

УДК 658.264:004.4

Ю.Н. Дементьев, доцент, PhD, канд. техн. наук¹,

Б.Н. Фешин, профессор, д-р техн. наук², А.Б. Крицкий, ст. преподаватель^{1,2}

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет
проспект Ленина, 30, г. Томск, Россия, 634050*

E-mail: tpu@tpu.ru

² *Карагандинский государственный технический университет
ул. Бульвар Мира, 56, г. Караганда, Казахстан, 100027*

E-mail: kargtu@kstu.kz; bfeshin@mail.ru

МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МЕГАПОЛИСОВ

Построение систем мониторинга и управления параметрами электротехнических комплексов систем теплоснабжения мегаполисов предполагает решение множества задач исследования, проектирования, внедрения, наладки и настройки локальных и комплексных средств контроля и регулирования.

Предлагается программно-аппаратный стенд-имитатор, на котором существует возможность решения этих задач.

Ключевые слова: мониторинг, стенд, имитация, электропривод, насосы, теплоснабжение, частотное, управление, информация, технология.

Введение

Состояние теплоснабжающих комплексов мегаполисов (ТКМ), характеризующее правильность функционирования ТКМ, оценивается путем сравнения десятков тысяч расчетных и фактических параметров агрегатов насосных станций (НС), тепловых и индивидуальных тепловых пунктов (ИТ и ИТП), контрольных пунктов (КП), центральных диспетчерских пунктов (ЦДП) и в узлах магистральных тепловых сетей (МТС).

В [1] разработана иерархическая информационно-управляющая технология оптимизации функционирования теплоснабжающих комплексов мегаполисов в которой осуществляется мониторинг параметров ТКМ и автоматизированное управление на НС, ИТ, ИТП, КП, ЦДП и МТС. Требуемого состояния ТКМ создается элементами электротехнического комплекса (ЭК), поэтому есть смысл конкретизировать, что в настоящей работе понимается под ЭК. Основная цель ТКМ – это доставка и распределение теплоносителя с заданными параметрами до потребителей, которыми являются коммунальные, промышленные, административные здания и сооружения мегаполиса.

Доставка теплоносителя осуществляется насосными агрегатами (НА). Количество НА определяется размерами ТКМ, топографическими и климатическими характеристиками районов ТКМ, формализованными в базе данных геоинформационной системы (ГИС). Современные представления о ТКМ основываются на использовании частотно-регулируемых асинхронных электроприводах насосных агрегатов на насосных станциях в прямой и обратных магистралях ТКМ. Существующие (и постепенно устанавливаемые) регулируемые задвижки в узлах магистральной тепловой сети должны иметь двухпозиционный, а лучше регулируемый в пределах расходных характеристик регулирующих органов (РО), одно- и много- оборотные исполнительные механизмы (ИМ) с электроприводами.

Современные ИМ для РО теплоэнергетических систем имеют полный комплект средств мониторинга их состояния, локального управления от промышленных логических контроллеров (ПЛК), дистанционного управления наладчиками ТКМ в местах установки ИМ и автоматизированного управления диспетчерами системы оперативно-диспетчерского управления ТКМ средствами SCADA-систем. Управление насосными агрегатами и мониторинг параметров на НС, ИТ, ИТП, КП, ЦДП и в узлах МТС осуществимы изделиями с унифицированными электрическими сигналами, оснащенными средствами взаимодействия с локальными и глобальными информационными сетями.

С учетом перечисленных фактов и целей информационно-управляющей технологии в состав электротехнических комплексов ТКМ входят:

- системы электроснабжения оборудования ЭК;
- частотно-управляемые электроприводы насосных агрегатов;
- средства сбора, обработки и передачи информации (датчики, преобразователи...) в местах её возникновения;
- ПЛК локальных систем автоматизации;
- электроприводы систем автоматизации задвижек в НС и на МТС;
- средства передачи информации от ПЛК к электроприводам ИМ МТС и НС;
- локальные сети, соединяющие ПЛК локальных систем автоматизации и мониторинга с управляющими ЭВМ верхнего уровня оперативно-диспетчерского управления ТКМ;

- управляющие ЭВМ и ЭВМ общего применения, выполняющие функциональные задачи в структуре информационно-управляющей технологии (ИУТ) ТКМ;
- телекоммуникационные системы, обеспечивающие связь и объединение удаленных элементов ИУТ ТКМ (сети Internet и Intranet);
- операционное и специализированное программное обеспечение на всех уровнях автоматизации и мониторинга ТКМ;
- специальные программные средства, реализующие систему планирования и принятия решений (СППР) средствами ГИС ТГИД-05 интегрированной с SCADA-системами;
- базы и банки данных СППР и ИУТ.

