

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ТРАНСФОРМАТОРНЫМИ ПОДСТАНЦИЯМИ

Ю.А. ФАЛЕВ, А.В. СИМАГИНА, А.А. ЩЕТИНИН, О.В. КРЮКОВ
(ООО «ТСН-электро», г. Нижний Новгород)



Рассмотрен метод снижения затрат энергоресурсов на обеспечение технологических процессов на объектах ТЭК с использованием результатов разработки и внедрения автоматизированной системы управления энергоснабжением. Проведены исследования по повышению эффективности производственных процессов с предложением разработки и внедрения методов и средств управления АСУ ТП, обеспечивающих оптимизацию эксплуатационных режимов и управление ими с целью снижения затрат на собственные нужды.

Ключевые слова: трансформаторная подстанция; автоматизированная система управления; распределительное устройство; система электроснабжения, интегрированная информационно-управляющая система.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими факторами повышения конкурентоспособности и снижения затрат в системах электроснабжения являются повышение энергоэффективности и надежности функционирования топливно-энергетической отрасли, особенно на удаленных объектах [1-4]. Это относится, в первую очередь, к трансформаторным подстанциям (ТП) (рис. 1), как основным и наиболее сложным для оптимизации элементам систем электроснабжения [5-8].

Повышение эффективности управления объектами ТП может быть достигнуто за счёт совершенствования методов и средств контроля и управления всеми технологическими объектами, участвующими в технологических процессах предприятий ТЭК [9-12].

Реализация задач энергоэффективности связана с экономически эффективным использованием всех видов электрической и тепловой энергии, дизельного топлива, идущего на собственные нужды объектов. Новая Концепция энергосбережения предполагает снижение потребления электроэнергии на собственные нужды, водопотребления и расхода тепла на объектах в несколько раз [13-15]. Поэтому совершенствование управления ТП связано с разработкой и внедрением информационно-управляющих систем, использующих новые вычислительные средства, системы автоматизации и передачи данных [16-20]. Высококачественное протекание процессов в основных технологических процессах зависит от оптимизации процессов и во вспомогательных системах электро-, тепло- и водоснабжения, обслуживающих ТЭК [21-24].

В этой связи актуальным становится вопрос разработки и создания автоматизированных систем управления энергоснабжением (АСУЭ), в составе которой создаются отдельные подсистемы управления и контроля процессов электро-, тепло-, водоснабжения и водоотведения. Автоматизированная система АСУЭ разрабатывается и создается в рамках



Рис. 1. Общий вид трансформаторной подстанции удаленного объекта ТЭК

“Программы внедрения системы оперативно-диспетчерского управления (СОДУ) ЕЭС России” как подсистема интегрированной АСУ ТП и войдет составной частью в структуру СОДУ ЕЭС России. Структура СОДУ АСУЭ создается для низшего уровня управления (пост управления цеха) и является источником информации для верхних уровней информационно-управляющей системы энергоснабжения объектов ТЭК.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ СОДУ АСУЭ

В качестве объектов автоматизации системы электроснабжения выступают ЗРУ-10 кВ, КТП, выпрямительные устройства и другие технологические установки. Данные объекты включаются в автоматизированную систему управления электроснабжением (АСУ ЭС) объектов ТЭК (рис. 1). Кроме того, в рамках создания АСУЭ создается подсистема АСКУЭР – автоматизированная система комплексного учёта энергоресурсов, задачей которой является учёт теплоты, воды, промышленных стоков, а также электроэнергии на промышленных площадках [25-28]. Объектами автоматизации АСКУЭР являются объекты водоснабжения (насосные водозаборные сооружения, насосные 1-го и 2-го подъема и т.д.), объекты теплоснабжения (в основном, котельные), водоотведения (столовая, мойка машин, гараж и т.д.), очистные сооружения и другие объекты энергообеспечения. Снижение затрат на технологических объектах достигается за счёт комплексной автоматизации учёта и интеграции автоматизированных систем учёта отдельных объектов в единый информационно-организационный комплекс. Учёт энергоносителей в АСКУЭР следует предусматривать по следующим параметрам: расходы тепловой энергии, горячей и холодной воды; расход сбросов промышленных стоков в канализацию; расход электроэнергии; потребляемая электрическая мощность.

