

УДК 621.314.222.6

Автоматизированная система управления электрической парогенерирующей установкой

А.В. Хлыстиков

Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия

al@stemi.ru

Статья поступила 10.09.2013, принята 5.11.2013

Рассмотрено устройство парогенерирующей установки КЭПР-250/0.4 как объекта автоматизации. Сформулированы требования к автоматизированной системе управления, которые требуется реализовать на выбранном оборудовании. Выбраны контролируемые параметры, изучены их влияние на работу установки и возможные причины выхода за допустимые пределы. Изучена последовательность включения установки. Описан алгоритм управления работой насоса в различных режимах. Рассмотрена схема срабатывания зашит. Описан алгоритм предотвращения повышения солесодержания воды внутри парогенератора в ходе работы. Рассмотрены особенности выбранного программируемого логического контроллера (ПЛК) ОВЕН ПЛК73 применительно к задаче автоматизации паровой установки: наличие аналоговых и дискретных входов и выходов, интерфейсов связи с диспетчерскими системами, элементов индикации. Отмечены особенности подключения дискретных и аналоговых датчиков, а также исполнительных механизмов к ПЛК. Описаны элементы человеко-машинного интерфейса: индикация сигнальными лампами, звуковая сигнализация, сообщения на ЖК-дисплее ПЛК. Сформулированы возможные меры, направленные на повышение эксплуатационных характеристик: добавление датчика температуры пара, замена механических регулирующих устройств на электронные.

Ключевые слова: паровая установка, автоматизация, диагностика, техническое состояние.

Automated control system for electric steam-generating unit

A. V. Khlystikov

Bratsk State University, 40 Makarenko St, Bratsk, Russia

al@stemi.ru

Received 10.09.2013, accepted 5.11.2013

The design of the KEPR-250/0.4 steam-generating unit as the automation object has been considered. The requirements to the automated control system, which are to be implemented using the chosen equipment, have been formulated. The parameters to be controlled have been selected, their effect on the unit functioning and the probable causes for their marginal error have been studied. The switch-on sequence of the unit has been studied. The algorithm for preventing the increase in water salt content inside the steam-generating unit while in operation has been described. The features of the chosen OWEN PLC73 programmable logical controller (PLC) have been considered regarding to the problem of the steam unit automation: the availability of analog and discrete inputs and outputs, communication interfaces with dispatching systems, indication elements. The specifics of connecting discrete and analog sensors as well as actuation mechanisms to PLC have been noted. The elements of the human-machine interface have been described: indication by alarm lamps, sound alarm system, messages on the PLC LCD display. The possible improvements of the operational characteristics have been formulated: adding the steam temperature sensor, replacement of the mechanical regulating devices by the electronic ones.

Keywords: steam generation unit, automation, diagnostics, technical state.

Введение. Дальнейшее существенное улучшение технико-экономических показателей работы энергетического оборудования – одна из задач теплотехники.

Эффективным средством для решения этой задачи является автоматизация основных технологических процессов котельных установок.

Установлено, что при этом в среднем на 2-3 % увеличивается КПД установки, на 3-4 % уменьшается расход топлива, сокращаются потребление электроэнергии, численность обслуживающего персонала, объем ремонтных работ.

Автоматизация является высшей ступенью в сложном комплексе управления теплотехническим производственным процессом. Она открывает неограниченные возможности для повышения производительности труда, еще более быстрых темпов развития производства и решения задач охраны окружающей среды.

Автоматика и автоматизация производственных процессов в настоящее время основываются на элементной базе, содержащей электрические, электромеханические, гидравлические и другие устройства.

Особенно интенсивное развитие получили электронные устройства. В теорию и практику автомати-

ческого управления широко внедрены ЭВМ, что подняло уровень автоматизации на новую, более высокую ступень.

Эксплуатация паровых котлов. Эксплуатация котлов должна обеспечивать надежную и эффективную выработку пара требуемых параметров и безопасные условия труда персонала. Для выполнения этих требований эксплуатация должна вестись в точном соответствии с законоположениями, правилами, нормами и руководящими указаниями, в частности, в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов» Госгортехнадзора, «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей», «Правилами технической эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей» и др.

