

УДК 621.51

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ АПАРАТАМИ ПОВІТРЯНОГО
ОХОЛОДЖЕННЯ ПЕРЕКАЧАНОВОГО ГАЗУ НА КОМПРЕСОРНІЙ СТАНЦІЇ****Даців М. М., Пилипенко Ю. М.**

Київський національний університет технологій та дизайну

Мета. Створення системи автоматичного управління для забезпечення оптимальної експлуатації апаратів повітряного охолодження газу під час роботи компресорної станції.

Методика. Застосування сучасних високотехнологічних програмованих контролерів в алгоритмі управління апаратів повітряного охолодження газу компресорної станції та пристроїв плавного пуску електроприводів вентиляторів.

Результати. Розроблено алгоритм автоматизації системи охолодження технологічного газу компресорної станції із застосуванням програмуємих логічних контролерів і використанням програмованого пристрою плавного пуску електродвигунів. Результатом застосування є енергозбереження, висока надійність, одночасний підхід апаратів повітряного охолодження до планових технічних оглядів і ремонтів, збереження трудових ресурсів.

Наукова новизна. Включення апаратів повітряного охолодження з меншим числом годин напрацювання та плавний запуск електродвигунів.

Практична значимість. Запропонована система автоматичного управління, збір даних і захист системи охолодження газу компресорної станції.

Ключові слова: енергозбереження, збереження трудових ресурсів, плавний запуск, висока надійність, одночасний підхід до планових оглядів, система охолодження технологічного газу

Апарати повітряного охолодження (АПО) застосовують в газовій промисловості під час транспортування газу [1, 2]. Слід відмітити, що робота АПО газу на діючих компресорних станціях (КС) організована не оптимально, що проявляється в великому споживанні електроенергії АПО газу, великих затратах трудових ресурсів, низької надійності обладнання. Ці обставини обумовлюють актуальність розробки системи автоматичного управління АПО газу. Для зменшення енергоспоживання пропонується автоматичне регулювання заданої температури газу з автоматичним вибором оптимальної кількості роботи вентиляторів і використання пристрою плавного пуску двигуна, що також забезпечує надійність роботи цього двигуна і зменшує струмові навантаження при запуску електропривода. Запуск вентиляторів по найменшому значенні кількості годин напрацювання приводить майже одночасний вихід на проведення регламентних робіт.

Апарати повітряного охолодження горизонтального типу 2АВГ (рис. 1) оснащені двома вентиляторами діаметром 2,8 м з приводом від електродвигунів потужністю до 40 кВт/год. [3]. Колесо вентилятора, обертаючись в порожнині колектора, проганяє повітря через міжтрубний простір секцій, охолоджуючи газ. Газ який необхідно охолодити, надходить в трубки змішувача через вхідний колектор, проходить його, збирається в випускний колектор і поступає в магістраль.