При создании информационно-управляющих систем энергетических объектов в настоящее время широко используются современные SCADA-системы (*Supervisory Control And Data Acquisition*) [29, 30]. Однако очевиден наблюдаемый разрыв между возможностями SCADA-систем и существующим уровнем автоматизации диспетчерского управления. Замена полноценного автоматизированного управления выполнением функции контроля

и протоколирования часто связана с отсутствием в системах управления математических моделей и алгоритмов диспетчерского управления. В связи с этим, решение задач оптимизации управления технологическими процессами на компрессорных станциях с использованием информации о состоянии подсистем АСУЭ (АСУ ЭС, АСКУЭР) представляется наиболее ответственным этапом проектирования.

С этой целью проведены исследования по повышению эффективности производственных процессов на типовой КС с предложением разработки и внедрения методов и средств управления АСУ ТП, обеспечивающими оптимизацию эксплуатационных режимов КС и управление ими с целью снижения затрат на собственные нужды. При этом:

- проанализирована вся нормативно-техническая база и особенности интегрирования новых систем в систему оперативно-диспетчерского управления ЕЭС России;
- разработаны методики нормирования потребления электроэнергии на собственные нужды, водопотребления и расхода тепла, основанные на математических укрупненных моделях, описывающих работу КС;
- проанализированы критерии и законы оптимизации, связывающие объем затрат на собственные нужды КС с технологическими параметрами перекачиваемой среды;
- разработаны методологии построения автоматизированной системы управления энергоснабжением и её подсистем АСКУЭР, АСУ ЭС на компрессорных станциях;
- разработаны алгоритмы автоматического контроля, управления и регулирования технологическими режимами КС, направленные на нормирование потребления электроэнергии на собственные нужды, водопотребления и расхода теплоты.

В этой связи в рамках решения этих задач были, например, выявлены проблемы, связанные с явным выделением области ответственности создаваемой системы АСУЭ и её подсистем, связей с другими элементами многоуровневой системы диспетчерского управления. При этом, оптимальная структура построения информационно-управляющей системы энергохозяйства (ИУСЭ) газотранспортных предприятий с позиции существующих нормативных документов должна включать в себя системы автоматического управления теплоснабжением (САУ Т), водоснабжением (САУ В) и канализационно-очистными сооружениями

(САУ КОС), а также автоматизированные системы коммерческого (АСКУЭ), технического учета (АСТУЭ), систему учета тепло-, водоснабжения и водоотведения (САУ ТВС).

Методология нормирования потребления электроэнергии на собственные нужды наиболее органично может быть построена на основе применения теории статических и динамических нейронных сетей с упрощенной формализацией математического описания всех объектов управления. При этом используются все преимущества параллельных вычислений с простотой реализации алгоритмов в компьютерах. Кроме того, нейро-нечеткая система прогнозирования потребления энерго-ресурсов на собственные нужды обеспечивает оперативный анализ всех технологических процессов в режиме “on-line”, прогноз технического состояния оборудования, а также идентификацию нечетких моделей и алгоритмов самообучения интегрированных СОДУ КС.

В силу сказанного можно утверждать, что автоматизация процессов ОДУ весьма актуальная и перспективная задача. В первую очередь на этом пути следует решить проблему поддержки процесса выработки управляющего решения. С этой целью для технологических комплексов добычи и промышленной подготовки газа необходимо обеспечить автоматизированными процедурами процессы:

- оценки эффективности хода процессов на основе системы показателей качества;
- текущего ситуационного анализа;
- распознавания ситуаций их классификации;
- интерпретации событий;
- экспертно-аналитических оценок;
- моделирования производственно-технологических процессов с целью прогнозирования их развития.

Появление подобного комплекса функциональных возможностей в состоянии принципиально изменить роль человека-оператора за счет снижения доли риска, определяемого особенностями человеческого фактора, повысить качество управленческих решений, обеспечить повышение эффективности производства в целом.

Базовая задача построения качественных АСУ ТП – это повышение *эффективности функционирования* технологического объекта достигаемое при оптимальном управлении. Её решение предполагает введение системы согласованных критериев оптимально-

сти, в смысле которых и должна пониматься эффективность. Очевидно, что требование оптимальной работы автоматизированного технологического комплекса может формулироваться как в ретроспективном, так и в текущем времени. Последнее условие означает перспективу перехода к адаптивным системам управления с элементами самоорганизации и, возможно, самообучения.