На основе указанных материалов для каждой котельной установки **ДОЛЖНЫ БЫТЬ СОСТАВЛЕНЫ:**

- должностные и технологические инструкции по обслуживанию оборудования, ремонту, технике безопасности, предупреждению и ликвидации аварий и т. п.;
- технические паспорта на оборудование, исполнительные, оперативные и технологические схемы трубопроводов различного назначения.

Знание инструкций, режимных карт работы котла и указанных материалов является обязательным для персонала. Знания обслуживающего персонала должны систематически проверяться.

Эксплуатация котлов:

- производится по производственным заданиям, составляемым по планам и графикам выработки пара, расхода топлива, расхода электроэнергии на собственные нужды;
- ведутся оперативный журнал, в который заносятся распоряжения руководителя и записи дежурного персонала о работе оборудования, а также ремонтная книга, в которую записывают сведения о замеченных дефектах и мероприятиях по их устранению.

Должны проводиться:

- первичная отчетность, состоящая из суточных ведомостей по работе агрегатов и записей регистрирующих приборов;
- вторичная отчетность, включающая обобщенные данные по котлам за определенный период.

Каждому котлу присваивается свой номер, все коммуникации окрашиваются в определенный условный цвет, установленный ГОСТом. Установка котлов в помещении должна соответствовать:

- правилам Госгортехнадзора,
- требованиям техники безопасности,
- санитарно-техническим нормам,
- требованиям пожарной безопасности.

Техническая характеристика объекта автоматизации – электрической паровой установки КЭПР-250/0,4. Одним из важнейших направлений в создании материально-технической базы является комплексная автоматизация производственных процессов. В особенности актуальной автоматизация становится в отраслях промышленности, конечная продукция которых находит массовый спрос у потребителей и используется во многих производственных процессах. К таким отраслям в полной мере относится энергетика.

Парогенератор – это теплообменный аппарат для производства водяного пара с давлением выше атмосферного за счет теплоты первичного теплоносителя, поступающего из ядерного реактора [1, 2].

Термин «парогенератор»:

- первоначально применялся для названия паровых котлов [3, 4],
- после появления атомных электростанций (АЭС) современное значение стало вытеснять первоначальное,
- современными стандартами называть паровые котлы парогенераторами не допускается [5],
- в некоторых областях знаний под термином могут понимать электрические котлы и котлы-утилизаторы [6].

Электрическая паровая установка КЭПР-250/0,4 (рис. 1) мощностью 250 кВт и производительностью пара 325 кг/час предназначена для снабжения водяным паром строительных площадок, промышленных, бытовых и сельскохозяйственных объектов. Она включает в себя:

- парогенератор,
- электронасосную установку,
- предохранительную арматуру,
- приборы управления и контроля.

Упрощенно парогенератор представляет собой металлический сосуд, внутри которого на определенном расстоянии располагаются два пакета, по три электрода в каждом.

Нагрев и испарение воды осуществляется путем пропускания сквозь нее электрического тока напряжением 0,4 кВ. Регулирование мощности осуществляется ступенчато, путем включения и отключения отдельных групп электродов. Также мощность зависит от удельного электрического сопротивления питающей воды.

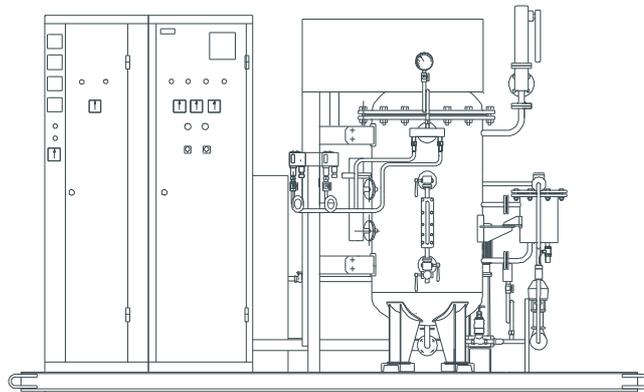


Рис. 1. Паровая установка КЭПР 250/0,4

Существующий способ управления не дает возможность полного контроля за состоянием технологического процесса и оборудования. Таким образом, необходима автоматизация парового котла.

