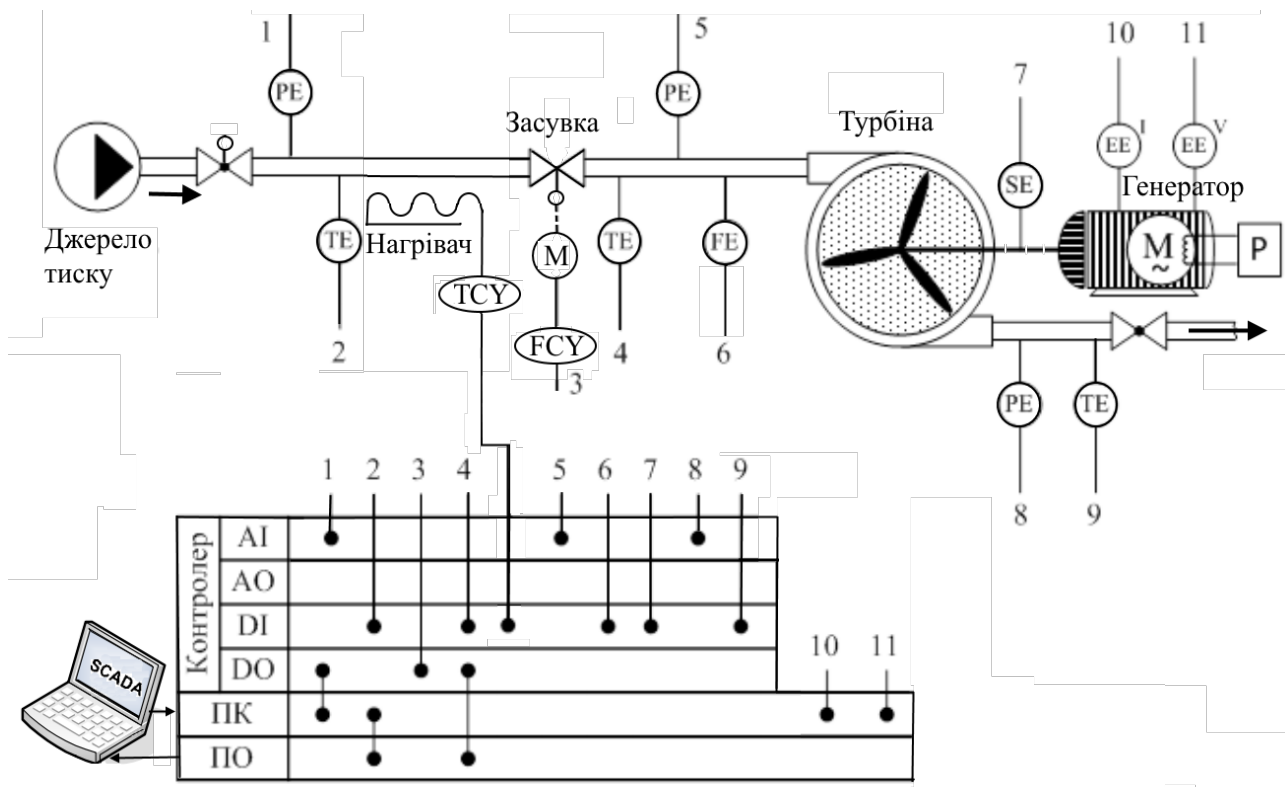


Рис. 1. Функціональна схема автоматизації установки утилізації надлишкового тиску

Середовище розробки ПЛК фірми Siemens формується програмним забезпеченням SIMATIC STEP 7. Відповідно до розроблених керуючих програм для ПЛК S7-300, здійснюється моніторинг режимів установки та регулюється швидкість обертання турбіни в режимі реального часу.

На рис. 2 показана конфігурація частина SCADA-системи, що забезпечує регулювання швидкості обертання турбіни.

