

**Е.В. Герасимова, А.Е. Биленко, А.В. Болотников** // Вісник Криворізького національного університету : збірник наукових праць. – Кривий Ріг, КНУ, 2015. – Вип. 39. – С. 122-126.

9. **Євдокименко М.Ф.** Моніторинг та прогноз стану атмосферного повітря під час проведення масових вибухів у залізрудних кар'єрах Кривбасу / **М.Ф. Євдокименко, Є.В. Францев, М.В. Бондар, М.К. Курінова** // Гірничий вісник. – Кривий Ріг, КНУ, 2016. – Вип. 101. – С. 28-32.

10. **Пихлер М.** Wirtgen Surface Miner в Індії. Опыт селективной разработки угольных месторождений / **М. Пихлер, Ю.Б. Панкевич Ю.Б.** // Горная промышленность. 2003. №4. С. 40-47.

11. **Буткевич Г.Р.** Взрывные и безвзрывные способы разрушения скальных пород на карьерах // Строительные материалы. 2011. №2. С. 33-34.

12. **Cheban A.Yu., Sekisov G.V., Khrunina N.P., Shemyakin S.A.** Upgrading continuous and cyclic excavation and transportation during open-pit mining. [Eurasian mining]. 2014, no. 1, pp. 22-24.

13. **Монсини К.Р.** Повышение эффективности механического рыхления горных пород / **К.Р. Монсини, А.О. Мазманиян** // Горный журнал. 1998. №1. С. 39-43.

14. **Анистратов К.Ю.** Безвзрывная виемка полускальных пород на карьерах стройматериалов гидравлическими экскаваторами фирмы Liebherr // Горная промышленность. 1998. №2. С. 41-45.

15. **Панкевич Ю.Б.** Применение мощных гидромолотов фирмы Krupp на безвзрывной разработке месторождений полезных ископаемых решает вопросы экологии и качества продукции // Горная промышленность. 1997. №2. С. 45-48

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 621.548

В.Й. ЛОБОВ, канд. техн. наук, доц., К.В. ЛОБОВА, А. В. ДАЦЬ, магістранти  
Криворізький національний університет

## СУПЕРВІЗОРНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

**Мета.** Метою даного дослідження є питання застосування технології компанії National Instruments з розробкою SCADA системи у програмному середовищі LabVIEW для супервізорного керування роботою технологічного устаткування і газоповітряною енергетичною установкою, призначеної для вироблення електричної енергії при використанні відпрацьованої кінетичної енергії газоповітряних потоків технологічного устаткування.

**Методи.** Для супервізорного керування процесом вироблення електроенергії та моніторингу роботи виробничим устаткуванням і газоповітряною енергетичною установкою застосована технологія компанії National Instruments. Запропоновано Supervisory Control And Data Acquisition систему в середовищі розробки Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench для збору і обробки даних на комп'ютері про роботу виробничого устаткування і газоповітряної енергетичної установки.

**Наукова новизна.** Уперше запропоновано супервізорне керування процесом вироблення електроенергії газоповітряною енергетичною установкою. Розроблені нові елементи віртуального приладу для супервізорного керування.

**Практична значимість.** Полягає в можливості проектування нових високоефективних газоповітряних енергетичних установок, що поєднують в собі прості в експлуатації системи керування при виробленні електричної енергії.

**Результати.** Показано, що сучасне виробниче устаткування з газоповітряною енергетичною установкою не в повній мірі забезпечуються системами візуалізації, моніторингу і управління апаратно-програмними засобами і мають прості схеми автоматки. Для взаємодії газоповітряної енергетичної установки з комп'ютером розроблені наступні віртуальні пристрої: «Send Receive», «Init», «Close», «Send Receive», «GetParameters», «GetStatus» і «SetParameters». Розроблена віртуальна модель дозволяє супервізорне керування процесом вироблення альтернативної електричної енергії. При цьому використовується технологія компанії National Instruments. Запропоновано Supervisory Control And Data Acquisition систему в середовищі розробки Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench для збору і обробки даних на комп'ютері про роботу виробничого устаткування і газоповітряної енергетичної установки. Мікроконтролер газоповітряної енергетичної установки реалізовано на платі Arduino Uno. Плата має USB канал для підключення до комп'ютеру через послідовний порт. Для обробки даних на комп'ютері та відправлення даних на газоповітряну енергетичну установку розроблено програмне забезпечення.

**Ключові слова:** виробниче устаткування, газоповітряна енергетична установка, віртуальна модель, супервізорне керування.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-90-97

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Головним фактором підготовленості виробничого устаткування (ВУ) до виконання технологічних програм є забезпечення надійності його роботи. Варто підкреслити, що особливі технічні вимоги до надійності роботи устаткування пред'являє ВУ, що

працює сумісно з газоповітряними енергетичними установками (ГПЕУ). Слід зазначити, що це значно ускладнює їх керування і діагностування в пошуку несправності та подальшого його усунення. Окрім того, специфіка роботи ГПЕУ потребує безперервного моніторингу потужності газоповітряного потоку, який залежить від швидкості, щільності та перетину потоку газу і повітря, що з'являються на виході технологічного тракту ВУ. Стосовно сумісної роботи ВУ і ГПЕУ необхідно зазначити, що максимальне вироблення електричної енергії досягається при оптимізації їх роботи і потребує використання простих засобів для автоматизованого керування.

