

УДК 621-52

О.В. Крюков

АО «Гипрогазцентр», Нижний Новгород, Россия

РЕАЛИЗАЦИЯ АСУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ ETHERNET-СЕТЕЙ

Рассмотрены основные преимущества и недостатки современных сетей Ethernet при их аппаратной реализации в АСУ технологических процессов различных объектов с электротехническим оборудованием. Проведен ретроспективный анализ развития коммуникационных технологий передачи данных в сетях на полевом уровне, начиная с простейших бортовых АСУ и офисных локальных протоколов до открытых наращиваемых сетей со стандартными скоростями порядка 10 Gbps и более. На конкретных примерах показано, что промышленные Ethernet-сети имеют большие выгоды для производственных и эксплуатационных предприятий. Обоснована необходимость объединения оборудования и датчиков нижнего уровня с автоматизированными рабочими местами операторов в единую открытую информационно-управляющую сеть на основе универсальных транспортных протоколов. Рассмотрены возможности использования для передачи данных волоконно-оптических каналов связи на многомодовых оптических кабелях. Показано, что выбор протокола и скорости обмена данными, задание настроек Master- и Slave-устройств, а также проверка состояния соединений осуществляются при помощи веб-интерфейса с учетом приведенных особенностей протокола. Проанализированы варианты различных сетей передачи данных Ethernet-сети нижегородского метрополитена, АСУ освещением подземной автостоянки торгово-развлекательного центра, систем диспетчеризации и управления трансформаторной подстанцией, канализационной станцией и водооборотной системой с вентиляторными градирнями. Обоснована необходимость интеграции всего используемого электрооборудования в рамках универсальных протоколов Ethernet-сети. Получены результаты проектных решений и использования аппаратуры с комплектацией в стандартных сетевых шкафах, расположенных непосредственно у оператора. Универсальность проектов состоит в том, что все оборудование сетей Ethernet (коммутаторы, маршрутизаторы, концентраторы, шлюзы, разъемы и т.п.) переведено на промышленное исполнение и способно воспринимать производственные нагрузки, характерные для различных отраслей и технологических процессов.

Ключевые слова: коммуникационная среда, сеть передачи данных, электротехническое оборудование, интерфейс, автоматизированная система управления.

O.V. Kryukov

JSC «Giprogazcenter», Nizhny Novgorod, Russian Federation

REALIZATION OF ACS OF ELECTROTECHNICAL OBJECTS ON THE BASIS OF ETHERNET-NETWORKS

The main advantages and shortcomings of modern networks Ethernet at their hardware realization in ACS of technological processes of various objects with the electrotechnical equipment are considered. The retrospective analysis of development of communication technologies of data transmission in networks at the field level, since the elementary onboard ACS and office local protocols to the open increased networks with standard speeds about 10 Gbps and more is carried out. On concrete examples it is shown that industrial Ethernet-networks have big benefits for the manufacturing and operational enterprises. Need of combination of the equipment and sensors of the lower level with the automated jobs of operators in uniform open management information network on the basis of universal transport protocols is proved. The possibilities of use for data transmission of fiber-optical communication channels on multimode optical cables are considered. It is shown that the choice of the protocol and speed of data exchange, the task of the Master-settings and Slave-devices, and also check of a condition of connections is carried out by means of the Web interface taking into account the given features of the protocol. Options of various data transmission networks of Ethernet-network of the Nizhny Novgorod subway, ACS by illumination of underground parking of shopping center, systems of scheduling and management of transformer substation, the sewer station and water reverse system with ventilator coolers are analyzed. Need of integration of all used electric equipment within universal protocols of Ethernet-network is proved. Results of design decisions and use of the equipment with a complete set in the standard network cases located directly at the operator are received. Universality of projects consists that all equipment of Ethernet networks (switchboards, routers, concentrators, locks, sockets, etc.) it is transferred to industrial execution and is capable to perceive the production loadings characteristic of various branches and technological processes.

Keywords: communication environment, data transmission network, electrotechnical equipment, interface, automated control system (ACS).

Введение. В области АСУТП для объединения ПЛК, устройств сопряжения с объектами (УСО), устройств управления электроприводами, интеллектуальных датчиков и измерительных приборов (т.е. технических средств автоматизации ТП) в информационно-управляющие сети традиционно использовались «полевые» шины (field bus) [1–3]. Наиболее известными из них являются сети на основе «физического» интерфейса RS-485 с протоколами Modbus (Schneider Electric), Profibus (Siemens) и сети на основе физического интерфейса и протоколов CAN (первоначально разработаны фирмой BOSN для автомобильных бортовых АСУ автоматикой). Многие устройства промышленной автоматизации используют протокол Modbus-ASCII/RTU в качестве стандартного механизма обмена данными.

Коммуникационный протокол Modbus был разработан компанией MODICON в 1979 г. На сегодняшний день он является одним из широко используемых протоколов связи в сфере промышленной автомати-

зации. Одним из основных недостатков традиционных полевых шин является ограничение на максимальную длину соединительных линий. Для «физического» интерфейса RS-485 максимальная длина составляет 1200 м. Для увеличения длины линий необходимы специализированные устройства – повторители интерфейсов.

В настоящее время в АСУТП наблюдается тенденция перехода от традиционных полевых шин ПЛК к локальным сетям Ethernet 10/100 Mbps, основанным на технических решениях, аналогичных используемым в традиционных офисных локальных сетях. Все преимущества сетей Ethernet основаны на их открытости и стандартизации, поэтому подобные сети получили широкое распространение в офисах и на предприятиях. Тот факт, что стандарт Ethernet является открытым, гарантирует его будущее развитие и наращивание функциональных возможностей. Например, за последнее время скорости Ethernet-сетей неуклонно росли и достигли уже 100 Mbps и 1 Gbps; а стандарт на 10 Gbps уже практически утвержден. Таким образом, при проектировании новых систем обеспечена достаточность пропускной способности установленной информационно-управляющей сети [4–6].