Эффективность управления должна быть тесно увязана с понятиями технологической и экономической эффективности, для чего необходимо построить согласованную интегрированную систему показателей эффективности и соответствующую ей методику оценки эффективности иерархических АСУ.

Выработка эффективных управляющих решений на уровне предприятия не может быть в полной степени обеспечена детерминированными процедурами. В первую очередь это обуславливается такими факторами как случайное развитие событий, в самой ГТС и за ее пределами. Решением может служить внедрение принципов ситуационного управления процессами на высших уровнях иерархии производственно-технологического комплекса и предприятия в целом. Подобный подход требует расширения функционально-целевого назначения оперативно-диспетчерских пунктов и служб до уровня центров ситуационного управления.

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИУС

Формирование ситуационных центров управления энергетического предприятия и ГТП, обеспечивающих эксплуатацию объектов, может быть актуальным также с точки зрения стратегии реструктуризации отрасли, в результате которой степень самостоятельности отдельных объектов может повышаться. В силу этого обстоятельства все более актуальными будут являться задачи взаимодействия каждого предприятия с внешними партнерами: смежными ГТП, потребителями (российскими и зарубежными), а также вышестоящими органами управления отраслью. Рассмотрим конкретную реализацию на примере объектов нефтегазовой отрасли.

Реализация функций ситуационного управления на уровнях участков и предприятия в целом, а также оценка эффективности производственно-технологических процессов на всех уровнях управления долж-