Різноманіття технічних рішень і стандартів виконання, реалізованих на рівні мікроелектроніки та мікропроцесорної техніки з боку провідних виробників ГПЕУ і конструктивних компонентів механічних вузлів ВУ, ускладнюють діагностику і впливають на час реакції при проведенні керування. Проте сумісна робота ВУ і ГПЕУ повинно базуватися на обов'язковому застосуванні новітніх методів керування і вимагає комплексного підходу до вирішення інженерно-технічних проблем. Для збору даних, обробки, відображення та архівування інформації про роботу ВУ і ГПЕУ, моніторингу або управління особливу популярність в останні десятиліття отримали так звані SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) системи [1, 2]. Проте сучасне ВУ з ГПЕУ практично не забезпечуються такими системами та апаратно-програмними засобами для побудови простих систем автоматизації. Це свідчить про те, що тематика досліджень, присвячених керуванню і діагностуванню ВУ, що працюють сумісно з ГПЕУ, є актуальною науковою та практичною задачею.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У дослідженні [3] показано специфіку роботи вітроенергетичного комплексу, що використовує шахтні повітряні потоки. Для реалізації оптимально можливої ефективності функціонування вітроенергетичної установки використовується для практичної реалізації її конструкція, яка має мікропроцесорний блок. Проте в конструкції системи управління не має візуалізації режимів роботи вітроенергетичного комплексу, що знижує надійність його роботи. Вивчаючи питання побудови сучасних автоматизованих систем управління вітроенергетичних установок [4-6], дослідники недостатню увагу приділяють дослідженню впливу газоповітряних потоків на роботу ГПЕУ для отримання максимальної кількості електроенергії [7, 8]. Отримання у споживача додаткової електроенергії за допомогою відбирання кінетичної енергії відпрацьованих газоповітряних потоків від виробничого устаткування взагалі дослідниками не розглядається [9]. Це накладає певні обмеження на використання ГПЕУ. Одночасно відмічається розвиток конструкцій і схем управління вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності [10, 11]. Сучасні дослідження направлені на удосконалення конструкцій та систем управління вітроенергетичних установок [12-14]. Вітроенергетичні установки має складну електромеханічну систему, та системи керування ними потребують удосконалення. Поставлену задачу удосконалюють пристрої, які використовують потік маси газів: відпрацьованих, вивільнених або видуваних виробничим устаткуванням. Пристрої мають керовану систему управління [15, 16]. Використання енергії вітру при роботі вітроенергетичних установок залежить від швидкості вітрового потоку. Проте вітровий потік змінюється протягом доби, впродовж місяця і сезону року. Тому кінетична енергія вітру має низьку ефективність [17- 20]. Для усунення цього недоліку автори пропонують комплексно використовувати вітроенергетичні установки і установки, що працюють на сонячній енергії, або газоповітряні, теплові та гідравлічні потоки [21 - 24]. Але для таких установок у достатній мірі не проводяться дослідження для умов забезпечення максимальної ефективності їх роботи. Не досліджуються шляхи підвищення ефективності роботи ГПЕУ, які працюють від відпрацьованих газоповітряних потоків виробничого устаткування. Вони не мають сучасних систем візуалізації, моніторингу і управління. У науково-технічній літературі присутня велика кількість SCADA-систем зарубіжного і вітчизняного виробництва [1, 2, 24, 25]. Відомі системи дозволяють здійснювати диспетчеризацію і збір даних в автоматизованому режимі роботи ВУ в режимі «on-line» у складі інтелектуальних систем і дає змогу досягти високого рівня автоматизації [26], забезпечення безпеки систем [27], тощо. Задача вибору SCADA-системи є неоднозначною, хоча існують рекомендації по вибору програмно апаратних засобів передачі інформації в SCADA-системи [28]. Як показує виконаний аналіз SCADA-систем, представлених на ринку, потрібна розробка спеціалізованої SCADA-системи (micro-SCADA) для передачі інформації.

**Формулювання цілей статті, постановка задачі.** Метою даного дослідження є питання застосування технології компанії National Instruments з розробкою SCADA системи у програмному середовищі LabVIEW для супервізорного керування роботою ТУ і ГПЕУ, призначеної для вироблення електричної енергії при використанні відпрацьованої кінетичної енергії газоповітряних потоків ТУ.

**Постановка задачі.** Для досягнення поставленої мети вирішувалась наступна задача: розробити віртуальний прилад у програмному середовищі LabVIEW, призначений для діагностики та моніторингу роботи технологічного устаткування і газоповітряної енергетичної установки.