Поскольку промышленные сети построены на той же технологии, что и офисные, это еще одно преимущество по интеграции технических решений, предоставляется возможность оперативного анализа производственной информации, что ранее было недоступно. Индустриальные Ethernet-сети принесут большие выгоды промышленным предприятиям. Все более распространенными становятся устройства, поддерживающие Ethernet и использующие для связи протокол Modbus/TCP, оборудованные портами Ethernet 10/100 Mb (RJ-45) для непосредственного подключения их к сети Ethernet. Оборудование нижнего уровня (ПЛК, УСО, приборы) и ПЭВМ верхнего уровня (АРМ-оператора) объединяется в единую открытую информационно-управляющую сеть на основе протокола TCP/IP, который в данном случае является «транспортным» для протоколов ПЛК, например Modbus. Все ПЛК и приборы, подключаемые к сети, являются узлами сети и имеют собственный IP-адрес. При такой организации информационно-управляющей сети отпадает необходимость в использовании специализированных устройств для подключения полевых шин к ПК. Оборудование для таких сетей хорошо стандартизовано, выпускается многими производителями и стоит относительно недорого. Таким

образом, потребителю предоставляется возможность подбора оборудования, оптимального по критерию цена/качество и снимается зависимость от монопольных поставщиков оборудования [7–10].

Проблема ограничения максимальной длины соединительных линий между нижним уровнем (ПЛК, приборы) и верхним (АРМ оператора) в случае перехода к сетям Ethernet полностью исчезает, так как становится возможным использование для передачи данных волоконно-оптических каналов связи на многомодовых или одномодовых оптических кабелях, радиоканалов (Wi-Fi), сотовых сетей (GSM/GPRS, CDMA), каналов ADSL или иных каналов, пригодных для передачи данных по протоколу TCP/IP. Таким образом, под «сетью Ethernet TCP/IP» понимается не только собственно локальная сеть Ethernet на основе кабеля «витая пара» (UTP), но и все вышеупомянутые варианты сетей TCP/IP. Принципиальным моментом здесь является то, что для подключения технических средств автоматизации к сети передачи данных используются порты Ethernet 10/100 Mb (RJ-45).

В настоящее время рядом фирм поставляются устройства, являющиеся шлюзами между сетями Ethernet и «полевыми» шинами. Интересным представителем данного класса устройств является шлюз Modbus ASCII/RTU – Modbus/TCP MOXA NPort 6110. Преобразователь NPort 6110 – это удобное решение для объединения в единую сеть TCP/IP-устройств и последовательных устройств, использующих Modbus. NPort 6110 может быть ведущим устройством (master) как в сети Modbus/TCP, так и в сети Modbus-ASCII/RTU.

Протокол Modbus/TCP – это вариант протокола Modbus, созданный в 1999 г. Этот протокол был разработан для обеспечения возможности доступа к Ethernet-устройствам через Интернет. Оба протокола являются открытыми (для их использования не требуется приобретать лицензию), поддерживают SCADA-системы, легки в использовании. Кроме того, использование этих протоколов значительно снижает время и стоимость разработки промышленных коммуникационных систем. С аппаратной точки зрения NPort-6110 представляет собой преобразователь асинхронных последовательных интерфейсов RS-232/422/485 в Ethernet. Специально разработанное для NPort-6110 микропрограммное обеспечение позволяет транслировать данные Modbus-ASCII или Modbus-RTU, передаваемые по последовательному интерфейсу, в формате Modbus/TCP по сетям Ethernet.

Выбор протокола и скорости обмена данными, задание настроек Master- и Slave-устройств, а также проверка состояния соединений осуществляются при помощи веб-интерфейса. Основные особенности протокола:

- автоматический поиск устройств в сети, поддержка DHCP;
- в режиме Modbus/TCP Master опрашивает до 31 устройства Modbus/ASCII/RTU Slave;
- в режиме Modbus/ASCII/RTU Master опрашивает до 4 устройств Modbus/TCP Slave;
- сеть Fast Ethernet 10/100 Мбит/с;
- встроенная защита от импульсных помех 15КВ;
- последовательный интерфейс RS-232/422/485 (выбирается программно);
- высокая скорость по последовательному интерфейсу, до 230,4 Кбит/с.

Аналогичное устройство ADAM-4572 выпущено также фирмой Advantech и представляет собой шлюз передачи данных от порта RS-232/422/485 с протоколом Modbus в сеть Ethernet. Основные особенности данного устройства:

- шлюз передачи данных от порта RS-232/422/485 с протоколом Modbus в сеть Ethernet;
- сетевой протокол: Modbus/TCP; порт: 10/100Base-T, соединитель RJ-45;
- последовательный порт: RS-232/422/485 со скоростью обмена 300...115200 бит/с;
- протокол ModBus/RTU, ModBus/ASCII.

Далее рассмотрим несколько характерных примеров успешной реализации проектов и технических решений в области АСУТП с использованием сетей Ethernet.

Сеть передачи данных для КАС-ДУ метрополитена. Локальная вычислительная сеть КАС-ДУ метрополитена имеет сложную структуру (рис. 1). Топология сети представляет собой двойное кольцо или «восьмерку». Она фактически состоит из двух сетей с взаимно резервируемыми комплектами «А» и «Б», которые связаны между собой тремя перемычками – резервными линиями. Опорными узлами сети являются сетевые коммутаторы (Switch), установленные на ЦДУ

в инженерном корпусе и на станциях метрополитена, к которым подключаются все АРМ и контроллеры в стойках КАС-ДУ на станциях и в инженерном корпусе (узлы сети, абоненты).

