

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

В.А. Дайнеко,

доцент каф. электрооборудования с.-х. предприятий БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Е.М. Прищепова,

доцент каф. электрооборудования с.-х. предприятий БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Т.Г. Базулина,

ст. преподаватель каф. электрооборудования с.-х. предприятий БГАТУ

Ж.Г. Юрковец,

аспирант БГАТУ

В статье проанализировано современное состояние систем контроля регулируемого электропривода, применяемого в различных технологических процессах. Рассмотрены перспективы применения новых технологий в целях развития информатизации и цифровизации приводных систем и отдельных технических средств управления и защиты.

Ключевые слова: регулируемый электропривод, методы функциональной диагностики электропривода, цифровые модули и датчики, облачные технологии в электроприводе.

The article analyzes the current state of control systems of variable electric drive, used in various technological processes. The prospects of using new technologies for the development of informatization and digitalization of drive systems and individual technical means of control and protection are considered.

Key words: variable electric drive, methods of functional diagnostics of the electric drive, digital modules and sensors, cloud technologies.

Введение

Современный электропривод развивается в направлениях совершенствования приводного оборудования и применения устройств силовой электроники и микропроцессорной техники в системах управления. Развитие регулируемого электропривода (ЭП) сопровождается возрастанием информационного потока между ЭП и управляющими устройствами, поэтому повышаются требования к надежности оборудования и каналов передачи информации. Прогнозирование и предотвращение отказов и неисправностей достигается путем контроля технического состояния системы привода, основанного на интеллектуальном подходе к проблеме, в том числе цифровизации, обеспечивающей комплексный мониторинг, как ЭП в целом, так и отдельных его элементов [1, 2]. При таком подходе, реализованном в разработках «Siemens», «Eaton» и других передовых фирм, возможные отказы можно выявить до наступления аварии, провести техническое обслуживание или вывести оборудование в ремонт по текущему состоянию.

Цель работы – провести аналитический обзор по проблеме повышения эксплуатационной надежности электроприводного оборудования путем применения современных цифровых устройств и информацион-

ных технологий в электроприводах технологических машин, а также определить перспективные технические решения для их совершенствования.

Основная часть

Современные системы и методы диагностики асинхронных электроприводов можно разделить на две группы.

К первой группе относятся методы тестовой диагностики: измерение температуры и сопротивления изоляции, токов утечки, сопротивления обмоток, тангенса угла диэлектрических потерь изоляции обмоток, метод высоковольтного импульса и другие. Тестовое диагностирование – традиционный вид выявления дефектов электрооборудования по регламенту. Такая диагностика способствует предупреждению развития различных дефектов.

Вторая группа включает в себя методы функциональной диагностики, не требующие временного вывода электрооборудования из эксплуатации [3].

Измеряемыми параметрами могут быть: потребляемый ток, мощность, момент, скольжение. Программа, по которой работают устройства функциональной диагностики, обрабатывает входную информацию, определяет вид повреждения работающего электродвигателя или устанавливает его исправность.

Этот метод позволяет хранить в компьютере базы данных с информацией о динамике повреждений электропривода с возможностью прогнозирования его отказа.

Одним из перспективных направлений исследований в этой области является компьютерное моделирование электромеханических устройств, позволяющее имитировать различные дефекты и повреждения [3].

Электродвигатели, предназначенные для применения в составе частотно-регулируемого электропривода, оснащаются встроенными датчиками и модулями, позволяющими формировать сигналы для систем управления и защиты электропривода (встроенные датчики температуры, датчики магнитного поля (датчики Холла), энкодеры, измерительные преобразователи тока и мощности и др.) Применяются также специализированные модули, которые монтируются на корпус электродвигателя и передают информацию по беспроводным каналам, являясь при этом элементами системы беспроводного мониторинга [4]. Система мониторинга реализует следующие функции: сбор данных в удаленных модулях, установленных в шкафах управления и непосредственно на объектах (электродвигателях); передачу данных различными способами (с использованием направленных антенн, посредством передачи по цепи ZigBee-маршрутизаторов, посредством GSM/GPRS-модулей); обработку данных на диспетчерском сервере с целью предоставления результатов мониторинга по запросу, расписанию, при внештатных ситуациях; поддержку доступа к данным с мобильных средств связи. Возможно использование технологий спутниковой навигации.

