

УДК 62-83:621.313.3

А. С. Андрейшин,
А. В. Маляр, д-р техн. наук,
Б. С. Калужний, І. Р. Головач, кандидати техн. наук

АПАРАТНО-ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ШТАНГОВОЮ ГЛИБИНОПОМПОВОЮ УСТАНОВКОЮ

***Анотація.** Запропоновано систему керування електроприводом штангової глибинопомпової установки на базі мікропроцесора ARM Cortex M3 STM32F107. Створено експериментальний стенд для дослідження роботи нафтовидобувної установки, який точно відтворює усталені періодичні режими роботи малодебітної свердловини. Отримані експериментальні залежності, які підтверджують доцільність використання запропонованої системи на нафтопромислах України.*

***Ключові слова:** нафтовидобувна установка, динамограма, мікропроцесор, система керування*

A. S. Andreishyn,
A. V. Malyar, ScD.,
B. S. Kaluzhnyi, PhD., **I. R. Holovach,** PhD.

HARDWARE AND SOFTWARE SOLUTIONS OF CONTROL SYSTEM OF A DEEP-WELL PUMPING UNIT

***Abstract.** Control system of the electric drive of a deep-well pumping unit on the basis of ARM Cortex M3 STM32F107 microprocessor is proposed. An experimental installation for studying the operation of the oil pumping unit, which accurately reproduces steady-state periodical modes of low flow rate wells, was created. The obtained experimental relationships confirm the feasibility of applying the proposed control system at Ukrainian oil fields.*

***Keywords:** oil pumping unit, dynamogram, microprocessor, control system*

A. С. Андрейшин,
А. В. Маляр, д-р техн. наук,
Б. С. Калужный, И. Р. Головач, кандидаты техн. наук

АПАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШТАНГОВОЙ ГЛУБИННОНАСОСНОЙ УСТАНОВКОЙ

***Аннотация.** Предложена система управления электроприводом штанговой глубиннонасосной установки на базе процессора ARM Cortex M3 STM32F107. Создан экспериментальный стенд для исследования работы нефтедобывающей установки, который точно воспроизводит установившиеся периодические режимы работы малодебитных скважин. Получены экспериментальные зависимости, которые подтверждают целесообразность использования предложенной системы на нефтепромыслах Украины.*

***Ключевые слова:** нефтедобывающая установка, динамограмма, микропроцессор, система управления*

Вступ. Технологічний процес видобування нафти штанговими глибинопомповими установками (ШГПУ) неможливий без надійних систем контролю та керування [1, 6]. Для здійснення автоматичного керування необхідно неперервно отримувати інформацію про всі контрольовані параметри встановленого на свердловині обладнання. Практика свідчить, що надійний контроль і автоматизація дають змогу підвищити ефективність видобування нафти, зменшити або й виключити аварійні ситуації та скоротити витрати на ремонт. В цьому сенсі актуальною задачею є створення на базі сучасної мікропроцесорної техніки системи керування ШГПУ, яка забезпечує раціональний режим роботи нафтової свердловини.

Апаратна реалізація системи керування. Пропонується система керування ШГПУ, яка дає змогу в реальному часі контролювати стан свердловини, в тому числі малодебітної, та вчасно виявляти аварійні

© Андрейшин А.С., Маляр А.В., Калужний Б.С.,
Головач І.Р., 2014

режими. Ключовими елементами системи є нейронна мережа, база даних з вхідними та еталонними зображеннями, алгоритм підготовки вхідного зображення і алгоритм формування завдання на частотний перетворювач. Для такої системи необхідною є апаратна база, яка може забезпечити швидку обробку великої кількості даних, вести базу даних на зовнішньому носії з підтримкою сучасних файлових систем (fat32, NTFS), мати інтерфейси для зв'язку з зовнішньою периферією (USART, SPI, USB, ETHERNET).

Для реалізації системи вибрано не дорогий мікропроцесор з потрібним набором периферійних пристроїв ARM Cortex M3 STM32F107 фірми ST Microelectronics [5, 8]. Для тестування розроблено програмно-апаратний комплекс на основі комплекту відладки з платою OPEN107V з вибраним мікроконтролером та виведеними на роз'єми потрібними інтерфейсами (рис. 1). Для випробувань розроблених алгоритмів роботи використано частотний перетворювач ATV32N018M2, який належить до сімейства Altivar.