Автоматизация управления парогенерирующей установкой. Автоматизация парогенераторов включает в себя:

- автоматическое регулирование,
- дистанционное управление,
- технологическую защиту,
- теплотехнический контроль,

- технологические блокировки,
- сигнализацию.

Автоматическое регулирование обеспечивает ход непрерывно протекающих процессов в парогенераторе (питание водой, перегрев пара и др.)

Дистанционное управление позволяет дежурному персоналу пускать и останавливать парогенераторную установку, а также переключать и регулировать ее механизмы на расстоянии, с пульта, где сосредоточены устройства управления.

Теплотехнический контроль за работой парогенератора и оборудования осуществляется с помощью показывающих и самопишущих приборов, действующих автоматически. Приборы ведут непрерывный контроль процессов, протекающих в парогенераторной установке, или же подключаются к объекту измерения обслуживающим персоналом или информационно-вычислительной машиной. Приборы теплотехнического контроля размещают на панелях, щитах управления по возможности удобно для наблюдения и обслуживания.

Технологические блокировки выполняют в заданной последовательности ряд операций при пусках и остановках механизмов парогенераторной установки, а также в случаях срабатывания технологической защиты. Блокировки исключают неправильные операции при обслуживании парогенераторной установки, обеспечивают отключение в необходимой последовательности оборудования при возникновении аварии.

Устройства технологической сигнализации информируют дежурный персонал о состоянии оборудования (в работе, остановлено и т. п.), предупреждают о приближении параметра к опасному значению, сообщают о возникновении аварийного состояния парогенератора и его оборудования. Применяются звуковая и световая сигнализация.

Требования к системе управления установкой КЭПР-250/0,4. Современный мощный котельный агрегат требует самого тщательного контроля, управления и обслуживания.

Контроль и управление агрегатом сводятся к обеспечению в каждый данный момент требуемой производительности при заданных параметрах пара, а также к обеспечению надежности и экономичности работы котла (агрегата).

Обслуживание агрегата (котла) во время работы – сложная задача, так как отдельные элементы котла сильно разобщены. Общая высота мощного котла (агрегата) равна 30-40 м, Поэтому крайне желательна замена ручного труда по управлению агрегатом работой автоматических устройств.

Система управления и защиты установки обеспечивает: заданное давление в котле в пределах 0,8 МПа; регулирование уровня воды в парогенераторе и питательном баке; автоматическую продувку котловой воды; номинальную токовую нагрузку; отключение установки при перегрузке и коротких замыканиях.

Для корректного функционирования установки требуется отслеживать следующие параметры:

- давление внутри парогенератора;
- уровни воды в баке и в парогенераторе;

• величины токов, протекающих в каждой из питающих фаз;

• величину тока в одной из фаз пакета 2 для обнаружения повышенного соледержания;

• работоспособность насоса, обеспечивающего циркуляцию воды.

В систему управления парового котла входят устройства задания и регулирования расходов энергии, воздуха и воды для сбора и обработки данных обратной связи устройств, управляющих производительностью котла. В прошлом многие из этих функций выполнялись вручную. Позднее для реализации некоторых из них были применены электронные схемы, сначала на электровакуумных, а затем на полупроводниковых приборах. Современная компьютерная техника произвела переворот в управлении паровыми котлами, как и многими другими системами.

Автоматизация – это применение комплекса средств, позволяющих осуществлять производственные процессы без непосредственного участия человека, но под его контролем. Автоматизация производственных процессов приводит к увеличению выпуска, снижению себестоимости и улучшению качества продукции, уменьшает численность обслуживающего персонала, повышает надежность и долговечность машин, дает экономию материалов, улучшает условия труда и техники безопасности.