1. Цифровизация электродвигателей

Компоненты привода, оснащенные цифровыми модулями, образуют систему для его цифровизации [2]. Модули сопряжения непрерывно регистрируют текущие параметры электродвигателей и передают их на обработку. С помощью приложений обеспечивается беспроводной доступ ко всем двигателям и преобразователям в любой момент времени. Например, система мониторинга *SIDRIVE IQ* и *SIMOTICS CONNECT 400* проверяет состояние электродвигателя несколько раз в минуту и может сохранять информацию локально, а также автоматически передает сохраненные данные в открытую цифровую платформу *MindSphere* один раз в день через сеть *Wi-Fi*. *SIDRIVE IQ* – открытая цифровая платформа на базе *MindSphere* для приводных систем *Siemens* проводит анализ данных на основе моделей двигателя и рассчитывает его КПД; на основе предварительных настроек формирует сигналы предупреждений об отклонениях от заданных режимов и параметров. На основе текущих и архивированных данных принима-

ется решение на вид и время технического обслуживания электродвигателя [5]. Таким образом, актуальная информация и архивные данные о состоянии электродвигателей всегда доступны, что снижает затраты на обслуживание.

На рисунке 1 представлена конструкция модуля *SIMOTICS CONNECT*, монтируемого на корпус любого электродвигателя.

Модуль представляет собой корпус с датчиками,

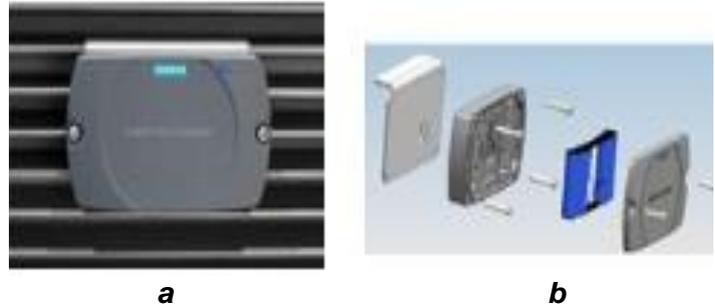


Рисунок 1. Модуль *Simotics connect 400*: а – монтаж модуля *SIMOTICS CONNECT* на корпус электродвигателя; б – основные компоненты модуля *SIMOTICS CONNECT*

контролирующими вибрацию в трех осях, температуру корпуса и частоту магнитного поля статора. На основе этих измерений система рассчитывает температуру электродвигателя, скорость вращения вала, момент нагрузки, энергопотребление, количество пусков, часы наработки. Определяется геоположение электродвигателя.

Технические характеристики модуля: размеры – 125 x 76 x 29 мм; степень защиты – IP54; рабочие температуры – 40°C - 80°C; беспроводная связь (*BLU, Wi-Fi*); питание от батарей 4x3,6В Li/SOC12, AA; срок службы – до двух лет (при передаче данных один раз в час); локальное хранение данных – до 48 часов. Содержит встроенные модули *WLAN* и *Bluetooth*. Процедура монтажа модуля (приклеивание) на корпус любого электродвигателя высот оси (132-450 мм) простая и требует не более одного часа. Возможна настройка со смартфона и дистанционный контроль батарей. Для запуска в работу *SIMOTICS CONNECT 400* следует выбрать настраиваемый модуль, ввести информацию о двигателе, объекте и аккаунте, войти в *MindSphere*, а затем подключиться к *Wi-Fi*.

