



УПРАВЛЯЮЩАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА

А.Н. Цветков, В.Ю. Корнилов, А.Р. Сафин, А.Г. Логачева, Т.И. Петров,
Н.Е. Кувшинов

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия
tsvetkov9@mail.ru

Резюме: Современные тенденции развития технологий основаны на необходимости проведения экспериментальных исследований разрабатываемого оборудования в лабораторных условиях с максимальным приближением режимов работы к реальным. Такие исследования невозможны без разработки специализированных стендов с системами автоматизации процессов испытаний.

Автоматизация процессов подразумевает организацию в составе стенда измерительных каналов с применением устройств аналогово-цифрового преобразования (АЦП), цифро-аналогового преобразования (ЦАП), цифро-цифрового преобразования (ЦЦП) и разработку аппаратно-программного комплекса (АПК) на основе быстродействующих вычислительных устройств.

В рамках проекта по созданию нового высокотехнологического оборудования специалистами ФГБОУ ВО «КГЭУ» и АО «ЧЭАЗ» разработан и создан экспериментальный стенд, предназначенный для проверки и подтверждения правильности выбранных конструктивно-схемных решений, примененных при конструировании синхронного вентильного электродвигателя (СВЭД) и станции управления штанговой скважинной насосной установкой (СУ ШСНУ).

Объектом экспериментальных исследований являлись макетные и опытные образцы электроприводов станков-качалок нефти, а также их составные части: СВЭД и СУ ШСНУ.

В статье рассматриваются способы организации измерительных и управляющих каналов измерительно-информационной системы экспериментального стенда, позволяющего проводить исследования образцов синхронных вентильных электродвигателей и станций управления штанговой скважинной насосной установкой в режимах, максимально приближенных к реальным полевым условиям с имитацией работы станка-качалки нефти штанговой скважинной насосной установки.

Ключевые слова: аналогово-цифровой преобразователь, аппаратно-программный комплекс, канал измерения, канал управления, датчик, стенд.

Благодарности: Публикация статьи осуществлена в рамках проекта «Создание серии электроприводов на базе российских высокоэффективных синхронных двигателей для станков-качалок нефти с применением беспроводных систем передачи данных и адаптивной системой управления для «умных» месторождений», Соглашение №074-11-2018-020 с Минобрнауки РФ от 30 мая 2018 г.

Для цитирования: Цветков А.Н., Корнилов В.Ю., Сафин А.Р., Логачева А.Г., Петров Т.И., Кувшинов Н.Е. Управляющая измерительно-информационная система экспериментального стенда // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 4. С. 88-98. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-4-88-98.

CONTROL MEASURING AND INFORMATION SYSTEM OF THE EXPERIMENTAL STAND

AN. Tsvetkov, VYu. Kornilov, AR. Safin, AG. Logacheva, TI. Petrov,
NE. Kuvshinov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
tsvetkov9@mail.ru

Abstract: Modern trends in the development of technology are based on the need for experimental studies of the equipment being developed in laboratory conditions with the maximum approximation of the operating modes to real ones. Such studies are impossible without the development of specialized stands with test automation systems.

Automation of processes involves the organization of measuring channels as part of a stand using analog-to-digital conversion (ADC), digital-to-analog conversion (DAC), digital-to-digital conversion (DDC) and the development of a hardware-software complex (HSC) based on high-speed computing devices.

As part of the project to create new high-tech equipment, the specialists of FSBEI HE "KSPEU" and JSC "ChEAZ" developed and created an experimental stand designed to verify and confirm the correctness of the selected structural and circuit solutions used in the design of a synchronous valve electric motor (SVEM) and rod control station borehole pumping unit (RC SBPU).

The object of experimental research was the prototype and prototype electric drives of oil pumping units, as well as their components: SVEM and RC SBPU.

The article discusses the ways of organizing the measuring and control channels of the measuring and information system of the experimental bench, which allows to study samples of synchronous valve motors and control stations of the sucker rod pump unit in the regimes that are as close as possible to real field conditions simulating the operation of the oil pumping unit of the sucker rod pump unit.

Thus, in the experimental stand, analog, discrete and digital control and control channels are implemented.

Keywords: analog-to-digital converter, hardware-software complex, measurement channel, control channel, sensor, stand.

Acknowledgments: The publication of the article was carried out within the framework of the project "Creation of a series of electric drives on the basis of Russian high-performance synchronous engines for oil pumping machines using wireless data transmission systems and an adaptive control system for smart deposits", Agreement No. 074-11-2018-020 with the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of May 30, 2018.

For citation: Tsvetkov AN, Kornilov VYu, Safin AR, Logacheva AG, Petrov TI., Kuvshinov NE. Control measuring and information system of the experimental stand. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2020;22(4):88-98. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-4-88-98.