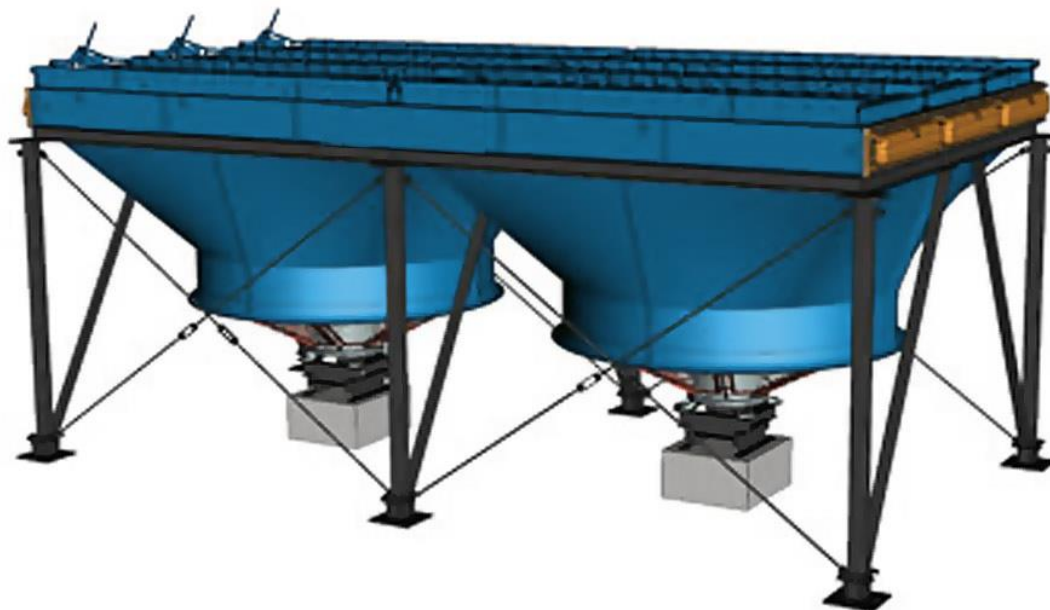


Рис. 1. Апарати повітряного охолодження горизонтального типу 2АВГ

Постановка завдання

Підтримка заданої температури газу в виробничому циклі при його транспортуванні, зменшує знос устаткування та ізоляційного покриття газопроводу. Тому для зменшення температури газу застосовуються апарати повітряного охолодження газу. Точність регулювання температури газу на виході АПО потрібно в межах 1-2°C [4]. Відповідно постають запитання, пов'язані зі швидкістю управління, мінімізацією енерговитрат і забезпеченням необхідної точності регулювання. Таким чином, актуальним завданням є створення програмно-технічних рішень, призначених для управління АПО газу [5]. Завдання системи управління апаратами повітряного охолодження:

- 1) автоматична підтримка температури газу на виході блоку АПО;
- 2) забезпечення електричного, теплового, та вібраційного захисту двигунів;
- 3) плавний пуск електродвигунів вентилятора;

- 4) програмний послідовний плавний запуск групи електродвигунів при відновленні напруги живлення після його короткочасного зникнення;
- 5) контроль технологічних параметрів у вхідному і вихідному колекторах АПО;
- 6) відновлення числа працюючих вентиляторів при короткочасному зникненні напруги живлення;
- 7) створення та зберігання трендів технологічних параметрів і електронного «журналу подій»;
- 8) інформаційний обмін з автоматичними системами управління технологічним процесом (АСУ ТП) верхнього рівня.

Результати досліджень

Розглянемо САУ АПО газу [6]. Система побудована по централізовано-розподіленому принципу (рис. 2).

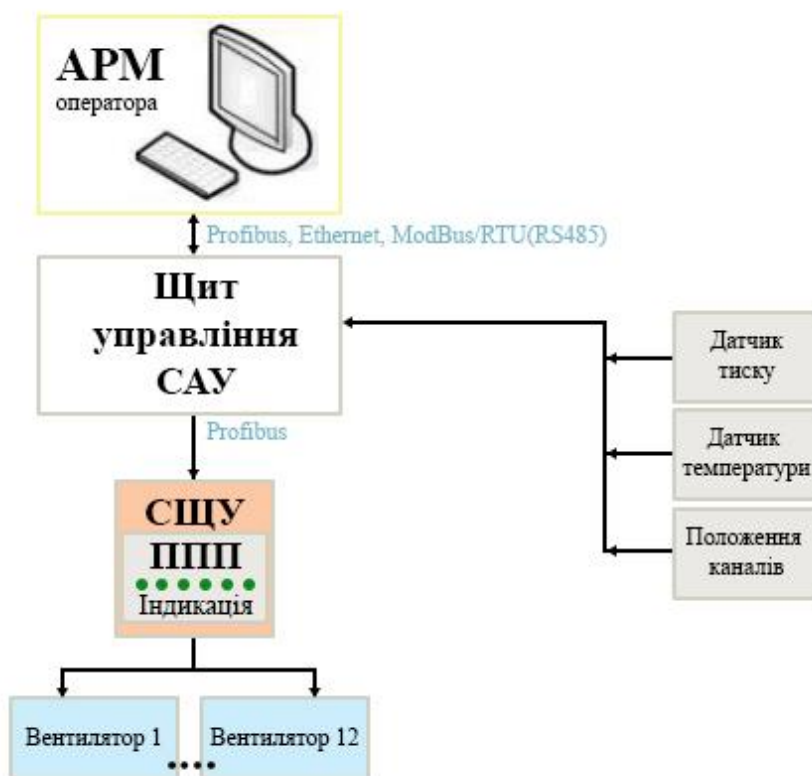


Рис. 2. Структура САУ АПО газу: АРМ – автоматизоване робоче місце оператора; ЩУ – Щит автоматичного управління АПО газу; СЩУ – силовий щит управління АПО; ППП – пристрій плавного пуску

До складу устаткування САУ АПО входять контролер, в якому реалізовані алгоритми управління, датчики технологічних параметрів, а також кабельна продукція.

