

АКТУАЛЬНОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ АСУ ТП ЭНЕРГОБЛОКОВ

Рабенко В. С., к. т. н. (ИГЭУ), Назаров В.Е., инж. (ОАО «Костромская ГРЭС»), Карасев С.В., Еренков О.В., инж. (ОАО «ЭЛЕКТРОЦЕНТРОНАЛАДКА»)

В работе рассмотрены преимущества модернизации энергоблоков ТЭС полномасштабной АСУ ТП на базе отечественного программно-технического комплекса (ПТК) «Квинт» и создания тренажеров на базе виртуальных технологий для подготовки операторов котлотурбинных цехов (КТЦ) ТЭС.

Введение. Уровень автоматизации тепловой электростанции — один из самых важных показателей эффективности производства энергии и конкурентоспособности на рынке электроэнергии и мощности.

На большинстве Российских электростанций средства контроля и управления технологическим процессом производства энергии (АСУ ТП) морально и физически устарели. Уровень АСУ ТП большинства ТЭС уже не обеспечивает по надежности, качеству технических средств, объему функций и уровню информативности конкурентоспособность производства энергии [1,2,13].

Моральный износ аппаратуры контроля и управления технологическим процессом на энергетическом блоке на первый взгляд не приносит каких-либо экономических потерь. Однако ни для кого не секрет, что современные АСУ ТП позволяют значительно повысить точность регулирования определяющих экономичность работы параметров оборудования и качество ведения технологического процесса, что в свою очередь увеличивает срок службы оборудования. После внедрения современных систем управления значительно расширяется круг решаемых задач, по сравнению с традиционной аппаратурой. Так появляется возможность расчета технико-экономических показателей (ТЭП) работы оборудования в режиме «on-line». Другой важной опцией современного поколения АСУ ТП является анализ действия технологических защит, что позволяет повысить их надежность. Не следует так же забывать, что современные, более эргономичные средства предоставления информации о ходе технологического процесса позволяют значительно снизить ошибки оперативного персонала [3 - 5] котельного и турбинного цехов.

Дальнейшая эксплуатация устаревшей техники сопровождается ростом эксплуатационных затрат на запасные части и на ремонт. Кроме того, увеличение числа отказов в аппаратуре управления неизбежно ведет к более быстрому износу основного энергетического оборудования, а зачастую и к аварийным ситуациям, способным повлечь за собой большие финансовые потери.

Следующим не маловажным аргументом в пользу современной АСУ ТП, является возможность вывести подготовку оперативного персонала КТЦ и цеха АСУ на качественно новый уровень за счет создания тренажеров, выполненных на базе эксплуатируемого программно-технического комплекса (ПТК) [2,6]. Интеграция его с математической моделью технологических процессов блока дает возможность проходить персоналу подготовку на виртуальной модели энергоблока, которая ничем не отличается от реального энергетического блока с точки зрения процессов, управления и отображения информации [7,8].

Внедрение современного поколения АСУ ТП, в той или иной форме – вопрос времени для каждой тепловой станции.

Краткий обзор современных АСУ ТП на базе ПТК. В настоящее время на Российском рынке услуг для энергетики представлен довольно широкий ряд различных отечественных и зарубежных производителей современного поколения АСУ ТП на базе ПТК, позволяющих с тем или иным успехом решать задачи стоящие перед энергетиками в условиях функционирования рынка энергии и мощности. Полноценный программно-технический комплекс должен обеспечить:

- предоставление оперативному персоналу достаточной, достоверной и своевременной информации о протекании технологических процессов, о состоянии оборудования и технических средств АСУ ТП;

- автоматизированное управление технологическим оборудованием в нормальных, переходных, аварийных и специальных режимах работы;
- оптимальное ведение процесса с целью получения тепловой и электрической энергии заданного качества и количества;
- снижение эксплуатационных затрат и увеличение межремонтного периода за счет уменьшения числа обслуживаемой аппаратуры (по сравнению с традиционными средствами), минимального времени восстановления, а также облегчения изменения и наращивания функций при дальнейшей реконструкции;
- автоматическое ведение оперативной документации;
- выполнение расчетов ТЭП.

Вышеперечисленным требованиям отвечают далеко не все из рекламируемых, созданных и внедряемых в настоящее время АСУ ТП на базе ПТК (табл. 1).