Введение

При разработке и конструировании электроприводов для станков-качалок нефти, применяемых на ШСНУ, возникает проблема разработки аналитических и экспериментальных методов и аппаратно-программных средств контроля работоспособности электроприводов на базе синхронных двигателей с постоянными магнитами в нормальных и аварийных (критических) режимах работы. Одним из возможных путей решения данной проблемы являются длительные полевые испытания на действующих установках, что влечет за собой необходимость в привлечении больших материальных ресурсов и привлечения большого количества специалистов, занимающихся настройками отдельных систем, входящих в состав электропривода [1]. В качестве альтернативного пути решения предлагается проведение исследований и испытаний электроприводов на экспериментальных стендах, позволяющих приблизить условия работы к реальным полевым испытаниям [2,3].

Основное назначение стенда это проверка соответствия техническим требованиям СВЭД и станции управления как составных частей электропривода, проведение исследовательских, приемо-сдаточных и периодических испытаний, настройки и отладки программного обеспечения составных частей электропривода, проверки нагрузочных характеристик СВЭД, проверки и подтверждения выбранных конструктивно-схемных решений.

Реализация требований, предъявляемых к стенду, стала возможной благодаря применению новых научно-технических решений и разработке аппаратно-программного комплекса управления стендом [4,5].

Обзор разрабатываемых ранее стендов показал [6,7,8], что традиционно было принято применять в качестве нагрузочного органа электродвигатель постоянного тока с системой питания, построенной на изменении напряжения. Данный способ нагружения обладает рядом недостатков, основные из которых это отсутствие момента на валу двигателя при нулевых скоростях и сложность создания переменного момента при изменяющихся скоростях вращения [9,10].

Задачи, решаемые стендом: проверка на соответствие техническим требованиям СВЭД и систему управления (СУ ШСНУ) как составных частей электропривода и в целом системы электропривода станка-качалки нефти; проведение исследовательских, приемосдаточных и периодических испытаний; настройка и отладка программного обеспечения станции управления электропривода; проверка нагрузочных характеристик СВЭД.

Состав испытательного стенда

В состав стенда вошли силовая система в составе силового привода и нагружения и система управления ШСНУ. Силовая система построена на основе преобразователей частоты с их управлением по цифровым, аналоговым и дискретным каналам. Аналоговые и дискретные каналы управления в совокупности с цифровыми, применены для повышения надежности управления системой нагружения. Система управления экспериментальным стендом имеет в своем составе каналы измерения таких величин, как частота и сила тока, напряжение питающей сети, угловая частота вращения выходного вала СВЭД и механический момент на валу, температура окружающей среды и в отсеках станции управления, корпусов электродвигателей и их статорных обмоток, каналы управления исполнительными устройствами и каналы формирования цифровых сигналов от имитируемых датчиков.

Аналоговые каналы системы управления реализованы на принципе измерения сигнала с последующим преобразованием его в цифровой вид с применением коэффициентов масштабирования. Например, для измерения напряжения и тока, потребляемого системой нагружения стенда, а также для реализации каналов контроля скорости и тока нагрузочного преобразователя частоты, применены датчики с аналоговым выходным сигналом в виде напряжения 0...10 В с пределом основной приведенной погрешности не более 0,5%. Устройства АЦП, реализованные на основе модулей *USB 6001* производства *National Instruments*, получают измеренный сигнал и преобразуют его в соответствии с заданными коэффициентами в цифровую величину 0...500 В и 0...100 А.

В системе управления присутствуют дискретные сигналы, предназначенные для управления режимами работы преобразователей частоты и формирования имитационных сигналов от внешних устройств для СУ ШСНУ и реализации каналов управления режимами нагрузочного преобразователя частоты при помощи модулей дискретных выводов *MU110* производства компании «ОВЕН».

Каналы контроля и управления нагрузочным преобразователем частоты, входящим с систему нагружения стенда производства компании АВВ показаны на рисунке 1.

Для контроля состояния преобразователя частоты реализованы два аналоговых канала напряжения постоянного тока 1...10 В для контроля скорости вращения вала нагрузочного двигателя и постоянного тока 0...20 мА для контроля выходного тока преобразователя частоты. Выходы этих каналов подключены к АЦП с применением коэффициентов преобразования 0...1500 об/мин для первого канала 0...75А – для второго.

Управление режимами работы нагрузочного преобразователя частоты осуществляется по дискретным каналам, реализуемым с помощью модуля дискретных выводов. При проведении испытаний используется три канала: «Пуск/Стоп» для включения и отключения режима работы преобразователя; «Вперед/Назад» для изменения направления вращения двигателя, то есть нагрузочный двигатель либо нагружает испытуемый двигатель (режим противовключения), либо разгоняет его для имитации режима большой разбалансировки станка-качалки нефти; «Выбор управления скоростью/моментом» для изменения режима процесса испытания либо разгон либо нагрузка испытуемого электродвигателя моментом. Отдельно следует выделить испытание для определения ЭДС вращения, когда нагружающий двигатель выполняет роль приводного двигателя, вращая ротор обесточенного СВЭД.