Для контролю температури встановлюється датчик температури газу на вході та виході АПО.

В щиті управління розташовані:

- 1) модуль центрального процесора;
- 2) модуль зв'язку;
- 3) модуль аналогового входу;
- 4) модуль дискретного вводу;
- 5) модуль дискретного виходу.

У даній системі передбачено управління АПО із застосуванням пристроїв плавного пуску електродвигунів приводу вентиляторів із струмовим і тепловим захистом двигуна, а також захист від короткого замикання [7]. САУ АПО газу з застосуванням плавного запуску електродвигунів:

- 1) знижує енергоспоживання АПО газу;
- 2) продовжує термін служби роботи електродвигунів;
- 3) забезпечує струмовий захист електродвигунів;
- 4) забезпечує рівномірне вироблення моторесурсу електродвигунів.

В системі управління апаратами повітряного охолодження технологічного газу застосовується програмуєчий логічний контролер (ПЛК) Tricon фірми «Triconix» США, який забезпечує високу надійність, простоту, гнучкість і наявність діагностики поломок в системі.

Високий рівень надійності досягається за допомогою трьох головних процесорів, трьох каналних логічних модулів і гарячого резервування цих модулів. Дана система дозволяє оператору стежити за станом обладнання, здійснювати зміну параметрів в допустимому діапазоні, включати і вимикати будь-який електродвигун, проводячи технічну перевірку апаратури. Система забезпечує технологічний, типовий захист і блокування не допустимих дій обслуговуючого персоналу.

Tricon (рис. 3) – контролер, який забезпечує надійність за допомогою архітектури з потрібним модульним резервуванням (Triple-Modular Redundant, TMR) [8]. TMR – три ізольованих, паралельних системи управління із розширеною діагностикою системи управління. Ця система використовує мажоритарну вибірку «два з трьох» для забезпечення надійної, безпомилкової, безперебійної роботи технологічного процесу.