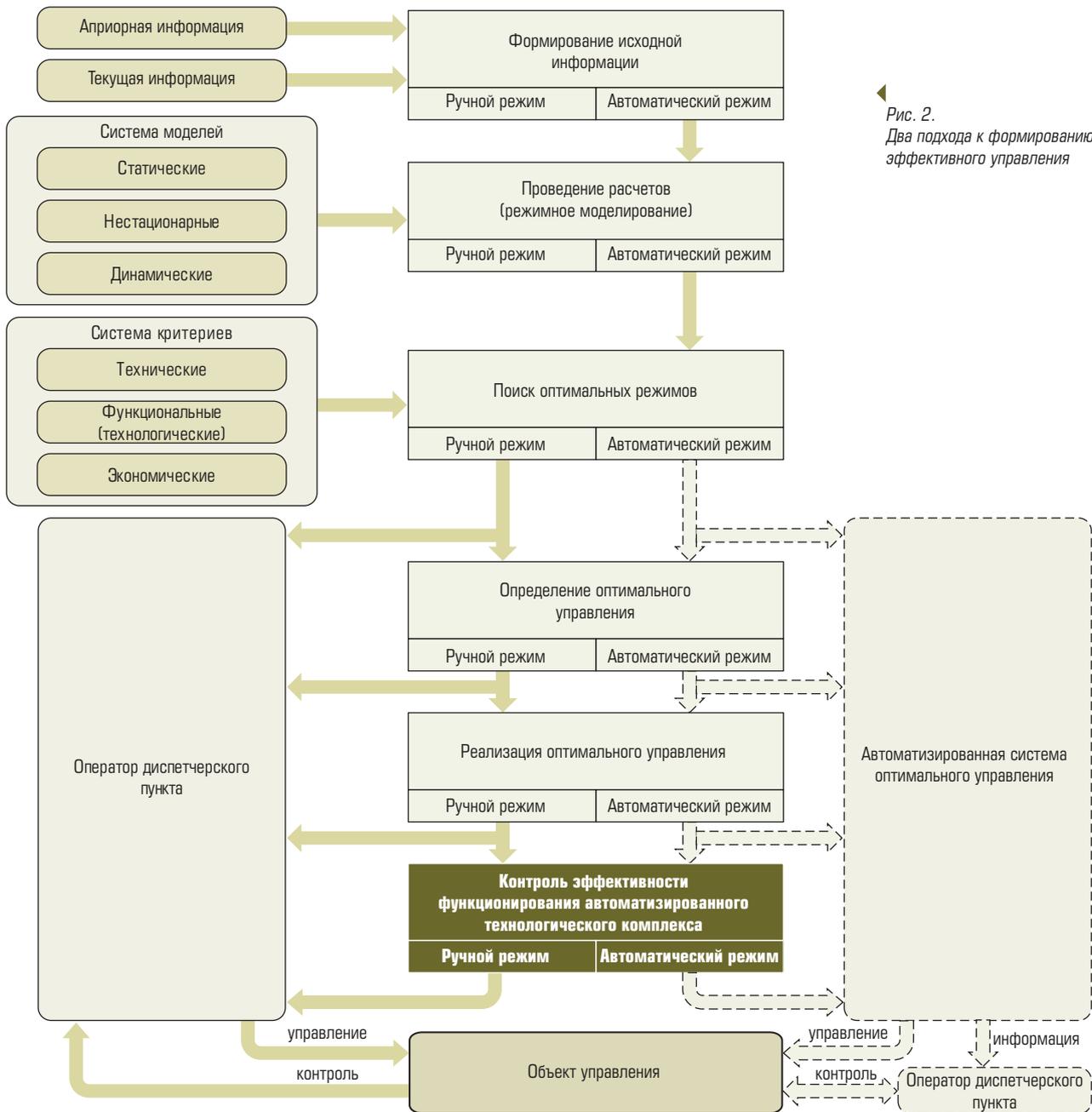


Рис. 2. Два подхода к формированию эффективного управления

но обеспечиваться в рамках интегрированной информационно-управляющей системы (ИИУС). В контексте рассматриваемых проблем ИИУС должна включать в себя систему оценки эффективности, моделирующие комплексы и системы ситуационного управления.

Таким образом, предлагаемое решение построения системы поддержки оперативно-диспетчерского управления, предполагает наличие следующих основных подсистем (рис. 2):

- подсистема обмена данными с технологическими объектами;
- подсистема формирования текущих показателей (часть СОЭ);
- подсистема сигнального анализа, выявления событий и оценки эффективности процессов (является частью СОЭ);
- экспертно-аналитическая подсистема (обеспечивает текущий анализ, распознавание, классификацию и интерпретацию ситуаций);
- подсистема ситуационного управления, включающая в себя банк ситуаций и процедуру выработки рекомендаций;
- подсистема текущего моделирования ТП;
- подсистема хранения данных.