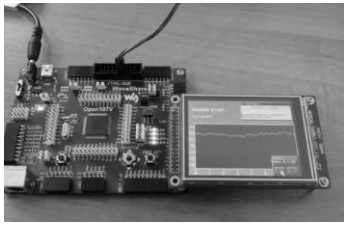


Рис. 1. Зображення тестової плати на основі STM32F107

Його під'єднано за типовою схемою (рис.2) до асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором потужністю 0,18 кВт. Зв'язок з ПЧ реалізовано за протоколами Modbus/CANopen.

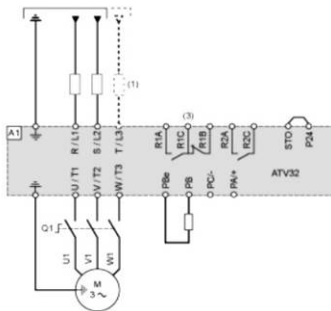


Рис. 2. Схема підключення ПЧ

Для апаратного підключення мікроконтролера до ПЧ задіяно послідовний інтерфейс USART. Для узгодження рівнів вибрано мікросхему ADM3287 з вбудованим DC/DC перетворювачем та можливістю роботи з RS232 та RS485 інтерфейсами. Розроблена принципова схема та її фізичне виконання показана на рис. 3.

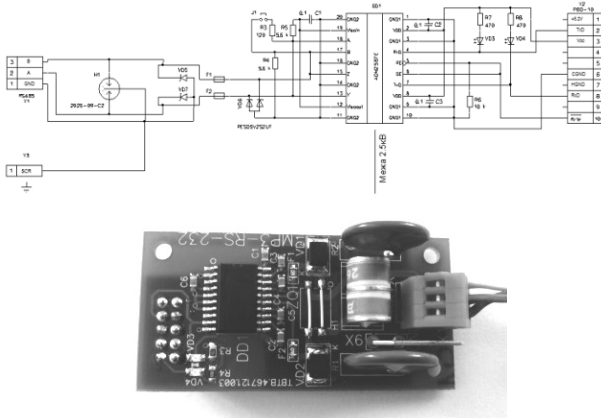


Рис. 3. Принципова схема перетворювача інтерфейсів USART-RS485 та її фото

При динамометруванні (побудові залежності зусилля на штоці від його переміщення) на верстат-гойдалку встановлюють тензодавач, а для фіксації крайніх положень балансира верстата-гойдалки встановлюють кінцеві давачі. Інформація з кінцевих давачів зчитується за допомогою їх прямого під'єднання до мікроконтролера (для більш надійного сигналу з захистом використано оптопари). Інформаційний вихід тензодавача під'єднується до входу 12-бітного АЦП мікроконтролера.

В схемі, де аналізуються струмограми (залежності струму привідного двигуна від переміщення штока), інформація про струм зчитується з ПЧ і приймається по протоколу MODBUS через реалізований вище інтерфейс RS-485.

Оскільки розроблений алгоритм керування вимагає значних обчислювальних ресурсів та гнучкого переключення між різними задачами, доцільно для побудови такої системи використовувати операційні системи реального часу RTOS, що спрощує роботу з багаторівневими складними програмами. Найпопулярнішою відкритою операційною системою є FreeRTOS [3]. Наявність ОС FreeRTOS в системі використовує близько 9,8 Кб пам'яті під програму і 1,8 Кб ОЗУ.

Основні функції, які виконує ОС FreeRTOS:

- організація мультизадачності і почергове виконання завдань;
- забезпечення запуску певного завдання через строго певні інтервали часу;
- передача інформації від одного завдання до іншого;
- додавання за необхідності нового завдання на виконання.

Основний текст програми складається з підпрограм, що запускають ініціалізацію зовнішньої периферії та задач, що виконуються безперервно в замкнутому циклі. Ці задачі передані на керування диспетчеру завдань. Також згідно вимог FreeRTOS є декілька задач для відладки проекту та виводу проміжної інформації.