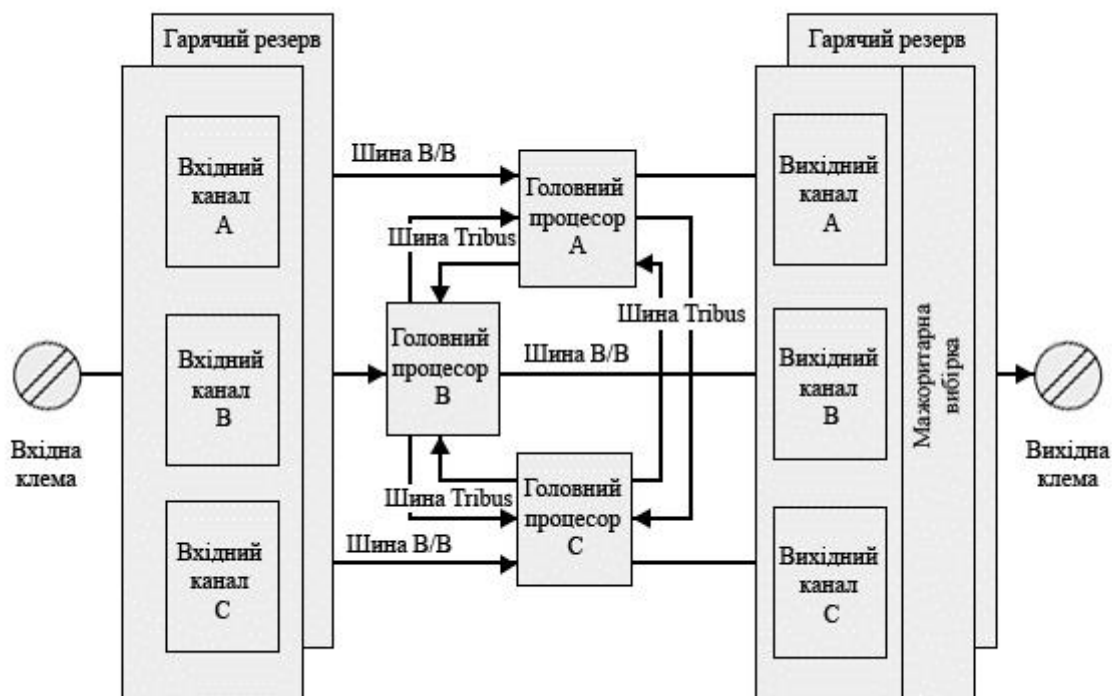


Рис. 3. Спрощена архітектура контролера Tricon

Контролер Tricon використовує три ідентичних канали. Кожен канал незалежно виконує програму управління, паралельно з іншими двома каналами. Спеціалізовані механізми апаратної/програмної мажоритарної вибірки кваліфікують і перевіряють всі дискретні вхідні і вихідні сигнали, що надходять від польових пристроїв, а аналогові вхідні сигнали обробляються і вибирається середнє значення. Так як кожен канал ізольований від інших, ніяка одиночна відмова в будь-якому з каналів не може передатися в інший канал: якщо апаратна відмова відбудеться в одному з каналів, другий канал працює. При цьому неробочий модуль можна легко замінити, не відключаючи контролер і не зупиняючи технологічний процес. Установка програм управління спрощена для системи Tricon з потрійним резервуванням, так як зі сторони користувача вона працює як одна система управління. Користувач підключає датчики і виконавчі механізми на одному монтажному терміналі та програмує Tricon за допомогою одного комплекту програм управління, а контролер Tricon виконає все сам.

Розширена діагностика кожного каналу, модуля і функціонального ланцюга миттєво виявляє неполадки і повідомляє про них за допомогою індикаторів або аварійних сигналів. Вся інформація про діагностику неполадок доступна як програмі управління, так і оператору. Програма, або оператор можуть використовувати

діагностичні дані для коректування керуючого впливу, або для виконання процедур технічного обслуговування. До основних особливостей контролера Tricon, який забезпечує високу надійність системи, відносяться:

- 1) відсутність відмов системи в наслідок відмови одного елемента;
- 2) можливість працювати з трьома, двома або одним головним процесором до зупинки;
- 3) реалізований гарячий резерв всіх модулів.

Незважаючи на складність системи управління технологічним процесом, запроектована система легко доступна і проста в управлінні для обслуговуючого персоналу служби магістральних компресорних станцій.

До основних вимог, що пред'являються до системи автоматичного управління та контролю, відносяться:

- 1) надійність;
- 2) легко доступність;
- 3) зручність в обслуговуванні;
- 4) простота;
- 5) економічність;
- 6) безпечність.

Автоматизація процесу охолодження газу при транспортуванні особливо актуальна для магістральних компресорних станцій. Правильна реалізація автоматизації АПО газу передбачає необхідність комплексного підходу з використанням багатьох складових компонентів.

Переваги автоматизації АПО газу очевидні. Перш за все, автоматизація істотно здешевлює її експлуатацію за рахунок зменшення кількості обслуговуючого персоналу необхідного для експлуатації. Крім цього, помітно знижується витрата енергоресурсів і підвищується рівень безпеки роботи системи в цілому.

Перевагою автоматизації АПО газу є також автоматичний збір даних про роботу кожного вузла в конструкції всієї системи. Таким чином, при невеликих матеріальних інвестиціях в автоматизацію можна отримати можливість суттєво збільшити експлуатаційний ресурс АПО газу.

Більш того, автоматизована система управління веде електронний журнал напрацювання кількості годин АПО газу, що спрощує планування і складання графіка виводу обладнання для проведення технічних робіт по обслуговуванні і ремонту.

Оператор по обслуговуванні САУ АПО газу здійснює безперервний контроль за роботою системи. Використання спеціалізованих апаратних і програмних засобів, що управляють АПО газу, ведуть збір і обробку інформації про їх стан, дозволяє в режимі реального часу відслідковувати всі процеси, що відбуваються. Довговічність і економічність використання САУ АПО газу визначається ще і можливістю негайного реагування на збої в системі, несправності, та інші непередбачувані порушення роботи обладнання. Саме тому САУ АПО газу на сучасних контролерах і пристроях плавного запуску має велику перевагу над морально і фізично старими існуючими системами, які ще по сьогоднішній день експлуатуються на магістральних газопроводах.