2. Цифровизация шкафов управления автоматизированным электроприводом

Автоматизация электропривода развивается с появлением новых технологий. Три этапа развития технологий автоматизации:

Первый этап – классическая концепция автоматизации (самая распространенная в настоящее время) [1; 6]. В такой системе управления ЭП применяется центральный модульный контроллер с модулями расширения входов/выходов. Кабели прокладываются от всех датчиков, элементов управления и сигнали-

зации непосредственно к контроллеру. Система, построенная по такой концепции, недостаточно эффективна и требует больших затрат материалов и времени при монтаже, затруднена диагностика неисправностей и устранение их последствий.

Второй этап – современная концепция автоматизации, основанная на организации децентрализованного сбора информации с помощью удаленных модулей ввода/вывода (*XION*). Связь с контроллером обеспечивают шины *Profibus*, *DeviceNet*, *CANopen*. Сбор информации в такой системе осуществляется непосредственно на объекте управления, сокращается количество модулей ввода/вывода и кабелей [10].

Третий этап – появление инновационной технологии компании Eaton – SmartWire-DT [7], позволившей объединить все элементы системы (от сигнальных ламп до программно-логического контроллера) в единую сеть с помощью одного кабеля, причем питание и сигналы управления передаются по одному шлейфу. Таким образом, система *SmartWire-DT* совмещает функции автоматизации, коммуникации и управления. В результате сокращаются затраты на проектирование, монтаж и наладку (экономия времени на проектирование, монтаж, наладку, тестирование – до 85 %; уменьшение себестоимости шкафа – до 29 %; экономия проводов). Эта система компактна, занимает мало места в шкафу управления, позволяет соединить устройства плавного пуска, преобразователи частоты, автоматические выключатели и узлы управления одним шлейфом. Адресация между *SWD*-компонентами распределяется автоматически, обеспечивается непрерывный монито-

ринг работы отдельных приводов и системы в целом (оперативный контроль пуска, защиты, аварийного останова, аварий). Реализация аппаратных преимуществ *SmartWire-DT* стала возможной благодаря появлению новых линеек оборудования. Например, панель оператора с функциями программно-логического контроллера серии *XV102* позволяет отказаться от использования внешнего контроллера. Панель может выполнять логическую программу управления объектом, являться «мастером сети», состоящей из большого числа устройств.

Принцип интеллектуального («разумного») соединения, реализуемый в системе *SmartWire-DT*, позволяет конструировать шкафы управления на новых принципах, исключающих сложный электромонтаж, обеспечивающих дистанционный интеллект и непрерывную связь между центральным контроллером и всеми элементами цепей управления. Возможно подключение к любому управляющему устройству через шлюзы со стандартными шинами (*Profibus*, *CANopen*, *Ethernet IP/Modbus TCP*) для обмена данными с системами управления высокого уровня. Система *SmartWire-DT* включает в себя до 99 последовательно подключенных устройств (объединенных общей шиной длиной до 600 м). Восьмижильный плоский кабель шины *SWD* объединяет все элементы внутри и снаружи шкафа управления (рис. 2).

Напряжение питания всех интеллектуальных модулей – 15 В постоянного тока; уровень сигналов управления для контакторов – 24 В постоянного тока. Соединение кабеля с модулями осуществляется плос-

