

УДК 621.6-52:004.4

Д.К. Елтышев, Е.Н. Ершов

## АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИФАЗНЫМИ НАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ

**Елтышев Денис Константинович**, кандидат технических наук, окончил электротехнический факультет Пермского государственного технического университета. Доцент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета, заместитель декана электротехнического факультета по научно-исследовательской работе студентов. Имеет публикации в области разработки экспертных систем и систем поддержки принятия решений при эксплуатации энергетического оборудования. [e-mail: eltyshv@msa.pstu.ru].

**Ершов Евгений Николаевич**, бакалавр, окончил электротехнический факультет ПНИПУ, магистрант кафедры микропроцессорных средств автоматизации ПНИПУ. Специализируется в области программно-аппаратных решений по автоматизации и управлению энергетическими установками. [e-mail: evgeni29397@yandex.ru].

### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы разработки универсального стенда для создания и отладки программного обеспечения, используемого при управлении мультифазными винтовыми насосами на объектах нефтегазодобычи. Идея разработки ориентирована на максимально полное удовлетворение требований заказчика, сокращение затрат на проектирование и изготовление средств управления насосными установками, имеющими расширенный в сравнении с аналогами функционал, а также повышение надежности оборудования. Предложена архитектура стенда, выбран комплекс технических средств с ориентацией на импортозамещение и создано визуальное оформление панели управления оператора, обеспечивающее дистанционный контроль за работой насосной установки. Разработан алгоритм управления и защиты электропривода мультифазного винтового насоса, проведено испытание работы стенда и алгоритма управления оборудованием в режиме имитации сигналов с датчиков контроля его ключевых параметров с архивированием и анализом получаемых данных. Использование стенда позволит оперативно разрабатывать и тестировать программное обеспечение при создании собственных станций управления мультифазными насосами, а также проводить обучение технического персонала.

Ключевые слова: мультифазные винтовые насосы, автоматизация испытаний, управление, электропривод, программное обеспечение.

## AUTOMATION OF CREATING AND TESTING THE SOFTWARE FOR A MULTIPHASE PUMP UNITS CONTROL STATION

**Denis Konstantinovich Eltyshv**, Candidate of Engineering; graduated from the Faculty of Electrical Engineering of Perm State Technical University; Associate Professor of the Department of Microprocessor Automation Means of Perm National Research Polytechnic University, Vice-Dean for research activity of students of the Faculty of Electrical Engineering; an author of articles in the field of expert system development and decision support systems in the operation of power equipment. e-mail: eltyshv@msa.pstu.ru.

**Ershov Evgenii Nikolaevich**, a bachelor; graduated from the Faculty of Electrical Engineering of Perm State Technical University; a candidate for a master's degree at the Department of Microprocessor Automation Means of Perm National Research Polytechnic University; specializes in the field of software and hardware solutions for automation and control of power facilities. e-mail: evgeni29397@yandex.ru.

### Abstract

The article deals with problems of a multi-purpose stand for creating and debugging the software used to control multiphase screw pumps at oil and gas production facilities. A development concept is focused on total customization, on the reduction of costs related to designing and manufacturing the controls for pumping units having an advanced functionality in comparison with analogues as well as on the equipment reliability improvement. A stand architecture is proposed, hardware oriented

to import substitution is selected, visual design of the operator control panel is created, which provides remote control of the pumping unit operation. An algorithm for control and protection of an electric motor drive of a multiphase screw pump is developed, stand operations testing is performed. An algorithm for equipment control in the mode of imitation of signals from sensors that monitor its key parameters with archiving and analyzing data received is validated. The use of stand will allow us to develop and test the software quickly when creating our own multiphase pump control stations as well as to train technical personnel.

Key words: multiphase screw pumps, test automation, control, electric motor drive, software.

## ВВЕДЕНИЕ

Мультифазные винтовые насосы играют важную роль в эффективной работе предприятий нефтегазодобывающей промышленности [1, 2]. В настоящий момент на рынке представлена широкая линейка станций управления погружными винтовыми насосами серии «Эталон», «Электон», «Триол» и др., которые, однако, не позволяют отслеживать ряд параметров (температуру подшипников, статора насоса, обмоток двигателя, вибрацию установки и т. д.), важных для работы мультифазных насосных установок (МФНУ) типа У1НВ1-240 и У1НВ1-268, которые получили широкое распространение в России и странах Таможенного союза. Практика показывает, что зачастую элементы насосных установок выходят из строя по причине несрабатывания или отсутствия защит по току, что приводит к большим материальным потерям для потребителя, так как стоимость взрывозащищенного двигателя мощностью более 200 кВт сопоставима со стоимостью насосной секции (порядком более 2 млн. руб.). Для решения указанных проблем ООО ВНИИБТ-БИ предлагается спроектировать и наладить производство собственных станций управления, позволяющих контролировать большее число параметров, чем у аналогов. Собственное производство позволит сократить расходы на приобретение сторонней продукции, повысить качество работы МФНУ и получить экономический эффект от продаж [1].