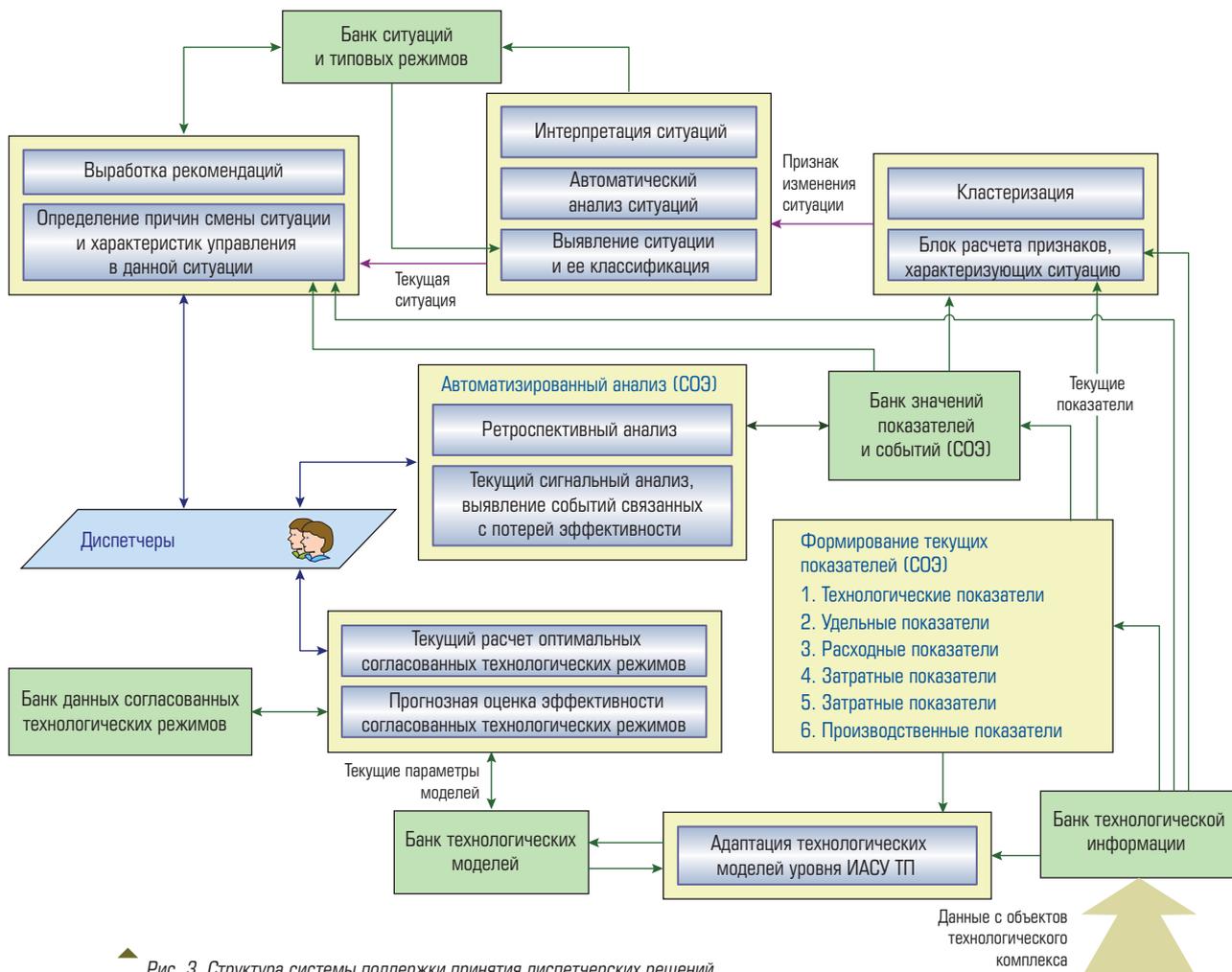


Рис. 3. Структура системы поддержки принятия диспетчерских решений

Сформулированный выше перечень функциональных задач определяет, по сути, соответствующий состав необходимых подсистем для реализации процедур выявления ситуаций, их интерпретации, формирования и обоснования наиболее эффективных управляющих решений персонала АСУ ТП или диспетчера ОПУ ПТК.

Рассмотрим краткую характеристику основных составляющих подсистем СППДР по структуре, приведенной на рис. 3.

ПОДСИСТЕМА ОБМЕНА ДАННЫМИ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Подсистема связи с технологическим объектом обеспечивает систему поддержки диспетчерских решений технологической информацией, получаемой напрямую от технологических объектов средствами АСУ ТП с использованием стандартных протоколов, при-

нятых в системах диспетчерского управления. Одним из возможных вариантов реализации данной подсистемы является использование ОРС технологии, что позволяет получать посредством ОРС-серверов текущие технологические данные.

ПОДСИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКУЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Подсистема формирования текущих показателей предназначена для расчета оценок значений показателей эффективности хода производственно-технологических процессов. Такая обработка технологической информации позволяет превратить разрозненные данные работы локальных элементов ПТК в интегральные оценки качества процессов на всех его иерархических уровнях.

Сформированное множество показателей эффективности систематизировано по следующим функциональным группам:

- **Технологические показатели** – характеризуют качество физических процессов, происходящих в технологическом комплексе (например, КПД, удельные коэффициенты производительности).
- **Удельные показатели** – характеризуют соотношение между технологическими параметрами работы комплекса (например, электрическая мощность для охлаждения газа на 1 градус в АВО).
- **Расходные показатели** – определяют расход вещества (энергии) через контур или сечение (например, расход газа на скважине).
- **Затратные показатели** – характеризуют затраты материальных и энергетических ресурсов в технологическом комплексе (например, затраты топливного газа).
- **Ресурсные показатели** – оценивают затраты ресурса оборудования (например, наработка, количество остановов).
- **Производственные показатели** – интегральные оценки качества производственно-технологических процессов (например, интегральные производственные затраты в денежном выражении).

ПОДСИСТЕМА СИГНАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ВЫЯВЛЕНИЯ СОБЫТИЙ

Подсистема текущего сигнального анализа, ретроспективного сигнального анализа и выявления событий предназначена для проведения автоматизированного анализа поступающих технологических данных. Основной задачей данной подсистемы является предварительная обработка текущей информации, выявление событий, связанных с потерей эффективности, а также информационная поддержка процесса анализа ретроспективных данных диспетчером. Предварительная обработка информации осуществляется посредством процедур функционального сжатия информационных потоков, поступающих с управляемого объекта для повышения степени восприятия информации оператором. Кроме того, осуществляется оповещение оперативного персонала о фактах наступления важнейших событий, связанных со снижением эффективности производственных и технологических процессов. Выявление таких событий происходит на основании предварительно заданных правил, позволяющих контролировать не только значение показателей производственно-технологической эффективности, но и качество процессов управ-

ления и регулирования. Реализация функций анализа ретроспективных данных позволяет неоперативному персоналу отслеживать развитие производственно-технологических процессов во времени, производить выявление закономерностей и трендов. Она позволяет осуществлять сравнительные оценки хода процессов одновременно по нескольким различным критериям эффективности и использовать различные методы расчета статистических характеристик текущих значений показателей.

ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДСИСТЕМА

Главным функциональным предназначением данной подсистемы является обеспечение процесса принятия управляющих решений персоналом на основе аналитической информации, полученной в результате статистического, корреляционного, факторного анализа.

Для идентификации изменения текущей ситуации подсистема на основании текущих значений показателей эффективности и технологической информации производит расчет значений вектора признаков, ее характеризующих. На основании рассчитанного вектора значений в пространстве признаков, автоматически при помощи методов кластерного анализа определяется, произошел ли выход за границы допустимой области, относящейся к текущей ситуации или нет. Если выход произошел, то констатируется, что ситуация изменилась и необходимо произвести ее дальнейший анализ. На последующих этапах происходит автоматическая классификация выявленных ситуаций в соответствии с уже сформированными характеристическими областями в пространстве признаков, осуществляется ее оценка и интерпретация. В ходе этого процесса определяются возможные причины изменения ситуации и последствия, к которым это изменение может привести. Полученная информация поступает в банк ситуаций и подсистему ситуационного управления для анализа оперативным персоналом. Для интерпретации полученных данных используются процедуры причинно-следственного анализа. Они позволяют представлять результаты обработки не в виде набора величин, интерпретацию и сопоставление которых приходится выполнять оперативному персоналу, а в виде готовых рекомендаций. В основе причинно-следственного анализа лежат методы математической статистики, реализованные в виде

процедур оценки статистических критериев связи, формулирования статистических гипотез, их проверки и осуществления статистических выводов. В качестве меры тесноты связи используются специальные статистические критерии, уровень значимости которых проверяется с помощью статистик Стьюдента и Фишера. Все процедуры ПСА выполняются в автоматизированном режиме. На основании их анализа оперативный персонал осуществляет выводы о причинах неэффективной работы технологического комплекса, а также может производить обоснованные выводы о неоптимальности технологических режимов.

ПОДСИСТЕМА СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Для повышения эффективности управления в типовых ситуациях или в случае повторения производственной ситуации используется банк ситуаций и типовых режимов. Программные компоненты обеспечивают функции автоматизированного анализа и выработки рекомендаций в соответствии с деревом решений. Банк ситуаций позволяет хранить и использовать для управления шаблоны управляющих воздействий и режимов, соответствующих ситуациям, эффективность которых была проверена в прошлом. Банк ситуаций постоянно пополняется, исходя из анализа текущих ситуаций на производстве, на основании которого определяются типовые ситуации и рекомендованные режимы управления. На основании анализа текущей ситуации, причин ее возникновения, текущих режимов работы комплекса, а также рекомендованных и апробированных режимов работы в подобных ситуациях в прошлом вырабатываются рекомендации, направленные на повышение эффективности функционирования комплекса.

ПОДСИСТЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Подсистема технологического моделирования позволяет оперативному персоналу моделировать поведение технологического комплекса, перед реализацией управляющих воздействий. На основании результатов моделирования предполагаемого режима работы комплекса, рассчитываются прогнозные значения показателей эффективности. Наличие такого прогноза позволяет в последствии

оценивать изменение эффективности работы комплекса и выявлять причины отклонения значений показателей эффективности от прогнозных. Для повышения адекватности моделей подсистема моделирования содержит модуль адаптации, производящий текущую адаптацию моделей на основании получаемых с объекта данных. Проведение процедур моделирования, оперативным персоналом позволяет заранее спрогнозировать и проверить реакцию технологического комплекса на предполагаемые управляющие воздействия.

ПОДСИСТЕМА ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

Подсистема хранения данных системы поддержки диспетчерского управления обеспечивает хранение следующей информации:

- оценки эффективности хода ПТК;
- параметры ситуаций и соответствующих им режимов, а также управляющие воздействия, обеспечивающие эти режимы;
- актуализированные модели ТП комплекса;
- параметры согласованных режимов работы ПТК.

