

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА АЭС АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ЧАСТОТЫ ТОКА В СЕТИ

В.В. Бажанов, И.И. Лощаков, А. П. Щуклинов

ОАО «НПО ЦКТИ», ФГБОУ ВПО «СПбГПУ», г. Санкт-Петербург



Приводятся результаты аналитического исследования, обосновывающие использование системы аккумулирования тепловой энергии АЭС с ВВЭР как элемента, обеспечивающего переменную мощность турбогенератора при участии АЭС в регулировании частоты тока в сети. Исследование проведено применительно к одному из возможных вариантов проекта энергоблока АЭС с ВВЭР $N_{\text{ном}} = 1200$ МВт и системой аккумулирования тепловой энергии с несущественными с точки зрения рассматриваемого вопроса отклонениями в схеме, мощности и конструкции системы относительно опубликованных данных по проекту.

Ключевые слова: АЭС, аккумулятор тепловой энергии, регулирование частоты тока

Key words: nuclear power plant, thermal energy accumulator, frequency regulation of current

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение доли АЭС в общем производстве электроэнергии и уменьшение доли ТЭС, привлекаемых к работе в переменной части графика нагрузок сети, ставит вопрос о привлечении АЭС к регулированию мощности электросети – увеличению производства электроэнергии в дневное время и снижению в ночное время.

Однако привлечение АЭС в настоящее время к работе в переменных режимах нецелесообразно по двум причинам: во-первых, в связи с более высокой капитальной составляющей стоимости производимой электроэнергии по сравнению с ТЭС, а во-вторых, в связи с низкими маневренными характеристиками активных зон.

Разработка специализированных высокоманевренных АЭС, допускающих изменение мощности энергоблока в широком диапазоне, возможна, но требует больших затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

С точки зрения регулирования мощности энергосистемы, наиболее простым представляется решение, при котором с сохранением за АЭС постоянной части графика нагрузок покрытие переменной части графика возлагается на специализированные маневренные газотурбинные, парогазовые или гидроаккумулирующие станции. Проведенные во Всероссийском научно-исследовательском институте атомных электростанций (ВНИИАЭС) исследования технико-экономической эффективности различных решений по обеспечению производства электроэнергии в соответствии с диспетчерским графиком нагрузок показали, что наиболее экономичным решением является аккумулирование тепловой энергии на АЭС, при котором реакторная установка работает на постоянной мощно-

сти и постоянных параметрах теплоносителя, а реализация переменного графика выдаваемой в сеть мощности осуществляется только за счет изменения режима работы второго контура.

Применительно к АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР) рассматривается [1] система с использованием в качестве аккумулирующей среды высокотемпературного теплоносителя (масла), нагреваемого за счет теплоты конденсации части свежего пара в часы ночного провала нагрузки и возвращающего это тепло путем нагрева основного конденсата и питательной воды в часы пиковой нагрузки в специальных теплообменниках разрядки, вместо регенеративного подогрева отборным паром, используемого в это время на увеличение мощности турбины.

С учетом вышеуказанного анализа в ОАО «Атомэнергопроект» совместно с ВНИИАЭС были выполнены проработки системы аккумулирования тепловой энергии (САТЭ) применительно к разрабатываемому проекту «АЭС-2006» мощностью 1200 МВт с возложением на АЭС функции участия в покрытии переменной части диспетчерского графика нагрузки.

Один из возможных вариантов принципиальной тепловой схемы данной АЭС, несколько отличающийся от «АЭС-2006», представлен на рис. 1.