Виклад матеріалу і результати. Мікроконтролер ГПЕУ використовує плату Arduino Uno, що має USB канал для підключення до комп'ютеру через послідовний порт [23]. Для обробки даних на комп'ютері та відправлення даних на ГПЕУ використано технологію компанії National Instruments із розробкою SCADA системи у програмному середовищі LabVIEW, бібліотеки якого розширюють можливості програмного забезпечення. Одна з бібліотек, що називається «LabView Interface for Arduino», виконує обмін даними між ВУ та мікроконтролером ГПЕУ. Робота здійснюється за принципом: спочатку посилається команда з комп'ютера, потім мікроконтролер ГПЕУ обробляє її та відправляє відповідь. У бібліотеці є більшість функцій Arduino Uno, щоб використовувати середовище LabView для написання програм. У «LabView Interface for Arduino», є такі, що забезпечують передачу команд на мікроконтролер та їх отримання, без виконання додаткових дій над даними, що відправляються та отримуються. Для взаємодії ГПЕУ з комп'ютером і супервізорного керування роботою ТУ і ГПЕУ, призначеної для вироблення електричної енергії при використанні відпрацьованої кінетичної енергії газоповітряних потоків технологічного устаткування розроблено наступні ВП: «Send Receive», «Init», «Close», «Send Receive», «GetParameters», «GetStatus» і «SetParameters».

ВП «Send Receive» здійснює описані дії. ВП має шість входів і три виходи. Їх призначення наступне. Входи ВП: Arduino Resource – приймає налаштування для роботи з платою Arduino, обов'язково має підключатись і параметри зазвичай отримує від ВП «Init». Max Retries – встановлює максимальну кількість спроб відправки команди на Arduino для отримання відповіді, приймає параметр у вигляді цілого числа. За відсутності підключення цього входу, використовуватиметься значення за замовченням – 10 спроб. Time Out – встановлює кількість мілісекунд очікування між спробами відправки повторних даних. За відсутності підключення цього входу, використовується значення за замовченням – 100 мс. Bytes To Read – параметр застосовується для встановлення кількості байт, що потрібно прочитати з Arduino. Його використання потрібно при очікуванні даних від плати. За відсутності підключення, використовується значення за замовченням – 0 байт. Data – дані, що передаються на Arduino. Максимальний розмір даних складає на 2 байти менше ніж встановлено у ВП «Init». Наприклад, за замовченням максимальна кількість байт – 15, тому передати можна лише 13. У якості даних використовується команда, та додаткові дані для цієї команди, тому вхід має обов'язково підключатись. Error in – масив з помилками від попереднього приладу для додання власних, або сигналізації про не виконання дій у поточному ВП і обов'язково повинен підключатись. Виходи ВП: Arduino Resource – параметри налаштувань для Arduino, зазвичай передаються далі на ВП «Close» для коректного завершення зв'язку і повинен обов'язково підключатись. Read Buffer – дані, що були прийняті з Arduino, при встановленні вхідного параметру «Bytes To Read» більше 0. Зазвичай дані представлені у вигляді масиву символів і підключається за необхідності. Error out – масив із помилками роботи поточного ВП та попередніх підключень і повинен обов'язково підключатись.

Робота ВП «Send Receive» виконується з використанням бібліотеки VISA. За її допомогою ВП здійснює запис даних у послідовний порт, читання даних із послідовного порту. На початку дані, які передаються до Arduino, формуються у пакет, у якому перший байт має значення 0xFF і останній має значення чек-суми. Другий байт має значення команди, що виконуватиметься на платі. Інші байти несуть додаткову інформацію для виконання команди.

Із даних, отриманих від ВП «Init», формуються VISA Resource, що потрібні для роботи бібліотеки VISA, а саме для запису і читання даних з послідовного порту, до якого підключено Arduino. Далі виконується цикл із відправкою даних до плати. Цикл виконується доки не стане доступна кількість байт, що задана у вході «Bytes To Read». Очікування байт здійснюється протягом значення заданого входом «Time Out». Якщо дані доступні, цикл завершується і виконується зчитування байт та передавання їх на вихід «Read Buffer». Якщо дані так і не стали дос-

тупні або кількість байт менше, виконується повторна відправка даних на плату і знову очікування доступності усіх заданих байт. Кількість повторень відправки встановлено входом «Max Retries». При досяганні максимальної кількості проб, дані не передаються на вихід «Read Buffer», а у вихід «error out» додається помилка з номером 5003 із повідомленням про неможливість отримання даних.