Оценка размерности объекта

Проведем анализ размерности технологических подсистем, составляющих иерархическую интегрированную информационно-управляющую технологию оптимизации функционирования ТКМ.

Одной из задач ИУТ является расчет задающих воздействий для частотно-управляемых электроприводов насосных агрегатов ТКМ с целью обеспечения заданного потокораспределения в магистральных тепловых сетях, т.е. непосредственно у каждого ИТ, ИТП, КП. Возможность решения подобной задачи определяется комплексным выполнением функций элементов ЭК ТКМ, а в рамках ТКМ множество НА и НС составляют объект иерархической многосвязной системы управления функционированием ТКМ. Обозначим количество управляемых переменных этой системы как m , а для мегаполиса, имеющего $n_{\text{чел}} \geq 500\,000$ жителей, будем считать размерность магистральной тепловой сети, пропорциональной количеству узлов, как $n_{\text{сети}} \approx n_{\text{чел}}/5$. Тогда m прямопропорционально количеству частотно-управляемых асинхронных электроприводов насосных агрегатов и может быть $m = 4, \dots, 60$ и более.

Система планирования и принятия решений, интегрированная с SCADA-системами, имеет размерность не менее $n_{\text{сети}}$. Оперативно-диспетчерская система управления и мониторинга насосных станций может иметь размерность массивов переменных не менее $n_{\text{нс}} \geq (4 \div 10)m$. Оперативно-диспетчерская система управления и мониторинга (ОД СУиМ) магистральных тепловых сетей, в каждом узле которой для оценки и изменения состояния прилегающих к узлу ветвей необходимо измерять температуру и давление теплоносителя в прямой и обратных магистралях и, возможно, изменять расходы, будет иметь размерность массивов переменных не менее $n_{\text{мтс}} \geq (2 \div 5) n_{\text{сети}}$.

Оценка размерности переменных в функции $n_{\text{чел}}$ позволяет сделать вывод о отношении ИУТ к большим системам управления и контроля. Внедрение, испытание и опытная эксплуатация подобных систем сопряжены с множеством проблем, ключевой из которых являются запредельные для правообладателей ТКМ материальные и финансовые затраты, необходимые на модернизацию теплоснабжающих комплексов мегаполисов в Республики Казахстан. Возможно, что и во многих регионах Российской Федерации наблюдается подобная ситуация.

Стенд-имитатор теплоснабжающих комплексов мегаполисов

Создание систем оперативного контроля, мониторинга и управления параметрами ТКМ на базе информационно-графических систем планирования и принятия решений типа ТГИД-05, интегрированных с SCADA-системами [1], требуют системного подхода, учитывающего множество задач организационного, юридического, финансового, технического, математического и программно-алгоритмического характера, выполнить которые, в рамках проекта [1], пока не представляется возможным.

На настоящем этапе проекта принято решение о создании виртуально-аппаратного стенда-имитатора ТКМ с супервизорной системой управления, в котором объединяются: стенд-имитатор (далее — стенд 1) частотно-регулируемых насосных агрегатов; стенд-имитатор интеллектуального исполнительного механизма (далее — стенд 2); виртуальная модель ТКМ; ИГС СППР; SCADA-система; автоматизированная система научных исследований на базе программного комплекса LabView; система мониторинга и управления параметрами ТКМ на базе специализированной облачной технологии. Виртуально-аппаратный стенд позволит осуществить процесс разработки и отладки: многосвязной иерархической системы управления электроприводами насосных агрегатов множества насосных станций ТКМ; систем контроля и мониторинга параметров ТКМ; контроля и управления интеллектуальными электрофицированными задвижками на магистральных сетях.