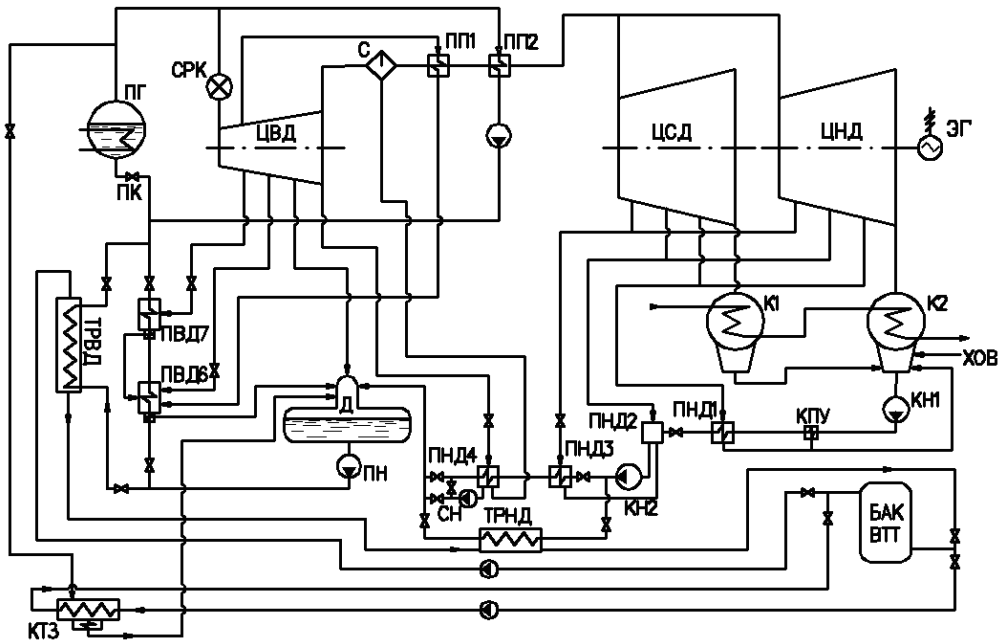


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема энергоблока АЭС с САТЭ: ПГ – парогенератор; СРК – стопорно-регулирующий клапан; ЦВД – цилиндр высокого давления; С – сепаратор; ПП1 – первая ступень пароперегревателя; ПП2 – вторая ступень пароперегревателя; ЦСД – цилиндр среднего давления; ЦНД – цилиндр низкого давления; К – конденсатор; КН – конденсационный насос; КПУ – конденсатор пара уплотнений; ПНД – подогреватель низкого давления; СН – сливной насос; Д – деаэратор; ПН – питательный насос; ПВД – подогреватель высокого давления; ТЗ – конденсационный теплообменник зарядки; ТРВД – теплообменник разрядки высокого давления; ТРНД – теплообменник разрядки низкого давления; БАК ВТТ – бак высокотемпературного теплоносителя; ЦН – циркуляционный насос

Нагрев масла в представленной схеме производится теплотой конденсации в так называемых теплообменниках зарядки части свежего пара, отбираемого из основного потока в часы снижения нагрузки. Нагретое масло накапливается в специальных баках и может, в случае необходимости, вернуть тепло рабочей среде (основному конденсату и питательной воде) энергоблока. Возврат тепла производится в теплообменниках разрядки САТЭ, байпасирующих регенеративные теплообменники, что позволяет полностью или в значительной степени исключить отбор пара на подогрев конденсата и питательной воды и тем самым использовать его на увеличение мощности турбины.

Наличие такой системы аккумулирования тепловой энергии позволяет без изменения мощности реактора снижать выдаваемую в сеть электрическую мощность вплоть до минимально допустимой мощности турбины и повышать (за счет накопленной при этом энергии) выдаваемую в сеть мощность до уровня, допускаемого пропускной способностью проточной части турбины.

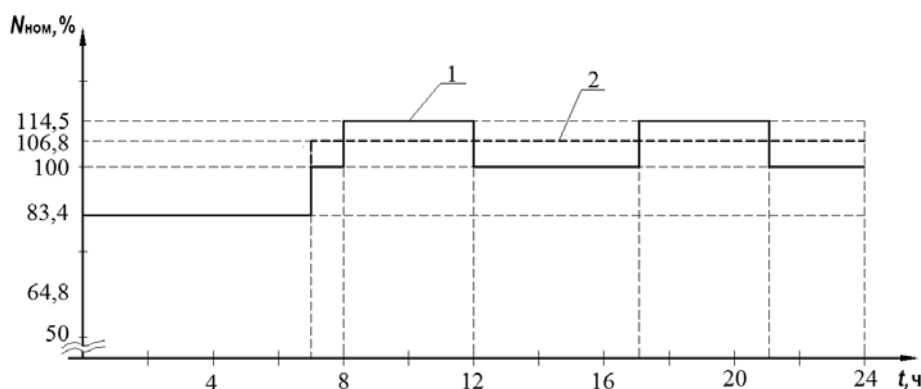


Рис. 2. Графики возможных диспетчерских нагрузок энергоблоков АЭС с САТЭ

На рисунке 2 представлены два варианта диспетчерского графика нагрузок, демонстрирующих работу энергоблока с САТЭ. При семичасовой ночной разгрузке энергоблока на 16,6% номинальной мощности ($N_{ном}$) возможно дневное повышение мощности в виде двух четырехчасовых пиков нагрузки на 14,5% $N_{ном}$ (линия 1) либо семнадцатичасовое, так называемое «полупиковое» повышение мощности на 6,8% $N_{ном}$ (линия 2).