		X21	
		1	VREF
		2	GND
Канал управления скоростью 0...10В	3	AI1+	Опорное напряжение 10 В = $1 \text{ кОм} \leq R_{\text{нагр}} \leq 1 \text{ кОм}$
	4	AI1-	Задание скорости: 0(2) ... 10 В, $R_{\text{вх}} > 200 \text{ кОм}$
Канал управления моментом 0...20мА	5	AI2+	Опорное значение крутящего момента.
	6	AI2-	0(4) ... 20 мА, $R_{\text{вх}} = 100 \text{ Ом}$
	7	AI3+	По умолчанию не используется.
	8	AI3-	0(4) ... 20 мА, $R_{\text{вх}} = 100 \text{ Ом}$
Канал контроля скорости 0...10В	9	AO1+	Скорость двигателя 0(4) ... 20 мА \approx 0 ... ном. скор. двигателя, $R_{\text{нагр}} \leq 700 \text{ Ом}$
	10	AO1-	
Канал контроля тока 0...20мА	11	AO2+	Выходной ток 0(4) ... 20 мА \approx 0 ... ном. ток двигателя, $R_{\text{нагр}} \leq 700 \text{ Ом}$
	12	AO2-	
		X22	
Дискретные каналы управления режимами	1	DI1	Пуск/Стоп
	2	DI2	Вперед/Назад
	3	DI3	Выбор управления скоростью/моментом
	4	DI4	Постоянная скорость 4, параметр 12.05
	5	DI5	Выбор ускорения и замедления
	6	DI6	Разрешение пуска
	7	+24 В	+24 В, 100 мА макс.
	8	+24 В	
	9	DGND1	Цифровая земля
	10	DGND2	Цифровая земля
	11	DI IL	Блокировка пуска (0 = стоп)

Рис. 1. Реализация каналов контроля и управления нагрузочным преобразователем частоты *ABB* с платой входов/выходов *RMIO*.

Режим имитации большой разбалансировки станка-качалки применяется для отработки методов обхода ситуации, возникающей при движении балансира вверх, а грузов кривошипа вниз, и при неправильном положении грузов, вызывающей разгон приводного двигателя. В данной ситуации двигатель, вращается с частотой превышающую частоту питания от преобразователя частоты. При этом напряжение цепи постоянного тока преобразователя частоты повышается и сбрасывается на тормозной резистор с целью избегания выхода из строя элементов силовой цепи. При отсутствии тормозного резистора напряжение цепи постоянного тока преобразователя частоты растет до установленных пределов, после чего срабатывает защита и электродвигатель отключается. Избежать аварийного отключения возможно применив метод кратковременного повышения частоты вращения электродвигателя до окончания спуска грузов.

В зависимости от выбранного режима работы нагрузочного преобразователя, управление скоростью или моментом, ЦАП станда осуществляет преобразование задаваемого в цифровом виде значения управляющего сигнала в аналоговый сигнал 0...10 В для канала управления скоростью или 0...20 мА для канала управления моментом. Такой принцип позволяет системе управления создавать переменный крутящий момент на валу испытываемого двигателя для имитации работы станка качалки-нефти и выполняет одно из требований технического задания, предъявляемых к стенду: нагрузочные характеристики электропривода должны задаваться при помощи пульта станда, пульт должен выдавать пропорциональный моменту аналоговый сигнал – на токовый вход электропривода. Период циклических изменений момента нагрузки должен задаваться в пределах 1...200 секунд.

В составе станда включен датчик момента на валу СВЭД типа М40 производства ООО «Тилком», измеряющий момент в пределах от нуля до 150, 500 или 1200 Нм, показанный на рис. 2. Датчик момента имеет в своем составе аналого-цифровой канал преобразования, выход которого подключен к аппаратно-программному комплексу через *HMI* интерфейс по кабелю *USB* посредством преобразователя интерфейсов.

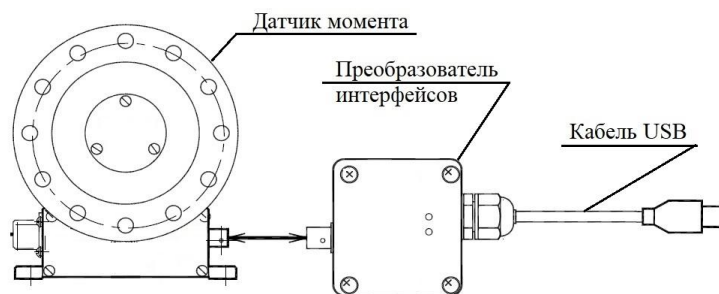


Рис. 2. Датчик момента М40 с каналом преобразования сигналов

Датчик момента имеет собственное программное обеспечение для обработки и отображения результатов измеренных значений момента, скорости вращения, механической мощности и температуры. Пределы основной приведенной погрешности измерения датчика момента составляет не более 0,2%, преобразователь интерфейсов передает данные со скоростью 100 кбит/с, с частотой дискретизации 5 кГц. Для ввода измеренных параметров данного датчика в систему управления было разработано специальное программное обеспечение, получающее информацию от датчика и передающее ее системе управления через файл, сохраняемый на жестком диске персонального компьютера и доступный для считывания АПК. Измеренная механическая мощность на валу испытываемого двигателя позволяет производить вычисление его коэффициента полезного действия.