Таблица 1. Перечень конкурентоспособных поставщиков полномасштабных АСУ ТП энергоблоков на базе современных ПТК для электростанций РФ

Фирма	Страна	Наименование ПТК	Основные объекты внедрения в РФ
Westinghouse	США	WDPF-2	Заинская ГРЭС
Westinghouse	США	Ovation	Ставропольская ГРЭС
ABB	Германия	PROCONTROL-P	Пермская ГРЭС
ABB	Германия	Freelance 2000	1) 'Владимирэнерго' ТЭЦ-2 2) ТЭЦ ОАО 'Калужский Турбинный Завод' 3) Тепловые сети МОСЭНЕРГО'
Siemens	Германия	Teleperm XP-R, ME	1) Пермская ГРЭС: блоки №1, 2 (800 МВт) 2) Березовская ГРЭС: бл. №1, 2 (800 МВт) 3) Рефтинская ГРЭС: бл. №10 (500 МВт)
НИИТеплоприбор	РФ	Квинт	См. ниже

Слабое место импортных систем управления, которое следует учитывать при выборе ПТК, это необходимость постоянно прибегать к дорогостоящим услугам фирм, занимающихся их внедрением. Проведенный нами анализ показывает, что для импортных систем достаточно сложно вносить какие-либо усовершенствования по результатам опыта эксплуатации.

Из российских систем, получивших в последнее время признание в энергетике, безусловным лидером является ПТК «Квинт», разработанный специалистами Государственного научно-исследовательского института теплоэнергетического приборостроения (ФГУП НИИТеплоприбор) при активном участии ОАО «Электроцентраладка» [9, 10]. При разработке ПТК «Квинт» основной целью ставилась максимальная адаптация его к условиям Российской энергетики [1,2].

Характеристика АСУ ТП на базе ПТК «Квинт». ПТК "Квинт" [9, 10] — это отечественный полнофункциональный программно-технический комплекс.

При создании АСУ ТП программно-технический комплекс «Квинт» обеспечивает решение всех задач автоматизации, связанных с управлением, защитой, предоставлением, хранением и передачей информации. Укрупненная структура ПТК «Квинт» представлена на рис. 1. Функции, выполняемые АСУ ТП на базе ПТК «Квинт»:

- информационные,
- управляющие,
- вспомогательные и сервисные,
- автоматизация проектирования АСУ ТП,
- информационная связь с резидентными ПТК.

Информационные функции обеспечивают сбор и предварительную обработку информации, регистрацию и накопление архивных данных, отображение и технологическую сигнализацию.

Управляющие функции обеспечивают дистанционное управление, автоматическое регулирование, логическое управление и технологические блокировки, организацию технологических защит и защитных блокировок.

Вспомогательные функции обеспечивают тестирование и самодиагностику устройств «Квинта», синхронизацию часов всех контроллеров и станций.

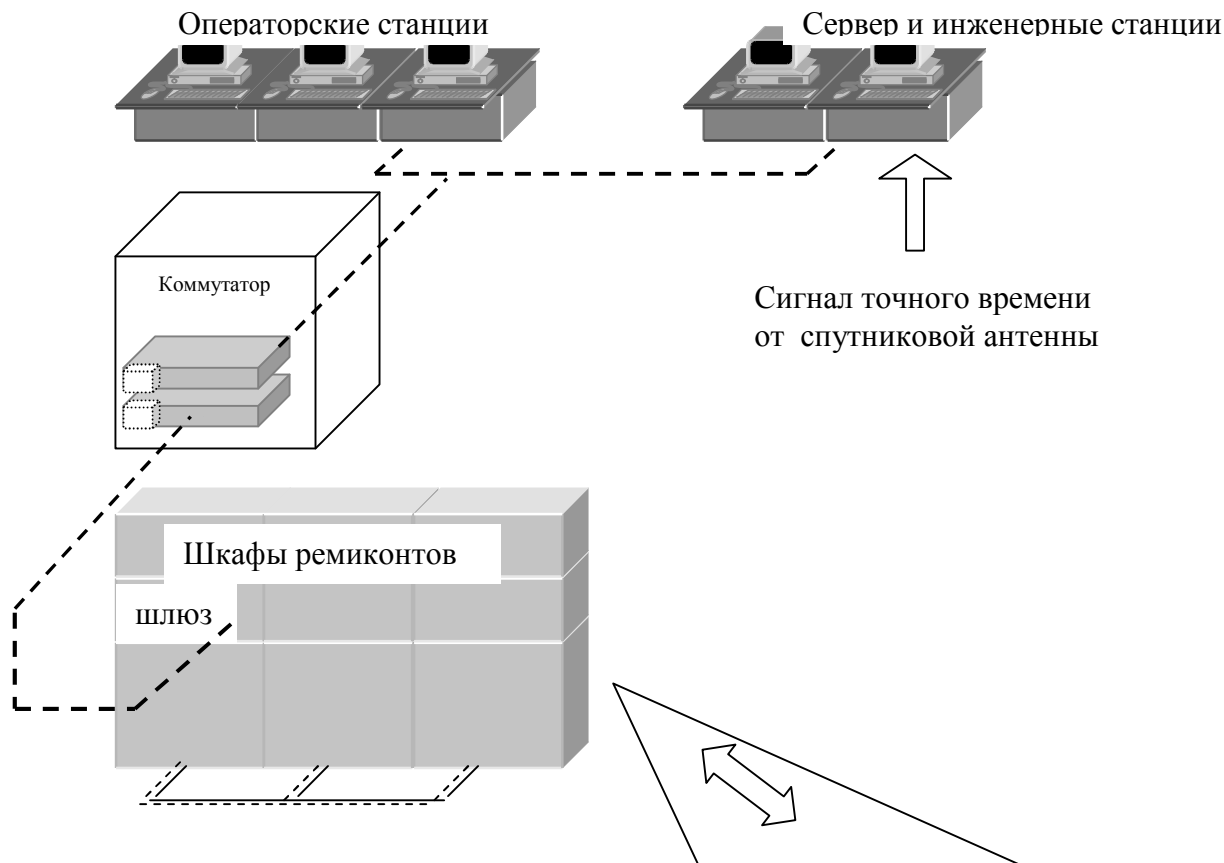
Функции автоматизации проектирования обеспечивают инструментальные средства для системы автоматизированного проектирования верхнего уровня АСУ ТП.