ВП «Init» має шість входів і три виходи. Входи ВП «Init»: Connection Type – тип підключення плати Arduino до комп'ютера. Має декілька встановлених значень: USB/Serial, XBEE і BlueSmirf (Bluetooth). За відсутності підключення цього входу, використовуватиметься значення за замовченням – USB/Serial. Board Type – тип плати, що підключається до комп'ютера. Підтримуються наступні плати: Uno, Mega2560 і Dimuelanove w/Atmega 328. За відсутності підключення цього входу, використовуватиметься значення за замовченням – Uno. Bytes Per Packet – максимальна кількість байт, що можна відправити з комп'ютера на плату Arduino за один раз. За відсутності підключення цього входу, використовуватиметься значення за замовченням – 15 байт. Baud Rate – швидкість передачі даних, що встановлена на платі та з якою виконується зв'язок. За відсутності підключення цього входу, використовуватиметься значення за замовченням – 115200. VISA resource – COM-порт, до якого підключена плата. Значення залежить від порту USB, до якого підключено плату і має обов'язково підключатись. Error in – масив із помилками від попереднього приладу для додання власних, або сигналізації про не виконання дій у поточному ВП і підключення не обов'язкове. Виходи ВП «Init»: Arduino Resource – сформовані дані для виконання подальших дій по обміну інформацією з платою Arduino. Підключається до ВП, який постійно повинен відправляти або приймати дані. Error out – масив з помилками роботи поточного ВП та попередніх підключень. Зазвичай підключається до наступного ВП з входом «error in».

ВП «Init» виконує налаштування для подальшої роботи з платою Arduino. Із бібліотеки VISA ВП встановлює початкові параметри для відкриття послідовного порту. Якщо неможливо відкрити порт, то очищується буфер обміну даних між платою та комп'ютером, порт закривається, і через 500 мс виконується повторна спроба. Якщо послідовний порт відкрито, відправляється пакет для синхронізації роботи з Arduino. Плата повинна відправити у відповідь повідомлення «sync». Якщо повідомлення не отримано, очищується буфер обміну даних між комп'ютером і платою, і виконується нова спроба відправки пакету синхронізації та отримання повідомлення. Після виконання 20 спроб, створюється повідомлення про помилку підключення з номером 5002. При успішній синхронізації, на наступний ВП, через вихід Arduino Resource, передаються дані для роботи з платою.

Блок схема ВП «Close» має шість входів і три виходи. Входи ВП: Arduino Resource – приймає налаштування для роботи з платою Arduino, обов'язково має підключатись. Параметри використовуються для закриття з'єднання з платою. Error in – масив з помилками від попереднього приладу для додання власних, або сигналізації про не виконання дій у поточному ВП і підключення обов'язкове. Виходи ВП: error out – масив з помилками роботи поточного ВП та попередніх підключень. ВП «Close» зупиняє передачу даних з Arduino, закриваючи послідовний порт, за яким виконувалось з'єднання. Виконується з використанням бібліотеки VISA.

Для отримання числових даних з Arduino Uno використовується ВП «GetParameters» (рис. 1,а) повинен відправляти запит до плати на відправку даних, що зчитані з датчиків. Дані повинні бути представлені, як виходи віртуального приладу. Входи ВП: Arduino Resource – приймає налаштування для роботи з платою Arduino, обов'язково має підключатись. Параметри отримує від ВП «Init». Error in є масив із помилками від попереднього приладу для додання власних, або сигналізації про не виконання дій у поточному ВП. Його підключення обов'язкове. Виходи ВП: Arduino Resource 2 – параметри налаштувань плати Arduino, що передаються на ВП «Close». Voltage Engine, Voltage Generator і Voltage Battery відповідно напруги: на вентиляторі, генераторі, акумуляторі. Temperature – температура електродвигуна вентилятора. RPM Engine – кількість обертів лопотів вентилятора за хвилину. RPM Generator – кількість обертів лопотів генератора за хвилину. Error out – масив з помилками роботи поточного ВП та попередніх підключень.

ВП «GetParameters» використовує ВП «Send Receive» для відправки команди та прийняття даних із плати. На Arduino відправляється команда номер 35, у шістнадцятирічному представлені, що вказує платі відправити на комп'ютер дані, що зчитані з датчиків. Так, як АЦП Arduino

10-розрядний, то значення напруги з АЦП займає 10 біт. Для усунення відправлень нульових біт та зменшення кількості переданої інформації, у біти, що не можуть містити корисної інформації, записуються дані інших значень. Дані з Arduino відправляються по одному байту. 10-бітне число ділиться на 2 байти, з використанням бітових операцій. Так, інформація ділиться наступними чином: 8 молодших біти для розрахунку виходу «Voltage Engine». 2 старших біти для розрахунку виходу «Voltage Engine» і 6 молодших біт виходу «Voltage Generator». 4 старших біти виходу «Voltage Generator» і 4 молодших біти виходу «Voltage Battery». 6 старших біти виходу «Voltage Battery» і 2 молодших біт для розрахунку виходу «Current Engine». По 8 старших біт для розрахунку виходів «Current Engine», «Temperature», «RPM Engine» і «RPM Generator», а по 8 молодших біт для розрахунку виходів «Temperature», «RPM Engine» і «RPM Generator».