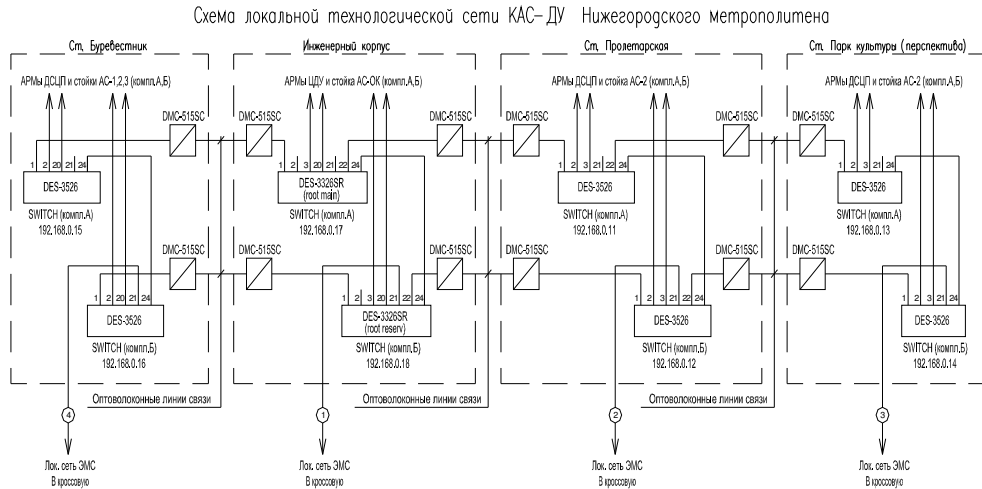


Рис. 1. Сеть КАС-ДУ метрополитена

Стандарт передачи – Ethernet 100 Mb (100Base-TX), физической средой передачи данных являются медные кабели типа UTP («витая пара»), между станциями – пары одномодовых волокон в оптическом кабеле. Для сопряжения медного и оптоволоконного кабеля используются медиаконвертеры D-Link DMC-515SC.

Все контроллеры и все АРМ комплектов «А» и «Б» могут обмениваться между собой информацией по принципу «каждый с каждым». Закольцованная структура сети позволяет значительно повысить надежность передачи информации между абонентами, так как при обрыве любой ветви передача пакетов в сети может выполняться по обходному пути – по исправным ветвям. Для работы в отказоустойчивой сети используются управляемые сетевые коммутаторы 2-го и 3-го уровня D-Link DES-3326 и DES-3526, поддерживающие протокол 802.1D Spanning tree. Этот протокол определяет набор правил взаимодействия между собой всех узловых коммутаторов в сети для построения маршрутов передачи сетевых пакетов между абонентами в обход поврежденного участка, и при этом исключается бесконечная «закольцовка» пакетов в сети при отсутствии повреждений.

Пакет, переданный узлом-отправителем, проходит через один или несколько узловых коммутаторов и достигает узла-адресата. При возникновении «закольцовки» произойдет блокировка сети. Таким образом, коммутаторы могут логически разрывать резервные линии при отсутствии повреждений. Следовательно, при нормальной работе сеть будет логически представлять собой «полукольцо», а резервные линии будут отключены. При возникновении обрыва автоматически включается резервная линия и восстанавливается передача пакетов в сети. После устранения неисправности резервная линия автоматически отключится.

Система управления освещением подземной автостоянки ТРЦ. В качестве технических средств автоматизации и управления освещением двухуровневой автостоянки торгово-развлекательного центра выбраны модульные контроллеры серии TWIDO фирмы Schneider Electric (рис. 2).

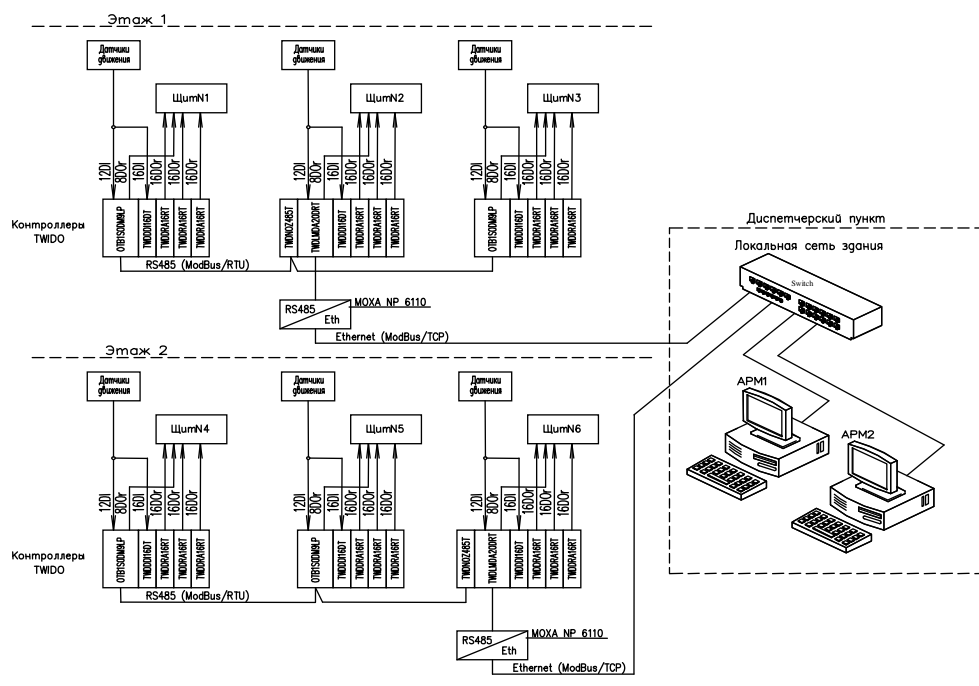


Рис. 2. Схема сети управления освещением ТРЦ

Принцип построения системы управления – распределенный [11–13]. Электрические аппараты для управления освещением каждого этажа располагаются в трех силовых щитах и рассматриваются как единая система (щиты № 4–6 на 1-м этаже и № 1–3 на 2-м этаже).

На 1-м этаже в щите № 6 располагается модульный контроллер TWIDO типа TWDLMDA20DRT, дополненный набором модулей дискретных входов типа TWDDDI16DT и TWDDDI8DT и дискретных выходов типа TWDDRA16RT и TWDDRA8RT.

В щитах № 4 и № 5 располагаются базовые модули распределенного ввода/вывода OTB1S0DM9LP, дополненные набором модулей дискретных входов типа TWDDDI16DT и TWDDDI8DT и дискретных выходов типа TWDDRA16RT и TWDDRA8RT. На 2-м этаже в щите № 2 располагается модульный контроллер TWIDO типа TWDLMDA20DRT, дополненный набором модулей дискретных входов типа TWDDDI16DT и TWDDDI8DT и дискретных выходов типа TWDDRA16RT и TWDDRA8RT.

