

УДК 621.65.03

О.К. ДАНИЛЕЙКО<sup>†</sup>, ст. викладач, Ж.Г. РОЖНЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
В.О. ДУБОВИЙ, студент, Криворізький національний університет

## РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

Розроблено лабораторний стенд для аналізу режимів роботи насосів та побудови напірних та енергетичних характеристик насоса. Стенд має резервуар з рідиною, відцентровий насос, трубопроводи, які перекачують воду по замкненому циклу. Для регулювання продуктивності встановлено кран з сервоприводом. Змінюючи положення засувки крана можна міняти продуктивність. Продуктивність насоса можна управляти змінюючи частоту обертання насоса. Другий спосіб має кращі енергетичні характеристики. Для зміни частоти обертання насоса стенд має привід змінного струму. Для автоматичного керування насосом встановлено персональний комп'ютер. Система автоматичного керування включає датчики тиску та витрати рідини, цифровий мультиметр для вимірювання струму та потужності. Всі елементи системи включені в локальну мережу і через неї зв'язані з ПК.

Розроблено програмне забезпечення для лабораторного стенда насосної установки. SCADA система автоматично фіксує параметри роботи установки. У автоматичному режимі програма будує напірно-витратні і енергетичні характеристики. Проаналізовано вплив способу регулювання продуктивності насосної установки на процеси енергозбереження. Стенд призначений для виконання лабораторних робіт та закріплення теоретичних знань; придбання навичок експлуатації обладнання; роботи із регульовальною, контрольно-вимірювальною й частотно-перетворювальною апаратурою насосної установки.

**Актуальність роботи.** У даний час більшість насосних агрегатів використовують засувки для зміни продуктивності. Наслідком цього є надмірне споживання електричної енергії.

Враховуючи сучасний стан з енергоносіями, вимоги до енергоефективності насосів виходять на перший план. Регулювання продуктивності турбомеханізмів за рахунок зміни частоти обертання має безсумнівні переваги [1].

У зв'язку з розробкою сучасних ключових елементів на ринку з'явилися досить дешеві приводи змінного струму на основі перетворювачів частоти.

Тому досить актуальною є розробка стендів для випробування роботи насосів з приводами змінного струму, що дає можливість порівняти різні методи регулювання продуктивності з точки зору енергоефективності.

Сучасний світ перебуває на межі постійного технологічного прогресу, коли в усі сфери людського життя впроваджуються нові технології, пов'язані з автоматизацією. Більшість сучасних підприємств оснащують свої виробництва найновішими досягненнями науки, але для керування ними необхідні навички роботи з автоматизованими системами.

Сьогодні завдання вищих навчальних закладів - дати молодим спеціалістам не лише ґрунтовні знання щодо фізичної суті виробничих процесів, а й навчити їх керувати цими процесами за допомогою автоматизованих систем.

Саме тому розробка системи моніторингу і керування має важливе прикладне значення.

Основна задача - це розробка лабораторного стенда насосної установки з системою автоматичного керування, яка виконана за допомогою системи автоматизації наукових досліджень *LabVIEW*. На даній установці планується проводити ряд лабораторних робіт по вивченню характеристик насосів та дослідженню процесів енергозбереження.

*Вибір обладнання та локальної мережі.* Насоси, як правило, працюють в режимах тривалого нормального навантаження.

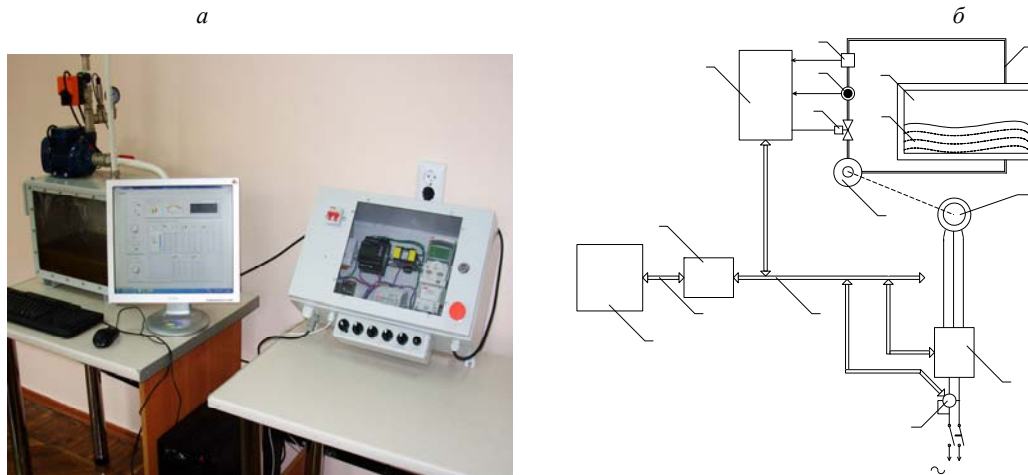
Регулювання подачі насосів може виконуватись за допомогою запірних пристроїв, але найбільш досконалим способом регулювання подачі насосів є зміна частоти обертання їх двигунів, діапазон регулювання якої зазвичай невеликий, широке регулювання потрібно лише в окремих випадках [2-6].