Функция связи с резидентными ПТК обеспечивает двустороннюю информационную связь Квинта с контроллерами и рабочими станциями других ПТК участвующих в АСУ ТП.

- Аппаратные и программные средства Квинта имеют модульную структуру, допускающую широкий диапазон их использования от минимального набора для управления отдельными группами оборудования или одним агрегатом до максимального - управления производством в целом.

Все алгоритмы управления запорной и регулирующей арматурой, двигателями механизмов собственных нужд выполнены с учетом существующих схем управления, все программное обеспечение имеет русскоязычный интерфейс (чего нельзя сказать ни об одной из импортных систем). Благодаря широким возможностям программы разработки операторского интерфейса можно удовлетворить самые взыскательные требования заказчика при создании АСУ ТП с точки зрения предоставления технологической информации. Среда разработки программного обеспечения загружаемого в контроллеры (управление электрифицированным приводом, система автоматического регулирования (САР), блокировки, технологические защиты, сигнализация) реализована на базе алгоритмических блоков, и не вызывает трудностей при работе с ней. Таким образом, у ТЭС, принявших «Квинт» на вооружение (табл. 2), не возникает проблем с изменениями, потребность в которых неизбежно возникает в процессе эксплуатации. Это то слабое место импортных систем управления, с которым следует считаться при выборе ПТК, так как необходимость постоянно прибегать к услугам фирм, занимающихся их внедрением, связана как с неудобством, так и с не малыми материальными затратами.

Следует отметить, что ПТК «Квинт» постоянно совершенствуется, и на базе полученного от внедрения и эксплуатации автоматизированных систем опыта постоянно выпускаются новые версии. Всегда имеет место обратная связь от заказчика к разработчику, то есть на стадии проектирования, пуско-наладки и опытной эксплуатации рассматриваются пожелания заказчика по доработке ПТК. 28 апреля 2005 года в ФГУП НИИТеплоприбор состоится презентация очередной – шестой версии ПТК «Квинт». В новой версии планируется переход на новые контроллерные шкафы, имеющие ряд более удачных конструктивных решений с точки зрения удобства обслуживания. В них расширено «коммутационное поле» для подключения кабельных связей и установки клеммно-модульных соединителей, за счет чего возрастает число технологических объектов обслуживаемых контроллерами одного шкафа, и сокращаются площади, необходимые для размещения ПТК.



1. Информация от измерительных аналоговых и дискретных каналов.
2. Управление электрифицированной запорной и регулирующей арматурой.
3. Управление механизмами собственных нужд.
4. Выходное воздействие технологических защит.
5. Система регулирования частоты и мощности.

Таблица 2. Перечень энергоблоков ТЭС РФ, оснащенных полномасштабной АСУ ТП на базе ПТК КВИНТ (по состоянию на начало 2005 г.)