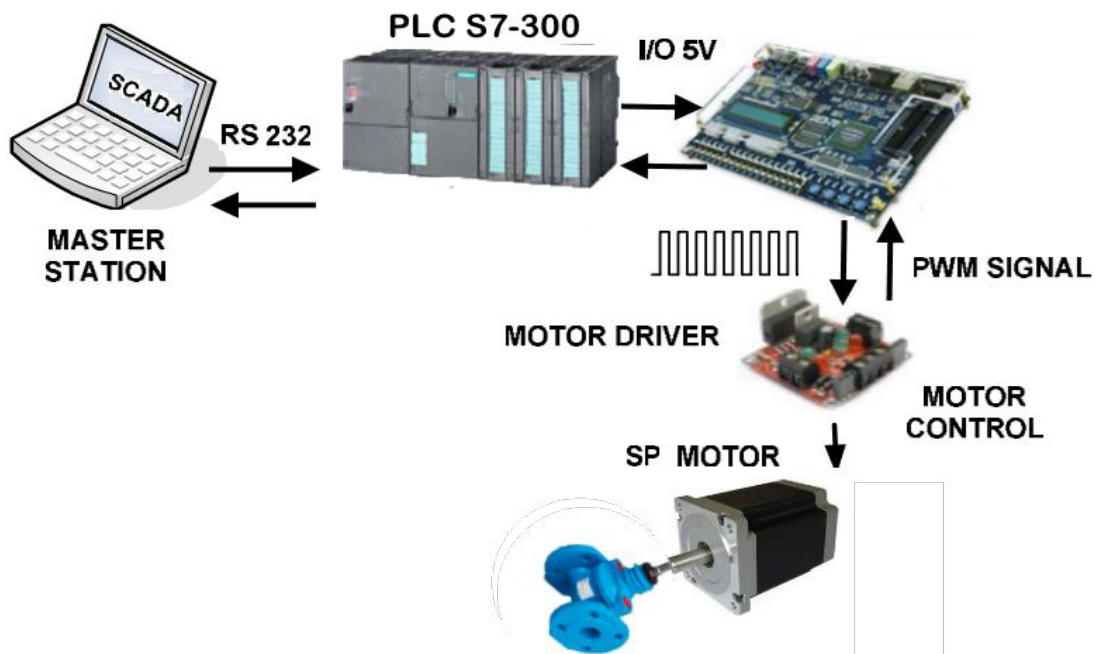


Рис. 2. Конфігурація SCADA-системи установки утилізації



Із конфігурації SCADA-системи видно, вона складається з трьох блоків: операторська станція (Master station), ПЛК та блок керування тиском через положення засувки. Операторська станція зв'язана з ПЛК через кабель RS-232. PLC S7-300 використовується як блок керування та зв'язку із SCADA. Через канал зв'язку дані від блоку регулятора надходять у драйвер крокового двигуна (SP Motor), змінюючи положення засувки.

Конфігурування систем зв'язку між різними технологічними модулями здійснюється з використанням додатку Windows *SIMATIC iMAP*. Це програмне забезпечення є інструментом графічного проектування систем зв'язку в системах автоматизації. SIMATIC iMAP може багаторазово використовувати свої інтерфейси для кожного технологічного модуля.

Під'єднання драйверів вводу-виводу до системи здійснюється відповідно до стандарту обміну даними OLE, що формує технологія OPC-сервера. Завдяки тому, що OPC-сервери мають однаковий, визначений стандартом OPC набір програмних інтерфейсів, з ними можуть працювати будь-які програмні клієнти, які також підтримують цей інтерфейс.

В результаті отримання такого універсального драйвера фізичного обладнання, OPC-сервер стає джерелом даних для OPC-клієнтів у внутрішньому форматі даних системи. Тоді обмін даними визначається інтерфейсом між OPC-клієнтом та OPC-серверами.

Відповідно, використання програмного пакету OPC Toolbox (MATLAB/ Simulink) дає змогу імплементувати результати досліджень моделі регулятора, що розроблена у пакеті MATLAB/ Simulink [2], з технічними засобами автоматизації ОК.