Для лабораторного стенда було обрано вихровий насос *Pedrollo PK60* з наступними характеристиками: повітряне охолодження; потужність 0,37 кВт; продуктивність 0-40 л/хв.; напір: 40-5 м; клас захисту - IP44; максимальна глибина всмоктування - 7 м; максимальна температура рідини +50 С; максимальний розмір твердих часток не більше 50 г/м<sup>3</sup>. Технічна характеристика насоса наведена в табл. 1.

Технічна характеристика насоса

| Тип   | $P$ , кВт | $Q$ , л/хв | 0  | 5  | 10   | 15 | 20 | 25   | 30 | 35 | 40 |
|-------|-----------|------------|----|----|------|----|----|------|----|----|----|
| PK 60 | 0,37      | $H$ , м    | 40 | 38 | 33,5 | 29 | 24 | 19,5 | 15 | 10 | 5  |

Стенд побудовано на основі відцентрового насоса *Pedrollo PK60*, який перекачує рідину у замкненому циклі (рис. 1а). Функціональна схема стенда представлена на рисунку 1б.



**Рис. 1:** а - загальний вид лабораторного стенда; б - функціональна схема лабораторного стенда: 1 - персональний комп'ютер; 2 - магістраль USB; 3 - перетворювач RS-485/USB; 4 - магістраль RS-485; 5 - допоміжний контролер; 6 - цифровий мультиметр *Socomec Diris A10*; 7 - привод змінного струму *ABB ACS355*; 8 - асинхронний двигун привода насоса; 9 - насос *PK60*; 10 - засувка з сервоприводом *Belimo TR-24-SR*; 11 - датчик витрати рідини *Sea YF-S201*; 12 - датчик тиску рідини *Dwyer 628CR-90*; 13 - резервуар; 14 - вода; 15 - трубопровід

При розробці стенда були прийняті для обміну даними між ПК і зовнішніми пристроями мережевий інтерфейс RS-485 і мережевий протокол *Modbus RTU*. В зв'язку з цим і було обрано обладнання, яке має «на борту» мережевий інтерфейс RS-485 та підтримує протокол *Modbus*. Для зміни обертів насоса використовується привод змінного струму *ABB ACS355* з додатковим пристроєм мережевого інтерфейсу *RS-485 FMBA-01*. Привод налаштований на скалярне керування по мережевий магістралі та протоколу *Modbus* (профіль *DCU*). Для вимірювання тиску рідини обрано датчик тиску *Dwyer 628CR-90* з струмовим виходом 4-20 мА, датчик витрати рідини *Sea YF-S201* з частотним вихідним сигналом. Для регулювання продуктивності насоса використовується засувка *Belimo TR-24-SR* з сервоприводом (напруга керування 0 – 10 В).

Для перетворення аналогового сигналу тиску, частотного сигналу витрат рідини та керуванням напруги сервопривода засувки розроблено допоміжний контролер на базі AVR мікропроцесора *Atmega 16*. За допомогою вбудованого АЦП вимірюється в цифровому виді тиск. Для керування сервоприводом крана використовується зовнішній ЦАП. У допоміжному контролері реалізовані програми цифрової фільтрації для компенсації впливу турбулентності. Зв'язок з мережею реалізований через вбудований інтерфейс RS-485 та програмно реалізований протокол *Modbus RTU*.

За допомогою цифрового мультиметра *Socomec Diris A10* вимірюються струм, активна та реактивна потужності.

**Вибір програмного забезпечення для автоматизації системи керування стендом.** З метою автоматизації досліджень використовується персональний комп'ютер, в який передаються данні по магістралі USB через перетворювач інтерфейсу *RS-485/USB ICP DAS*.

Для зв'язку з зовнішнім обладнанням, через відсутність відповідних драйверів, використовується OPC сервер *National Instruments*, налаштований на протокол *Modbus RTU*. Структура проекту OPC сервера представлена на рисунку 2. *Modbus* адреси обрано згідно відповідної документації.