Для питания модулей предусмотрены блоки питания 24В/3А. В щитах № 1 и № 3 располагаются базовые модули распределенного ввода/вывода OTB1S0DM9LP, дополненные набором модулей дискретных входов типа TWDDDI16DT и TWDDDI8DT и дискретных выходов типа TWDDRA16RT и TWDDRA8RT. Базовые модули распределенного ввода/вывода OTB1S0DM9LP подключаются к модульному контроллеру TWDLMDA20DRT по интерфейсу RS-485 (протокол ModBus/RTU) при помощи интерфейсного модуля RS-485 типа TWDNOZ485T. Датчики движения подключаются к модулям дискретным входов. Контактторы, управляющие группами светильников, подключаются к модулям дискретным выходов. АСУ в пределах одного этажа работает как единый контроллер под управлением программы, записанной в модуле TWDLMDA20DRT.

Для обмена информацией между контроллерами обеих этажей и АРМ диспетчера используется локальная вычислительная сеть здания. Для подключения модулей TWDLMDA20DRT к локальной сети используются устройства MOXA Nport 6110, представляющие собой преобразователь (шлюз) протоколов Modbus/ASCII/RTU (RS-485/232) в протокол Modbus/TCP (локальная сеть Ethernet). Для повышения надежности работы системы предусмотрен двойной комплект АРМ диспетчера.

Система диспетчеризации и управления трансформаторной подстанцией и распределительным пунктом. В качестве аппаратов защиты и устройств телемеханики в ячейках высоковольтных выключателей (рис. 3) используются устройства микропроцессорной защиты (МПЗ) типа SEPAM 1000+ серии 20 и 40 (Schneider Electric) [7, 10].

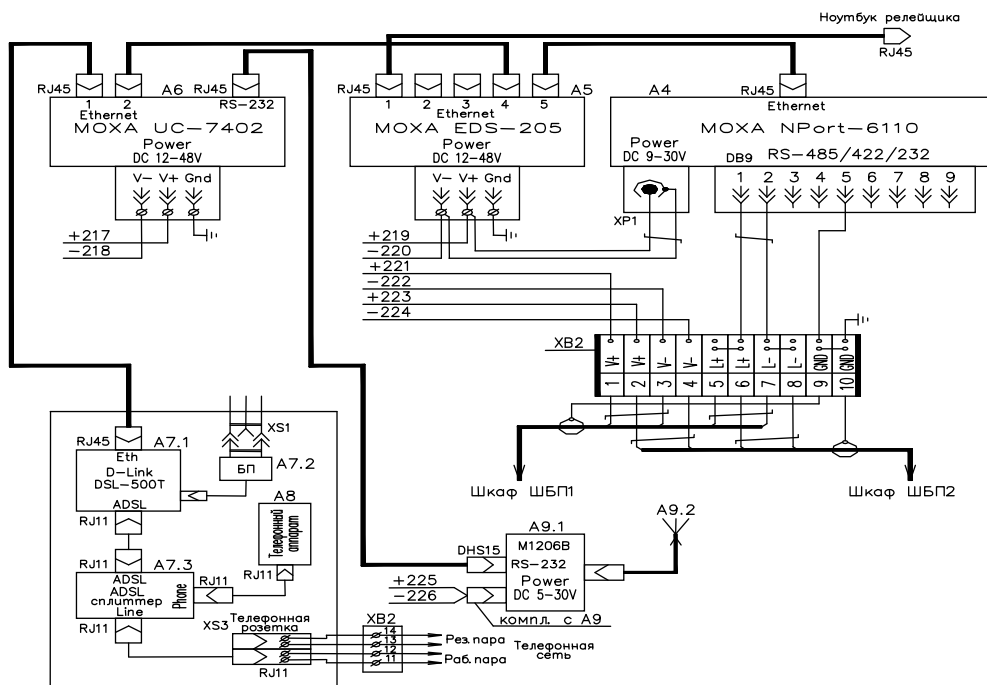


Рис. 3. Система диспетчеризации ТП

В пределах подстанции обмен информацией с устройствами SEPAM 1000+ выполняется по сети RS-485 с протоколом Modbus/RTU при помощи модулей связи ACE949-2. Для подключения модулей связи ACE-942 к локальной сети используются устройства MOXA NPort 6110, представляющие собой преобразователь (шлюз) протоколов Modbus/ASCII/RTU (RS-485/232) в протокол Modbus/TCP (локальная сеть Ethernet).

Для передачи информации от подстанции на диспетчерский пункт используются каналы ADSL (основной) и GSM/GPRS (резервный). Повышение надежности работы системы гарантируется двойным комплектом АРМ диспетчера.

АСУ работой КНС. Современное состояние инженерных сетей и электрооборудования канализационных насосных станций (КНС) многих российских городов является критическим из-за большой изношенности и отсутствия автоматизации [14, 15]. Наиболее важными техническими задачами модернизации КНС, приводящими к быстрой окупаемости, надежной работе и минимальным ущербам от аварий, являются:

- замена центробежных насосов (Н) на погружные с новой запорной арматурой и обратных клапанов с целью исключения аварийных режимов «завоздушивания» гидросистем нагнетания и неустойчивого срабатывания аппаратуры;

- управление работой Н в кратковременных режимах $S2$ путем включения-отключения асинхронных двигателей (АД), чем обеспечиваются наилучшие характеристики;

- исключение гидроударов в трубопроводах и бросков тока в обмотках АД благодаря использованию устройств мягкого пуска (УМПП) с программируемыми диаграммами процессов, что снижает эксплуатационные расходы и увеличивает долговечность системы;

- применение надежного вспомогательного электрооборудования (АБП, датчиков охраны, систем вентиляции, дренажа и отопления) с управлением от контроллера (МКУиА);

- использование системы датчиков (тока, напряжения, температуры, уровня, давления, времени работы, расхода электроэнергии и стоков в характерных точках) с интерфейсом для оперативной индикации и передачи информации через антенно-фидерное устройство (АФУ);

- внедрение системы телемеханики и диспетчеризации (ПТД) с двумя каналами радио-Ethernet с визуализацией и протоколированием текущей и статистической информации.