Для визначення показника надійності системи автоматичного управління апаратами повітряного охолодження газу були проведені розрахунки. Під надійністю САУ АВО газу розуміється властивість системи виконувати задані функції, зберігаючи в часі робочого циклу значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах при заданих умовах експлуатації. Надійність системи розраховується за надійністю - безвідмовністю складових системи, ремонтпридатністю і довговічністю:

- 1) основним показником безвідмовності безперервних функцій Системи є середнє напрацювання на відмову (Т);
- 2) основним показником ремонтпридатності безперервних функцій Системи є середній час відновлення здатності системи до виконання функції T_v (в подальшому часом відновлення функції). Час відновлення функції - інтервал часу, на протязі якого функція не виконується з моменту відмови до моменту відновлення її виконання;
- 3) основним показником довговічності складових системи і Системи в цілому є середній термін служби (Тсл). Середній термін служби встановлюється з урахуванням замін відповідних технічних засобів в терміни, встановлені в технічних умовах на їх використання.

Для вибору показника довговічності системи встановлюються критерії граничного стану її складових. Критерії граничного стану – це стан Системи, при якому її подальша експлуатація неможлива, недоцільна або небезпечна:

- 1) неможливість підтримки безвідмовності або ефективності Системи на допустимому рівні;
- 2) морального старіння системи.

Прикладами критеріїв граничного стану складових Системи є:

- 1) закінчення терміну експлуатації;
- 2) зниження надійності основних технічних засобів внаслідок старіння, що приводить до економічної недоцільності подальшої експлуатації складових Системи в даному складі технічних засобів;
- 3) неприпустимо великі витрати на ремонт і відновлення морально і фізично застарілих елементів системи;
- 4) неможливості забезпечення необхідного ступеня відновлення працездатності.

Основним комплексним показником надійності дискретних функцій, які характеризують безвідмовність і ремонтпридатність, є ймовірність успішного виконання заданої команди на виконання – коефіцієнт оперативної готовності. В якості надійності комплексних показників можуть застосовуватися також коефіцієнт технічного використання $K_{ТВ}$ і коефіцієнт готовності $K_{Г}$.

Конкретний зміст поняття відмови (критерію відмови) встановлюється для кожної із зазначених функцій. Для керуючих функцій розглядаються два види відмов:

- 1) не спрацювання і помилкове спрацювання;
- 2) відмова для інформаційних функцій – не спрацювання.

Дані про надійність елементів системи, що враховувалися при розрахунку надійності наведені в таблиці.

Таблиця

Надійність елементів системи

№	Найменування пристрою	T	λ	T_B
1	АРМ	120000.0	8.30	0.50
2	Адаптер Ethernet	387000.0	2.60	0.50
3	HUB	120000.0	8.30	0.50
4	Мережа	74066.99	13.50	0.50
5	Канал ПТК для введення сигналу з термометра опору	36957.57	27.06	1.37
6	Канал ПТК для введення сигналу з «сухого контакту» 24 В	66246.89	15.10	2.43
7	Канал ПТК для виведення дискретного сигналу змінної напруги 220В	64310.36	15.55	2.37
8	Канал ПТК для виведення дискретного сигналу 24В	67952.04	14.72	2.48

Позначення, прийняті в таблиці:

T – напрацювання на відмову в годинах;

λ – інтенсивність відмов в мільйонних частках 1/год.;

T_b – час відновлення в годинах.

Дані про інтенсивність відмов дані в мільйонних частках 1/год. Дані показників надійності отримані з джерел [9, 10, 11].

Надійність системи, що складається з n послідовних елементів кожен з яких необхідний для функціонування системи та відмови системи не залежать один від одного, дорівнює:

$$R_{series}(t) = R_1(t) * R_2(t) * \dots * R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

Після проведення розрахунків надійності запропонована наступна система управління АПО газу.

Основою системи управління є набір апаратних і програмних засобів управління фірми Triconex, які відповідають сучасним вимогам до продуктивності, надійності, безпеці і зручності управління. Робота системи включає організацію управління системою охолодження технологічного газу на КС, яка є основою для розробки подібних систем на інших компресорних станціях.