Тепловая электрическая станция	Год внедрения	Блок №, установленная мощность
Мосэнерго:		
ТЭЦ-27	1996	Блок №1 (80 МВт)
ТЭЦ-27	1998	Блок №2 (80 МВт)
Каширская ГРЭС	2003	Блок №5 (300 МВт)
ТЭЦ-22	2003	Блок №11 (250 МВт)
ОАО «Рязанская ГРЭС»	2003	Блок №6 (800 МВт)
	2004	Блок №5 (800 МВт)
ОАО «Костромская ГРЭС»	2004	Блок №5 (300 МВт)
	2004	Блок №6 (300 МВт)
	2005	Блок №8 (300 МВт)

Примечание. На ноябрь месяц 2005 года запланирован пуск энергоблока №2 Костромской ГРЭС, с модернизированной системой управления турбиной на базе «турбинного» контроллера ПТК «Квинт», после чего блок примет участие в первичном регулировании частоты сети.

Оценка сроков выполнения работ по внедрению полномасштабной АСУ ТП на базе ПТК «Квинт». Процесс внедрения АСУ ТП на базе ПТК «Квинт», как правило, проходит по следующему графику:

1.	Обследование объекта и подготовка исходных технических требований на разработку технического задания	1 месяц
2.	Разработка технического задания	2 месяца
3.	Разработка проекта АСУ ТП	8 месяцев
4.	Испытания ПТК на полигоне НИИТеплоприбор (проходят параллельно с монтажными работами)	1 месяц
5.	Монтажные работы (ориентировочно)	4 месяца
6.	Пуско-наладочные работы (на станции, параллельно с монтажем)	2 месяца
7.	Опытная эксплуатация	3 месяца

Следует отметить, что сроки начала и окончания работы по созданию системы согласуются между заказчиком, основным исполнителем, поставщиком и генеральным проектировщиком после утверждения технического задания на АСУ ТП и могут быть сокращены.

По опыту реализации полномасштабного проекта АСУ ТП с ПТК «Квинт» на энергоблоке №6 мощностью 800 МВт ОАО «Рязанская ГРЭС» [10] все работы (проект, заказ оборудования, разработка прикладных программ, автономная наладка программно-технических средств на полигоне, демонтаж старого оборудования, монтаж нового оборудования, строительные работы на блочном щите управления, наладка периферийных устройств, наладка задач АСУТП на технологическом оборудовании) были выполнены за восемь месяцев. При этом высокая готовность программно-технических средств (три месяца полигонных испытаний) позволила начать пусковые операции на энергоблоке через неделю после подачи напряжения на шкафы контроллеров, т. е. за одну неделю в ПТК "Квинт" была введена и проверена вся информация, с ПТК "Квинт" было выполнено и проверено управление всей запорно-регулирующей арматурой, механизмами, в ПТК "Квинт" реализованы и проверены все технологические защиты и автоматическое включение резерва механизмов собственных нужд (АВР). При реализации проекта были полностью заменены датчики теплоэнергетических параметров и исполнительные механизмы регулирующей аппаратуры. Частично был заменен контрольный кабель от шкафов сборок задвижек до электроприводов запорной арматуры.

Оценка экономического эффекта от внедрения полномасштабного АСУ ТП энергоблока на базе ПТК. По данным ОАО «Рязанская ГРЭС» [10] для энергоблоков 800 МВт модернизация АСУ ТП позволяет повысить точность обработки информации, а соответственно и точность поддержания технологических параметров на энергоблоке и снизить удельный расход топлива за счет:

- повышения точности поддержания температуры острого пара на 2°C - на 0,26 г/кВтч;
- повышения точности поддержания температуры перегретого пара на 3°C - на 0,06 г/кВтч;
- снижения коэффициента избытка воздуха в уходящих газах на 10 % - на 1,3 г/кВтч.

При выработке 2450 млн. кВтч электроэнергии и при стоимости условного топлива "газ" 821,0 руб./тыс. м³ экономический эффект от повышения точности поддержания технологических параметров на энергоблоке составил 3,26 млн. руб/год.

Снижение удельного расхода топлива благодаря автоматическому контролю и поддержанию нормативных параметров рабочей среды:

- уменьшение отклонений от нормативной температуры пара на 2°C даст экономию удельного расхода на 0,26 г/кВтч;

- оптимальное сочетание показателей "воздух-топливо" (коэффициент избытка воздуха) снижает потери с механическим и химический недожогом на 0,038 %, что позволит уменьшить удельный расход на 0,13 г/кВтч;
- пережог топлива уменьшается на 1,2 г/кВтч благодаря поддержанию экономически эффективного вакуума.