Кроме того, данная подсистема обеспечивает:

- контроль прав доступа как при работе на одном уровне системы, так и при межуровневом взаимодействии;
- обмен информацией между уровнями;
- доступ персонала верхних уровней ИИУС к данным нижних уровней, находящихся в зоне их ответственности;
- возможность экспорта и передачи данных в формате XML для взаимодействия со смежными системами;
- возможность хранения разнородной информации, получаемой с разными темпами и обладающей различными жизненными циклами, в соответствии с ее объектной и предметной ориентацией.

Примером системы формирования экспертно-аналитических оценок эффективности хода процессов с последующей интерпретацией событий может быть специализированная СОЭ, разработанная и реализованная в ООО «ГП ТГ Волгоград» как дополнительная подсистема к АСУ ТП КС.

Разработка СОЭ основана на следующих целевых установках:

- создание и внедрение технологий, реализующих информационные и аналитические функции поддержки диспетчерских (операторных) решений по управлению

технологическими процессами на уровне технологических комплексов добычи, промышленной подготовки и магистрального транспорта газа;

- удобство работы оперативного персонала и помощь в выработке диспетчерских решений в процессе контроля и управления технологическим оборудованием;
- формирование статистических данных по результатам мониторинга технологического процесса как в режиме реального времени, так и в ретроспективном режиме по результатам накопления информации. СОЭ обеспечивает:
- повышенную эффективность функционирования технологического объекта при соответствующем управлении, на базе введения системы согласованных критериев оптимальности, в смысле которых понимается эффективность;
- эффективность управления технологическим объектом, на основе согласованной интегрированной системы показателей эффективности и соответствующей методики оценки эффективности управления автоматизированными технологическими комплексами.

ВЫВОДЫ

Таким образом, создание СППР на основе СОЭ призвано решить задачу повышения эффективности диспетчерских систем управления электроэнергетикой трансформаторных подстанций, обеспечивающих оперативное управление производственно-технологическими комплексами в режиме реального времени.

Список литературы

1. *Kryukov O.V., Serebryakov A.V.* Energy efficient power supply systems of oil and gas pipelines electric drives // Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering. 2017, b. 17, № 3, p. 102-110.
2. *Крюков О.В., Степанов С.Е., Васенин А.Б.* Поддержка диспетчерских решений ГТС на базе оценки их энергоэффективности // Наука и техника в газовой промышленности. 2019, № 4(80), с. 171-81.
3. *Васенин А.Б., Хлынин А.С., Крюков О.В.* Новая система поддержки диспетчерских решений предприятий ТЭК по результатам их энергоэффективности // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2019, № 12(125), с. 116-24.
4. *Крюков О.В., Серебряков А.В.* Активно-адаптивные алгоритмы управления и мониторинга автономными энергетическими комплексами // В сборнике: Пром-Инжиниринг. Труды II МНТК. ЮУрГУ. 2016, с. 1286-290.
5. *Реализованные проекты ООО “ТСН-электро”.* Режим доступа: <https://www.tcn-nn.ru/>
6. *Кононенко А.Б., Косоротов А.А., Крюков О.В.* Новая система мониторинга и управления КРУ “Каскад” для обслуживания электрооборудования по фактическому состоянию // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. 2020, № 12, с. 119-27.
7. *Крюков О.В.* Варианты реализации телекоммуникационных систем объектов электроэнергетики // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2017, № 11(100), с. 116-22.
8. *Крюков О.В., Серебряков А.В., Макриденко Л.А., Волков С.Н., Сарычев А.П., Кобельков Н.О.* Мониторинг и прогнозирование технического состояния электромеханических систем энергетики // М.: АО “Корпорация ВНИИЭМ”. – 2017.
9. *Belousov A.S., Meshcheryakov V.N., Valtchev S., Kryukov O.V.* Development of a control algorithm for three-phase inverter in two-phase electric drives reducing the number of commutations // В сборнике: Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019. 2019, p. 1444-449.
10. *Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В.* Методология и средства оперативного мониторинга электродвигателей на КС // Контроль. Диагностика. 2019, № 11, с. 152-58.
11. *Мещеряков В.Н., Ласточкин Д.В., Крюков О.В.* Приложения теории нечетких множеств для обработки данных и задач прогнозирования в системах АЭП // В сборнике: Современные сложные системы управления. Материалы XII МНПК. 2017, с. 1153-158.
12. *Крюков О.В., Степанов С.Е.* Модернизация систем управления ЭГПА в условиях действующих компрессорных станций // В сборнике: Проблемы автоматизации и управления в технических системах. МНТК под редакцией М.А. Щербакова. 2013, с. 129-32.