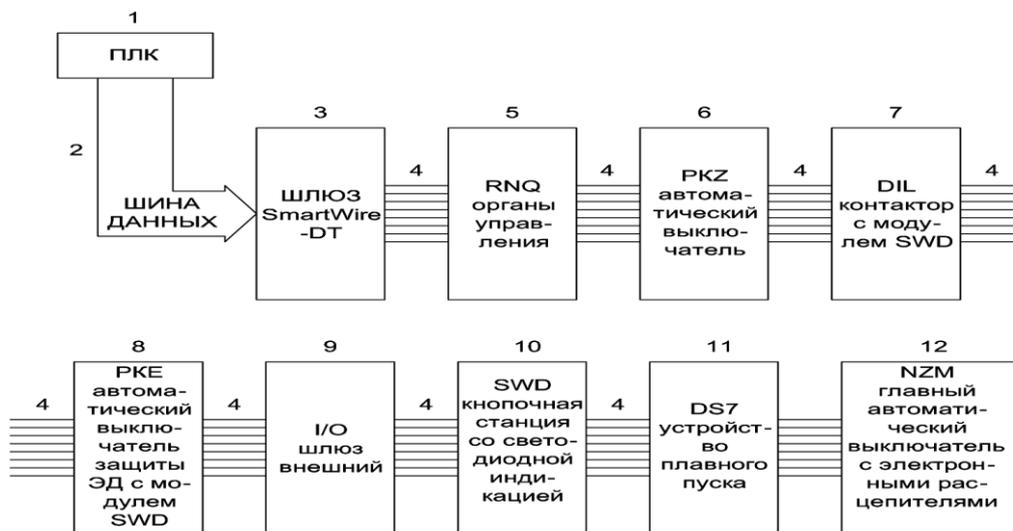


Рисунок 2. Система SmartWire-DT:

1 – программируемый логический контроллер (ПЛК); 2 – шина данных; 3 – шлюз SmartWire-DT; 4 – шина SWD (SmartWire-DT); 5 – органы управления RMQ (кнопки, переключатели, джойстики) с модулями ввода-вывода SWD; 6 – автоматический выключатель PKS с модулем ввода-вывода SWD; 7 – контактор DIL с модулем SWD; 8 – автоматический выключатель защиты электродвигателя с модулем SWD; 9 – шлюз I/O (для внешних связей); 10 – кнопочная станция со светодиодной индикацией и с модулем SWD; 11 – устройство плавного пуска DS7 асинхронного электродвигателя; 12 – главный автоматический выключатель с электронными расцепителями и модулем SWD

кими соединителями при помощи обжимного инструмента. Элементы цепи управления и исполнительные элементы подключаются к шине с помощью функциональных элементов. Каждый элемент *SmartWire-DT* имеет собственный адрес и самодиагностику. Для аварийной сигнализации и защиты оборудования служат исполнительные элементы с контактами. Подключение периферийных устройств осуществляется круглым кабелем с переходником для соединения с плоским кабелем шины (степень защиты IP67).

Используя цифровые входы модулей, можно определить положение контактной системы контактов, автоматических выключателей и переключателей, а также цепей защиты электродвигателей. Предупреждения о перегрузках через *SmartWire-DT* передаются по каналу диагностики, а в случае отключения поступает информация о причине аварии. Доступна информация о потребляемой мощности. При помощи встроенного в автоматический выключатель *NSM* счетчика ведется учет потребляемой электроэнергии.

Система *SmartWire-DT* конфигурируется при помощи программы *SWD-Assist* [4]. Конфигурацию можно повторно использовать для других проектов, что позволяет использовать *PLC* разных производителей.

3. Цифровизация измерительных преобразователей и датчиков

3.1. Измерительные преобразователи температуры для системы мониторинга частотно-регулируемого электропривода

Схемы контроля температуры электродвигателей и силовых полупроводниковых модулей устройств плавного пуска и преобразователей частоты обычно содержат датчики температуры на основе аналоговых и цифровых микросхем [6]. Для аналоговых микросхем используется зависимость от температуры разности напряжений база-эмиттер двух транзисторов, работающих при разных токах коллектора. В некоторых микросхемах в качестве чувствительного элемента используется внутренний термочувствительный резистор или внешний транзистор. Для систем мониторинга перспективны цифровые датчики температуры [6]. Например, DS18B20 – это цифровой температурный датчик, содержащий встроенный микроконтроллер, способный хранить значение измерений, сигнализировать о выходе температуры за установленные границы, задавать точность измерений, способ взаимодействия с внешним контроллером и др. (рис. 3).