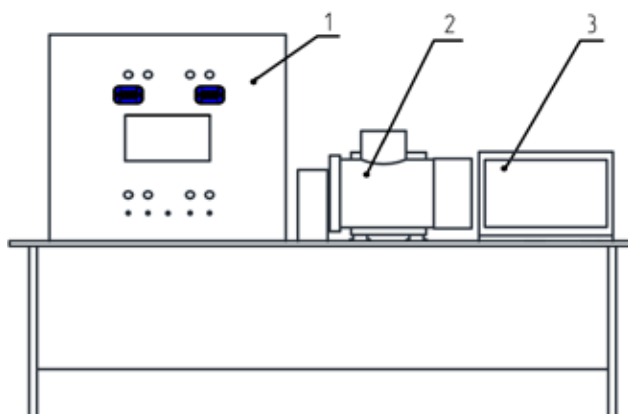
## ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для обеспечения заданных в технической документации требований при проектировании и производстве станций управления винтового насоса требуется наличие определенной материально-технической базы, позволяющей оперативно испытывать полный функционал изделия, в том числе разрабатываемое программное обеспечение.

Цель данной работы – разработать стенд для автоматизации испытания программного обеспечения и имитации работы станций управления винтового насоса на базе аппаратно-программных решений с учетом импортозамещения.

Задачи исследования:

- разработать структуру стенда, обеспечивающую возможность имитировать сигналы от датчиков (температуры двигателя, вибрации, давления на входе насосной установки, давления на выходе насосной установки и др.), а также подключения аналоговых/дискретных датчиков для расширения возможностей стенда;
- обеспечить работу устройств по протоколу *Modbus RTU* и реализовать управление частотным преобразователем по интерфейсу *RS-485* и по сигналу 4..20 мА;
- разработать алгоритм управления частотой вращения вала асинхронного двигателя;
- разработать интерфейс визуализации для сенсорной панели оператора.



а)



б)

Рис. 1. Компоновка (а) и внешний вид (б) макета станции управления:  
1 – шкаф управления; 2 – асинхронный двигатель 2,2 кВт; 3 – ноутбук

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СТЕНДА

На рисунке 1 приведены структура и внешний вид разрабатываемого стенда для испытания программного обеспечения станций управления МФНУ. Стенд состоит из двух основных узлов: контроллерного шкафа и асинхронного двигателя. В качестве управляющего устройства выбран сенсорный панельный контроллер СПК207 производства фирмы ОВЕН, позволяющий реализовать все органы управления непосредственно на сенсорной панели, использование которой позволяет облегчить вывод контролируемых параметров для визуального восприятия оператором.

Для ввода аналоговых и дискретных сигналов используются модули ввода/вывода фирмы ОВЕН. В качестве привода асинхронного двигателя выбран частотный преобразователь фирмы *Danfoss*. Все устройства соединены по интерфейсу RS-485, управление производится по протоколу *Modbus RTU* [3].

Для экономии средств предложено заменить датчики с унифицированным аналоговым сигналом 4..20 мА на переменные резисторы. Для наблюдения за изменением силы тока в цепях имитации сигнала 4..20 мА использованы 2 индикатора токовой петли ИТП-11. Для имитации дискретных сигналов установлены 4 постоянно разомкнутых кнопки без фиксации и 4 контрольные лампы. Все устройства закреплены на DIN-рейке в шкафу, элементы размещены на двери шкафа управления в соответствии с правилами установки.

Шкаф и асинхронный двигатель установлены на столе. Вал двигателя защищен кожухом. Контроллерный шкаф имеет возможность имитировать работу 4 датчиков унифицированного сигнала 4..20 мА, 4 дискретных сигналов ввода и вывода (табл. 1).

## ОПИСАНИЕ РАБОТЫ СТЕНДА И ПРИНЦИПОВ КОНФИГУРИРОВАНИЯ ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ И КОНТРОЛЛЕРА

Рассмотрим основные принципы функционирования стенда.

При включении питания начинают работать частотный преобразователь, который подключен к сети отдельно (имеет большую потребляемую мощность), и остальные устройства. Передача данных между устройствами ведется по протоколу *Modbus RTU*. Управляющим устройством (мастером *Modbus RTU*) в сети является СПК207. Скорость передачи данных составляет 38400 кбит/с и ограничена самым медленным устройством – преобразователем частоты. Токковый сигнал от переменных резисторов заводится в модуль ввода аналоговых сигналов MB110-8А, и его величина отображается при помощи индикатора токовой петли ИТП-11. Цепи без ИТП-11 контролируются непосредственно по величине переменной с канала MB110-8А. При помощи переменного резистора путем изменения силы тока в диапазоне от 4 до 20 мА можно задать числовое значение от 0 до 100 единиц (данные типа *real*) контролируе-

Таблица 1

Технические характеристики стенда для испытания станций управления МФНУ

№ п/п	Наименование параметра	Единицы измерения	Значение
1	Напряжение питания	В	220
2	Мощность электродвигателя	кВт	2,2
3	Количество аналоговых входов	шт	16
4	Количество дискретных входов	шт	16
5	Количество аналоговых выходов	шт	16
6	Количество дискретных выходов	шт	16
7	Количество цифровых выходов RS-485	шт	1
8	Средний период технического обслуживания	год	1
9	Степень защиты по ГОСТ 14254-96	–	IP20

мого параметра. Дискретные сигналы от кнопок имеют значения либо «*True*», либо «*False*». Вал двигателя вращается в зависимости от задания контроллера.