Далі для отримання чисел відокремлювались окремі біти та з'єднувались. Так, як LabView не має функцій по виконанню здвигу бітів у числі, то виконувалось множення або ділення у поєднанні з операцією логічного «І». АЦП вимірює напругу в межах від 0 до 5 В, тому для отримання значення напруги виконувалось множення на крок дискретизації, що дорівнює 0,0049. Проте, деякі виміри напруги здійснюються з використанням дільника напруги, то вони додатково множаться на коефіцієнт дільника. Датчик струму побудований з використанням двох датчиків напруги, тому для визначення значення струму різницю напруги розділюємо на номінал резистора, що є шунтом. Датчик температури використовує 2 байти для запису значення температури, а виміри здійснюються у межах від  $-40$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ . Тому значення множиться на крок дискретизації, що дорівнює 0,0625. До отриманого значення додається 0,03125, для точних вимірів, значення отримано при калібруванні датчика. Для визначення швидкості обертання лопотів гвинта приймається час одного оберту, що вимірюється у мікросекундах. Для переведення даного значення у величину обертів за хвилину, потрібно одиницю розділити на час одного оберту за хвилину. Для переведення мікросекунд у хвилини, отримане число множиться на 6000000. Так, як все керування ГПЕУ повинно відбуватись і без використання комп'ютера, то алгоритм управління її роботи виконується завжди у мікроконтролері та на комп'ютер передаються дані про стан роботи.

Для отримання даних, щодо включеного режиму, поточного стану роботи, розроблено ВП «GetStatus» (рис.1 б). Його входи наступні: 1 - Arduino Resource, приймає налаштування для роботи з платою Arduino, обов'язково має підключатись, 2 - параметри отримує від ВП «Init», 3 - error in, масив із помилками від попереднього приладу для додання власних, або сигналізації про не виконання дій у поточному ВП, 4 - підключення обов'язкове.

Виходи ВП: Arduino Resource 2 – параметри налаштувань плати Arduino, що передаються на ВП «Close». Engine from battery – логічне значення, при значенні «істина» означає, що вентилятор працює від акумулятору. Engine from electricity – логічне значення, при значенні «істина» означає, що вентилятор працює від електричної мережі. Electric power – логічне значення, при значенні «істина» означає, що установка підключена до електричної мережі і готова до роботи. Mode battery – логічне значення, при значенні «істина» означає, що включено режим роботи вентилятора тільки від акумулятору. Mode electricity – логічне значення, при значенні «істина» означає, що включено режим роботи вентилятора тільки від електричної мережі. Mode auto – логічне значення, при значенні «істина» означає, що включено режим роботи, за якого при повному заряді батареї вентилятор працює від акумулятора, а при розряді останнього перемикається на роботу від електричної мережі. Speed – числове значення, у межах від 0 до 255, що показує встановлену швидкість обертів вентилятора. Error out – масив з помилками роботи поточного ВП та попередніх підключень.

ВП «GetStatrus» використовує ВП «Send Receive» для відправлення команди на Arduino, і отримання даних щодо роботи системи. Команда має значення 37, у шістнадцятирічній системі числення. Більшість значень, що повинен комп'ютер отримати від плати мають тип логічного. Відправлення одного байту з логічною одиницею або нулем не вигідно відправляти, тому усі логічні значення записуються у один байт, у якому кожний біт відповідає за своє значення виходу. Так Arduino відправляє на комп'ютер 2 байти інформації, з яких перший – це логічні значення, а другий – цифрове значення швидкості встановленої на вентиляторі. Логічні значення на платі перетворюються у цифрові відповідно: 1 – «істина»; 0 – «неправда». Перший байт формується з бітів (нумерація бітів у байті починається з молодшого біта): 1-й байт - відповідає

виходу «Engine from battery», 2-й байт - відповідає виходу «Engine from electricity», 3-й байт - відповідає виходу «Electric power», 4-й байт - відповідає виходу «Mode battery», 5-й байт - відповідає виходу «Mode electricity», 6-й байт - відповідає виходу «Mode auto», 7-й і 8-й байт - байт - не використовується. Байти від плати надходять у вигляді масиву символів, що потім перетворюються у масив чисел. Друге число масиву відповідає виходу «Speed». Перше потребує розділення на логічні значення. Для розділення використовується перетворення числа, що складається з одного байту у масив з логічних значень. Дані з масиву використовуються у відповідних виходах приладу.