Стенд-имитатор частотно-регулируемых насосных агрегатов

Стенд 1 создан по специальному Договору подряда предприятием «Мехатроника-Про» [2]. Стенд-имитатор включает: электродвигатель постоянного тока мощностью 0,5 кВт; асинхронный электродвигатель мощностью 0,5 кВт и синхронной скоростью 1500 об/мин; датчик крутящего момента силы; датчик обратной связи с разрешением 2000 дискрет/оборот; блок питания (преобразователь напряжения) двигателя постоянного тока; блок питания (преобразователь частоты) асинхронного

двигателя; блок тормозных резисторов; блоки электрических измерений (2 шт.) для двигателя постоянного тока и асинхронного двигателя; блок цифровой индикации крутящего момента силы и скорости вращения; компьютер.

На стенде предусмотрена возможность взаимного нагружения двигателей. Для обеих машин используются преобразователи с возможностью реализации режимов динамического торможения (со сбросом энергии на тормозные резисторы). Преобразователи имеют возможность программирования в среде MexBIOS [2] с изменением структуры и параметров системы управления, а также существует дополнительная возможность управления по стандартным аналоговым и цифровым интерфейсам (RS-485 и/или RS-232). Блоки питания содержат дифференциальные автоматы для подачи питания. На блоках предусмотрены выводы для обеспечения возможности измерения токов, напряжений, мощности на входе и выходе преобразователей.

Предусмотрена возможность переключения с ручного управления на автоматическое. Специальные блоки электрических измерений предусматривают измерение (расчет) мощности, тока, напряжения и других электрических величин с возможностью вывода информации на компьютер. Встроенное программное обеспечение для преобразователей электродвигателей обеспечивает: управление асинхронным электродвигателем (с обратной связью и без обратной связи); управление двигателем постоянного тока (с обратной связью и без обратной связи); формирование произвольной механической характеристики нагрузки (момент в функции скорости вращения), в том числе вентиляторной характеристики; возможность изменения структуры и параметров программного обеспечения через визуальную среду разработки программ.

Стенд-имитатор интеллектуального исполнительного механизма

Магистральные тепловые сети мегаполисов на прямых и обратных ветвях оснащаются регулируемыми и не регулируемыми задвижками. Количество подобных устройств в первом приближении пропорционально $2n$, где n – количество узловых соединений. Предпочтительно иметь задвижки с интеллектуальными системами управления и контроля, но суммарная стоимость подобной распределенной многомерной системы может быть соизмерима со стоимостью затрат на монтаж и обслуживание самих тепловых сетей. Заинтересованность в интеллектуальных системах контроля и управления задвижками магистральных тепловых сетей реализована в одном из возможных вариантов стенда 2.

На рисунке 1 в виде блоков изображен Стенд 2 состоящий из следующих основных устройств: прибор контроля положения задвижки или затвора ПКП1Т; измеритель, ПИД-Регулятор ТРМ212.СС; измеритель-регулятор одноканальный ТРМ201.И; измеритель-регулятор одноканальный ТРМ201.Р; блок управления тиристорами и симисторами БУСТ; преобразователь температуры измерительный НТП1; эмулятор печи ЭП10; затвор с электроприводом ГЗ-ОФ; модуль сбора данных МСД200; панель оператора ИП320; преобразователь интерфейсов АС4.

Стенд имеет два объекта контроля и управления – электрифицированную задвижку и имитатор отопительной системы, 4 контура управления, а так же систему диспетчеризации и связи с ПЭВМ.