Подальший розвиток розробки повинен виконуватися шляхом створення модифікацій базової системи, що відрізняються елементною базою та іншими показниками. Для автоматизації обраний програмовано відкритий контролер TRICON v.10 фірми Triconex з відповідними модулями вводу-виводу. Всі параметри роботи інженерного обладнання візуалізуються на комп'ютері, який знаходиться в диспетчерському пункті.

Основними завданнями САУАПО газу є:

- 1) автоматичне регулювання температури технологічного газу на виході КС відповідно до заданої уставки;
- 2) контроль роботи апаратів повітряного охолодження газу;
- 3) управління апаратами повітряного охолодження газу;
- 4) захист двигунів від перенавантаження;
- 5) видача попереджень і аварійних сигналізацій;
- 6) автоматичне відключення вентиляторів при пожежі на КС;
- 7) ручне управління АПО газу з місцевого силового щита управління;
- 8) дистанційне керування системою з АРМ оператора;

Впровадження АСУ АПО газу дозволить:

- 1) розширити функції автоматизованого контролю та управління;
- 2) підвищити надійність функціонування системи протиаварійного захисту;
- 3) підвищити якість управління процесом охолодження газу;
- 4) скоротити кількість аварійних ситуацій і відмов обладнання.

Висновки

Проведений аналіз і розрахунок надійності показали, що САУ АВО газу забезпечить раціональне використання обладнання, високу надійність роботи і економію електроенергії. Застосування цієї системи дозволить в стислі терміни впровадити ефективну програму енергозбереження та збереження трудових ресурсів в газовій промисловості.

Список використаних джерел

1. Крюков Н. П. Аппараты воздушного охлаждения. – М. : Химия, 1983. – 168 с.
2. Степанов О. А. Охлаждение газа и масла на компрессорных станциях магистральных газопроводов. / О. А. Степанов, В. А. Иванов. – М. : Недра, 1982. – 143 с.
3. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. Т. 2. / И. П. Копылова, Б. К. Клокова. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.
4. Крамаухин Ю. Е. Приборы для измерения температуры. – М. : Машиностроение, 1990. – 208 с.
5. Душин С. Е. Моделирование систем управления: учеб. пособие для вузов. / С. Е. Душин, А. В. Красов, Н. Н. Кузьмин. – М. : Студент, 2012. – 347 с.
6. Белоусенко И. В. Новые технологии и современное оборудование в электроэнергетике нефтегазовой промышленности. / И. В. Белоусенко, Г. Р. Шварц, С. Н. Великий, М. С. Ершов, А. Д. Яризов. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 478 с.

References

1. Kryukov, N.P. (1983). *Apparaty vozdushnogo okhlazhdeniya* [Air coolers]. Moscow: Khimiya. [in Russian].
2. Stepanov, O.A. & Ivanov, V.A. (1982). *Okhlazhdenie gaza i masla na kompressornykh stantsiyakh magistralnykh gazoprovodov* [Cooling of gas and oil at compressor stations of main gas pipelines]. Moscow. Nedra. [in Russian].
3. Kopylova, I.P. & Klokova, B.K. (1989). *Spravochnik po elektricheskim mashinam* [Handbook of electric machine]. Energoatomizdat. Moscow. [in Russian].
4. Kramaukhin, Yu.Ye. (1990). *Pribory dlya izmereniya temperatury* [Temperature measuring instruments]. Moscow. Mashinostroenie. [in Russian].
5. Dushin, S.Ye., Krasov, A.V. & Kuzmin, N.N. (2012). *Modelirovanie sistem upravleniya: ucheb. posobie dlya vuzov* [Modeling control systems: studies. manual for universities]. Moscow. Student. [in Russian].
6. Belousenko, I.V., Shvarts, G.R., Velikiy, S.N., Yershov, M.S. & Yarizov, A.D. (2007). *Novye tekhnologii i sovremennoe oborudovanie v elektroenergetike neftegazovoy promyshlennosti* [New technologies and modern equipment in the power industry of the oil and gas industry]. Moscow. ООО «Nedra-Biznestsentr». [in Russian].