Дополнительные дискретные каналы, реализованные в системе управления, выполняют функцию имитации сигнала от датчика прохождения балансира станка-качалки нижней мертвой точки, необходимые СУ ШСНУ для начала отсчета длительности цикла качания, и имитируют аварийные сигналы высокого и низкого давления в трубопроводе.

Аппаратно-программный комплекс (АПК) стенда имеет возможность формирования сигналов цифровых датчиков, имитирующих работу станка-качалки нефти в режимах нормальной работы, предаварийных и аварийных. Основным протоколом управления и передачи данных по цифровой сети стенда является интерфейс RS-485 – ModBus RTU – промышленный открытый протокол, позволяющий работать на скоростях передачи данных до 115 кБод/сек.

Одна из функциональных возможностей стенда – формирование имитируемой динамограммы. На рис. 3 представлена динамограмма ШСНУ, полученная авторами при проведении исследований действующего станка-качалки нефти, которая имеет явные отличия от формы параллелограмма для идеальной динамограммы. Как указывают многие авторы [11...15], для различных дефектов в механической части ШСНУ характерны устойчивые изменения формы реальных динамограмм. Так, на приведенной динамограмме (см.рис.3) в правом верхнем углу наблюдается небольшой «горб», который указывает на такой дефект насоса, как высокая посадка плунжера. А искажение правой части динамограммы свидетельствует о снижении дебита из-за наличия попутного газа в скважинной жидкости.

Идеальная динамограмма представляет собой параллелограмм с углами в точках А, В, С и D (рис. 3). Участок А-В это участок перехода балансира через нижнюю мертвую точку, участок В-С это ход штока вверх до верхней мертвой точки, участок С-D это переход балансира через верхнюю мертвую точку и участок D-А это ход штока вниз. Для имитации режима работы электропривода в условиях максимально приближенных к реальным, динамограмма «разворачивается» во времени и представляет собой график, показанный на рис. 4.

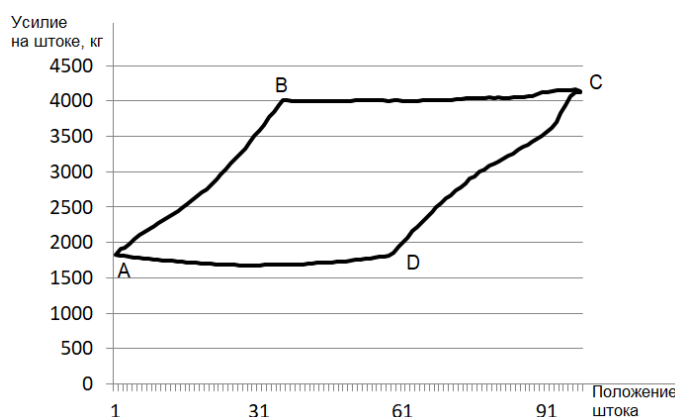


Рис. 3. Пример имитируемой динамограммы, полученной авторами на действующем станке-качалке нефти динамографом «Геостар-101»

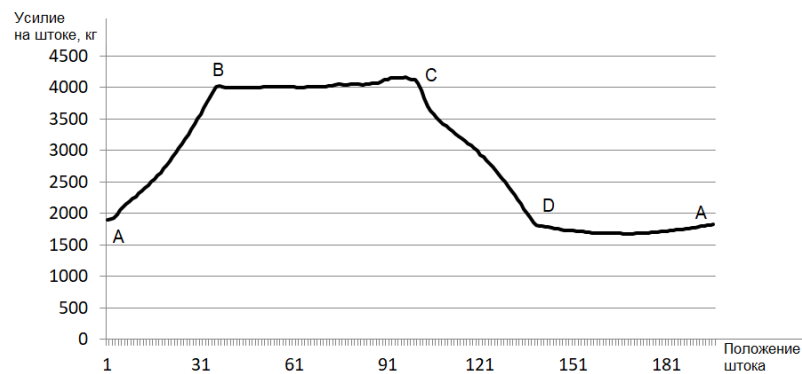


Рис. 4. Динамограмма станка-качалки, развернутая во времени

Основные результаты

Для изменения режимов имитации состояния станка-качалки экспериментатор имеет возможность изменения вида воздействия на испытываемый двигатель. В данном случае это могут быть режимы работы станка-качалки с незначительной разбалансировкой, с сильной разбалансировкой, при обрыве штанг или сильном влиянии газа и при заклинивании насоса. Экспериментатор имеет возможность изменения максимального, минимального значений и периода качания. Выбранный вид типа нагрузки должен показать системе управления станции управления испытываемого двигателя на ту или иную неисправность с целью проверки адекватности работы заложенных алгоритмов управления. Система управления, при этом, должна отреагировать на изменение состояния скважины и, если это необходимо, предпринять действия, направленные на предотвращение возникновения аварийной ситуации.