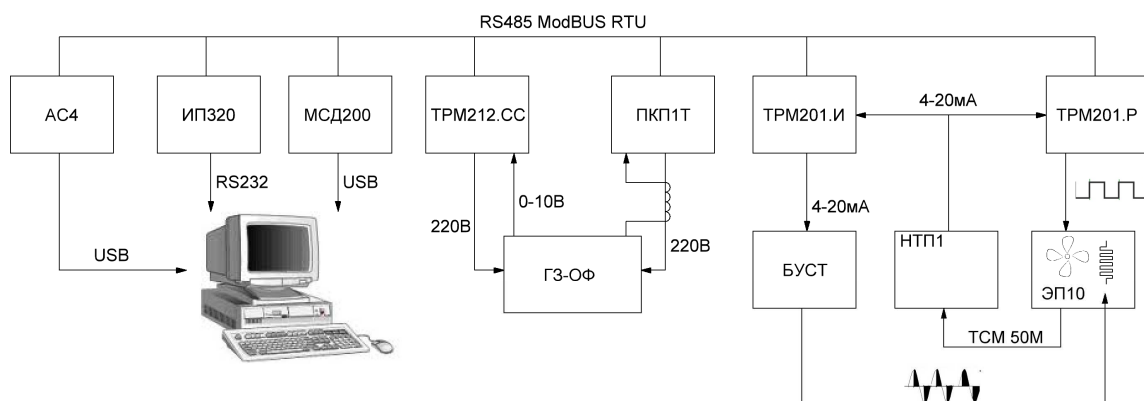


Рисунок 1 – Функциональная схема стенда-имитатора интеллектуального исполнительного механизма

Контролируемые параметры могут подвергаться архивированию и представляются в цифровом или графическом виде (графики, тренды). Архивация позволяет проводить анализ работы технологической системы за определенный период времени, выяснять причины аварий, периодических неисправностей или снижения качества работы. Мониторинг и диспетчеризация оборудования стенда реализуется на базе изделий фирмы «Овен» и программных средств свободно распространяемой среды MasterSCADA.

Главные функции SCADA-системы: считывание текущей температуры ЭП10 и изображение ее в тренде; считывание степени открытия гидрозатвора, отображение значения на стрелочном индикаторе; динамический ввод уставок для приборов ПКП1, ТРМ201.Р и ТРМ201.И; настройка верхней и нижней границ входных сигналов с датчиков; установка гистерезисов; ввод параметров цифровых фильтров: постоянной времени и полосы пропускания; сдвиг и наклон характеристик датчиков; ввод верхней и нижней границы задания уставки; задание типа логики регулятора; установка весовых коэффициентов для аналоговых входов; установка коэффициентов ПИД-регулятора для ТРМ212; индикация всех типов аварий.

На рисунке 2 изображена структура физических интерфейсных и программных связей стенда-2.

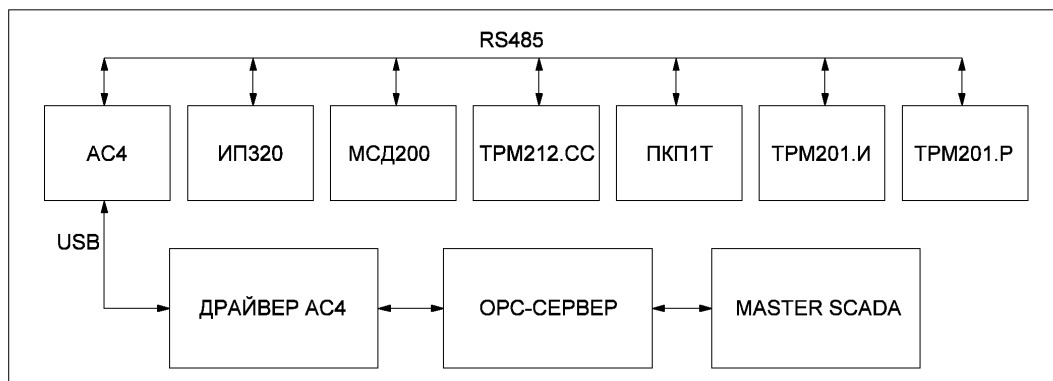


Рисунок 2 – Схема связи стенда-имитатора и SCADA-системы

Автоматизированная система научных исследований

Системы теплоснабжения мегаполисов и их электротехнические комплексы функционируют в условиях существенных внешних и внутренних стохастических возмущений. Дополнение стенда 1 ПЭВМ с лицензионным программным обеспечением LabVIEW Professional Development System версии 2012 года, разработанным фирмой National Instruments [3], позволяет решать множество задач регистрации случайных переменных, их оценки, хранения, а также идентификации статических и динамических характеристик электроприводов, систем управления и контроля элементов ТКМ. В рамках виртуального стенда – имитатора ТКМ автоматизированная система научных исследований (АСНИ) на базе LabVIEW интегрируется с ИГС ТГИД-05 и SCADA-системами.