Із першочергового завдання щодо побудови мнемосхеми ОК випливає, що поряд із організацією зв'язку між блоками системи, необхідно здійснити наступні кроки:

- сформувати статичні зображення диспетчерського керування;
- отримати динамічні об'єкти для кожного вікна на основі набору бібліотечних елементів;
- запрограмувати алгоритми відображення, керування та документування в модулях проектування екранних форм.

Виконання цих кроків дає змогу отримати людино-машинний інтерфейс (HMI) утилізаційної установки на базі ДГА, який показано на рис. 3.

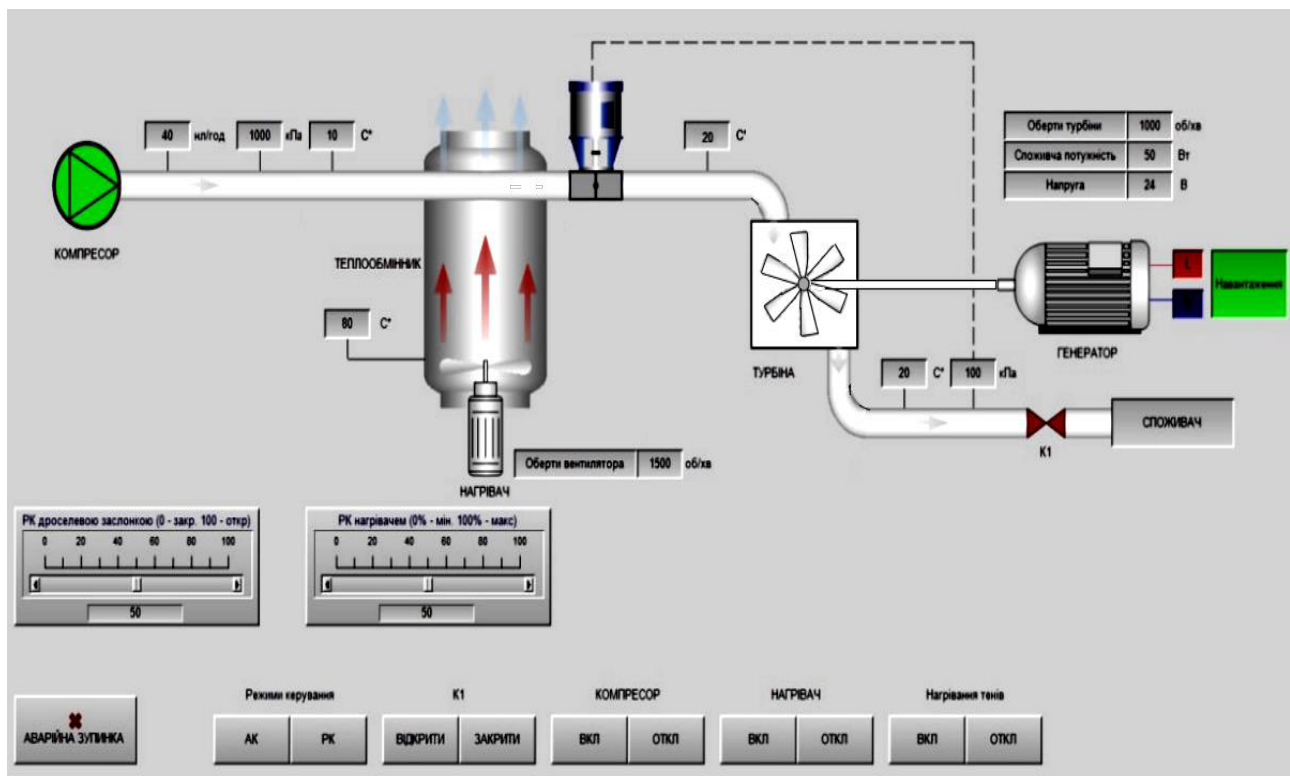


Рис. 3. HMI SCADA-системи

Крім класичних функцій по моніторингу та реєстрації стану ОК, запропонована SCADA-система здійснює запис значень параметрів, що надходять від датчиків, для наступної обробки отриманих результатів

вимірювань. Ця обробка проводиться з використанням спеціального програмного забезпечення, в тому числі і середовища MATLAB.