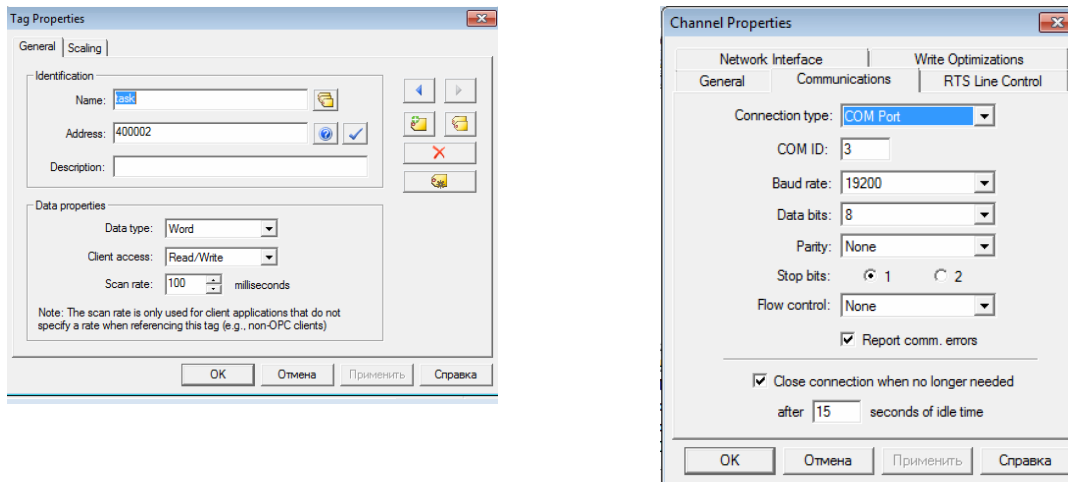


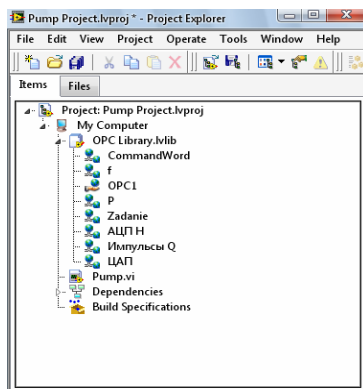
Рис. 2 Властивості проекту OPC сервера

*Вибір системи програмування.* Для програмування системи керування стендом та автоматизації проведення експерименту обрано систему графічного програмування *LabVIEW*.

*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* (середовище розробки лабораторних віртуальних приладів) є середовищем графічного програмування, яке широко використовується в промисловості, освіті та науково-дослідних лабораторіях в якості стандартного інструменту для збору даних і управління приладами. *LabVIEW* - потужна і гнучка програмна середовище, яка застосовується для проведення вимірювань та аналізу отриманих даних.

За допомогою графічної мови програмування *LabVIEW*, іменованого *G* (Джей), можливо програмувати задачу блок-діаграмами, яка компілює алгоритм в машинний код [7-11].

*Проект програми керування стендом.* Проект програми складається з одного *VI* файлу *Pump.vi* та бібліотеки *OPC Library.lvlib*. Структура проекту програми приведена на рис. 3.

Рис. 3 Проект програми у *LabVIEW*

Бібліотека *OPC Library.lvlib* включає в себе змінні, які описані в проекті *OPC* сервера (командний рядок привода *ACS355*, завдання частоти, активна потужність, тиск, продуктивність насоса, завдання на ЦАП сервопривода крана).

Файл *Pump.vi* - містить головне вікно, у якому знаходиться основна панель для керування стендом та відображення показників роботи (рис. 4).

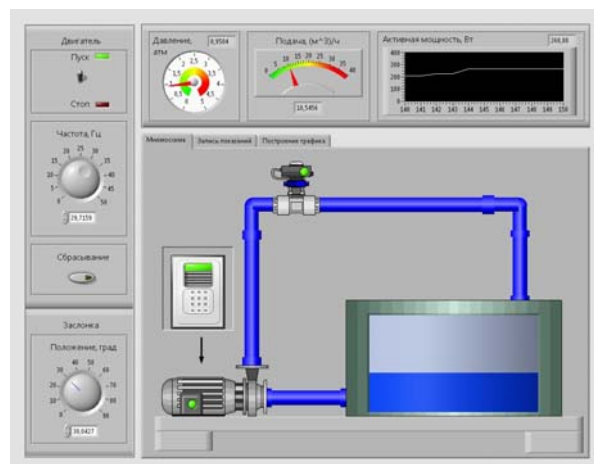


Рис. 4. Інтерфейс загального вікна з елементами SCADA-системи

Показники датчиків відображаються наступними елементами: «Давление, атм.» *Gauge* - для відображення даних тиску; «Подача, л/мин» *Meter* - для відображення подачі насоса, «Активная мощность, Вт» *Waveform Chart* - для відображення активної потужності. Показники можна спостерігати як на графічному елементі, так і на числовому індикаторі. Аналогічно задають частоту та положення засувки.