Получение дополнительной прибыли в результате повышения качества регулирования частоты, т. е. участия в первичном регулировании частоты сети и мощности:

- коэффициент к тарифу за отпускаемую электроэнергию для станций, участвующих в первичном регулировании частоты сети в ЕЭС России, по предварительным оценкам экспертов РАО ЕЭС России составит ~2 %, что позволит повысить тариф.

Снижение затрат на ремонт основного тепломеханического оборудования:

- контроль его состояния в режиме реального времени ("on-line") позволит снизить ежегодные затраты на проведение плановых ремонтов на 17 %.

Участие блоков ОАО «Рязанская ГРЭС» № 5, 6 мощностью 800 МВт каждый в первичном регулировании частоты и мощности, при суммарной выработке 4900 млн. кВт/ч, позволяет получить дополнительную прибыль в размере 32 млн. руб. в год. Суммарный экономический эффект от внедрения составляет около 37 млн. руб. в год.

В июне 2004 года на Костромской ГРЭС, после модернизации системы управления был пущен энергетический блок №6. В качестве новой АСУ был выбран современный программно-технический комплекс «Квинт». Новая система управления позволила выполнить комплекс мероприятий, необходимых для участия блока в нормированном регулировании частоты и мощности. Экономический эффект от внедрения приведен в таблице 3 (годовая выработка электроэнергии блоком ~1,6 млрд. кВт/ч и стоимость условного топлива "газ" 1131,6 руб./тыс. м³).

Таблица 3. Ожидаемый экономический эффект от модернизации АСУ ТП на энергоблоке 300 МВт №6 ОАО «Костромская ГРЭС»

Статья экономии	Экономический эффект, млн. руб/год
Повышение точности регулирования температуры острого пара и пара промперегрева (Экономия топлива: 821 тунт/год)	0,95
Соблюдение «торгового» графика электрической нагрузки (точность поддержания графика - 2%)	1,85
Снижение затрат (12-17%) на плановые ремонты и техническое обслуживание оборудования	6,0
Участие в нормированном регулировании частоты и мощности (повышающий коэффициент к тарифу - 2%)	13,0
Снижение затрат на материалы и запасные части	0,5
Суммарный эффект	22,3

К вопросу о выборе концепции модернизации системы контроля и управления (СКУ) энергоблоков (ЭБ) тепловой электрической станции. Наш анализ показывает, что в настоящее время в отечественной энергетике реализуются две концепции: единовременный переход на полномасштабную версию новой АСУ ТП и поэтапное внедрение отдельных компонентов.

1. Единовременная и полномасштабная модернизация АСУ ТП блока предотвращает порождение многих проблем. Прежде всего, период освоения новой техники будет относительно непродолжительным, что обеспечит быстрое достижение надежности работы оборудования и персонала, экономическую целесообразность перехода на новые технологии управления. Этот вариант наиболее предпочтителен, так как единовременные финансовые расходы будут значительно меньше, чем при поэтапном выполнении проекта.

2. Последовательное перевооружение системы контроля и управления (СКУ) отдельных технологических систем ЭБ с переходом на дисплейный способ управления оборудованием породит ряд проблем, связанных с согласованием работы аппаратной базы и программного обеспечения отдельных частей программно-технического комплекса при объединении в полномасштабную версию.

3. Программно-технический комплекс. Аппаратная база определяет технический уровень программно-технических комплексов. Технические характеристики современных отечественных и зарубежных ПТК сопоставимы, кроме физических характеристик. Зарубежные технологии – это, образно говоря, посадка на «иглу». Отечественные АСУ ТП нового поколения – только начинают внедряться полномасштабно и опыта в этой области накоплено мало для большой энергетики, но первый опыт позитивен и приносит ожидаемый эффект.

4. Информационно-управляющий интерфейс операторов ЭБ. Этой задаче необходимо уделить особое внимание. Переход к дисплейному способу управления чреват возможностью порождения так называемого «туннельного эффекта», с которым столкнулись атомщики при внедрении подобных систем зарубежного исполнения на энергоблоках АЭС [3]. Отечественные разработчики ПТК пока по большому счету также полностью не решили этой проблемы. На наш взгляд это связано с тем, что интерфейс создается разработчиками ПТК и положительного опыта его эксплуатации нет. Если интерфейс выполнять поэтапно, по мере перевооружения отдельных систем, то он будет постоянно переделываться с соответствующими последствиями. Очевидно, что интерфейс оператора энергоблока необходимо разработать до реализации проекта, даже до проведения процедуры тендера, и под него искать разработчика ПТК (у ряда разработчиков ПТК реализация интерфейса «зашита» в программное обеспечение, что не позволяет получить желаемый интерфейс).