Две последние технические задачи являются системными, наиболее сложными и адаптированными под конкретные реализации КНС. Разработаны варианты структурных схем [1] автоматизации, локальных систем измерения данных (СИДП) КНС различной мощности и конфигурации оборудования. В штатном режиме СИДП функционирует следующим образом (рис. 4): измеряются показания датчиков, архивируются в резидентной памяти и ожидается вызов от радиомодема (РМ) ПТД; после вызова и установления связи считываются архив и текущие данные и разрывается связь. Полный цикл обмена определяется объемом информации, форматом и скоростью обмена, определяемыми конкретным типом РМ и интерфейса.

Для передачи в диспетчерский пункт информации о расходе электроэнергии, напряжении и токе по вводам счетчики подключаются к локальной сети через модуль шлюза RS-232/485/Ethernet типа ADAM-4570 (Advantech). Для измерения уровня жидкости в резервуаре используются 2 устройства контроля уровня САУ-М7Е («Овен») с кондуктометри-

ческими или поплавковыми датчиками уровня. Для управления насосами и обмена информацией с диспетчерским пунктом используется программируемый контроллер ПЛК100 («Овен») под управлением системы программирования CoDeSys. Программа ПЛК составляется на языке релейно-контактных схем. Для передачи в сеть информации от электрических счетчиков, теплового счетчика и расходомеров используется шлюз RS-232/485/Ethernet ADAM-4570. Для передачи информации от КНС на диспетчерский пункт в качестве основного канала используется оборудование АФУ беспроводной сети стандарта 802.11b/g (Wi-Fi, для частотного диапазона 2,4 ГГц) фирмы D-Link.

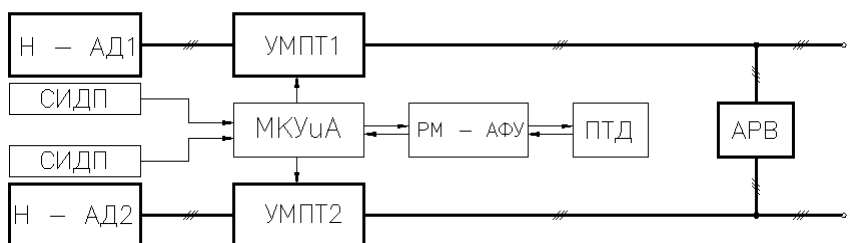


Рис. 4. Функциональная схема локальных систем измерения данных КНС

Государственная комиссия по радиочастотам в настоящее время разрешила юридическим и физическим лицам применение устройств, использующих технологию расширения спектра, в полосе частот 2400–2483,5 МГц (т.е. устройств стандарта 802.11b/g) для создания радиосетей передачи данных без частотного планирования и на безлицензионной основе, при максимальной эквивалентной изотропно-излучаемой мощности (ЭИИМ) не больше 100 мВт. Фактически программируемые контроллеры всех КНС и АРМ диспетчерского пункта объединяются в сеть, протокол обмена информации TCP/IP. Контроллеры подключаются к точкам доступа DWL-2100AP по интерфейсу Ethernet.

АФУ состоит из многофункциональной беспроводной точки доступа для сетей предприятий (DWL-2100AP) и параболической антенны с высоким коэффициентом усиления (ANT24-2100, 21 dBi) с подключением к беспроводным устройствам D-Link стандартов 802.11b и 802.11g (2,4 ГГц). В качестве запасного канала используется проводной канал (выделенные физические пары и маршрутизаторы D-Link DSL-1501G) или GSM/GPRS-канал.

Данная система обеспечивает автономную работу насосов КНС по управлению, сбору и передаче информации с ПТД или со встроенной

клавиатуры. При этом оптимизируется моторесурс механизмов, программируются конфигурации датчиков с настройкой параметров измерений, отображаются настройки, режимы и параметры на ЖКИ. ПТД на базе стандартного ПК обеспечивает графический интерфейс пользователя, управление опросом через РМ, полную визуализацию принятых данных, аудио- и видеосигнализацию нештатных ситуаций, хранение в формате реляционных баз данных в режиме круглосуточной непрерывной работы.

АСУ водооборотными системами с вентиляторными градирнями. При охлаждении оборотной воды с помощью вентиляторных градирен на температуру охлажденной воды большое влияние оказывают технологические и метеорологические факторы (температура и влажность воздуха, атмосферное давление, интенсивность ветра, осадков и др.), которые носят случайный характер [1, 6, 16]. В связи с этим величина температуры охлажденной воды значительно меняется, ухудшая оптимальную работу оборудования и эффективность технологических процессов. Автоматизированная система регулирования температуры охлажденной воды [17–23] содержит (рис. 5) теплообменный аппарат – вентиляторную градирню, электропривод вентилятора, датчики температуры охлажденной воды и внешних воздействий (температуры и влажности воздуха, подачи и температуры горячей воды), блок расчета скорости вращения вентилятора по регрессионным алгоритмам ПЧ с ПИ-регулятором скорости и законом управления $U/f^2 = \text{const}$.

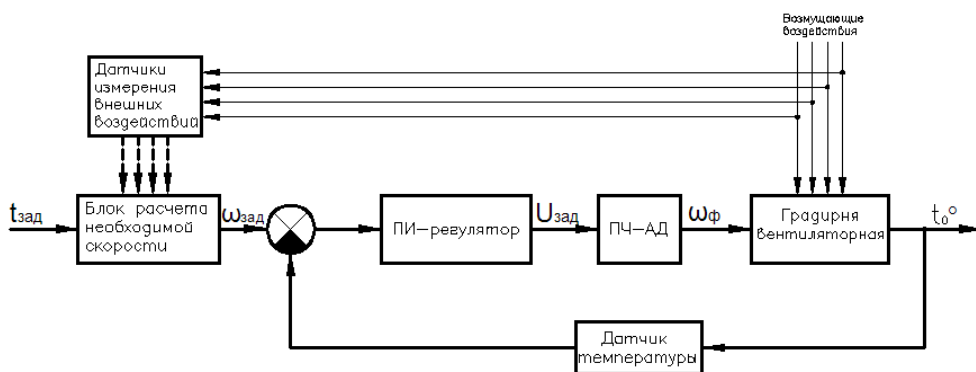


Рис. 5. Система частотного регулирования электропривода вентилятора градирни

Техническим результатом АСУ водооборота является строгое соблюдение параметров основного технологического процесса, в частности температуры охлажденной воды, что позволяет повысить произво-

дительность и качество выпускаемой продукции. АСУ электропривода вентиляторной градирни содержит следующие блоки [1, 23]:

- термопреобразователи сопротивления для измерения температуры с точностью Pt100;
- преобразователи аналоговых сигналов от термопреобразователей сопротивления в цифровые данные, передаваемые в ПК по локальной сети Ethernet (ADAM 6015);
- преобразователи токовых сигналов (4–20 мА), передаваемые по сети Ethernet (ADAM 6017);
- шлюзы передачи данных по RS-485 с протоколом Modbus от ПЧ Altivar61 и МК насосных станций холодной и горячей воды, передаваемые по сети Ethernet (ADAM 4572);
- коммутатор локальной сети Ethernet;
- пост диспетчера с ПК (2 шт.), мониторами, принтером и источниками питания.