13. *Крюков О.В., Серебряков А.В.* Экологические направления электроснабжения и задачи энергосбережения при реконструкции объектов // *Электрооборудование: эксплуатация и ремонт.* 2015, № 8, с. 123-33.
14. *Васенин А.Б., Крюков О.В.* Энергоэффективные и экологичные установки воздушного охлаждения // В сборнике: *Великие реки' 2017. Труды научного конгресса 19-го МНПФ. НГАСУ.* 2017, с. 193-96.
15. *Крюков О.В.* Комплексный анализ условий эксплуатации электродвигателей ГПА // *Компрессорная техника и пневматика.* 2013, № 4, с. 114-19.
16. *Крюков О.В.* Оптимальное управление технологическим процессом магистрального транспорта газа // В сборнике: *XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.* 2014, с. 4602-4613.
17. *Степанов С.Е., Крюков О.В.* Выбор методов мониторинга и прогнозирования технического состояния автоматизированных электроприводов энергетических объектов // *Контроль. Диагностика.* 2018, № 11, с. 132-39.
18. *Крюков О.В.* Коммуникационная среда передачи данных сети ETHERNET на полевом уровне различных объектов // *Автоматизация в промышленности.* 2012, № 12, с. 126-30.
19. *Крюков О.В., Степанов С.Е., Серебряков А.В.* Современный подход к организации ремонта по данным прогноза технического состояния и ресурса электрооборудования // *Газовая промышленность.* 2017, № 8(756), с. 184-89.
20. *Крюков О.В.* Интеграция ГТП на базе интеллектуальных систем принятия решений // *Компрессорная техника и пневматика.* 2016, № 4, с. 142-46.
21. *Крюков О.В., Мещеряков В.Н., Гуляев И.В.* Электроприводы на основе машины двойного питания и асинхронного вентильного каскада с преобразователями в цепях статора и ротора // *Саранск,* 2020.
22. *Крюков О.В.* Моделирование и микропроцессорная реализация электромеханических систем // *Электротехника: сетевой электронный научный журнал.* 2015, № 3, с. 155-61.
23. *Крюков О.В.* Автоматизированное нагружающее устройство для комплексных испытаний поршневых двигателей // *Двигателестроение.* 2016, № 2, с. 130-35.
24. *Воронков В.И., Рубцова И.Е., Крюков О.В.* Электроснабжение и электрооборудование линейных потребителей МГ // *Газовая промышленность.* 2010, № 3, с. 132-37.
25. *Kryukov O.V., Blagodarov D.A., Dulnev N.N., et al.* Intelligent control of electric machine drive systems // В сборнике: *2018 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2018 – Conference Proceedings 10.* 2018, p. 18571670.
26. *Репин Д.Г., Крюков О.В.* Концепты системы мониторинга технического состояния компрессорных станций // *Контроль. Диагностика.* 2017, № 12, с. 130-35.
27. *Воеков В.Н., Мещеряков В.Н., Крюков О.В.* Вентильный электропривод для погружных нефтяных насосов с импульсным повышающим преобразователем напряжения в звене постоянного тока ПЧ и релейным управлением инвертором напряжения // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика.* 2020, т. 20, № 2, с. 1110-119.
28. *Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В., Титов В.Г.* Реализация капсулированных электроприводных ГПА на объектах ПАО “Газпром” // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика.* 2020, т. 63, № 1, с. 131-37.
29. *Крюков О.В.* Алгоритмы быстрого преобразования Уолша в микропроцессорных системах управления электроприводом // *Известия ВУЗов. Электромеханика.* 2005, № 4, с. 139-44.
30. *Kryukov O.V., Gulyaev I.V., Teplukhov D.Y.* Method for stabilizing the operation of synchronous machines using a virtual load sensor // *Russian Electrical Engineering.* 2019, b. 90, № 7, с. 1473-478.

ООО “ТСН-электро”, г. Нижний Новгород

Фалев Юрий Алексеевич – ведущий инженер РЗА,

Симагина Анастасия Владимировна – инженер РЗА,

Щетинин Алексей Александрович – инженер-проектировщик,

Крюков Олег Викторович – докт. техн. наук, заместитель директора по науке.