Микросхема имеет три выхода, из которых для данных используется только один, два остальных – это земля и питание. Число проводов можно сократить до двух, если использовать схему с питанием от измерительной цепи и соединить вывод *Vdd* с землей (*GND*). К одному проводу с данными можно подключить несколько датчиков DS18B20. Погрешность измерения не больше 0,5 °C (для температур от -10 °C

до +85 °C). Не требуется дополнительная калибровка, есть функция тревожного сигнала. Диапазон измерений – 55 °C – +125 °C. Напряжение питания – от 3,3 до 5В. Максимальная разрешающая способность – до 0,0625 °C (12 бит). Этот параметр задается программно. Каждая микросхема имеет свой серийный код, причем можно подключить до 127 датчиков к одной линии связи. Информация передается по протоколу *1-Wire*. В оперативную память *SRAM* записываются результаты измерений, в энергонезависимой *EEPROM* хранятся регистры конфигурации, которые могут использоваться как регистры общего назначения. В Республике Беларусь на предприятии «Интеграл» производится интегральная микросхема *IZ18B20A-5 (IZ18B20X)*, которая является полным функциональным аналогом микросхемы DS18B20.

3.2. Интеллектуальные датчики тока

Для обеспечения функционирования систем управления и защиты электродвигателей, силовых модулей преобразователей частоты и устройств плавного пуска необходимы датчики тока. Наиболее распространены датчики на эффекте Холла и токовые шунты [8-10]. Как правило, требуется преобразование аналогового сигнала в цифровой, а в случае применения шунтов – гальваническая развязка силовых и управляющих цепей. Развитие микропроцессорной техники привело к созданию принципиально новых измерительных преобразователей – интеллектуальных датчиков (*ИД*), содержащих в одном корпусе чувствительный элемент (преобразователь) и микропроцессор, что позволяет выполнять основные операции по преобразованию и повышению достоверности измерительной информации в месте возникновения. *ИД* позволяет обеспечить выполнение функций, повышающих информативность выходного сигнала, формирование потока данных с необходимой достоверностью на основе анализа большого числа результатов отдельных измерителей. Интеллектуальный

PIN ASSIGNMENT

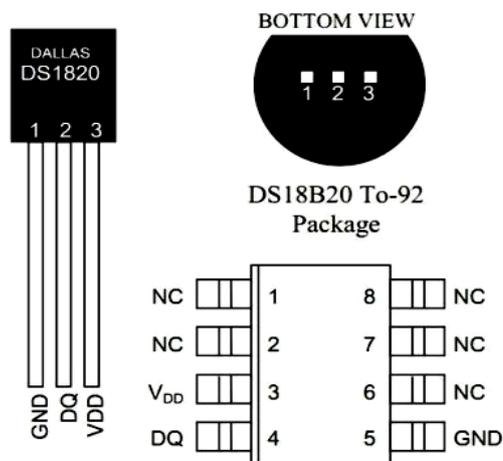


Рисунок 3. Цифровой датчик температуры DS 18B20

датчик способен автоматически адаптироваться к источнику сигнала, контролировать свои функции и корректировать ошибки измерений. В интеллектуальных силовых модулях преобразователей частоты применяются микросхемы, предназначенные для преобразования сигнала, снимаемого с резистивного шунта в ШИМ-сигнал и связи его с контроллером (рис. 4). По сравнению с датчиками Холла, шунты с изолирующими усилителями имеют большее быстродействие, высокую линейность и помехозащищенность. Если нужны сенсоры магнитного поля, используются датчики Холла [10]. Компания *International Rectifier* выпускает высоковольтные (до 600 В) специализированные интегральные схемы (ИС) типа *IR2170/2175*, предназначенные для работы в резистивных датчиках тока. ИС преобразуют падение напряжения в ШИМ сигнал с несущей частотой 130 кГц, что удобно для построения схем управления двигателями, а также активными нагрузками. Для обеспечения гальванической развязки резистивного датчика тока и схемы управления компания *Agilent Technologies* выпускает микросхемы *HCPL7510/7520*, структура которых приведена на рисунке 5. Гальваническая развязка выдерживает синфазную помеху до 15 кВ/мкс при постоянном синфазном напряжении – 1000 В. Полоса пропускания равна 100 кГц, погрешность линейности – 0,06 %, погрешность коэффициента передачи ± 3 %.