Аппаратура автоматизации комплектуется в стандартный 19-дюймовый сетевой шкаф, расположенный непосредственно у оператора. Для подключения датчиков предусмотрены кабели МКЭШ, локальная сеть Ethernet выполняется кабелем «витая пара 5-й категории».

Выводы. Таким образом, в настоящее время все оборудование сетей Ethernet (коммутаторы, маршрутизаторы, концентраторы, шлюзы, разъемы и т.п.) переводится на промышленное исполнение и способно воспринимать производственные нагрузки, характерные для различных отраслей и технологических процессов [24–27]. При этом современные промышленные сети Ethernet обеспечивают возможность сокращения длины кабельных сетей без установки защитных оболочек за счет использования более простой распределенной схемы подключения (вместо централизованной) и обладают повышенной надежностью по сравнению с аналогами коммерческого (офисного) Ethernet. Промышленные требования по степени защиты (например, NEMA 4х или IP67 и выше), предъявляемые к аппаратуре Ethernet, предусматривают способность оборудования выдерживать экстремальные значения температур (в пределах от –40 до 85 °С) и даже воздействие жидкости и пыли, сохраняя надежную работоспособность в течение нескольких лет.

Чтобы исключить наибольшую долю дополнительных затрат на защитные оболочки кабелей Ethernet, предохраняющие от повреждений и обеспечивающие монтаж их в 19-дюймовые стойки, используются

ударопрочные пластмассы и резиновые материалы Tусо Electronics. Кроме воздействия экстремальных температур аппарата промышленных сетей Ethernet выдерживает скачки напряжений питания (IEEE-472), сильной вибрации (IEC 68-2-6), а также в опасных зонах (UL 1604, CSA C22.2/213 (Class 1,Div.2)). Отнесение промышленных коммутаторов Ethernet к классу Class 1, Div.2 позволяет эксплуатировать их в опасных зонах при наличии легковоспламеняющихся газов или частиц, в частности, в нефтегазовой, полупроводниковой, целлюлозно-бумажной, горнодобывающей отраслях.

Еще в 2006 г. доля продукции для сетей Ethernet составила 76 % общего рынка товаров для промышленной автоматизации, а к 2011 г. доля сетевых и шинных технологий Ethernet увеличилась до 81 % рынка объемом в 1 млрд долларов. Это обусловлено еще и тем, что системы промышленного Ethernet доступны обслуживающему персоналу и рассчитаны на минимальную поддержку с применением простых инструментальных средств и использованием интерфейса для просмотра данных либо конфигурации, аналогично веб-браузеру. В этом случае заводской персонал сможет обслуживать и контролировать систему самостоятельно, не обращаясь к помощи высококвалифицированных IT-специалистов.

Библиографический список

1. Крюков О.В., Киянов Н.В. Электрооборудование и автоматизация водооборотных систем предприятий с вентиляторными градирнями: монография. – Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2007. – 260 с.
2. Milov V.R., Suslov V.A., Kryukov O.V. Intellectual management decision support in gas industry // Automation and Remote Control. – 2011. – Т. 72. – № 5. – С. 1095–1101.
3. Крюков О.В., Горбатушков А.В., Степанов С.Е. Принципы построения инвариантных электроприводов энергетических объектов // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: тр. IV Всерос. конф. / под общ. ред. В.Ю. Островляничка. – Новокузнецк, 2010. – С. 38–45.
4. Крюков О.В. Коммуникационная среда передачи данных сети Ethernet на полевом уровне различных объектов // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 12. – С. 26–30.

5. Крюков О.В. Опыт создания энергоэффективных электроприводов газоперекачивающих агрегатов // Тр. VIII Междунар. (XIX Всерос.) конф. по автоматизир. электроприводу АЭП-2014: в 2 т. / отв. за вып. И.В. Гуляев. – Саранск, 2014. – Т. 2. – С. 157–163.

6. Крюков О.В. Прикладные задачи теории планирования эксперимента для инвариантных объектов газотранспортных систем // Идентификация систем и задачи управления, SICPRO `12: материалы IX Междунар. конф. – М.: Изд-во Ин-та проблем управления им. В.А. Трапезникова, 2012. – С. 222–236.

7. Крюков О.В. Интеллектуальные системы мониторинга электроприводных компрессорных станций // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. – 2014. – № 1. – С. 249–258.

8. Крюков О.В. Моделирование и микропроцессорная реализация электромеханических систем // Электротехника: сетевой электрон. науч. журнал. – 2015. – Т. 2. – № 3. – С. 55–61.

9. Крюков О.В. Особенности релейной защиты и автоматики вдоль трассовых линий электропередачи // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2015. – № 5–6. – С. 25–32.

10. Крюков О.В. Система оперативно-диспетчерского управления подстанциями компрессорных цехов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2014. – № 1. – С. 43–45.

11. Kryukov O.V., Serebryakov A.V. Modern systems of outdoor illumination for compressor stations // Light & Engineering. – 2016. – Vol. 24. – № 2. – С. 128–131.

12. Крюков О.В., Серебряков А.В. Применение светодиодных систем на компрессорных станциях // Главный энергетик. – 2016. – № 3. – С. 50–56.

13. Крюков О.В., Серебряков А.В. Современные системы наружного освещения компрессорных станций // Светотехника. – 2016. – № 1. – С. 15–17.