Для написания и тестирования программной части в состав стенда включен ноутбук с установленной средой программирования *CODESYS v3.5*.

При реализации проекта произведена настройка частотного преобразователя и контроллера [3–6]. В конфигураторе контроллера используемый COM порт переключен в режим RS-485, настройки протокола передачи данных, скорость обмена и адрес для частотного преобразователя установлены в соответствии с правилами организации сети RS-485. Для организации процедур чтения/записи выполнены соответствующие настройки в среде *CODESYS v3.5* [4, 7].

Для реализации режима *Modbus Slave* модулей ввода/вывода использованы свободно распространяемые стандартные библиотеки ОВЕН. Для режима *Modbus Slave* частотного преобразователя добавлены каналы опроса и управления. На данном этапе работы предполагается использовать только каналы с регистрами: хранения, командного слова, слова состояния и слова задания частоты по RS-485 [8]. Все переменные для сопоставления входов/выходов объявлены в приложении *PLC\_PRG* [6].

Для управления частотным преобразователем с помощью СПК207 разработана программа в среде *CODESYS v3.5* и создана визуализация панели оператора (рис. 2) [7, 9, 10].

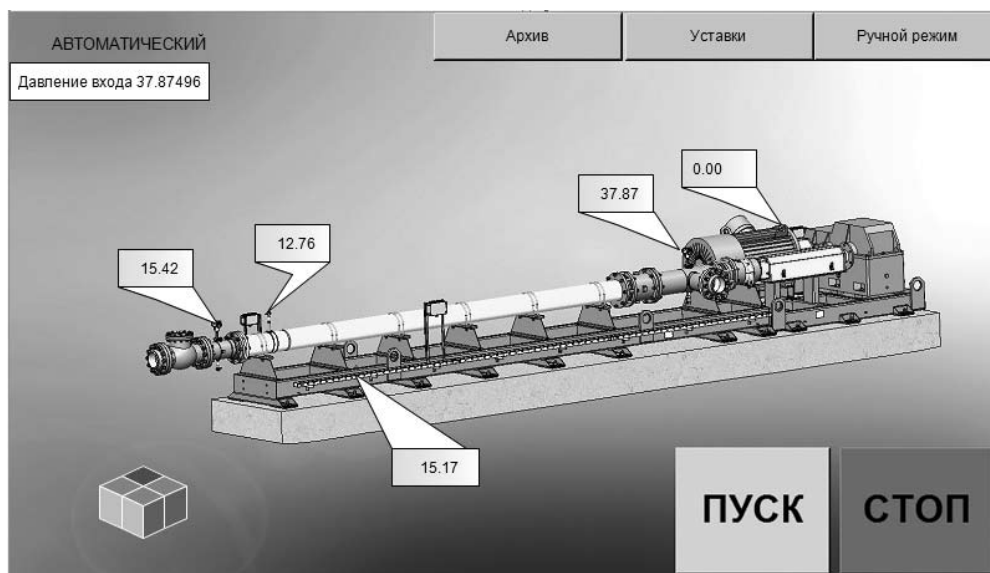


Рис. 2. Визуализация автоматического режима управления МФНУ

Для подачи команд приводу и считывания данных, поступающих от частотного преобразователя, созданы функциональные блоки «Командное слово» (блок S1 «Bits\_To\_Word») и «Слово состояния» (блок S2 «Word\_To\_Bits»), позволяющие управлять режимами его работы в соответствии с данными таблицы 2 путем изменения значений переменных. Аналогично происходит чтение битов в частотном преобразователе [3, 4].

В ходе выполнения работы выявлена проблема взаимодействия в одной сети частотного преобразователя и модулей ввода аналоговых сигналов MB110-8A при использовании стандартных библиотек OVEN. Проблема проявилась в нестабильной работе частотного преобразователя вследствие прерывания передачи командного слова и решена путем создания Modbus Slave для MB110-8A и добавления каналов опроса состояния модулей.