В окне управления аппаратно-программного комплекса осуществляется визуализации основных контролируемых параметров и управление режимами работы стенда. Самыми ответственными параметрами при испытании являются токи нагрузки двигателей и их температуры, поэтому в программе реализован ряд защит, связанных с отслеживанием максимальных токов и скорости изменения температуры. Например, при превышении выходного тока нагрузочного преобразователя, система автоматически снижает величину момента на валу двигателя. Аналогично система реагирует на резкое снижение скорости вращения двигателя.

Все измеряемые параметры визуализируются с помощью системы виртуальных приборов, преобразующих величины в цифровой вид с требуемой размерностью и в вид стрелочных приборов.

Разработанные виртуальные приборы имеют широкий спектр настроек, позволяющий применять их для решения любых задач. В приборах настраиваются минимальная, максимальная величина, шаг сетки шкалы, размерность величины дублирующей цифровой записи. Стрелочные виртуальные приборы имеют возможность отображения измеряемой величины в масштабе, соответствующем текущему значению в автоматическом режиме. Это позволяет увеличить степень считываемости значения, и избежать ситуации, когда шкала прибора рассчитана на большую величину, а отображаемая величина мала.

В зависимости от назначения прибора, он может быть модифицирован в вид стрелочного, стрелочного кругового, цифрового или столбчатого, когда от отображаемой величины зависит высота шкалы прибора. Кроме этого, в приборах реализована возможность фиксации максимального измеренного значения в виде яркой стрелки, которое сбрасывается простым нажатием на прибор.

Такие параметры как момент на валу двигателя, скорость вращения и механическая мощность визуализированы с помощью круговых приборов, более удобных для восприятия экспериментатором, с фиксацией максимальных достигнутых значений.

На окне визуализации аппаратно-программного комплекса имеется виртуальный прибор отображения измеряемых величин в графическом виде. Для удобства восприятия процесса испытания имеется виртуальный прибор отображения положения элементов станка-качалки нефти – балансира и кривошипа. Все измеряемые параметры дополнительно отображены на схеме, показывающей процесс испытания вблизи точек системы стенда, из которых они получены.

В ходе проведения испытаний, все измеряемые величины сохраняются аппаратно-программным комплексом в файле с возможностью их последующей обработки.

На рис. 7 показан график изменения величины крутящего момента на валу испытываемого двигателя в зависимости от заданного воздействия. График показывает, что система электропривода адекватно реагирует на изменение нагружающего воздействия и при этом скорость вращения двигателя изменяется в пределах 1...2 об/мин, что соответствует отклонению в пределах 0,27% и это поведение свойственно синхронным двигателям с правильно настроенной системой управления (см. рис. 7). Изменения скорости вращения вала испытываемого двигателя, показанные на рис. 7, соответствуют во времени нагрузке, показанной на рис. 6, кроме этого, для удобства на графике добавлена линия тренда, сглаживающая резкие скачки показаний датчика.

В число фиксируемых аппаратно-программным комплексом величин входят величины напряжения, тока и мощности, выделяемые в так называемые ваттметрограммы. Ваттметрограммы позволяют проводить оценку правильности настройки частотного преобразователя, входящего в состав системы электропривода испытываемого двигателя.

Ваттметрограммы, являются расчетными величинами, получаемыми на основе данных, считанных АЦП с датчиков тока и напряжения, входящих в состав системы управления экспериментального стенда.

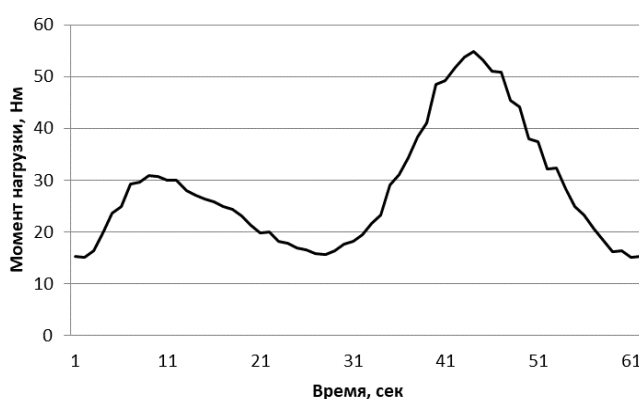


Рис. 6. Момент нагрузки на валу испытываемого двигателя, полученный датчиком момента М40 за один цикл качания

АПК стенда имеет возможность перевода датчиков напряжения и тока и соответствующих им АЦП в режим измерения мгновенных значений. Данные измерения позволяют проводить оценку качества потребляемой электроэнергии и воздействие на сеть электропривода.

Алгоритм обработки сигнала основан на вычислении действующего значения напряжения и тока по принципу определения среднеквадратичного значения. В зарубежной терминологии применяется аббревиатура *RMS (rms)* - root mean square.