14. Крюков О.В. Электрооборудование и автоматизация комплекса канализационных насосных станций // Автоматизация в промышленности. – 2011. – № 12. – С. 31–34.

15. Вожаков А.В., Крюков О.В., Лисин Н.Г. О причинах недостаточно эффективного построения и эксплуатации систем автоматизации // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 2. – С. 38–47.

16. Крюков О.В. Регрессионные алгоритмы инвариантного управления электроприводами при стохастических возмущениях // *Электричество*. – 2008. – № 9. – С. 45–51.

17. Крюков О.В., Степанов С.Е., Бычков Е.В. Инвариантные системы технологически связанных электроприводов объектов магистральных газопроводов // *Тр. VIII Междунар. (XIX Всерос.) конф. по автоматизиров. электроприводу АЭП-2014: в 2 т. / отв. за вып. И.В. Гуляев*. – Саранск, 2014. – С. 409–414.

18. Захаров П.А., Крюков О.В. Методология инвариантного управления агрегатами компрессорных станций при случайных воздействиях // *Известия вузов. Электромеханика*. – 2009. – № 5. – С. 64–70.

19. Захаров П.А., Крюков О.В. Принципы инвариантного управления электроприводами газотранспортных систем при случайных возмущениях // *Вестник Иванов. гос. энергетич. ун-та*. – 2008. – № 2. – С. 98–104.

20. Пужайло А.Ф., Крюков О.В., Рубцова И.Е. Энергосбережение в агрегатах компрессорных станций средствами частотно-регулируемого электропривода // *Наука и техника в газовой промышленности*. – 2012. – № 2(50). – С. 98–106.

21. Концепция разработки инвариантных автоматизированных электроприводов для водооборотных систем с вентиляторными градирнями / Н.В. Киянов, О.В. Крюков, Д.Н. Прибытков, А.В. Горбатушков // *Электротехника*. – 2007. – № 11. – С. 62–68.

22. Крюков О.В. Стратегии инвариантных электроприводов газотранспортных систем // *Интеллектуальные системы: тр. XI Междунар. симпоз. / под ред. К.А. Пупкова*. – М.: Изд-во РУДН, 2014. – С. 458–463.

23. Kryukov O.V. Electric drive systems in compressor stations with stochastic perturbations // *Russian Electrical Engineering*. – 2013. – Vol. 84. – С. 135–138.

24. Серебряков А.В., Крюков О.В. О новых возможностях технологий Smart Grid // *Электрооборудование: эксплуатация и ремонт*. – 2013. – № 2. – С. 47–48.

25. Серебряков А.В., Крюков О.В. Оптимизация управления автономными ветроэнергетическими установками в условиях стохастических возмущений // *Промышленная энергетика*. – 2013. – № 5. – С. 45–49.

26. Милов В.Р., Суслов Б.А., Крюков О.В. Интеллектуализация поддержки управленческих решений в газовой отрасли // *Автоматизация в промышленности*. – 2009. – № 12. – С. 16–20.

27. Серебряков А.В., Крюков О.В., Васенин А.Б. Нечеткие модели и алгоритмы управления ветроэнергетическими установками // Управление в технических, эргатических, орг. и сетевых системах: материалы конф. / под ред. С.Н. Васильева. – М.: Изд-во Ин-та проблем управления им. В.А. Трапезникова. – 2012. – С. 467–469.

References

1. Kriukov O.V., Kiiianov N.V. Elektrooborudovanie i avtomatizatsiia vodooborotnykh sistem predpriatii s ventiliatornymi gradirniami [Electrical equipment and automation of water circulation systems of enterprises with mechanical-draft towers]. Nizhegorodskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni R.E. Alekseeva, 2007. 260 p.

2. Milov V.R., Suslov B.A., Kryukov O.V. Intellectual management decision support in gas industry. *Automation and Remote Control*, 2011, vol. 72, no. 5, pp. 1095-1101.

3. Kriukov O.V., Gorbatushkov A.V., Stepanov S.E. Printsipy postroeniia invariantnykh elektroprivodov energeticheskikh ob"ektov [Principles of invariant electric power facilities design]. *Trudy IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Avtomatizirovannyi elektroprivod i promyshlennaia elektronika"*. Novokuznetsk, 2010, pp. 38-45.

4. Kriukov O.V. Kommunikatsionnaia sreda peredachi dannykh seti Ethernet na polevom urovne razlichnykh ob"ektov [Data transfer communication environment of Ethernet network at the field level of different objects]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2012, no. 12, pp. 26-30.

5. Kriukov O.V. Opyt sozdaniia energoeffektivnykh elektroprivodov gazoperekachivaiushchikh agregatov [Creation experience of energy-efficient electric motors for gas-compressor units]. *Trudy VIII Mezhdunarodnoi (XIX Vserossiiskoi) konferentsii po avtomatizirovannomu elektroprivodu AEP-2014*. Saransk, 2014, vol. 2, pp. 157-163.

6. Kriukov O.V. Prikladnye zadachi teorii planirovaniia eksperimenta dlia invariantnykh ob"ektov gazotransportnykh sistem [Applied tasks of experimental design theory for the invariant objects of gas transportation system]. *Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Identifikatsiia sistem i zadachi upravleniia (SICPRO'12)"*. Moscow: Institut problem upravleniia imeni V.A. Trapeznikova, 2012, pp. 222-236.

7. Kriukov O.V. Intellektual'nye sistemy monitoringa elektroprivodnykh kompressornykh stantsii [Monitoring intellectual systems of the

electric gas-compressor stations]. *Energetika. Innovatsion-nye napravleniia v energetike. CALS-tehnologii v energetike*, 2014, no. 1, pp. 249-258.

8. Kriukov O.V. Modelirovanie i mikroprotsessornaia realizatsiia elektromekhanicheskikh sistem [Simulation and microprocessor implementation of electromechanical systems]. *Elektrotehnika: setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal*, 2015, vol. 2, no. 3, pp. 55-61.

9. Kriukov O.V. Osobennosti releinoi zashchity i avtomatiki vdol' trassovykh linii elektroperedachi [Protection relay and automatic features along the right –of-the-way power transmission line]. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiia i remont*, 2015, no. 5-6, pp. 25-32.