Система мониторинга и управления параметрами ТКМ

Теплоснабжающие комплексы мегаполисов как многомерные и распределенные объекты контроля и управления требуют использования не стандартных подходов к построению систем мониторинга и управления параметрами ТКМ. Для реальных ТКМ, и для стенда-имитатора ТКМ, предполагается реализовать подобную систему на базе принципов «облачных технологий».

Основная идея этой информационной технологии [4]: «... Ты можешь не иметь никаких программ на своём компьютере, а иметь только выход в Интернет. Всё основное располагается в Интернете, и то, что тебе нужно, получишь там....», в настоящей работе трансформируется в ряд этапов.

1. Сервер, коммутатор, Ethernet-адаптеры, 6 рабочих мест (тонкий клиент), 24 ноутбука (клиентские машины), стенд 1 с собственной ПЭВМ и ПЭВМ АСНИ, стенд 2 с собственной ПЭВМ, ПЭВМ с ИГС СППР и ТГИД-05, сервисное оборудование (источники бесперебойного питания, принтеры, сканеры, графические экраны и т.п.) — составляют аппаратное обеспечение стенда-имитатора ТКМ. 24 ноутбука установлены в учебных лабораториях.

2. Системное, сетевое, специальное программное (лицензионное программное обеспечение типа LabVIEW, SCADA Winn CC, EXCEL, MatLab, MATCAD, STEP 7 и др.) устанавливается на сервере и доступно для рабочих мест и клиентских машин по каналам локальной и глобальной сети.

3. Дифференцируются процессы и события таких атрибутов, как хранилище, сеть, технологии виртуализации, средства мониторинга и управления между сервером, рабочими станциями и клиентскими машинами.

4. Применительно к задачам разработки информационно-управляющей технологии оптимизации функционирования теплоснабжающих комплексов[1], стенд-имитатор ТКМ позволяет осуществить отладку программного обеспечения, процессоров внедрения и эксплуатации систем мониторинга и управления элементами электротехнического комплекса ТКМ. Сопутствующим результатом создания стенда-имитатора являются собственно стенд 1, стенд 2, учебные лаборатории,

имеющие доступ к лицензионному программному обеспечению, а также перспективная обучающая методика на базе принципов «облачных технологий».

Виртуально-аппаратный стенд-имитатор ТКМ

На стенде-имитаторе ТКМ нет возможность реализовать физический аналог магистральных сетей и абонентских нагрузок. Остается вариант, заключающийся в использовании программного обеспечения ИГС ТГИД-05 и баз данных, содержащих ситуационные состояния конкретных ТКМ в качестве виртуальных аналогов этих ТКМ. Тогда потребуется программная составляющая, возможно загруженная в область специального программного обеспечения сервера, выполняющая функции логического согласования взаимодействия компонентов стенда-имитатора при условии выбора реально возможной ситуации (технологической, аварийной, планово-ремонтной и т.п.) в ТКМ, имитируемой виртуально средствами ИГС и программно-аппаратно на стенде 1, стенде 2, а также на рабочих станциях и клиентских машинах.

Супервизорная система управления

Информационно-управляющая технология оптимизации функционирования теплоснабжающих комплексов, разрабатываемая в рамках проекта [1], не является системой, работающей в режиме реального времени. Подобный режим управления необходим в момент появления аварийных и чрезвычайных состояний, и в этих случаях работают системы защиты, блокировки и аварийной сигнализации. Во всех остальных режимах ТКМ контроль и управление технологическими подсистемами осуществляется в режиме разделения времени, а непосредственно оптимальные управления утверждаются на верхнем иерархическом уровне и здесь можно говорить о реализации принципа супервизорного управления (*super* (лат) – сверху, *visio* (лат) – видеть, то есть: наблюдающая (видящая) сверху).