Тренажеры энергоблоков с АСУ ТП на базе виртуальных технологий ПТК.

Учитывая, что энергетическая отрасль встала на путь внедрения нового поколения АСУ ТП, базирующейся на компьютерных технологиях [10,13], настоящее и будущее за компьютерными тренажерами, воспроизводящими поведение объекта-прототипа в различных режимах его работы и рабочие места операторов БЩУ энергоблока (рис. 2).

Функционирование и развитие федерального (общероссийского) оптового рынка электрической энергии (мощности) [11,12] требует оснащение системы подготовки операторов компьютерными противоаварийными тренажерами энергоблоков-прототипов [1, 2, 6]. Подготовка специалистов на таких тренажерах позволяет не только сократить количество отказов и аварий в работе оборудования по вине персонала, но и снизить возможные финансовые потери поставщиков энергии и мощности [14].

Эффективность подготовки заключается в том, что дает возможность:

- 1) снизить затраты в связи с предотвращением аварийных ситуаций;
- 2) снизить финансовые потери при продаже энергии на оптовом рынке.

Реализация компьютерного тренажера на базе ПТК «Квинт» с виртуальными контроллерами, включая турбинный, позволит:

1. Получить полную идентичность работы автоматики на блоке и на тренажере.
2. Производить предварительную проверку и тестирование новых систем автоматики на тренажере до реализации их на блоке.
3. Тестировать работу действующей автоматики на тренажере в различных технологических режимах.
4. Без доработки, т.е. автоматически учитывать изменения графического интерфейса ПТК «КВИНТ» в тренажере. Интерфейс систем управления реального блока и тренажера будет полностью идентичен, что позволит классифицировать тренажер как полномасштабный.
5. Расширить перечень имитации отказов автоматики на тренажере путем введения отказов первичных датчиков и УСО.

Подключение модели энергоблока реального масштаба времени к виртуальному ПТК КВИНТ даст следующие преимущества:

1. Значительно расширится перечень категорий оперативных работников, подготавливаемых на тренажере.

2. Использование реальных алгоритмов системы контроля и управления (СКУ) энергоблока позволит значительно улучшить качество подготовки на тренажере.

Наличие реального интерфейса, реальных алгоритмов работы электроники, реальной коммутации (при достаточно высоком качестве математической модели) позволит использовать тренажер для опробования и отработки новых алгоритмов автоматического управления.

Таким образом, тренажер превращается в «полигон» на котором кроме подготовки и повышения квалификации широкого спектра категорий персонала блока, можно проводить опробование и отладку различных инновационных технологий и управления оборудованием. Именно компьютерные тренажеры подобного типа позволят получить надежную концептуальную модель оператора СЧМ.

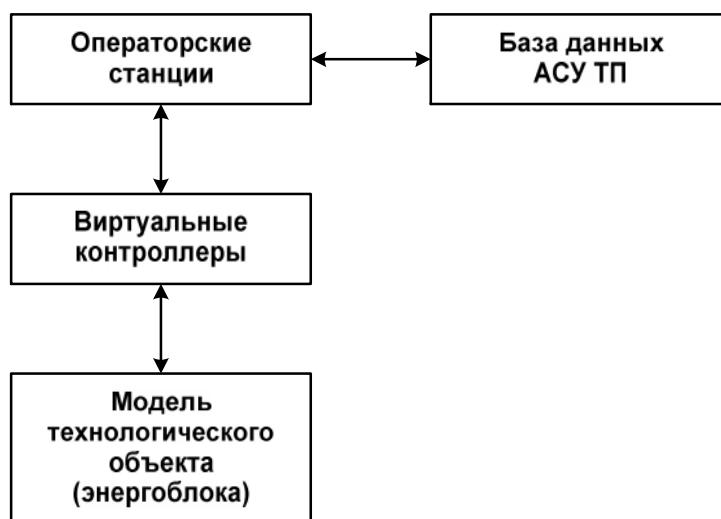


Рис. 2. Структура тренажера нового поколения на базе виртуального ПТК АСУ ТП объекта управления