Для управління ГПЕУ, а саме встановлення швидкості вентилятора та режиму роботи, розроблено ВП «SetParameters». Входи ВП «SetParameters»: Arduino Resource – приймає налаштування для роботи з платою Arduino, обов'язково має підключатись. Параметри отримує від ВП «Init», Speed – встановлена швидкість роботи вентилятора. Підключається обов'язково, Auto – при значенні «істина», включення режим роботи, за якого при повному заряді батареї вентилятор працює від акумулятора, а при розряді останнього перемикається на роботу від електричної мережі, Electricity – при значенні «істина», включення роботи вентилятора від електричної мережі, Battery – при значенні «істина», включення роботи вентилятора від акумулятора, error in – масив з помилками від попереднього приладу для додання власних, або сигналізації про невиконання дій у поточному ВП. Підключення обов'язкове. Виходи ВП «SetParameters»: Arduino Resource 2 – параметри налаштувань плати Arduino, що передаються на ВП «Close», error out – масив з помилками роботи поточного ВП та попередніх підключень. ВП «SetParameters» використовує ВП «Send Receive» для відправлення даних на плату. В даному випадку окрім байту команди, що дорівнює 38 у шістнадцятиричній системі числення, на Arduino відправляється два байти додаткової інформації: перший, це швидкість, що встановлюється у межах від 0 до 255, а другий складається з трьох бітів, що мають встановлювати режим роботи (нумерація починається з молодшого біту): режим роботи від акумулятора і електричної мережі, автоматичний режим роботи. У другому байті значення для роботи мають лише три молодші біти. У програмі мікроконтролера не можна встановлювати три режими одночасно у значення «істина», лише один з трьох повинен мати значення «істина». Тому для ввімкнення роботи ГПЕУ потрібно встановити один із режимів та обрати швидкість вентилятора більшою за 0. При встановленні трьох бітів у значення «неправда», відбувається виключення роботи усіх режимів.

У ВП «SetParameters» три логічних перетворюються у число. Для цього кожне логічне значення спочатку перетворюється у 1 або 0, а потім виконуючи бітовий зсув з використанням множення, так як LabView не має спеціальних команд для цієї операції. У результаті усі три перетворені логічні значення додаються та передаються у третьому байті інформації. Приклад виконання ВП «GetParameters» і «GetStatus» представлені на рис. 1.

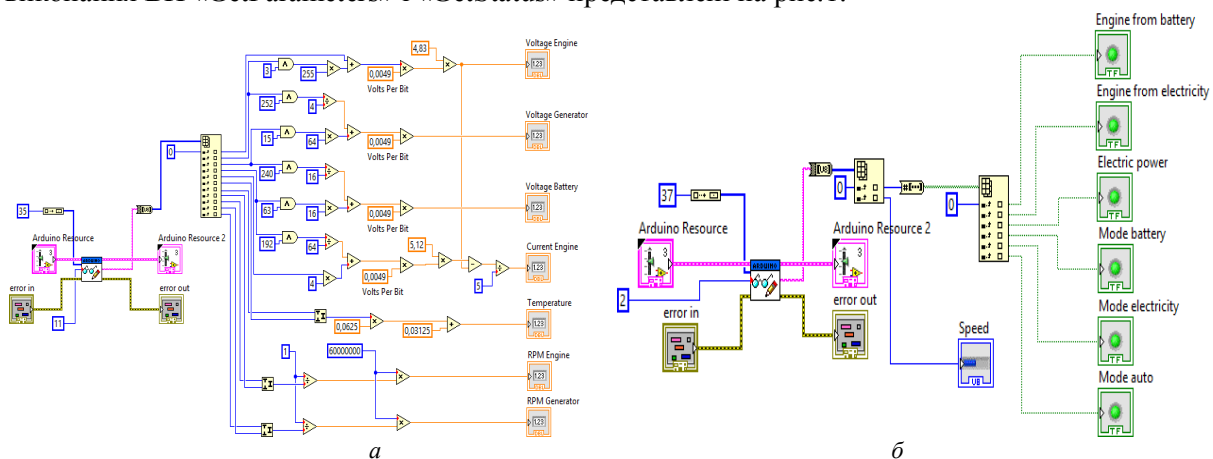


Рис.1. Блок схеми ВП «GetParameters» (а) і «GetStatus» (б)

Розробка програмного забезпечення мікроконтролера виконана за допомогою програмного забезпечення Arduino IDE. Програма мікроконтролера складається з двох частин: системи керування і збір даних, обмін даними з комп'ютером. Для програмного забезпечення використовуються додаткові бібліотеки: MsTimer2 – бібліотека для переривання роботи основної програми через певні проміжки часу, використовуватиметься для паралельного знімання даних з дат-

чику температури, OneWire – використовується для підключення одного або декількох мікросхем, датчик температури використовує цю бібліотеку для обміну даними з платою Arduino, Bounce2 – використовується для усунення брязкоту контактів, так як у програмі підключаються кнопки, використання даної бібліотеки дозволить усунути проблеми з невизначеністю встановленого значення кнопочку. За умовами створення програми для мікроконтролера, вона повинна складатись щонайменше з двох функцій. Перша функція Setup це є функція, що виконується лише один раз при включенні плати Arduino. Вона не має вхідних і вихідних даних. Друга функція Loop – функція, що виконується постійно при роботі плати Arduino і вона не має вхідних і вихідних даних. У основній програмі виконується код системи керування та збору даних з датчиків, а також перевіряється надходження команд від комп'ютера. Якщо команда надходить, виконується код для обміну даними з комп'ютером.

**Висновки і напрямок подальших досліджень.** Застосовано технологія компанії National Instruments для розробки SCADA системи у програмному середовищі LabVIEW для супервізорного керування роботою технологічного устаткування і газоповітряною енергетичною установкою, призначеної для вироблення електричної енергії при використанні відпрацьованої кінетичної енергії газоповітряних потоків технологічного устаткування.