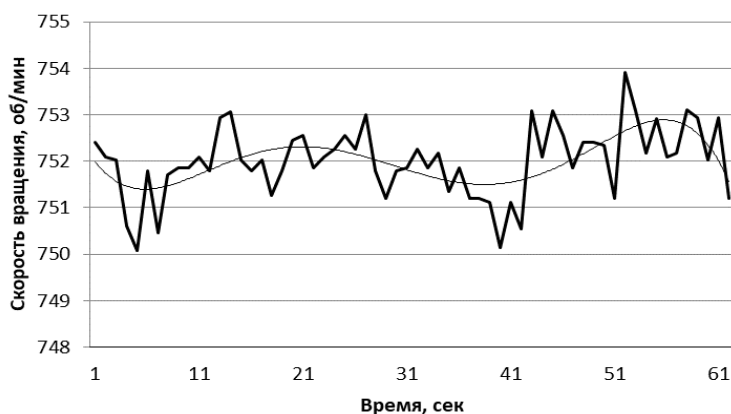


Рис. 7. Скорость вращения вала двигателя за один цикл качания при изменяемом моменте нагрузки

Действующее значение тока и напряжения, при этом, можно определить по формуле:

$$I_{RMS} = \sqrt{\int_{-x/2}^{x/2} I^2(t)dt}, \quad U_{RMS} = \sqrt{\int_{-x/2}^{x/2} U^2(t)dt}, \quad (1)$$

На практике измеряемый период делится на некоторое число частей, соответствующих частоте дискретизации измерительной системы, и измеряется напряжение и ток на каждом из участков. Таким образом, получаются функции $U(t)$ и $I(t)$. Точнее, не сами функции, а таблицы их значений – поэтому от интегрирования необходимо перейти к суммированию:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} I_i^2}, \quad U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} U_i^2}, \quad P_{act} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} U_i I_i} \quad (2)$$

Здесь N – количество отсчётов, приходящееся на один период сетевого напряжения.

Для доказательства правильности работы системы с пониженной частотой дискретизации были построены математические модели напряжения синусоидальной формы и вычислены среднеквадратические значения для различного количества точек измерения. Результаты работы моделей показаны на рис. 8 и 9.

Как видно из рис. 8, для получения стабильной величины среднеквадратического значения напряжения, достаточно оцифровать первую полуволну при частоте дискретизации каждые 0,3мс, т.е. достаточно первых 32 значений мгновенных величин напряжения. При этом вычислительная система получает 64 значения на период напряжения или 3200 значений в секунду. Производя расчет среднеквадратического значения по 32 значениям, можно получить до 100 значений в секунду.

При снижении частоты дискретизации напряжения до выборки каждые 1,5мс (см. рис.9), в среднем на период напряжения приходится 14 значений напряжения, но стабильная величина среднеквадратического значения напряжения получается лишь при обработке 32 значений, т.е. каждые 48мс или 20 значений в секунду. Снижение частоты дискретизации может понадобиться при необходимости ввода в программу расчетов дополнительных величин, таких как частота сети, коэффициент мощности и других.

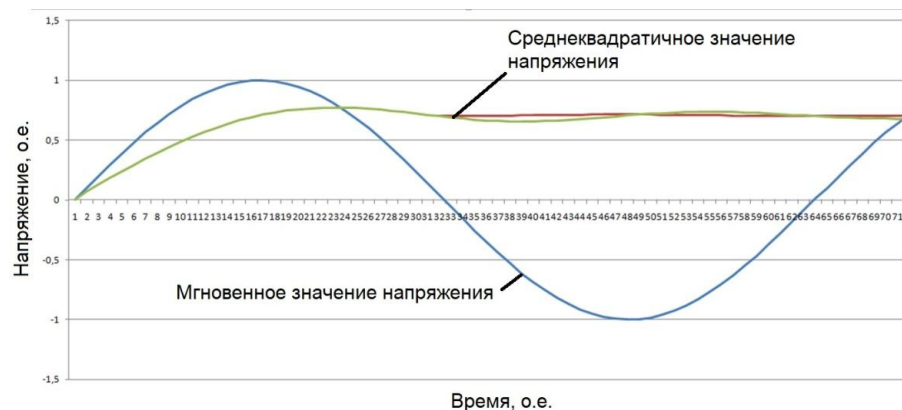


Рис. 8. Расчет среднеквадратического значения величины напряжения при частоте дискретизации каждые 0,3мс

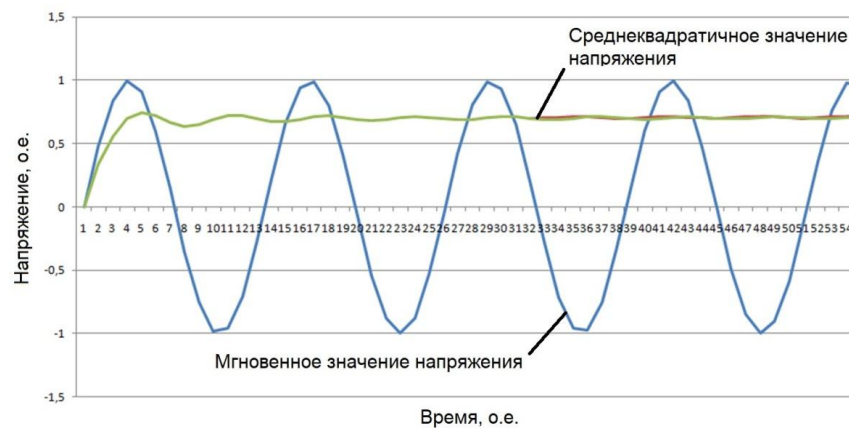


Рис.9. Расчет среднеквадратического значения величины напряжения при частоте дискретизации каждые 1,5мс