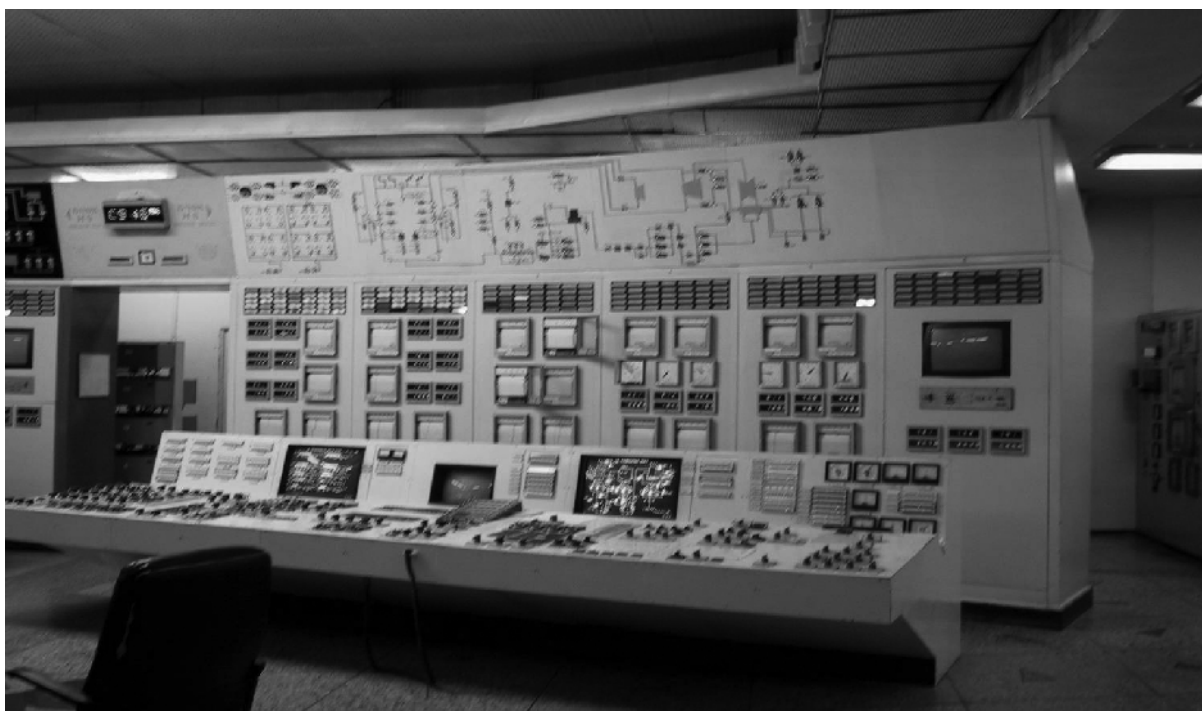


Рис. 3. Блочный щит управления газомасляного энергоблока 300 МВт №6 ОАО «Костромская ГРЭС» до модернизации АСУ ТП



Рис. 4. Блочный щит управления энергоблока 300 МВт №6
ОАО «Костромская ГРЭС»
с полномасштабной АСУ ТП на базе ПТК «Квинт»



Рис. 5. БЦУ энергоблоков 800 МВт №№5,6 ОАО «Рязанская ГРЭС»
с полномасштабной АСУ ТП на базе ПТК «Квинт»