Для реалізації необхідних функцій системи в проекті задіяно стандартну бібліотеку STM32F10x Standard Peripheral Library v3.5.0, бібліотеку для роботи з графічним дисплеєм, USART, АЦП, І2С. Також задіяна бібліотека для роботи з зовнішньою пам'яттю EEPROM. Вона призначена для зберігання налаштувань системи, в тому числі там зберігається масив значень вагових коефіцієнтів нейронної мережі після навчання [2, 4]. Таке рішення дозволяє продовжити роботу схеми після енергозбоїв та тимчасових відключень. Для роботи з зовнішніми інтерфейсами включено контролер DMA. Для роботи з ПЧ використано відповідне програмне забезпечення SoMachine яке входить в комплект Altivar32.

Дослідження системи керування. Для формування моменту навантаження привідного двигуна зібрано типовий стенд двигун-генератор. В ролі генератора використано машину постійного струму М1 (рис. 4). Особливістю стенду є спеціальна схема формування навантаження для генератора, що імітує періодичний режим роботи нафтовидобувної установки. Принцип роботи схеми базується на ШІМ, реалізованій на мікроконтролері ATmega8.

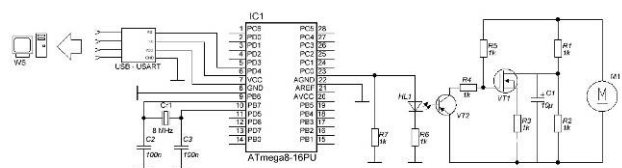
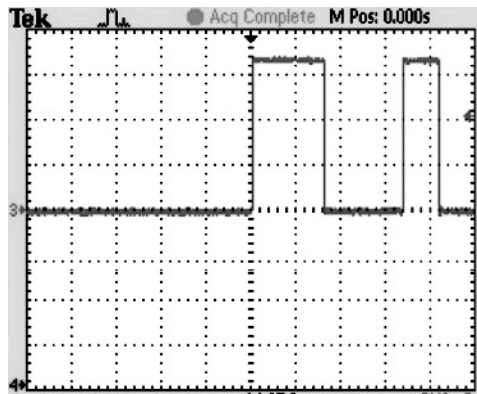


Рис. 4. Схема силовій частини стенду

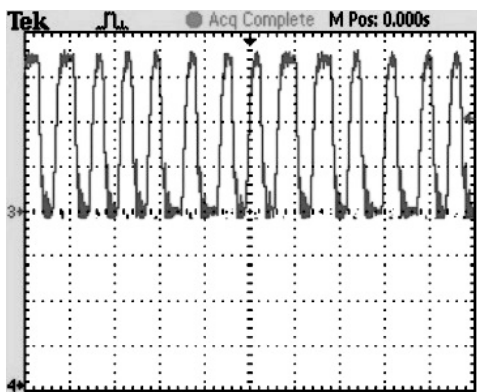
На рис.5. показано процес формування навантаження (динамограми) на стенді.



а



б



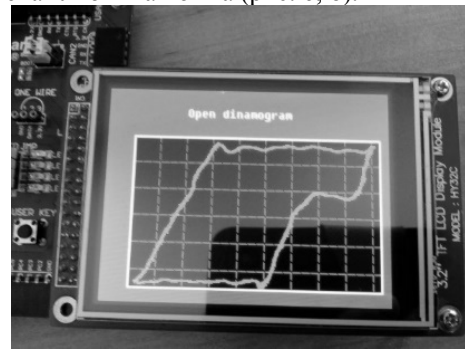
в

Рис. 5. Формування навантаження на привідний двигун: широтно-імпульсна модуляція (а), розгорнута в часі динамограма (б), динамограма на періоді 100 сек. (в)

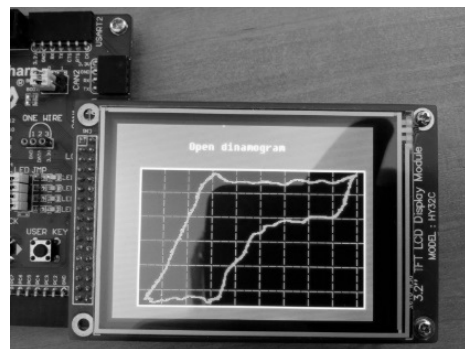
Кінцевим результатом експериментальних досліджень є правильне розпізнавання нейронною мережею, яка реалізована в мікроконтролері, реальної динамограми, з метою її подальшої обробки (визначення коефіцієнта заповнення помпи) та формування відповідного сигналу ПЧ для керування привідним двигуном [9, 10].