### Список літератури

1. SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition by **Stuart A. Bover**, Published by ISA The instrumentation Systems and Automation Society; 3rd edition.
2. **Rajesh Singla and Arun Khosla**. Intelligent Security System for HMI in SCADA Applications / International Journal of Modeling and Optimization, Vol. 2, No. 4, August 2012. 444-448
3. **Сінчук І.О.** Відновлювані та альтернативні джерела енергії : навч. посіб. / **І. О. Сінчук, С. М. Бойко, О. Є. Мельник**. — Кременчук : вид-во ПП Щербатих О. В., 2015. — 270 с.
4. **Щур І.З.** Техніко-економічне обґрунтування параметрів гібридної вітросонячної системи для електропостачання окремого об'єкта / **І.З. Щур, В.І. Климко** // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2014. – Вип. 2. – С. 92–100.
5. **Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И.** Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэлектрогенераторы. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет «Харьковский авиационный институт», 2003. – 400 с.
6. **Николаев А. В.** Использование энергии потока воздуха в диффузорном канале шахтной главной вентиляционной установки с целью непрерывной выработки электроэнергии. Вестн. Казан. гос. энерг. ун-та. 2015, N 1, с. 165-166. Рус.
7. **Бурмакин О. А., Малышев Ю. С., Варечкин Ю. В., Сычушкин И. В.** Обоснование эффективности судовых ветрогенераторных установок. Тр. НГТУ. 2014, N 2, с. 160-165. Библ. 3. Рус.; рез. англ.
8. **Куликова Л. В.** Анализ проблем и перспектива оптимального использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для сельскохозяйственных потребителей / **Л. В. Куликова, А. М. Худоногов, А. В. Григорьев** // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/2. – С. 15.
9. **Лобов В.И.** Автоматизоване керування турбомеханізмом / **В.И. Лобов, К.В. Лобова, О. І. Донченко** // Гірничий вісник. – 2017. – № 102. – С. 191-196.
10. **Кузьо І. В.** Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності / **І. В. Кузьо, В. М. Корендій** // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів, 2010. – № 679. – С. 61-67.
11. **Шихайлов М. О.** Особенности конструкций и использование ветроэнергетических установок малой мощности / **М. О. Шихайлов, Ю. П. Фаворский** // Электрик. – 2006. – № 1-2. – С. 29-31.
12. **Крюков, О.В.** Интеллектуальные ветроэнергетические установки для автономных систем электроснабжения / **А.В. Серебряков, О.В. Крюков**; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2014. – 135 с.
13. **Субота А.М.** Система управління вітроенергетичною установкою / **А.М. Субота, І.Ю. Дибська, О.В. Заболотний** // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 2009, № 3 (37)
14. **Серебряков А.В.** Как повысить энергоэффективность ветроэнергетической установки / **А.В. Серебряков, А.Б. Васенин, В.Г. Титов** // Главный энергетик. – 2015. – № 1. – С. 58-64.
15. **Удлер Э. И., Лысунец А. В., Медведев В. В.** Использование генераторного газа для получения электрической энергии на предприятиях. Автотрансп. предприятие. 2015, N 6, с. 51-53. Рус.
16. **Тумашев Р. З., Щеголев Н. Л., Кулаков Д. М.** Утилизация шахтного метана в газотурбинных установках для производства электрической энергии и теплоты. Безопас. в техносфере (Москва). 2015, N 5, с. 41-48. Библ. 11. Рус.; рез. англ.
17. **Соколовский Ю.Б.** О применении ветровых энергетических установок / **Ю.Б. Соколовский, А.Ю. Соколовский, Л.Г. Лимонов** // Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – №16(92). – С. 7-15.
18. **Івашко О.** Як підкорили вітер сучасні Дон Кіхоти : в Миколаїв. обл. запрацювала перша промислова вітроелектростанція // Уряд. кур'єр, 2012. – № 2. – С. 8.
19. PSS E Wind and Solar Models [Електронний ресурс]// UWIG/EnerNex/DOE Workshop. – Електрон. дані. – NY, 2011. – Режим доступу: [http://www.nvso.com/public/webdocs/markets\\_operations/services/planning/Documents\\_and\\_Resources/Conferences\\_and\\_Workshops/DOE\\_Wind\\_Turbine\\_Plant\\_Mdlg\\_wkshop/PSS\\_E\\_Wind\\_Solar\\_Models\\_Kazachkov.pdf](http://www.nvso.com/public/webdocs/markets_operations/services/planning/Documents_and_Resources/Conferences_and_Workshops/DOE_Wind_Turbine_Plant_Mdlg_wkshop/PSS_E_Wind_Solar_Models_Kazachkov.pdf). – Назва з екрану. – Дата перегляду: 07.12.17
20. **Мацкевич П.** Використання енергії вітру // ЕКОінформ. – 2011. – № 5. – С. 36-38.