10. Kriukov O.V. Sistema operativno-dispetcherskogo upravleniia podstantsiiami kompressornykh tsekhov [Operational-dispatching office systems of compressor section substations]. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiia i remont*, 2014, no. 1, pp. 43-45.

11. Kryukov O.V., Serebryakov A.V. Modern systems of outdoor illumination for compressor stations. *Light & Engineering*, 2016, vol. 24, no. 2, pp. 128-131.

12. Kriukov O.V., Serebriakov A.V. Primenenie svetodiodnykh sistem na kompressornykh stantsiiakh [Application of light-emitting diode systems at compressor stations]. *Glavnyi energetik*, 2016, no. 3, pp. 50-56.

13. Kriukov O.V., Serebriakov A.V. Sovremennye sistemy naruzhnogo osveshcheniia kompressornykh stantsii [Modern exterior lighting systems of compressor stations]. *Svetotekhnika*, 2016, no. 1, pp. 15-17.

14. Kriukov O.V. Elektrooborudovanie i avtomatizatsiia kompleksa kanalizatsionnykh nasosnykh stantsii [Electrical facilities and automation of sewerage pumping stations]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2011, no. 12, pp. 31-34.

15. Vozhakov A.V., Kriukov O.V., Lisin N.G. O prichinakh nedostatochno effektivnogo postroeniia i ekspluatatsii sistem avtomatizatsii [The reasons for non-efficient automation system construction and operation]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2012, no. 2, pp. 38-47.

16. Kriukov O.V. Regressionnyye algoritmy invariantnogo upravleniia elektroprivodami pri stokhasticheskikh vozmushcheniiakh [Regressive algorithms of invariant control by electric drives at the time of stochastic perturbation]. *Elektrichestvo*, 2008, no. 9, pp. 45-51.

17. Kriukov O.V., Stepanov S.E., Bychkov E.V. Invariantnye sistemy tekhnologicheski svyazannykh elektroprivodov ob"ektov magistral'nykh

gazoprovodov [Invariant systems of technically connected gas pipeline objects electric drives]. *Trudy VIII Mezhdunarodnoi (XIX Vserossiiskoi) konferentsii po avtomatizirovannomu elektroprivodu AEP-2014*. Saransk, 2014, vol. 2, pp. 409-414.

18. Zakharov P.A., Kriukov O.V. Metodologiya invariantnogo upravleniya agregatami kompressornykh stantsii pri sluchainykh vozddeistviyakh [Methodology of the unambiguous unit management with the compressor plants during the random actions]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Elektromekhanika*, 2009, no. 5, pp. 64-70.

19. Zakharov P.A., Kriukov O.V. Printsipy invariantnogo upravleniya elektroprivodami gazotransportnykh sistem pri sluchainykh vozmushcheniyakh [The principles of the invariant control electronic gas transportation systems with random perturbations]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2008, no. 2, pp. 98-104.

20. Puzhailo A.F., Kriukov O.V., Rubtsova I.E. Energoberezhenie v agregatakh kompressornykh stantsii sredstvami chastotno-reguliruемого elektroprivoda [Power saving in gas compressor stations by means of adjustable -frequency electric drive]. *Nauka i tekhnika v gazovoi promyshlennosti*, 2012, no. 2(50), pp. 98-106.

21. Kiiyanov N.V., Kriukov O.V., Pribytkov D.N., Gorbatushkov A.V. Kontseptsiya razrabotki invariantnykh avtomatizirovannykh elektroprivodov dlia vodooborotnykh sistem s ventilatornymi gradirnyami [Development Strategy of the unambiguous automatic electric drive for the water run-around systems with the fan cooling towers]. *Elektrotekhnika*, 2007, no. 11, pp. 62-68.

22. Kriukov O.V. Strategii invariantnykh elektroprivodov gazotransportnykh sistem [Strategy of the invariant electric gas transportation systems]. *XI Mezhdunarodnyi simpozium "Intellektual'nye sistemy"*, 30 June – 4 July 2014. Moscow: Rossiiskii universitet druzhby narodov, 2014, pp. 458-463.

23. Kryukov O.V. Electric drive systems in compressor stations with stochastic perturbations. *Russian Electrical Engineering*, 2013, vol. 84, pp. 135-138.

24. Serebriakov A.V., Kriukov O.V. O novykh vozmozhnostiakh tekhnologii Smart Grid [New opportunities of Smart Grid Technology]. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiya i remont*, 2013, no. 2, pp. 47-48.

25. Serebriakov A.V., Kriukov O.V. Optimizatsiia upravleniia avtonomnymi vetroenergeticheskimi ustanovkami v usloviakh stokhasticheskikh vozmushchenii [Optimization of wind driven generators control under the stochastic perturbation conditions]. *Promyshlennaia energetika*, 2013, no. 5, pp. 45-49.

26. Milov V.R., Suslov B.A., Kriukov O.V. Intellectualizatsiia podderzhki upravlencheskikh reshenii v gazovoi otrasli [Support intellectualization of managerial decision making in gas sector]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2009, no. 12, pp. 16-20.

27. Serebriakov A.V., Kriukov O.V., Vasenin A.B. Nechetkie modeli i algoritmy upravleniia vetroenergeticheskimi ustanovkami [Fuzzy models and the wind power plant control algorithms]. *Materialy konferentsii "Upravlenie v tekhnicheskikh, ergaticheskikh, organizatsionnykh i setevykh sistemakh"*. Moscow: Institut problem upravleniia imeni V.A. Trapeznikova, pp. 467-469.

Сведения об авторе

Крюков Олег Викторович (Нижний Новгород, Россия) – доктор технических наук, доцент, главный специалист АО «Гипрогазцентр» (603950, Н. Новгород, ГСП-926, ул. Алексеевская, 26, тел./факс. (831)428-25-84, e-mail: o.kryukov@ggc.nnov.ru).

About the author

Kryukov Oleg Victorovich (Nizhny Novgorod, Russian Federation) is a Doctor of Technical Science, Associate Professor, Main Expert of JSC «Giprogazcenter» (603950, Nizhny Novgorod, 26, Alekseevskaya str., GSP-926, tel./fax.: (831)428-25-84, e-mail: o.kryukov@ggc.nnov.ru).

Получено 16.02.2017