При комплексной автоматизации на автоматическое управление переводятся как вспомогательные, так и основные процессы. При этом используются всевозможные средства автоматизации, в том числе и управляющие вычислительные комплексы. Автоматизация освобождает человека от необходимости непосредственного управления механизмами. В автоматизированном производстве роль человека сводится к наладке, регулировке, обслуживанию средств автоматики и наблюдению за их действием.

По уровню автоматизации теплоэнергетика занимает одно из ведущих мест среди других отраслей промышленности. Теплоэнергетические установки характеризуются непрерывностью протекающих в них процессов, и выработка тепловой энергии в любой момент времени должна соответствовать потреблению (нагрузке).

Автоматизация паровых котлов предусматривает:

• дистанционное управление, или управление машинами и механизмами на расстоянии;

• теплотехнический контроль (измерение) текущих значений параметров технологического процесса. Приборы ведут непрерывный контроль процессов, протекающих в котле;

• автоматическое непрерывное регулирование, обеспечивающее автоматическое поддержание технологических параметров вблизи заданного предела;

• автоматическую защиту основного и вспомогательного оборудования от возможных повреждений в процессе эксплуатации. В зависимости от характера нарушения, защита останавливает котел, снижает его нагрузку или выполняет локальные (местные) операции, предотвращающие аварии;

- логическое управление, обеспечивающее автоматическое включение или отключение регуляторов, машин, механизмов и установок в заданной последовательности.

Паровой котел как объект управления представляет собой сложную динамическую систему с несколькими взаимосвязанными входными и выходными величинами. Система автоматического барабанного парового котла в целом состоит из отдельных замкнутых систем:

- давления пара;
- тепловой нагрузки;
- питания котловой водой;
- качества котловой воды.

Давление воды в установке КЭПР-250/0,4 измеряется датчиком типа ОВЕН ПД100, имеющим аналоговый выходной сигнал 4...20 мА. Уровни воды в баке и парогенераторе отслеживаются с помощью кондуктометрических датчиков и блока согласования с выходами типа «сухой контакт».

Для измерения токов в фазах используются трансформаторы тока с выходным сигналом 0-5 А. К вторичным обмоткам трансформаторов подключены преобразователи для получения аналогового токового сигнала 4...20 мА.

Работоспособность насоса отслеживается по состоянию специального контакта пускателя насоса. Для регулирования используется один исполнительный механизм – электромагнитный клапан продувки.

Алгоритм работы установки. Перед запуском установки в работу необходимо произвести заполнение бака водой до достижения рабочего уровня. В дальнейшем подача воды регулируется с помощью механического поплавкового клапана. Далее включается насос и начинает наполнять водой парогенератор. Как только достигается минимальный уровень воды, включаются один или оба пакета электродов (в зависимости от заданной мощности). Насос продолжает работать.

Таким образом, схему включения можно представить в следующем виде (рис. 2):

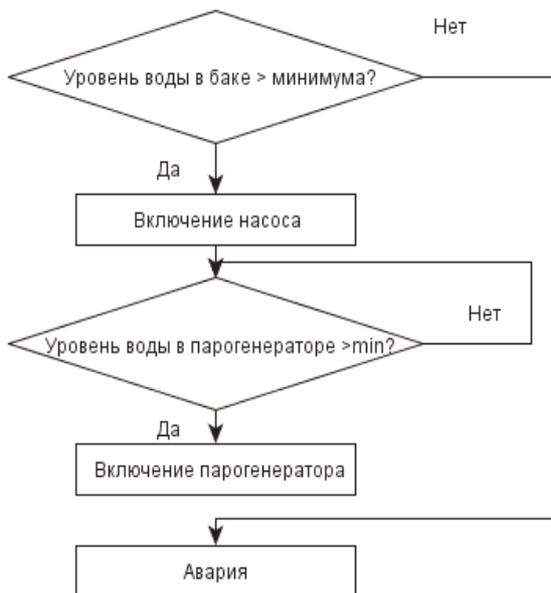


Рис. 2. Алгоритм включения установки

При достижении рабочего уровня насос отключается и остается отключенным до тех пор, пока уровень воды в парогенераторе не опустится ниже минимального. Превышение максимального уровня воды – это аварийная ситуация. Алгоритм управления насосом показан на рис. 3.