Таблица 2

Функции управления электроприводом при работе станда [4]

№ бита	Логическое состояние бита		Функция кнопки 5-1*
	0	1	
Биты командного слова привода			
0	Не задействован	Не задействован	16
1	Не задействован	Не задействован	17
2	Торможение постоянным током	Нет торможения постоянным током	5
3	Останов выбегом	Нет останова выбегом	2
4	Быстрый останов	Нет быстрого останова	3
5	Фиксация частоты	Нет фиксации частоты	20
6	Останов с замедлением	Пуск	8
7	Нет сброса	Сброс	1
8	Работа по заданию	Фиксированная частота	14
9	Изменение скорости 1	Изменение скорости 2	34
10	Данные недействительны	Данные действительны	–
11	Реле 1 выключено	Реле 1 включено	
12	Не задействован	Не задействован	

Продолжение табл. 2

№ бита	Логическое состояние бита		Функция кнопки 5-1*
	0	1	
Биты командного слова привода			
13	Не задействован	Не задействован	
14	Набор 1	Набор 2	23
15	Реверс	Нет реверса	10
Биты слова состояния привода			
0	Управление не готово	Готовность к управлению	1
1	Привод не готов	Привод готов	2
2	Останов выбегом	Нет останова выбегом	29
3	Нет аварийных сигналов	Аварийный сигнал	10
4	Не задействован	Не задействован	Не задействован
5	Не задействован	Не задействован	Не задействован
6	Не задействован	Не задействован	Не задействован
7	Нет предупреждения	Предупреждение	4
8	Не на задании	На задании	8
9	Ручной режим	Автоматический режим	56
10	Вне частотного диапазона	В частотном диапазоне	7
11	Остановлен	Работа	6
12	Не задействован	Не задействован	
13	Нет предупреждения о напряжении	Предупреждение о напряжении	24
14	Не на пределе по току	Предел по току	12
15	Нет предупреждения о перегреве	Предупреждение о перегреве	21

#### РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТой ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ

Для реализации алгоритма управления разработана программа на языке программирования *CFC* (рис. 3). Наиболее сложные блоки программы написаны на языке *ST*.

Программа включает следующие функциональные блоки (рис. 3): «Регулятор» (*REGULATOR*), «Переключатель режимов» (*PEREKUCHATEL\_REJIM*), «Защита» (*ZASHITA*), «Ручной режим» (*RUCHNOY\_REJIM*), «Командное слово» (*S1 «Bits\_To\_Word»*) и «Слово состояния» (*S2 «Word\_To\_Bits»*).

Блок «Переключатель режимов» служит для выбора способа задания частоты: от регулятора частоты или от ручного задатчика. Блок «Защита» осуществляет контроль дискретных входов и сравнение значений аналоговых сигналов с допустимыми значениями. В случае изменения какого-либо дискретного сигнала или выхода аналогового сигнала за пределы допустимого значения происходит останов двигателя.

Блоки «*S1*» и «*S2*» служат для подачи команд приводу и считывания данных с его информационного модуля.

Наиболее важным функциональным блоком является блок «Регулятор», который отвечает за управление частотой вращения частотного преобразователя (рис. 4) [5, 11, 12].

На рисунке 4 приняты следующие обозначения:  $P_1$  – величина давления на входе установки, изменяется переменным резистором в диапазоне от 0 до 100;  $P_{уст}$  – поддерживаемая величина давления;  $e$  – допустимая погрешность;  $\omega$  – частота;  $\omega_{min}$  и  $\omega_{max}$  – минимально и максимально допустимые частоты. Все параметры имеют тип данных *real*.

Задание требуемой частоты вращения для преобразователя осуществляется путем сравнения заданного значения  $P_{уст}$  с текущим  $P_1$ . В зависимости от величины текущего значения  $P_1$  частота  $\omega$  либо увеличивается, либо уменьшается на единицу с задержкой в одну секунду.