Интеллектуальный датчик тока содержит микропроцессор и коммуникационный чип, реализующий передачу по сетевой шине и беспроводную передачу [4]. Интеллектуальные датчики тока можно объединять по общей шине, при этом обеспечивается поддержка функции записи и хранения данных. Время хранения – не менее года, период опроса устанавливается в пределах 1-65535 с. Поддерживается расчет среднего и среднеквадратичного значения измеряемой силы тока и онлайн-мониторинг в реальном времени. Передача данных возможна по проводным линиям *RS232*, *RS485*, *CAN*, а также по беспроводным кана-

лам *Wi-Fi*, *4G* и др. Осуществляется самодиагностика в системе перед запуском и при настройке. Как правило, интеллектуальные датчики питаются от встроенной литиевой батареи при сроке ее службы не менее года.

3.3. Энкодеры

В различных приводных системах возникают задачи позиционирования вала при регулировании частоты его вращения. Для прецизионного регулирования скорости и позиционирования вала двигателя в состав ЭП включаются *энкодеры* – устройства для преобразования угла поворота или скорости вращения в электрический сигнал или код. По принципу действия различают оптические и магнитные энкодеры (с датчиками Холла). Энкодер выбирают исходя из требований к системе и параметров контроллера и частотного преобразователя. Условия выбора энкодера при его использовании в составе частотно-регулируемого привода рассмотрены в источнике [7]. Энкодер крепится к валу двигателя, редуктора или другого передаточного устройства. Частотно-регулируемый привод с энкодером способен выполнять следующие базовые функции: определения абсолютной координаты; настройки передаточных отношений в режиме *On-line*; синхронизации скорости, положения по метке ведущего и ведомого привода в следящей системе регулирования; приема и передачи данных по поддерживаемым протоколам связи; абсолютного и относительного позиционирования; автоматического вычисления, сравнения данных от датчиков; отладки встроенных программ. Программирование преобразователей частоты и контроллеров движения осуществляется при помощи ПО, разработанного производителем [2].

4. Облачные технологии в электроприводе

В различных технологических процессах часто возникают задачи, требующие обмена информацией отдельных объектов между собой и с внешней средой посредством того или иного устройства. С этой целью интеллектуальные устройства подключаются к

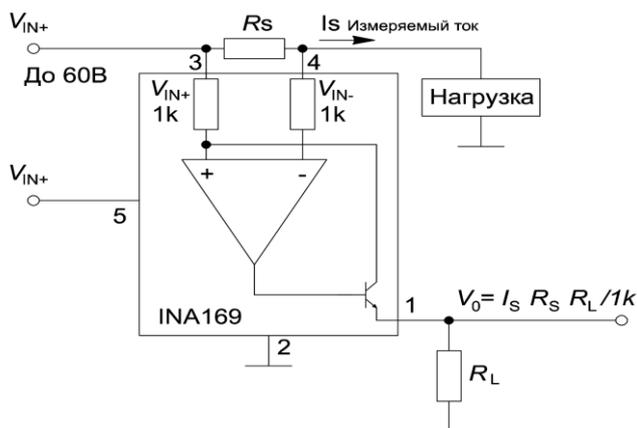


Рисунок 4. Измерение тока при помощи специализированного усилителя INA169

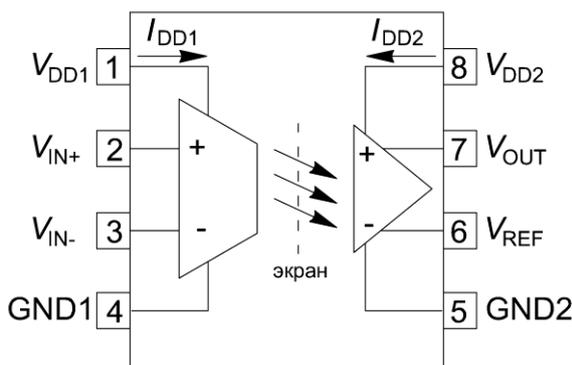


Рисунок 5. Структура ИС типа HCPL-7510/7520

Интернету, что позволяет удаленно собирать и передавать данные [5]. В зависимости от особенностей информационного пространства используются термины: «связь машины с машиной» (*Machine to Machine — M2M*) и «Интернет вещей» (*IoT*). *IoT* относится к потребительскому пространству, а *M2M* к промышленному.