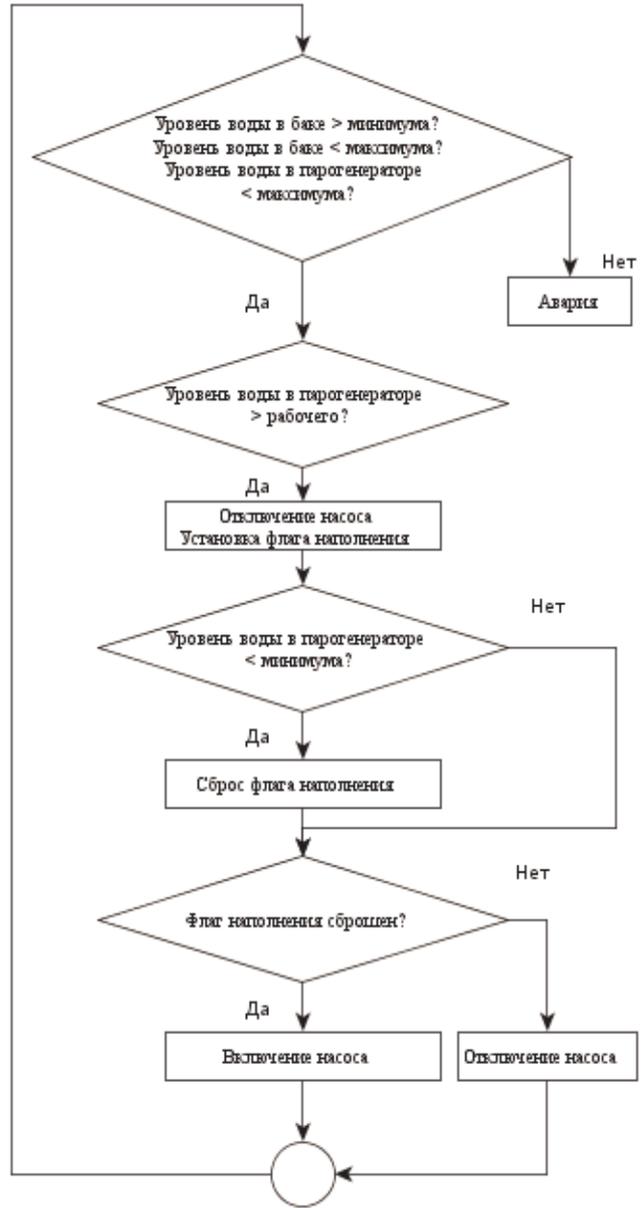


Рис. 3. Алгоритм управления насосом

Для обеспечения безопасной работы установки требуется постоянно отслеживать критичные параметры функционирования. Если хотя бы один из них не в норме, необходимо немедленно отключить установку.

Перегрузка по току может свидетельствовать как об износе электродной части парогенератора, так и о повышенном солесодержании питающей воды.

Перекас токов по фазам свидетельствует об износе электродной части парогенератора или о плохом электрическом контакте в силовой части. Данная неполадка требует вмешательства ремонтного персонала.

В ходе непрерывного испарения концентрация соли в воде внутри парогенератора со временем растет, приводя к неконтролируемому росту потребляемого тока. Для выявления данной ситуации измеряется ток одной фазы пакета 2, и при превышении порогового значения тока вырабатывается сигнал на открытие клапана продувки, через который часть воды из парогенератора сбрасывается в дренаж.

Принцип контроля и управления клапаном продувки показан на рис. 4.

В простейшем случае задачу управления данной паровой установкой возможно реализовать с использованием релейных схем и аналоговых измерительных приборов. Однако полученная схема будет недостаточно гибкой и трудной для понимания обслуживающим персоналом. В настоящее время также актуальна интеграция с SCADA-системами, для чего требуется цифровая обработка входных сигналов и их передача. Для решения подобной задачи целесообразно использовать программируемый логический контроллер (ПЛК).