Для відображення роботи станда була розроблена мнемосхема на основі елементів *DSC Module*, що включає в себе перетворювач частоти, насос, керуючу засувку, трубопровід та резервуар. При роботі із установкою відбувається візуальне відображення роботи кожного елемента.

Для запису показників подачі та тиску при різних значеннях частоти та положень засувки (рис. 5) було створено таблиці на основі одномірних масивів *Array* для кожної величини. Керування таблицею виконується ключем для її активації, та повзунком для вибору рядка на запис.

Сам запис виконується натисканням кнопки «Записать данные».

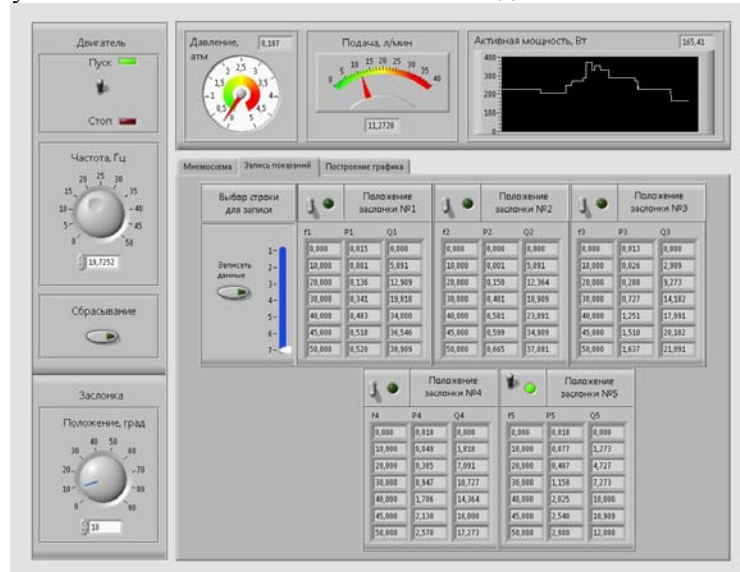


Рис. 5 Запис даних у таблиці

Одночасно із записом показників при різних значеннях частоти та положення засувки відбувається побудова сімейства характеристик насоса (рис. 6).

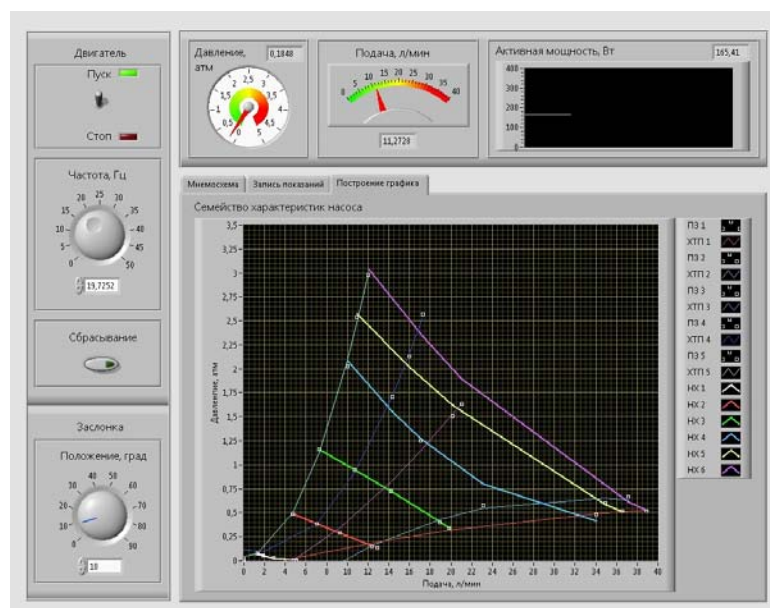


Рис. 6 Побудова характеристик насоса

Для їх відображення використовується елемент *Waveform Graph*. На графіку відображаються напірні характеристики.