Один из наиболее важных аспектов *IoT* – эффективное взаимодействие «умных» устройств между собой и с облачными приложениями: техническое решение в этом случае представляет собой *M2M/IoT*-шлюз с установленным на него программным обеспечением, которое дает возможность подключаться к облачному сервису для обмена с ним данными.

Возможности развития автоматизации и информатизации ЭП значительно расширились с появлением «облачных технологий» [5], обеспечивших удаленное хранение и обработку информации и управление удаленными объектами. Например, облачная архитектура системы *Cloud-Control* (рис. 6) для диспет-

ний, измерений, вычислений доступны в форме графиков, мнемосхем и таблиц и сохраняются на сервере заданное время.

По одному или нескольким параметрам облачный сервис диагностирует нештатную ситуацию или аварию на объекте и может послать уведомление на электронную почту, короткое сообщение на мобильное устройство или отобразить данные на *WEB*-странице сервиса. Запустить процесс или изменить уставку или конфигурацию можно из любой точки мира через *WEB*-интерфейс облачного сервиса. К сервису *OwenCloud* могут подключаться приборы с интерфейсами *Ethernet* и *RS-485*. Специальные шлюзы со встроенными GSM-модулями позволяют соединять с *OwenCloud* приборы, установленные на удаленных объектах, на которых отсутствует проводной Интернет. В шлюз устанавливается *SIM*-карта оператора сотовой связи. Передача данных происходит по *GPRS* и не требует значительных расходов на оплату услуг.

Заключение

1. Развитие автоматизированного электропривода требует решения проблем обеспечения оперативного контроля и своевременного предупреждения аварий и отказов в сложных системах.

2. Сложные алгоритмы управления и функционирования современных систем ЭП нуждаются в новых подходах к проблеме мониторинга и удаленного управления приводными объектами. Один из путей решения проблемы – цифровизация, как всей системы ЭП, так и его отдельных элементов.

3. Повышение надежности электродвигателей, шкафов управления, силовых цепей и цепей управления достигается применением новых технологий в виде «*SmartWire* (разумного соединения)» на основе цифровых интеллектуальных модулей, устанавливаемых на все элементы электропривода.

4. Перспективные направления в области мониторинга и удаленного контроля ЭП – применение цифровых датчиков, преобразователей, а также беспроводных каналов связи и «облачных» технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Панкратов, В.В. Тенденции развития общепромышленных электроприводов переменного тока на основе современных устройств силовой электроники / В.В. Панкратов // Силовая интеллектуальная электроника. – 2005. – № 2 – С. 7-11.