ПЛК – электронная составляющая промышленного контроллера, специализированного (компьютеризированного) устройства, используемого для автоматизации технологических процессов.



Рис. 4. Алгоритм защиты по току и давлению и управления клапаном продувки

В качестве основного режима длительной работы ПЛК, зачастую в неблагоприятных условиях окружающей среды, выступает его автономное использование без серьезного обслуживания и практически без вмешательства человека. ПЛК обладает широкими возможностями по сбору, обработке, накоплению и передаче информации, а также по управлению исполнительными механизмами.

С помощью дополнительных модулей возможно подключение ПЛК к промышленным сетям стандартов RS-485, Ethernet, а также непосредственно к диспетчерскому ПК по интерфейсам RS-232, USB.

Для поддержания связи с удаленными объектами существуют модули GSM/GPRS. Важным преимуществом также является возможность удаленной настройки и программирования (в том числе через Интернет) без необходимости выезда на объект.

Наиболее известными мировыми производителями ПЛК являются Siemens, Omron, Mitsubishi, Schneider Electric и др. В России широко используются контроллеры отечественной фирмы ОБЕН, обладающие сопоставимыми с конкурентами возможностями, но при этом имеющие более низкую цену. Для них также доступны русскоязычная техническая поддержка и подробная документация.

Программируются контроллеры ОБЕН ПЛК с помощью профессиональной среды CoDeSys, разработанной немецкой компанией 3S-Software.

Для решения выбранной задачи автоматизации оптимально использование ОБЕН ПЛК73. Отличительные особенности данного контроллера:

- 8 аналоговых, 8 цифровых входов;
- 8 выходов с выбираемым при заказе типом;
- четырехстрочный знаковосинтезирующий дисплей;
- 9 программируемых кнопок на передней панели;
- встроенные интерфейсы RS-485, RS-232;
- встроенные часы реального времени;
- библиотека функциональных блоков;
- стандартные библиотеки CoDeSys.

Для измерения с помощью ПЛК токов требуется совместное использование трансформаторов тока и преобразователей сигнала 0-5 А в сигнал 4-20 мА, обрабатываемый АЦП контроллера.

Датчик давления, а также сухие контакты блоков согласования кондуктометрических датчиков уровня, подключаются к ПЛК напрямую.

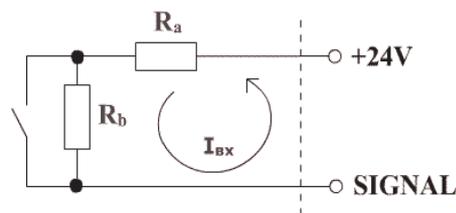


Рис. 5. Схема подключения датчика типа «сухой контакт» к аналоговому входу 4...20 м

Так как у ПЛК73 имеется только 8 дискретных входов, потребовалось разработать схему использования нескольких аналоговых входов в качестве цифровых. Данная схема показана на рис. 5.

Номиналы резисторов были выбраны таким образом, чтобы при замкнутом контакте ток был равен 20 мА, а при разомкнутом – 4 мА.

В данной паровой установке имеется небольшое количество управляющих элементов, и все они управляются дискретным сигналом, поэтому была выбрана модификация контроллера с четырьмя выходами типа «открытый коллектор» и четырьмя релейными выходами.

Управление насосом и клапаном продувки осуществляется с помощью промежуточных реле и контакторов.

Включение пакетов осуществляется путем подачи сигнала на контактор с помощью промежуточных реле.

Индикаторные лампы «Рабочий уровень в баке», «Насос включен», «Пакет 1 включен», «Пакет 2 включен», «Продувка», «Авария» подключаются к дискретным выходам контроллера.

Связь с OPC-сервером системы SCADA осуществляется по интерфейсу RS-485.

Для решения данной задачи автоматизации с использованием контроллера ОВЕН ПЛК73 в среде программирования CoDeSys 2.3 на языке ST была разработана управляющая программа.