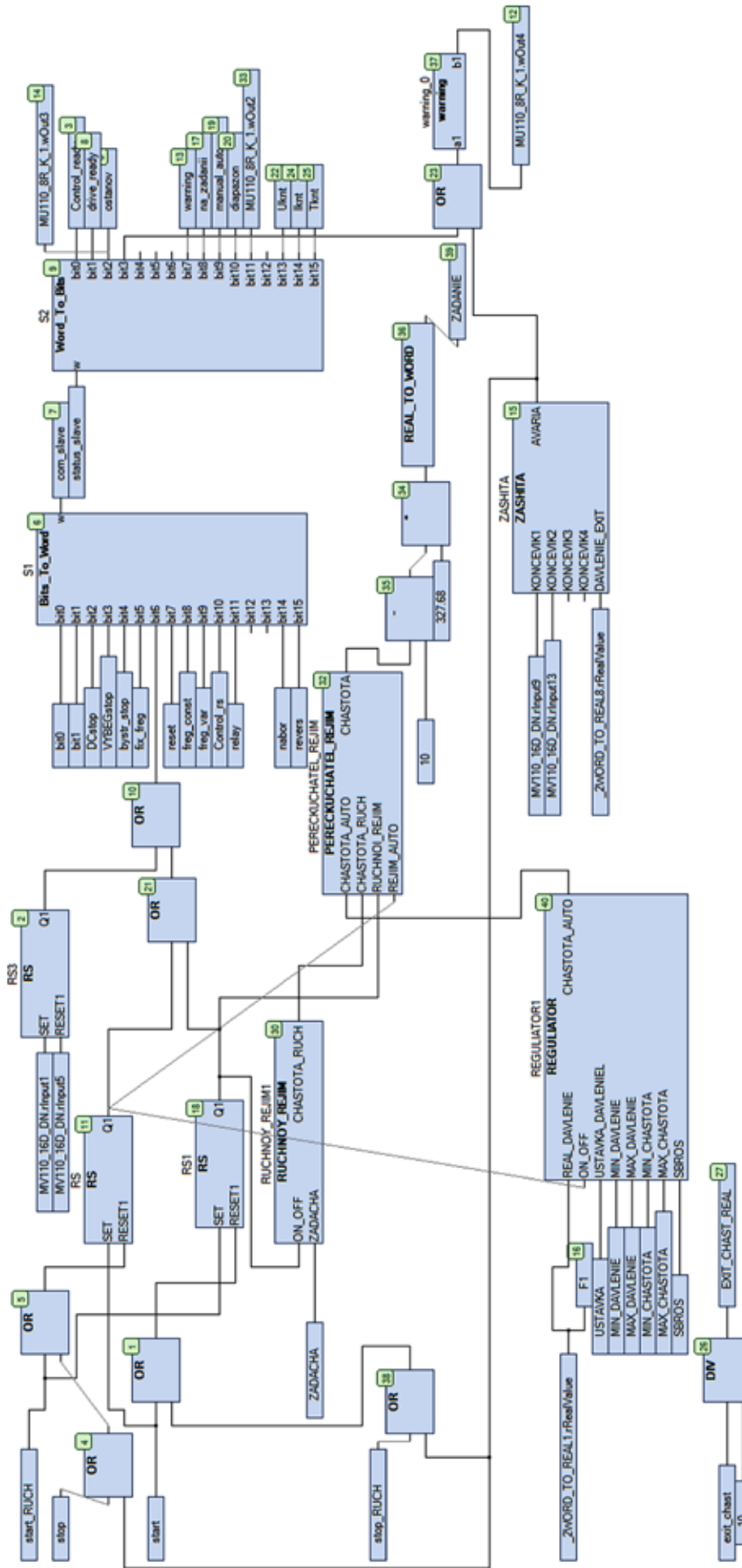


Рис. 3. Программа управления приводом на языке SFC



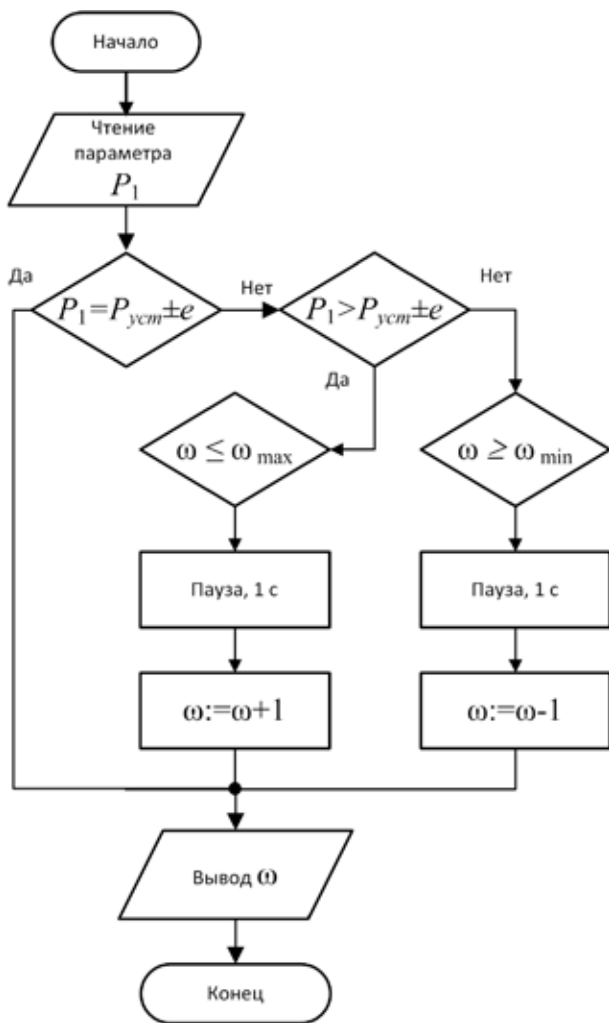


Рис. 4. Алгоритм управления двигателем при работе ФНУ

### ИСПЫТАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ

Общая суть работы алгоритма управления заключается в отслеживании изменений величины  $P_1$  относительно  $P_{уст}$ . При этом частота вращения увеличивается, если значение  $P_1$  превышает  $P_{уст}$  и наоборот. В случае попадания величины  $P_1$  в область  $P_{уст}$  с некоторым допуском  $e$ , параметр  $\omega$  сохраняет свое значение. Стенд не предполагает строгой привязки к единицам измерения, для удобства испытаний контроллер воспринимает изменение аналоговых сигналов 4..20 мА как изменение числа в диапазоне от 0 до 100, что позволяет подключать любые датчики.

В результате испытаний спроектированного стенда на основании данных архиватора построены следующие графики изменения величин  $P_1$ ,  $P_{уст}$ ,  $\omega$  (рис. 5).