Графіки будуються так: з масиву «Q1» та «H1» приходять дані у елемент *Bundle*, що формує відповідні координати.

Зрозуміло, що стенд не є ідеальним. У зв'язку з малими довжиною та діаметром трубопроводів, потік рідини має турбулентний характер, що приводить до вторинних низькочастотних явищ.

З метою компенсації помилок вимірювання, використовується поліноміальна апроксимація та сплайн інтерполяція (елемент *General Polynomial Fit*, який формує окрему криву). І на завершальному етапі - об'єднуються усі провідники за допомогою *Build Array* та виводяться на елемент *Waveform Graph*.

**Висновки.** Обрана структура лабораторного стенда та розроблено програмне забезпечення для керування насосною установкою. Програмна система керування дозволяє в автоматичному режимі будувати напірно-витратні та енергетичні характеристики насоса, проводити курс лабораторних робіт для закріплення теоретичних знань, отриманих студентами на лекціях та придбання навичок експлуатації обладнання, роботи із запірною-регулювальною, контрольно-вимірювальною й перетворювальною апаратурою насосної установки. Стенд має великі можливості модернізації і може використовуватися для проведення лабораторних робіт з різних дисциплін.

### Список літератури

1. **Копытов Ю.В.** Экономия электроэнергии в промышленности: справочник / Ю.В. Копытов, Б.А. Чуланов. – М.: Энергия, 1978. – 120 с.
2. **Онищенко Г.Б.** Электропривод турбомеханизмов / Г.Б. Онищенко, М.Г. Юньков. – М.: Энергия, 1972. – 240 с.
3. **Черкасский В.М.** Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М. Черкасский. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 415 с.
4. **Шерстюк А.Н.** Насосы, вентиляторы, компрессоры: учеб. пособие для вузов / А.Н. Шерстюк. – М.: Высшая школа, 1972. – 344 с.
5. **Шевчук С.П.** Насосні, вентиляторні та пневматичні установки: підручник / С.П. Шевчук, О.М. Попович, С.М. Світлицький. – К.: НТТУ «КПІ», 2010. – 308 с.
6. **Ильинский Н.Ф.** Энергосбережение в центробежных машинах средствами электропривода / Н.Ф. Ильинский // Вестник МЭИ. – 1995. – №1.
7. **Тревис Дж.** LabVIEW для всех / Джеффри Тревис. – Пер. с англ. Клушин Н. А. – М.: ДМК Пресс; Прибор-Комплект, 2005. – 544 с.
8. **Федосов В.П., Нестеренко А.К.** Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб. пособие / под ред. В. П. Федосова. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 456 с.
9. **Батоврин В.К.** LabVIEW: практикум по электронике и микропроцессорной технике / В.К. Батоврин, А.С. Бессонов, В.В. Мошкин. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 182 с.
10. **Суранов А.Я.** LabVIEW 7: справочник по функциям / А.Я. Суранов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 512 с.
11. **Пейч Л.И.** LabVIEW для новичков и специалистов / Л.И. Пейч, Д.А. Точилин, Б.П. Поллак. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 384 с.

Рукопис подано до редакції 04.04.15

УДК 528.8: 622.831.6

В.М. ЗДЕЩИЦ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц.,  
М.П. СЕРГЄЄВА, Криворізький національний університет

### ВИЗНАЧЕННЯ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ ТА ПОРОЖНЕЧ В ГІРСЬКОМУ МАСИВІ

Розглянуто теоретичні положення математичного моделювання маркшейдерсько-геодезичних напівавтоматичних систем для визначення неоднорідностей та порожнеч в напружено-деформованому гірському масиві, породи в загальному випадку якого є структурними середовищами, компоненти яких володіють різними пружними властивостями. Міцні гірські породи при нарузі, що не перевищує межі пружності, поведуться як однорідні пружні середовища, повністю поновлюючи свої розміри і форму після зникання деформуючих сил. Обґрунтовано, що по мінливості швидкості розповсюдження акустичних хвиль можна судити і про мінливість міцності гірського масиву при видобуванні корисної копалини. Хвилі, що розповсюджуються через гірську породу, несуть з собою певну енергію. Інтенсивність пучка при розповсюдженні через середовище зменшується по експоненті в результаті поглинання і по ступеню ослаблення інтенсивності пучка можна судити про мінливість міцності породи. Поперечний перетин рудного тіла обмежений, тому, вимірявши часовий інтервал між приходом прямої хвилі і відбитою на межі розділу сере-