Результат експерименту на дослідному стенді показано на рис. 6. На ньому видно, що нейронна мережа коректно розпізнає і виводить на графічному дисплеї зображення динамограм для різних режимів ро-

боти ШГПУ – наполовину заповнена (рис. 6, а) та незаповнена глибинна помпа (рис. 6, б).



а



б

Рис. 6. Результати експерименту

Висновки. Створений лабораторний стенд системи керування нафтовидобувною установкою дає змогу повністю відтворювати всі режими роботи нафтової свердловини. Вибраний мікроконтролер stm32f107 дає можливість провести всі обчислення без використання зовнішніх систем. Велика кількість інтерв'єсів забезпечує зв'язок з оператором, сервером та всім обладнанням. Крім того, розроблена апаратно-програмна платформа дає змогу в подальшому розвивати і доповнювати алгоритми обробки даних без додаткових апаратних засобів.

Список використаної літератури

1. Шагеев А. Ф., Автоматизированный мониторинг процессов обработки скважин – первая ступень интеллектуальных систем управления / А. Ф. Шагеев, А. М. Тимушева, Л. Н. Шагеева, А. С. Гришкин // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 11. – С. 48 – 49.
2. Андрейшин А. С. Розпізнавання стану свердловини та нафтовидобувного обладнання на основі нейронної мережі / А. С. Андрейшин // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук : КрНУ. – 2013. – Вип. 2/2013 (22). – С. 87 – 89
3. Операційна система FreeRTOS [Електронний ресурс]. – Режим доступу – <http://www.freertos.org>. – Дата доступу (2.06.2014)
4. Маляр А. В. Використання нейронної мережі для побудови системи керування електроприводом верста-гойдалки / А. В.Маляр, А. С. Андрейшин // Вісник НУ

«Львівська політехніка» «Електроенергетичні та електромеханічні системи». –2011. – № 707. – С. 77 – 82.

5. Web-сайт розробників мікроконтролера ST32. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://www.st.com>. – Дата доступу (25.05.2014)

6. Алиев Т. А. Методы и средства диагностики глубиннонасосного оборудования нефтяных скважин / Т. А. Алиев, О.К. Нусратов // Нефтяное хозяйство. – 1998. – № 9. – С. 78 – 80.

7. Мальяр А. В. Алгоритм розрахунку стаціонарних режимів електроприводу штангових нафтовидобувних установок / А. В.Мальяр // Технічна електродинаміка. – 2009. – № 4. – С. 40 – 44.

8. Микроконтроллер STM32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://microtechnics.ru/mikrokontroller-stm32-i-usb/>. – Дата доступу (2.06.2014)

9. Барский В. А. Опыт применения автоматизированного регулируемого электропривода штанговой глубинно-насосной установки РЭН2Н в полевых условиях / В. А. Барский, Д. С. Курдюмов, А. А. Колесник // Вестн. НТУ ХПИ «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – 2002. – Вып. 12. – Т. 1. – С. 206 – 209.

10. Тагірова К. Ф. Автоматизация управления технологическим процессом добычи нефти из малодебитных скважин на основе динамических моделей: автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.13.06 / Клара Фоатовна Тагірова; Уфа, 2008. – 35 с.

Отримано 18.07.2014

References

1. Shagaev A.F., Timusheva A.M., Shagaeva L.N., and Grishkin A.S. Avtomatizirovanniy monitoring protsessov obrabotki skvazhin – pervaya stupen intellektualnykh system upravleniya [Automated Monitoring of Wellbore Processing – the First Stage of Intelligent Control Systems], (2000), *Neftyanoye Khozyaystvo*, No. 11, pp. 48 – 49 (In Russian).