На текстовом дисплее ПЛК выводится следующая информация:

- значения токов по фазам А, В, С;
- ток в фазе С1 пакета 2;
- давление;
- состояние пакетов и насоса (вкл./выкл.);
- индикация продувки;
- уровни воды в баке и парогенераторе.

ПЛК имеет дисплей с четырьмя строками, поэтому вышеприведенные параметры сгруппированы в два виртуальных экрана, переключение между которыми происходит кнопками на передней панели ПЛК.

Выводы. Автоматизация дает значительные преимущества: обеспечивает уменьшение численности обслуживающего персонала, то есть повышение производительности его труда; приводит к изменению характера и облегчению труда персонала; увеличивает точность поддержания параметров вырабатываемого пара; повышает безопасность труда и надежность работы оборудования; увеличивает экономичность работы парового котла. В настоящей работе предложена схема управления парогенерирующей установкой КЭПР-250/0,4 кВ с использованием программируемого логического контроллера. Использование данной схемы позволяет:

1) централизованно проводить контроль параметров функционирования установки на удаленном объекте с помощью системы SCADA;

2) осуществлять более гибкое регулирование в нескольких режимах, благодаря чему возможно повышение эффективности работы оборудования;

3) проводить диагностику установки в автоматическом режиме благодаря наличию единого устройства по сбору и обработке параметров;

4) в дальнейшем модернизировать установку с заменой механических регулирующих устройств на электронные, а также с добавлением датчика температуры, что положительно скажется на эксплуатационных характеристиках.

Литература

1. Основы современной энергетики / под ред. А.Д. Трухния. М.: МЭИ, 2008. Т. 1. 472 с.
2. Трухния А.Д. Основы современной энергетики / под общ. ред. Е.В. Амелистова. М.: МЭИ, 2008. Т. 1. 472 с.
3. Ковалёв А.П., Лелеев Н.С., Виленский Т.В. Парогенераторы. М.: Энергоатомиздат, 1985. 376 с.
4. Падалка Д. Г. Отопление от А до Я. Киев: Диалог-Пресс, 2008. С. 24.
5. Фокин В. М. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения. М.: Машиностроение-1, 2006. С. 14-18.
6. ГОСТ 23172-78 Котлы стационарные. Термины и определения. Библиотека ГОСТов [Электронный ресурс] // портал. URL: <http://vsegost.com/Catalog/25/2578.shtml> (дата обращения: 10.11.2013).
7. Морской энциклопедический справочник / под ред. Н.Н. Исанина. Л.: Судостроение, 1986. Т. 2. 520 с.
8. Новиков В.Н., Радовский И.С., Харитонов В.С. Расчёт парогенераторов АЭС. М.: МИФИ, 2001. Ч. 2. 68 с.

References

1. The fundamentals of the present-day power engineering/ pod red. A.D. Trukheniya. M.: MEI, 2008. T. 1. 472 s.
2. Trukheniya A.D. The fundamentals of the present-day power engineering/ pod obshch. red. E.V. Ametistova. M.: MEI, 2008. T. 1. 472 s.
3. Kovalev A.P., Leleev N.S., Vilensky T.V. Steam generation plants. M.: Energoatomizdat, 1985. 376 s.
4. Padalka D.G. Heating from A to Z. Kiev: Dialog-Press, 2008. S 24.
5. Fokin V.M. Heat producing plants of heat supply systems. M.: Mashinostroeniye-1, 2006. S. 14-18.
6. State Standard (GOST) 23172-78 Stationary boilers. Terms and definitions. GOST's library. <http://vsegost.com/Catalog/25/2578.shtml> (access date: 10.11.2013).
7. Marine reference-book/ pod red. N.N. Isanina. L.: Sudostroeniye, 1986. T. 2 520 s.
8. Novikov V.N., Radovsky I.S., Kharitonov V.S. Calculation of steam generation plants for NPS. M.: MIFI. 2001. Ch. 2. 68 s.