Використовуючи масиви значень параметрів, отриманих з допомогою описаної SCADA-системи, візуалізовано перехідні характеристики «переріз засувки/швидкість обертання», які зображені на рис. 4.

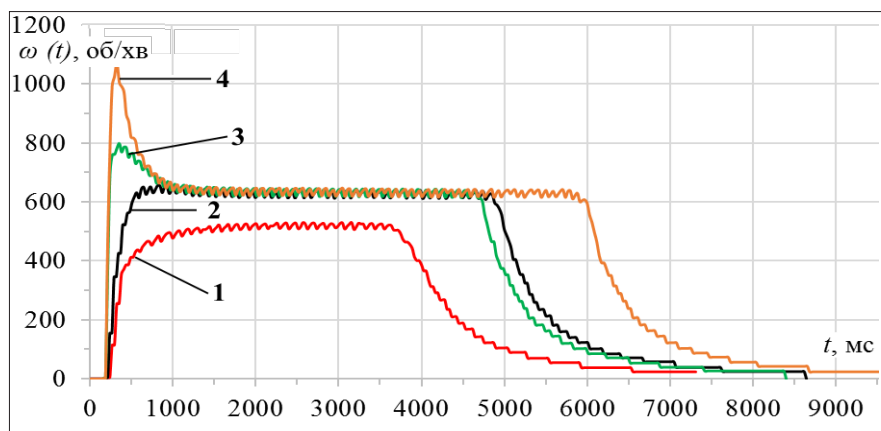


Рис. 4. Перехідні характеристики «переріз засувки/швидкість обертання»  
1 – 25%, 2 – 50%, 3 – 75%, 4 – 100% рівня відкриття засувки

Зміна характеру перехідних характеристик експериментальної установки ДГА (рис. 4) відповідає результатам математичного моделювання ОК [6], що підтверджує адекватність раніше розробленої моделі.

Інший приклад використання SCADA-системи експериментальної установки ілюструється використанням результатів випробування регулятора системи керування обертами ДГА. Після вибору структури регулятора установки ДГА з допомогою SCADA-системи здійснюються налаштування параметрів цього регулятора відповідно до критерія мінімальних перерегулювань [2]. Результат регулювання швидкості ілюструється осцилограмами (рис. 5), які отримані на моніторі процесу при зміні навантажень.



Рис. 5. Зміни швидкості обертання турбіни при зміні навантажень турбіни

Наведені результати підтверджують доцільність використання запропонованої SCADA-системи для керування експериментальною установкою ДГА.

**Висновки.** Відповідно до поставленої мети, яка передбачає підвищення ефективності керування роботою ДГА, запропонована реалізація SCADA-системи утилізаційної установки на базі ДГА.

Актуальність досліджень зумовлена перспективою впровадження дистанційного керування установками утилізації надлишкового тиску на ГРС та ГРП, де задіяні технологічні операції дроселювання потоків газу.

---

Отже, можна констатувати, що запропонований інструментарій до синтезу регуляторів має перспективу застосування в реальних установках малої енергетики, які мають декілька контурів керування.

При формуванні мережі енергетичних установок необхідно застосувати відповідні технології штучного інтелекту, що дозволило б подальше підвищення ефективності енергетичних установок.