Выводы

Экспериментатор в ходе испытаний имеет возможность выбора различных типов динамограмм, которые представлены в виде массива данных, показывающих нагрузку на шток в зависимости от длины перемещения полированного штока, передается по цифровой сети на СУ ШСНУ. Оператор имеет возможность изменения максимального и минимального значения усилия на штоке. Кроме этого, экспериментатором параллельно выбирается вид переменного крутящего момента на валу испытываемого двигателя, который имеет однозначную связь с характеристикой динамограммы станка-качалки нефти.

Таким образом реализовано еще одно требование к стенду: должна быть предусмотрена возможность задания как постоянных нагрузочных характеристик, так и переменных (циклических) в соответствии с ваттметрограммой и типовой динамограммой, развернутой во времени, на пульте стенда должна быть предусмотрена оперативная регулировка амплитуды и периода задаваемых динамограмм.

Аналогично сигналам динамограмм формируются имитационные сигналы от таких датчиков, как устьевой датчик давления и расходомер.

В состав системы управления стенда включены программируемые логические контроллеры, которые решают несколько задач: в процессе проведения испытаний участвуют в обработке данных, полученных от датчиков, имеют возможность управления преобразователем частоты, встроенным в станцию управления и позволяют проверить правильность функционирования заложенных алгоритмов управления станком - качалкой с последующей загрузкой их в СУ ШСНУ.

Таким образом в экспериментальном стенде реализованы аналоговые, дискретные и цифровые каналы контроля и управления. Аналоговые каналы построены на 16 разрядных ЦАП и АЦП с пределом основной приведенной погрешности не более 0,25%. Технические решения, заложенные в конструкцию стенда, а также гибкость алгоритмов работы системы управления позволяют проводить широкий спектр исследований с применением разнообразных объектов испытания.

Литература

1. Петров Т.И., Сафин А.Р., Ившин И.В. и др. Модель системы управления станком-качалкой на основе синхронных двигателей с бездатчиковым методом. «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики». 2018. Т. 20. № 7-8. С. 107-116.
2. Aranovskiy S., Bobtsov A., Ortega R., et.al. Performance enhancement of parameter estimators via dynamic regressor extension and mixing. IEEE Transactions on Automatic Control. 2017. V. 62. № 7. pp. 3546-3550.
3. Андреева Н.В., Ахунов Д.Д., Корнилов В.Ю. Способ контроля метрологических характеристик систем управления электроприводов переменного тока. Патент РФ № 2012136090, МПК G01R31/00, Оpubл. 22.01.2015. Бюл. №12.
4. Saihi L., Bouter A. Robust Sensorless Sliding Mode Control of PMSM with MRAS and Luenberger Extended Observer. 2016 8th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC 2016). 2016. pp. 48-57.
5. Ахунов Д.Д., Давлетшин Р.Ф., Корнилов В.Ю. Построение нормализованных моделей измерительных контуров системы «преобразователь частоты-асинхронный двигатель». - Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2011. № 2 (9). С. 36-40.
6. Gracheva E.I., Naumov O.V., Gorlov A.N. Modelling Characteristics of Reliability Low-Voltage Switching Devices on the Basis of Random Checks on the Example of Contactors. (2019) Proceedings - 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019, article № 8947595, pp. 641-643.
7. Андреева Н.В., Ахунов Д.Д., Корнилов В.Ю. Расчетно-экспериментальное оценивание погрешностей измерительных каналов системы «преобразователь частоты VLT 5000 FLUX – асинхронный двигатель». Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. № 1-2. С. 122-126.
8. Нугаев И.Ф., Искужин Р.В. Комплекс математических моделей для решения задач синтеза алгоритмов управления процессами в нефтедобывающих скважинах // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16. № 8(53). С. 36-44.
9. Dong L., Han X., Hua L. Effects of the rotation speed ratio of double eccentricity bushings on rocking tool path in a cold rotary forging press. Journal of Mechanical Science and Technology. 2015. V. 29. № 4.
10. Morimoto S., Kawamoto K., Sanada M., et.al. Sensorless control strategy for salient-pole PMSM based on extended EMF in rotating reference frame. Proc. 2001 IEEE IAS Annual Meeting. 2011. V. 4. pp. 2637-2644.

11. Ивановский В.Н., Садчиков Н.В., Улюмджиев А.С. К вопросу оптимизации закона движения выходного звена привода скважинной штанговой насосной установки // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2012. № 5. С. 86–90.