2. Andreishyn A.S. Rozpiznavannya stanu sverdlovynny ta naftovydobuvnoho obladnannya na osnovi neuronnoi merezhi [Neural Network Based Recognition of Wells and Oil Producing Equipment Condition], (2013), “*Elektromakhanichni i Elenerhozberihayuchi System*”. *Shchokvartalnyi Naukovo-vyrobnychyi Zhurnal*, Kremenchuk, Ukraine, *KrNU*, No. 2/2013 (22), pp. 87 – 89 (In Ukrainian).

3. Operating System FreeRTOS. – Available at: <http://www.freertos.org>. (In English) (accessed 2.06.2014).

4. Malyar A.V., and Andreishyn A.S., Vykorystannya neiomerezhi dlya pobudovy systemy keruvannya elektropryvodom verstata-hoydalky [Using Neural Networks for Building up a Control System for the Electric Drive of the rod oil-pumping unit], (2011), *Visnyk NU “Lvivska Polytekhnika” “Elektroenerhetychni ta Elektromakhanichni Systemy”*, No. 707, pp. 77 – 82 (In Ukrainian).

5. Web-Site of Manufacturer of Microcontrollers ST32. – Available at: <http://www.st.com> (In English) (accessed 25.05.2014)

6. Aliev T.A., and Nusratov O.K., Metody i sredstva diagnostiky glubinnonasosnogo oborudovaniya neft-

yanykh skvazhin [Methods and Facilities for Diagnostics of Deep Well Oil Pumping Equipment], (1998), *Neftyanoye Khozyaystvo*, No. 9, pp. 78 – 80 (In Russian).

7. Malyar A.V. Alhorytm rozrakhunku statsionarnykh rezhymiv elektropryvodu shtangovykh naftovydobuvnykh ustanovok [An Algorithm for Calculating Stationary Operation Modes of the Electric Drive of the deep-well oil Pumping unit], (2009), *Tekhnichna Elektrodynamika*, No.4, pp. 40 – 44 (In Ukrainian).

8. Microcontroller STM32. Available at: <http://microtechnics.ru/mikrokontroller-stm32-i-usb> (In English). (accessed 2.06.2014).

9. Barskyi V.A., Kurdyumov D.S., and Kolesnik A.A. Opyt primineniya avtomatizirovannogo reguliruemogo elektropivoda shtangovoy glubinno-nasosnoy ustanovki REN2N v polevykh usloviyakh [Experience of Applying Automated Adjustable Drive for Sucker rod deep-well Pumping unit РЭН2Н in Field Conditions], (2002), *Vestn. NTU KhPI “Problemy Avtomatizirovannogo Elektropivoda. Teoriya i Praktika”*, No. 12, part 1, pp. 206 – 209 (In Russian).

10. Tagirova Klara Foatovna, (2008), Avtomatizatsiya upravleniya tekhnologicheskim processom dobichi nefti iz malodebitnykh skvazhin na osnove dinamicheskikh modeley [Automation of Control Process of oil Production from Marginal wells Based on Dynamic Models]: Avtoreferat Dysert. Dokt. Techn. Nauk: Spec. 05.13.06, Ufa, Russian Federation, 35 p. (In Russian).



Андреїшин
Андрій Сергійович, аспірант каф.
електроприводу НУ
«Львівська політехніка»,
79013, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12,
сл. тел. (032) 258-26-20,
e-mail: andriyandr@rambler.ru



Мальяр
Андрій Васильович, д-р техн. наук,
проф. каф. електроприводу НУ
«Львівська політехніка»
79013, м.Львів, вул. Ст. Бандери, 12,
тел. (032) 258-26-20,
e-mail: svmalyar@polynet.lviv.ua



Калужний
Богдан Семенович, канд. техн. наук,
доц. каф. електроприводу,
НУ «Львівська політехніка»,
79013, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12,
тел. (032) 258-26-20,
e-mail: kaluzhny@polynet.lviv.ua



Головач
Ігор Романович, канд. техн. наук, доц.
каф. електроприводу, НУ «Львівська
політехніка».
79013, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12,
тел. (032) 258-26-20,
e-mail: holovach@polynet.lviv.ua