7. Устройства плавного пуска PSR, PSE, PSTX Режим доступа: <https://library.e.abb.com/public/d3c5f2b4717f494ebc138e52c7931804/Softstarters-2017.pdf>
8. Техническое руководство по Tricon версии v10 – Invensys Systems Inc. Номер документа: 9791007-019 июль 2010 г. Режим доступа: http://app2003.ru/doc/tricon_v9-v10_technical_product_guide.pdf
9. Игуду К. А. Надежность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем. – М. : Высш. шк., 1998. – 216 с.
10. Каталог продукції «ABB» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.abb.com>
11. Каталог продукції «Triconex» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.schneider-electric.com>
7. *Ustroystva pлавного пуска PSR, PSE, PSTX* [Motor soft starter PSR, PSE, PSTX] Retrieved from: <https://library.e.abb.com/public/d3c5f2b4717f494ebc138e52c7931804/Softstarters-2017.pdf> [in Russian]
8. *Tekhnicheskoe rukovodstvo po Tricon versii v10 – Invensys Systems Inc. Nomer dokumenta: 9791007-019 iyul 2010 g.* [Tricon v10 Technical Reference – Invensys Systems Inc. Document number: 9791007-019 July 2010]. Retrieved from: http://app2003.ru/doc/tricon_v9-v10_technical_product_guide.pdf [in Russian]
9. Iyudu, K.A. (1998). *Nadezhnost, kontrol i diagnostika vychislitelnykh mashin i sistem* [Reliability, monitoring and diagnostics of computers and systems]. Moscow. Vyssh. shk. [in Russian]
10. *Katalog produktsii «ABB»* [Product Catalog «ABB»] Retrieved from: <https://new.abb.com>
11. *Katalog produktsii «Triconex»* [Product Catalog «Triconex»] Retrieved from: <https://www.schneider-electric.com>

Datsiv Mykola
mykolayounger@gmail.com
Kyiv National University of
Technologies and Design

Pylypenko Yurii
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4093-7298>
Py120453@gmail.com
Kyiv National University of
Technologies and Design

Система автоматического управления аппаратами воздушного охлаждения перекаченного газа на компрессорной станции

Дацив Н. Н., Пилипенко Ю. Н.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Создание системы автоматического управления для обеспечения оптимальной эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения газа во время работы компрессорной станции.

Методика. Применение современных высокотехнологичных программируемых контроллеров в алгоритме управления аппаратами воздушного охлаждения газа компрессорной станции и устройств плавного пуска электроприводов вентиляторов.

Результаты. Разработан алгоритм автоматизации системы охлаждения технологического газа компрессорной станции с применением программируемых логических контроллеров и использованием программируемого устройства плавного пуска электродвигателей. Результатом применения является энергосбережение, высокая надежность, одновременный подход аппаратов воздушного охлаждения плановых технических осмотров и ремонтов, хранения трудовых ресурсов.

Научная новизна. Включение аппаратов воздушного охлаждения с меньшим числом часов наработки и плавный запуск электродвигателей.

Практическая значимость. Предложенная система автоматического управления, сбор данных и защиту системы охлаждения газа компрессорной станции.

Ключевые слова: энергосбережения, сохранения трудовых ресурсов, плавный запуск, высокая надежность, одновременный подход к плановых осмотров, система охлаждения технологического газа

Automatic control system of air coolers of pumped gas at a compressor station

Datsiv M. M., Pilipenko Yu. M.

Kiev National University of Technology and Design

Purpose. Creation of an automatic control system for optimal operation of air-cooled gas apparatus during operation of the compressor station.

Methodology. Application of modern high-tech programmable controllers in the algorithm of control of air-cooled gas compressor stations and devices for the smooth start-up of electric drives of fans.

Findings. An algorithm for automation of the cooling system of the technological gas of the compressor station with the use of programmable logic controllers and the use of programmable device for the smooth start of electric motors is developed. The result is energy saving, high reliability, the simultaneous approach of air cooling apparatus to planned technical inspections and repairs, and the preservation of labor resources.

Originality. Incorporation of air-cooled machines with less hours of operation and smooth start-up of electric motors.

Practical value. The system of automatic control, data collection and protection of the gas cooling system of the compressor station is offered.

Keywords: energy saving, labor saving, smooth start-up, high reliability, simultaneous approach to planned inspections, cooling system for technological gas