12. Софьина Н.Н., Шишляников Д.И., Корнилов К.А. и др. Способ контроля параметров работы и технического состояния штанговых скважинных насосных установок/ Master's Journal. 2016. № 1. С. 247-257.

13. Lindh T., Montonen J.-H., Grachev M. Generating surface dynamometer cards for a sucker-rod pump by using frequency converter estimates and a process identification run. IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. Riga, 2015. pp. 416-420.

14. Шишляников Д.И., Рыбин А.А. Оценка нагруженности балансирных станков-качалок по параметрам питания электропривода. С-Пб.: Записки Горного института, 2017. Т.227.С. 47 – 54.

15. Пачин М.Г., Лоскутников В.А. Результаты испытаний станции управления АО «ПНППК» для вентильных электродвигателей станков-качалок. М.:Территория нефтегаз. 2016. №6, С.78-83.

Авторы публикации

Цветков Алексей Николаевич – канд.техн.наук., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

Корнилов Владимир Юрьевич – д-р.техн.наук., профессор кафедры «Приборостроение и мехатроника», Казанский государственный энергетический университет.

Сафин Альфред Робертович – канд.техн.наук., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

Логачева Алла Григорьевна – канд.техн.наук., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

Петров Тимур Игоревич – ассистент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

Кувшинов Никита Евгеньевич – ассистент кафедры «Приборостроение и мехатроника», Казанский государственный энергетический университет.

References

1. Petrov TI, Safin AR., Ivshin IV, et.al. Model of a pumping unit control system based on synchronous motors with a sensorless method. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2018;7-8:107-116.

2. Aranovskiy S, Bobtsov A, Ortega R, et.al. Performance enhancement of parameter estimators via dynamic regressor extension and mixing. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2017;62(7):3546-3550.

3. Andreeva NV, Akhunov DD, Kornilov VYu. A method for monitoring the metrological characteristics of control systems for AC electric drives. RF patent N. 2012136090, IPC G01R31 / 00, Publ. 01/22/2015, Bull. N. 12.

4. Saihi L, Bouter A. Robust Sensorless Sliding Mode Control of PMSM with MRAS and Luenberger Extended Observer. 2016 8th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC 2016). 2016, pp. 48-57.

5. Akhunov DD, Davletshin RF, Kornilov VYu. Construction of normalized models of measuring circuits of the "frequency converter-asynchronous motor" system. *Bulletin of Kazan State Energy University*. 2011;2 (9):36-40.

6. Gracheva EI, Naumov OV, Gorlov AN. *Modelling Characteristics of Reliability Low-Voltage Switching Devices on the Basis of Random Checks on the Example of Contactors*. (2019) Proceedings 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019, article № 8947595, pp. 641-643.

7. Andreeva NV, Akhunov DD, Kornilov VYu. Settlement and experimental error estimation of measuring channels of the VLT 5000 FLUX frequency inverter - asynchronous motor system. *News of higher educational institutions. Energy issues*. 2012;1-2:122-126.

8. Nugaev IF, Iskuzhin RV. A complex of mathematical models for solving the problems of synthesis of process control algorithms in oil wells. *Vestnik UGATU*. 2012;16:8 (53):36-44.

9. Dong L, Han X, Hua L. Effects of the rotation speed ratio of double eccentricity bushings on rocking tool path in a cold rotary forging press. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2015;29:4.
10. Morimoto S, Kawamoto K, Sanada M, et.al. *Sensorless control strategy for salient-pole PMSM based on extended EMF in rotating reference frame*. Proc. 2001 IEEE IAS Annual Meeting. 2011;4:2637-2644.
11. Ivanovsky VN, Sadchikov NV, Ulyumdzhiyev AS. On the issue of optimizing the law of motion of the output link of a downhole sucker rod pump driv. *Territory <NEFTEGAZ>*. 2012;5:86-90.
12. Sofina NN, Shishlyannikov D, Kornilov KA. et al. A method for monitoring operation parameters and technical condition of sucker rod pumping units. *Master's Journal*. 2016;1:247-257.
13. Lindh T, Montonen J.-H, Grachev M. *Generating surface dynamometer cards for a sucker-rod pump by using frequency converter estimates and a process identification run*. IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. Riga, 2015. pp. 416-420.
14. Shishlyannikov DI, Rybin AA. *Assessment of the load of balancing rocking machines according to the power parameters of the electric drive*. St. Petersburg .: Notes of the Mining Institute, 2017;227:47-54. doi: 10.25515 / 1.2017.5.582.
15. Pachin MG, Loskutnikov VA. *Test results of the control station of JSC "PNPPK" for valve electric motors of pumping units*. M.: Territory oil and gas. 2016;6:78-83.

Authors of the publication

Alexey N. Tsvetkov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Vladimir Yu. Kornilov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Alfred R. Safin – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Alla G. Logacheva – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Timur I. Petrov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Nikita E. Kuvshinov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Поступила в редакцию

09 мая 2020г.