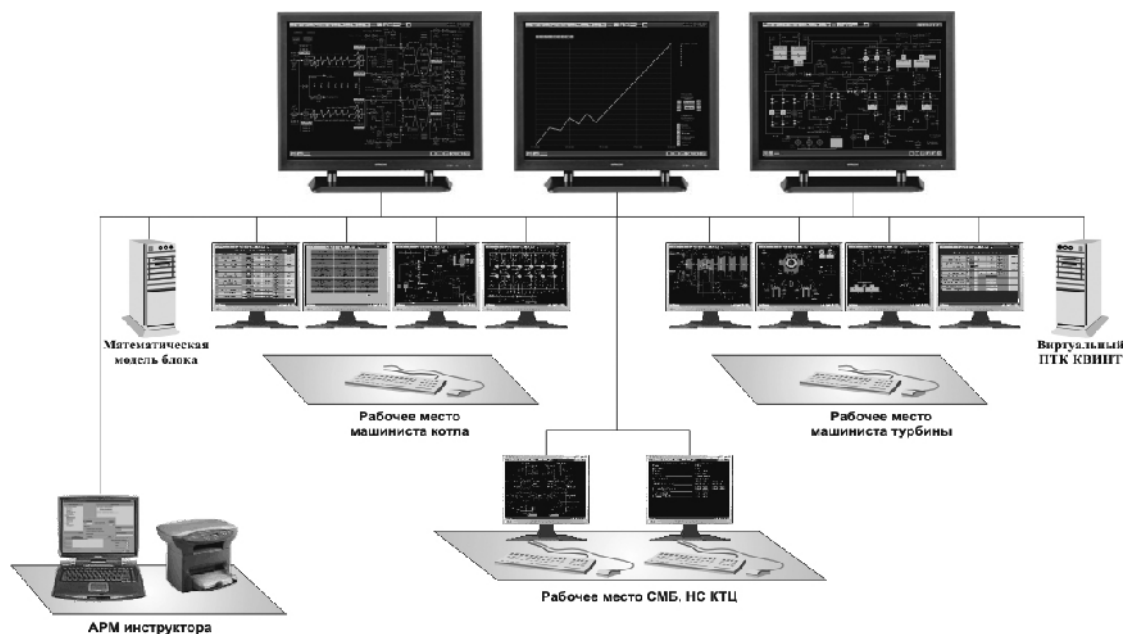


Рис. 6. Тренажер энергоблока 800 МВт ОАО «Рязанская ГРЭС» с новой АСУ ТП
Вывод

Функционирование и развитие федерального оптового рынка электрической энергии (мощности) повышает значимость модернизации энергоблоков ТЭС современным поколением АСУ ТП на базе программно-технических комплексов с целью повышения надежности, качества и экономичности производства и соблюдения плановых объемов поставки электроэнергии.

Литература

1. **Мошкарин А. В., Девочкин М. А., Шелыгин Б. Л., Рабенко В. С.** Анализ перспектив развития отечественной теплоэнергетики / Под ред. А. В. Мошкарина / Иван. гос. энерг. ун-т.-Иваново, 2002.- 256 с.
2. **Рабенко В. С., Мошкарин А. В.** Повышение безопасности, надежности, экономичности и продление срока службы оборудования предприятий тепловой энергетики средствами новых компьютерных технологий подготовки оперативного персонала / Энергосбережение и водоподготовка. 2002.- №2.- С. 31-39.
3. **Анохин А. Н., Острейковский В. А.** Вопросы эргономики в ядерной энергетике. - М.: Энергоатомиздат, 2001.- 344 с.
4. **ГОСТ 26387-84:** Система человек – машина. Термины и определения.
5. **Рабенко В. С., Худобородов А. А.** Варианты построения пользовательского интерфейса сетевого компьютерного тренажера // Вестник ИГЭУ. Вып. 2.- Иваново, 2002.- С.22-27.
6. **Рабенко В. С.** Тренажеры для подготовки операторов энергооборудования // Изв. вузов. Электромеханика. 2003.-№4.- С. 70-76.
7. **СО 153-34.0-12.305-99.** Нормы годности программных средств подготовки персонала энергетики. Утвержден РАО «ЕЭС России» от 02. 06. 1999 г.- 35 с.
8. **РД ЭО 0278-01.** Требования к техническим средствам обучения для подготовки персонала атомной станции:/ Утв. концерном «Росэнергоатом» 2001; Разраб. ГП ВНИИАЭС.- 50 с.
9. **Применение ПТК «Квинт» для создания АСУ ТП теплового блока / Н. И. Давыдов, А.А. Назаров, Н.В. Смородов и др. //Приборы и системы управления.-1997.- №11.- С. 9-13.**
10. **Морозов В. В., Гурылев О. Ю.** Полномасштабная АСУТП блоков 800 МВт ОАО «Рязанская ГРЭС» на базе ПТК «КВИНТ» // Датчики и системы.- 2003.-№12.- С. 5-7.
11. **Постановление** Федеральной энергетической комиссии Российской Федерации от 29 октября 2003 г. №89-э/1 «О тарифах на электрическую энергию (мощность), поставляемую на федеральный (общероссийский) оптовый рынок электрической энергии (мощности)».
12. **Максимов Б. К., Молодюк В. В.** Расчет экономической эффективности работы электростанций на рынке электроэнергии: Учеб. пособие.- 2-е изд. перераб. и доп.- М.: Изд-во МЭИ, 2002.- 122 с.
13. **Рабенко В. С.** Компьютерные тренажеры как средство повышения качества профессиональной подготовленности операторов //Вестник ИГЭУ. Вып. 2.- Иваново, 2004.- С. 3-7.
14. **Рабенко В. С., Мошкарин А. В., Битеряков Ю. Ф.** Методические рекомендации к расчету экономической эффективности от внедрения тренажеров для подготовки оперативного персонала тепловых электрических станций // Энергосбережение и водоподготовка. Вып. 2.- Москва, 2004.- С.30-34.