Запись значений параметров производится с интервалом в 4 секунды. Для проверки автоматического режима работы  $P_{уст}$  принята равной 30. На рисунке 5 можно видеть, что при изменении значения  $P_1$  регулятор плавно изменяет значение  $\omega$  в зависимости от условий: величина  $\omega$  повышается при  $P_1 > P_{уст}$  и понижается при уменьшении  $P_1$ .

Рассмотрим некоторые участки работы установки:

- на участке 0–2 с частотный преобразователь находится в выключенном состоянии,  $\omega=0$ ,  $P_1=37$ ;
- на участке 2–3 с  $\omega$  повышается до 12, при  $P_1 = \text{const}$ . Частотный преобразователь разгоняет двигатель до минимальной рабочей частоты  $\omega_{\min}$ ;
- на участке 3–4 с  $\omega$  увеличивается до 15,  $P_1$  возрастает с 37 до 41;
- на участке 4–8 с  $\omega$  повышается до 22,  $P_1=41$ ,  $P_{уст}=30$ . Частотный преобразователь разгоняет двигатель до 23;
- на участке 8–9 с  $\omega$  увеличивается до 27,  $P_1$  умень-

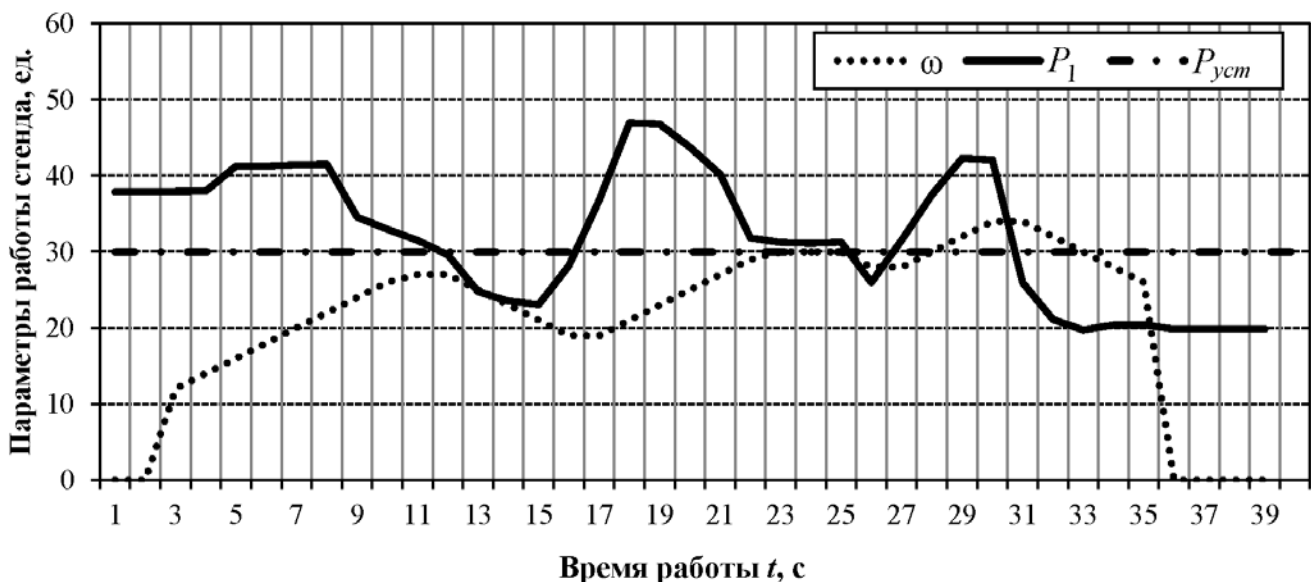


Рис. 5. Визуализация зависимости изменения контролируемых параметров при работе стенда

шено до 34,  $P_{уст} = 30$ . Частотный преобразователь разгоняет двигатель. Так как  $P_1$  выше значения  $P_{уст}$ , регулятор увеличивает значение  $\omega$ ;

- на участке 9–12 с  $\omega$  увеличивается до 28,  $P_1$  уменьшено до 30,  $P_{уст} = 30$ . Частотный преобразователь разгоняет двигатель до 27 и поддерживает скорость вращения на данном уровне. Так как  $P_1 = P_{уст}$ , регулятор выдает предыдущее значение  $\omega$ ;

- на участке 12–13 с  $\omega$  уменьшается до 25,  $P_1$  уменьшено до 25,  $P_{уст} = 30$ . Частотный преобразователь притормаживает двигатель до 25;

- на участке 13–15 с  $\omega$  уменьшается до 19,  $P_1$  уменьшено до 23,  $P_{уст} = 30$ . Частотный преобразователь притормаживает двигатель до 20;

- на участке 15–17 с  $\omega = 19$ ,  $P_1$  увеличивается до 35,  $P_{уст} = 30$ . Регулятор сохраняет значение  $\omega = 19$ , пока значение  $P_1$  переходит зону допустимой ошибки  $e$ . Так как  $P_1 = P_{уст}$ , регулятор выдает предыдущее значение  $\omega$ ;

- на участке 17–22 с  $\omega$  увеличивается до 30,  $P_1 = 31$ ,  $P_{уст} = 30$ . Частотный преобразователь разгоняет двигатель до  $\omega = 30$  и сохраняет эту скорость, так как значение  $P_1$  входит в допустимый диапазон.