21. **Щур І.З.** Техніко-економічне обґрунтування параметрів гібридної вітросонячної системи для електропостачання окремого об'єкта / **І.З. Щур, В.І. Климко** // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2014. – Вип. 2. – С. 92–100.

22. Пат. № 105303 Україна, МПК (2016.01) F03D 1/04, F03D 9/25. Спосіб отримання електроенергії / **Лобов В.Й., Лобова К.В.**; заявл. ДВНЗ «Криворізький національний університет». - № 201509470; заявл. 01.10.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 6 с.

23. Пат. № 119021 Україна. МПК (2006) F03B 13/00/ Пристрій для автоматичного керування електроспоживанням технологічної установки / **Лобов В.Й., Лобова К.В. Даць А.В.**; заявник і патентовласник ДВНЗ «Криворізький національний університет». - № u201701906 заявл. 27.02.2017; опубл. 11. 09. 2017, бюл. №17.

24. SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition by Stuart A.Bover, Published by ISA The instrumentation Systems and Automation Society; 3 rd edition.

25. Системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы) // Мир компьютерной автоматизации (3/1999), <http://ankey.ru/tech/scada/intro.htm>

26. **Rajesh Singla and Arun Khosla** . Intelligent Security System for HMI in SCADA Applications / International Journal of Modeling and Optimization, Vol. 2, No. 4, August 2012. 444-448

27. Chapter 47 SaskEnergy—SCADA System Security 1.0 MAIN POINTS

28. SCADA система. SIMATIC WinCC V7.0 // ООО Сименс. Информация по продуктам. – URL: [http://iadt.siemens.ru/assets/files/infocenter/catalogs\\_and\\_brochures/as/ProductInfo/13\\_WinCC\\_V70\\_r.pdf](http://iadt.siemens.ru/assets/files/infocenter/catalogs_and_brochures/as/ProductInfo/13_WinCC_V70_r.pdf). – С.126–129.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 622.234.4: 622.349.5: 622.831

О.В. КАЛІНІЧЕНКО, канд. екон. наук, доц., Криворізький національний університет

## ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ МАСИВУ ПРИ ФОРМУВАННІ ТА ПІДТРИМЦІ ПІДЗЕМНИХ ГІРСЬКИХ ВИРОБОК

**Мета.** Метою даної роботи є розробка методики фізичного моделювання стійкості масиву при формуванні та підтримці підземних гірських виробок в умовах напружено деформованого стану масиву.

**Методи дослідження.** Для визначення несучої здатності та стійкості гірського масиву при формуванні та підтримці підземних виробок в умовах напружено деформованого стану масиву в роботі виконувалися експериментальні дослідження на моделях з еквівалентних матеріалів. Лабораторними дослідженнями встановлено та визначено якісні закономірності розвитку деформацій масиву гірських порід, комбінованих штучних масивів та умов їх функціонування при відпрацюванні як багатих залізних руд, так і бідних магнетитових кварцитів підземним способом.

Аналіз методів моделювання, заснованих на теорії подібності дозволив зробити висновок, що при моделюванні на статичних моделях обов'язково необхідно дотримуватися масштабу моделювання. Тому в процесі моделювання дотримані критерії подібності, що забезпечують подібність механічних процесів та пропорційність фізичних констант, які мають вирішальне значення для досліджуваного явища.

**Наукова новизна.** В процесі лабораторного експерименту вперше була отримана картина напружень і деформацій в гірському масиві при очисних роботах на ділянці родовища, що моделювала шахтне поле ш. Гігант-Глибока. Визначені залежності та встановлені закономірності несучої здатності та стійкості масиву магнетитових кварцитів при формуванні та підтримці підземних гірських виробок в умовах його напружено деформованого стану.

**Практична значимість.** Запропонована методика фізичного моделювання несучої здатності та стійкості масиву при формуванні та підтримці очисних камер в умовах напружено деформованого стану гірського масиву при відпрацюванні магнетитових кварцитів підземним способом. Отримана фізична картина деформації денної поверхні при формуванні та існуванні очисних камер довгострокового консервування на трьох робочих горизонтах.

**Результати.** На підставі виконаних досліджень та встановлених залежностей визначено зміну напружено-деформованого стану масиву в умовах шахтного поля ш. Гігант-Глибока. Доведена доцільність заповнення існуючих камер закладочними сумішами. Це дозволяє забезпечити безпеку та можливість подальших робіт та гарантує збереження денної поверхні в зоні впливу існуючих відпрацьованих камер.

**Ключові слова:** фізичне моделювання, підземні виробки, очисні камери, напружено деформований стан, гірський масив.

doi:

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Дослідження стійкості масиву гірських порід при формуванні в ньому очисних камер довгострокового консервування в натурних умовах пов'язані з великими виробничими труднощами.

У разі досліджень комбінованих масивів, що представляють собою відпрацьовані очисні ділянки, камери яких заповнені твердіючим або іншим закладним матеріалом, задача отримання реальної картини процесів, що відбуваються в масиві також надзвичайно ускладнена. Це