Многосвязность и многомерность объекта исследования – магистральных тепловых сетей, приводит к тому, что надежное прогнозирование значений параметров, характеризующих состояние сетей и абонентских нагрузок после введения каких либо корректирующих действий (связанных с ремонтом, настройкой, наладкой, модернизацией и/или реконструкцией сети и абонентов), возможно расчетным путем с помощью ИГС типа ТГИД-05. Последующая проверка результатов корректировки на реальной сети, путем сравнения расчетных и фактических параметров (полученных средствами SCADA-систем), позволяет организовать итерационный процесс уменьшения отклонений параметров и последующего принятия решений (средствами СППР), реализуемых на магистральной сети. В ТКМ, оснащенных частотно-регулируемыми электроприводами насосных агрегатов и электрофицированными интеллектуальными задвижками, описанный выше процесс позволяет определить множество задающих воздействий на системы автоматического регулирования электроприводов (САР ЭП) насосных агрегатов и системы управления задвижками.

Вопрос динамического управления электроприводами насосных агрегатов в переходных режимах не является однозначным, так как структура и параметры оптимальных САР ЭП НА существенно зависят от ситуационного состояния ТКМ, технических характеристик электропривода и насосного агрегата, синоминутного критерия оптимизации САР ЭП. Здесь возможен подход к выбору оптимальной САРЭП, заключающийся в анализе структур и параметров САР ЭП средствами программного обеспечения стенда 1 (т.е. в среде МехBIOS [2]), проверке результатов на физическом стенде, накоплении модельных и физических результатов в базе данных ТКМ. В последующем, в зависимости от ситуационного режима ТКМ, супервизорной системой управления извлекаются из базы данных возможные варианты САР Эп и рекомендуются для реализации на конкретных электроприводах насосных агрегатов.

Выводы

1. Подготовка проведения наладочных, реставрационных, модернизационных работ и внедрения новых информационных технологий управления на магистральных тепловых сетях, составляющих «кровеносную» основу теплоснабжающих систем мегаполисов, может осуществляться на стенде-имитаторе.

2. Стенд-имитатор ТКМ, в котором интегрируются виртуальные и физические модели-аналоги технологических элементов ТКМ, а также современные системы мониторинга, контроля и управления параметрами электротехнических комплексов и магистральных тепловых сетей мегаполисов, является эффективным средством обучения персонала ТКМ, студентов и магистрантов специальностей с электротехнической и информационно-управляющей специализацией.

Библиографический список использованной литературы

1. Информационно-управляющие технологии оптимизации функционирования теплоснабжающих комплексов / Б.Н. Фешин, Н.И. Томилова, А.Б. Крицкий, А.А. Калинин, Г.И. Паршина // Вестник автоматизации. — Алматы, 2013. — № 1 (39). — С. 36–39.
2. Дементьев Ю.Н. Автоматизированный стенд-имитатор насосных агрегатов с частотно-управляемым электроприводом / Ю.Н. Дементьев, А.Б. Крицкий. // Труды университета: журнал КарГТУ, Караганда. — 2013. — № 4. — С. 82–86.
3. Джеффри Тревис. LabVIEW для всех / Джеффри Тревис; пер. с англ. Клушин Н.А. — М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. — 544 с.
4. Облачные вычисления. — Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>

Поступила в редакцию 14.09.2014 г.

Дементьев Ю.Н., Фешин Б.Н., Крицкий А.Б. Моніторинг і управління параметрами електротехнічних комплексів систем теплопостачання мегаполісів

Побудова систем моніторингу та управління параметрами електротехнічних комплексів систем теплопостачання мегаполісів припускає рішення безлічі завдань дослідження, проектування, впровадження, наладки та налаштування локальних і комплексних засобів контролю і регулювання.

Пропонується програмно-апаратний стенд-імітатор на якому існує можливість рішення цих завдань.

Ключові слова: моніторинг, стенд, імітація, електропривод, насоси, теплопостачання, частотне, управління, інформація, технологія.

Dementyev Y.N., Feshin B.N., Kritsky A.B. Monitoring and management in parameters of electrotechnical complexes of the megalopolises heat supply systems

Creation of monitoring and management systems in parameters of electrotechnical complexes of megalopolises heat supply systems assumes the solution to set some problems of research, design, introduction, adjustment and control of local and complex control devices and regulation.

Keywords: monitoring, stand, simulation, electric actuator, pump arrangement, heat supply system, variable-frequency control, information, technology.