Исследование зависимостей контролируемых параметров работы установки показало, что предложенный алгоритм является работоспособным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования разработана структура и макет стенда, позволяющего имитировать сигналы от датчиков контролируемых параметров МФНУ и обрабатывать режимы управления установкой. Обеспечена работа устройств, входящих в состав стенда по протоколу *Modbus RTU*. Реализованы функции управления частотным преобразователем по интерфейсу *RS-485* и по сигналу 4..20 мА, создан алгоритм управления частотой вращения вала асинхронного двигателя, разработан собственный регулятор для управления частотой вращения вала асинхронного двигателя, а также внешний вид и функционал панели оператора. Работоспособность стенда подтверждена серией испытаний.

Предложенный стенд позволит сократить затраты на проектирование и изготовление более функциональных в сравнении с аналогами средств управления мультифазными винтовыми насосами за счет использования отечественных программно-технических средств, обеспечить контроль и повышение надежности оборудования, оперативно проводить тестирование и наладку программного обеспечения, а также организовать обучения персонала, исполняющего функции диспетчерского контроля за работой МФНУ [11–13].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мультифазные винтовые насосные установки повышенной производительности для перекачки нефтегазовых смесей / Ю.А. Коротаев, Д.А. Голдобин, Н.Ю. Мя-

лицин, А.Ю. Субботин // Oil & Gas Eurasia. – 2014. – № 6–7. – С. 64–65.

2. Винтовые насосы / Д.Ф. Балденко, М.Г. Бидман, В.Л. Калишевский [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – 224 с.

3. Ульянов А.В. Использование СПК207 для управления привода ОВЕН ПЧВ3 по протоколу Modbus RTU // Молодой ученый. – 2016. – № 5 (109). – С. 86–89.

4. Преобразователь частоты векторный ПЧВ3. Руководство по проектированию // ОВЕН. Оборудование для автоматизации. – URL: [http://www.owen.ru/uploads/rpr\\_rpwv\\_014.pdf](http://www.owen.ru/uploads/rpr_rpwv_014.pdf) (дата обращения: 15.01.2017).

5. Кычкин А.В., Даденков Д.А., Билалов А.Б. Автоматизированная информационная система полунатурного моделирования статической нагрузки электроприводов // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2013. – № 8. – С. 73–83.

6. СПК. Первый старт. Руководство для начинающих пользователей // ОВЕН. Оборудование для автоматизации. – URL: [http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11\\_Documentation/01\\_SPK/SPK\\_First\\_start\\_v.0.8.pdf](http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11_Documentation/01_SPK/SPK_First_start_v.0.8.pdf) (дата обращения: 12.01.2017).

7. Руководство пользователя: CoDeSys v3, установка и первый запуск. Редакция 3.0 // ОВЕН. Оборудование для автоматизации. – URL: [http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11\\_Documentation/00\\_CODESYS/CoDeSys3run\\_v3.0.pdf](http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11_Documentation/00_CODESYS/CoDeSys3run_v3.0.pdf) (дата обращения: 19.02.2016).

8. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / под ред. проф. В.П. Дьяконова. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.

9. СПК. FAQ // ОВЕН. Оборудование для автоматизации. – URL: [http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11\\_Documentation/01\\_SPK/SPK\\_FAQ\\_v.1.2.pdf](http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11_Documentation/01_SPK/SPK_FAQ_v.1.2.pdf) (дата обращения: 12.01.2017).

10. СПК. Визуализация. Руководство для начинающих и продвинутых пользователей // ОВЕН. Оборудование для автоматизации. – URL: [http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11\\_Documentation/01\\_SPK/SPK\\_Visu\\_v.1.0.pdf](http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11_Documentation/01_SPK/SPK_Visu_v.1.0.pdf) (дата обращения: 12.01.2017).

11. Принцип построения автоматизированной системы управления электроприводом механизмов добычи нефти / Э.Р. Енекеева, А.А. Емекеев, Р.Р. Ахметов, А.Н. Якунин // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – № 7. – С. 121–124.

12. Даденков Д.А., Каверин А.А. Имитация системы нечеткого регулирования уровня нефти в скважине // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2013. – № 8. – С. 121–124.

13. Даденков Д.А., Петровичев А.Б. Опыт создания лабораторно-тренажерного комплекса для подготовки специалистов в области автоматизированных систем управления технологическими процессами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 5 (87). – С. 251–255.