#### Список використаних джерел:

1. Kuczyński Sz., Łaciak M., Olijnyk A., Szurlej A., Włodek T. Techno-Economic Assessment of Turboexpander Application at Natural Gas Regulation Stations. *Energies*. 2019. № 12 (4). 755. DOI: 10.3390/en12040755.
2. Kulinchenko H., Zhurba V., Panych A., Leontiev P. Development of the method of constructing the expander turbine rotation speed regulator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 2. P. 44–52. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276587.
3. Ярошенко В.М. Енергетичний аналіз процесів енергозбереження в газотранспортній системі. *Холодильна техніка та технологія*. 2022. 58 (1). С. 40–49. DOI: 10.15673/ret.v58i1.2314.
4. Danieli P., Masi M., Lazzaretto A., Carraro G. Volpato G. A smart energy recovery system to avoid preheating in gas grid pressure reduction stations. *Energies*. 2022. 15 (1). 371. DOI: 10.3390/en15010371.
5. Ping Lin, Xian Du, Yan Shi, Xi-Ming Sun. Modeling and controller design of a micro gas turbine for power generation. *ISA Transactions*. 2022. Vol. 124. P. 411–426. DOI: 10.1016/j.isatra.2020.05.050.
6. Kulinchenko H., Panych A., Leontiev P., Zhurba V. Simulation of the expander of the excess gas pressure utilization plant. *ScienceRise*. 2022. No. 3 (80). P. 3–13. DOI: 10.21303/2313-8416.2022.002545.
7. Larios D.F., Personal E., Parejo A., García S., García A., Leon C. Operational simulation environment for SCADA integration of renewable resources. *Energies*. 2020. 13. 1333. DOI: 10.3390/en13061333.
8. Talwar L., Khajuria H.K. Design and selection of SCADA system using PLC for power control. *International journal of innovative research in science, engineering and technology*. 2015. Vol. 4. Issue 10. P. 1111–1116. DOI: 10.15680/IJIRSET.2015.0410001.
9. Sayed K., Abo-Khalil A.G., Eltamaly A.M. Wind power plants control systems based on SCADA system. *Control and operation of grid-connected wind energy systems. Green energy and technology / A. M. Eltamaly, A. Y. Abdelaziz, A. G. Abo-Khalil, (eds). Springer, Cham. 2021. P. 109-151. DOI: 10.1007/978-3-030-64336-2\_6.*

#### References:

1. Kuczyński Sz., Łaciak M., Olijnyk A., Szurlej A., Włodek T. (2019). Techno-Economic Assessment of Turboexpander Application at Natural Gas Regulation Stations. *Energies*, 12 (4), 755. DOI: 10.3390/en12040755.
2. Kulinchenko, H., Zhurba, V., Panych, A., Leontiev, P. (2023). Development of the method of constructing the expander turbine rotation speed regulator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 44–52. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276587.
3. Yaroshenko, V.M. (2022). Enerhetychnyi analiz protsesiv enerhozberezhennia v hazotransportnii systemi [Exegetic analysis of energy saving processes in the gas transportation system]. *Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia – Refrigeration Engineering and Technology*, 58 (1), 40–49 [in Ukrainian]. DOI: 10.15673/ret.v58i1.2314.
4. Danieli, P., Masi, M., Lazzaretto, A., Carraro, G. Volpato, G. (2022). A smart energy recovery system to avoid preheating in gas grid pressure reduction stations. *Energies*, 15 (1), 371. DOI: 10.3390/en15010371.
5. Ping, Lin, Xian, Du, Yan, Shi, Xi-Ming, Sun. (2022). Modeling and controller design of a micro gas turbine for power generation. *ISA Transactions*, 124, 411–426. DOI: 10.1016/j.isatra.2020.05.050.
6. Kulinchenko, H., Panych, A., Leontiev, P., Zhurba, V. (2022). Simulation of the expander of the excess gas pressure utilization plant. *ScienceRise*, 3 (80), 3–13. DOI: 10.21303/2313-8416.2022.002545.
7. Larios, D.F., Personal, E., Parejo, A., García, S., García, A., Leon, C. (2020). Operational simulation environment for SCADA integration of renewable resources. *Energies*, 13, 1333. DOI: 10.3390/en13061333.
8. Talwar, L., Khajuria, H.K. (2015). Design and selection of SCADA system using PLC for power control. *International journal of innovative research in science, engineering and technology*, 4 (10), 1111–1116. DOI: 10.15680/IJIRSET.2015.0410001.
9. Sayed, K., Abo-Khalil, A.G., Eltamaly, A.M. (2021). Wind power plants control systems based on SCADA system. *Control and operation of grid-connected wind energy systems. Green energy and technology*, (pp. 109–151). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-64336-2\_6.