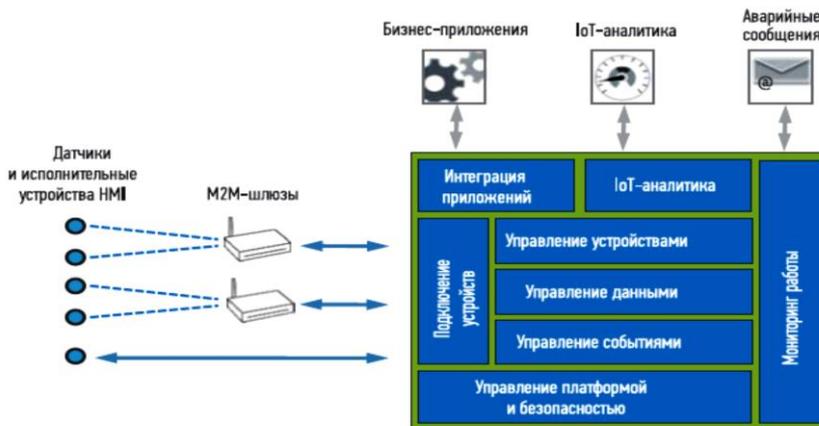


Рисунок 6. Структура системы *Cloud-Control*

черизации преобразователей частоты, созданная компанией «Danfoss» (одним из ведущих мировых производителей частотно-регулируемых приводов), позволяет управлять приводами и осуществлять их мониторинг без присутствия квалифицированного персонала непосредственно на объекте [11]. Новая технология позволяет подключить к одному *GPRS* модему несколько приводов и управлять ими в режиме реального времени при высокой скорости соединения. Копирование настроек параметров удобно при вводе в эксплуатацию однотипных устройств. Для отображения информации можно использовать ПК, планшет, переносную сенсорную панель, а также любое устройство с установленным браузером. С помощью *Cloud-Control* можно управлять лифтами, насосными станциями, системами вентиляции и кондиционирования, холодильными и воздушными компрессорами, кранами и грузоподъемными механизмами, разнообразным конвейерным оборудованием в промышленности и сельском хозяйстве. Результаты наблюде-

2. Преобразователь частоты в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chastotnik.pro/upload/iblock/d0/058514a2efabe76c64acd1cf45a7c9.pdf>. – Дата доступа: 23.11.2022.

3. Дайнеко, В.А. Методы диагностики асинхронных электродвигателей в рабочих режимах и перспективы их применения / В.А. Дайнеко, Ж.Г. Юрковец // Агропанорама. – 2021. – №4 – С. 22-25.

4. Сименс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://Siemens.com/digital-drives.html>. – Дата доступа: 22.11.2022.

5. Автоматизация и производство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aip.com.ru/article/Oblachnie_tehnologii. – Дата доступа: 22.11.2022.

6. Кашканов, А. Датчики и микроконтроллеры. Часть 3. Измеряем ток и напряжение / А. Кашканов // Habr [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://habr.com/ru/post/260639/>. – Дата доступа: 20.11.2022.

7. EATON [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eaton.ru>. – Дата доступа: 22.11.2022.

8. Колпаков, А. Измерение тока в мощных импульсных преобразователях частоты / А. Колпаков // Электронные компоненты. – 2004. – № 2 – С. 77-83.

9. Летерье, Д. Новая серия датчиков напряжения / Д. Летерье // Силовая электроника. – 2020. – № 5. – С. 60-65.

10. Данилов, А. Современные промышленные датчики тока / А. Данилов // Современная электроника. – 2004. – № 10. – С. 26-35.

11. Eaton [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://downloadcenter.moeller.net/en/software.html>. – Дата доступа: 23.11.2022.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 03.01.2023

Независимая навеска и система стабилизации штанги опрыскивателя «Мекосан-2500-18»

Предназначена для снижения амплитуды колебаний штанги и повышения надежности ее несущей конструкции.

Применение разработки позволяет эффективно гасить колебания штанги, возникающие вследствие движения колес опрыскивателя по неровности поверхности поля, что обеспечивает высокую равномерность распределения пестицидов по обрабатываемому объекту, а также повышение надежности несущей конструкции штанги.



Основные технические данные

Марка машины	Мекосан-2500-18
Производительность за 1 час времени, га:	
- сменного	10,9
- эксплуатационного	10,7
Система навески штанги на остов опрыскивателя	Независимая
Способ крепления рамки штанги к остову опрыскивателя	Параллелограммная навеска
Амплитуда колебаний краев штанги, м	до 0,1
Рабочая скорость движения, км/ч	9-12
Качество выполнения технологического процесса:	
- неравномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата, %, не более	15
- снижение неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата, %, не менее	5
Габаритные размеры опрыскивателя в транспортном положении, мм, не более	6045x2425x2215
Габаритные размеры опрыскивателя в рабочем положении (при высоте установки штанги 600 мм), мм, не более	6045x18250x2215
Дорожный просвет, мм	350
Увеличение массы опрыскивателя, кг	на 120