## REFERENCES

1. Korotaev I. A., Goldobin D. A., Mialitsin N. I., Subbotin A. I. Multifaznye vintovye nasosnye ustanovki povyshennoi proizvoditelnosti dlia perekachki neftegazovykh smesei [Multiphase Screw Pumps of Extra Performance for Oil-Gas Mixtures Pumping]. *Oil & Gas Eurasia*, 2014, no. 6–7, pp. 64–65.
2. Baldenko D. F., Bidman M. G., Kalishevskii V. L. et al. *Vintovye nasosy* [Screw Pumps]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1982. 224 p.
3. Ulyanov A. V. Ispolzovanie SPK207 dlia upravleniia privoda OWEN PChV3 po protokolu Modbus RTU [Using of SPK207 to control the Driver OWEN PChV3 as per Modbus RTU Protocol]. *Molodoi uchenyi* [Young Scientist], 2016, no. 5 (109), pp. 86–89.
4. Preobrazovatel chastoty vektorny PChV3. Rukovodstvo po proektirovaniu [PChV3 Vector Frequency Converter. Design Manual]. OWEN. *Oborudovanie dlia avtomatizatsii* [OWEN. Automation Equipment]. Available at: [http://www.owen.ru/uploads/rpr\\_pwv\\_014.pdf](http://www.owen.ru/uploads/rpr_pwv_014.pdf) (accessed 15.01.2017).
5. Kychkin A. V., Dadenkov D. A., Bilalov A. B. Avtomatizirovannaia informatsionnaia sistema polunaturnogo modelirovaniia staticheskoi nagruzki elektroprivodov [Automated Information System for Half-Sized Modeling of Electric Device Static Load]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia* [Bulletin of Perm National Research University. Electrotechnics, Informational Technologies, Control Systems], 2013, no. 8, pp. 73–83.
6. SPK. Pervyi start. Rukovodstvo dlia nachinaiushchikh polzovatelei [SPK The First Start-up. Manual for Beginners]. OWEN. *Oborudovanie dlia avtomatizatsii* [OWEN. Automation Equipment]. Available at: [http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11\\_Documentation/01\\_SPK/SPK\\_First\\_start\\_v.0.8.pdf](http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11_Documentation/01_SPK/SPK_First_start_v.0.8.pdf) (accessed 12.01.2017).
7. Rukovodstvo polzovatela: CoDeSys v3, ustanovka i pervyi zapusk. Redaktsiia 3.0 [User Manual: CoDeSys v3 Installation and the First Start-up. Version 3.0]. OWEN. *Oborudovanie dlia avtomatizatsii* [OWEN. Automation Equipment]. Available at: [http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11\\_Documentation/00\\_CODESYS/CoDeSys3run\\_v3.0.pdf](http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11_Documentation/00_CODESYS/CoDeSys3run_v3.0.pdf) (accessed 19.02.2016).
8. Petrov I. V. *Programmruemye kontrollery. Standartnye iazyki i priemy prikladnogo proektirovaniia. Pod red. prof. V. P. Diakonova* [Programmable Controllers. Standard Languages and Techniques of Applied Design. Edited by Professor V. P. Diakonov]. Moscow, SOLON-Press Publ., 2004. 256 p.
9. SPK. FAQ. OWEN. *Oborudovanie dlia avtomatizatsii* [OWEN. Automation Equipment]. Available at: [http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11\\_Documentation/01\\_SPK/SPK\\_FAQ\\_v.1.2.pdf](http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11_Documentation/01_SPK/SPK_FAQ_v.1.2.pdf) (accessed 12.01.2017).
10. SPK. Vizualizatsiia. Rukovodstvo dlia nachinaiushchikh i prodvinytykh polzovatelei [SPK Visualization. Manual for Beginners and Advanced Users]. OWEN. *Oborudovanie dlia avtomatizatsii* [OWEN. Automation Equipment]. Available at: [http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11\\_Documentation/01\\_SPK/SPK\\_Visu\\_v.1.0.pdf](http://ftp.owen.ru/index.html/CoDeSys3/11_Documentation/01_SPK/SPK_Visu_v.1.0.pdf) (accessed 12.01.2017).
11. Enekeeva E. R., Emekeev A. A., Akhmetov R. R., Yakunin A. N. Printsip postroeniia avtomatizirovannoi sistemy upravleniia elektroprivodom mekhanizmov dobychi nefti [The Construction Principle of Electric Mechanisms Automated Control Systems of Oil Production]. *Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo* [Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering. Bulletin of PNRU], 2013, no. 7, pp. 121–124.
12. Dadenkov D. A., Kaverin A. A. Imitatsiia sistemy nechetkogo regulirovaniia urovnia nefti v skvazhine [Simulation of Fuzzy Control of Oil Level in a Well]. *Vestnik PNIPU. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia* [Bulletin of Perm National Research University. Electrotechnics, Informational Technologies, Control Systems], 2013, no. 8, pp. 121–124.
13. Dadenkov D. A., Petrochenkov A. B. Opyt sozdaniia laboratorno-trenazhernogo kompleksa dlia podgotovki spetsialistov v oblasti avtomatizirovannykh sistem upravleniia tekhnologicheskimi protsessami [Development Experience of Laboratory-Training Complex for Experts Preparation in the Field of Automated Control Systems of Technological Processes]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU* [St. Petersburg Polytechnic University Journal of Engineering Science and Technology], 2009, no. 5 (87), pp. 251–255.