Конструктивно САТЭ будет выполняться из нескольких параллельно включенных теплообменников зарядки и разрядки, например, четырех или трех. Это вызвано не только соображениями удобства компоновки и повышения надежности, но и удобством регулирования, так как в соответствии с требованиями оператора сети величина ночной разгрузки энергоблока и характер изменения дневной нагрузки могут меняться в большом диапазоне, что ведет к значительному изменению режимных параметров теплообменников, уменьшить которое можно отключением части теплообменников.

Наряду с требованием участия атомных энергоблоков в диспетчерском графике нагрузок в последнее время по тем же самым причинам появилось требование привлечения АЭС к первичному регулированию частоты тока в сети.

В соответствии с [2] максимальное требуемое изменение мощности равно $\pm 2\% N_{ном}$ при нормированном первичном регулировании (НПРЧ) и $+2 - 8\% N_{ном}$ при общем первичном регулировании (ОПРЧ), причем за первые 10 сек должно быть отработано не менее 50% требуемого изменения мощности. Указанный максимально требуемый диапазон изменения мощности турбины существенно меньше аналогичного диапазона, устанавливаемого для ТЭС, а количество нагружений атомных энергоблоков при общем первичном регулировании частоты тока ограничивается двенадцатью нагружениями в год [3]. Уменьшение регулировочного диапазона АЭС при регулировании частоты тока вызвано опасением снижения эксплуатационного ресурса реактора в связи с существенным увеличением циклической нагрузки на тепловыделяющие элементы, наличием ксенонового отравления и большой инерционностью реакторной установки.

Использование САТЭ в энергоблоках с ВВЭР расширяет регулировочные возможности АЭС, т.к. увеличивает количество параметров и средств, влияющих на величину и скорость изменения мощности турбогенераторов. Из этого следует, что если наличие САТЭ обеспечивает участие атомных энергоблоков в диспетчерском графике нагрузок без изменения мощности и режимных параметров реакторной установки, то не исключено, что при этом возможно и участие АЭС в регулировании частоты тока в сети аналогично тепловым электростанциям.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Как уже говорилось, изменение мощности турбоустановки при наличии САТЭ в разных режимах производится при зарядке САТЭ изменением количества пара, подаваемого на турбину, а при разрядке – уменьшением количества пара, отбираемого на регенерацию.

Наличие разных способов изменения мощности турбоустановки в энергоблоках с САТЭ определяет необходимость проведения, как минимум, двух различных исследовательских работ энергоблоках с САТЭ: одно – при зарядке САТЭ, второе – при разрядке и, возможно, в промежуточном режиме, т.е. когда нет ни зарядки, ни разрядки.

В статье излагаются вопросы, связанные с исследованием возможности участия АЭС с САТЭ в регулировании частоты тока в сети без изменения мощности и режимных параметров реакторной установки в режиме зарядки САТЭ.

Для решения поставленной задачи помимо исследования динамики турбоустановки при регулировании частоты тока в режиме зарядки САТЭ было необходимо выполнить балансовый расчет турбоустановки, рассчитать статические характеристики теплообменника зарядки (зависимость режимных параметров теплообменника от расхода конденсируемого пара), разработать систему регулирования давления пара в ПГ путем его сброса в ТЗ и создать математическую модель динамики исследуемой части турбоустановки.

Изменение количества пара, подаваемого на турбину, при наличии САТЭ и постоянной мощности реакторной установки, т.е. постоянной паропроизводительности, в режиме зарядки САТЭ производится противоположным по знаку и равным по величине изменению расхода пара на конденсационный теплообменник зарядки.

Сигналом на изменение расхода пара в теплообменник зарядки, осуществляемое изменением положения соответствующих регулирующих клапанов, может являться отклонение от заданного значения давления пара в парогенераторе или перед регулирующим клапаном турбины. Если это отклонение, по своей величине находящееся в зоне нечувствительности регулятора давления, задействованного на изменение мощности реактора, обрабатывается теплообменником зарядки, то можно считать, что АЭС с САТЭ удовлетворяет требованиям участия энергоблока в регулировании частоты тока сети.

В работе представлены результаты расчета динамики системы *парогенератор – теплообменник зарядки* при изменении мощности турбины на $\pm 10\% N_{НОМ}$, существенно превышающем максимально требуемое значение для АЭС при регулировании частоты тока, но наглядно демонстрирующем возможность поддержания давления пара в ПГ средствами САТЭ в режиме зарядки без изменения мощности реактора.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕКТА

Разработанная математическая модель динамики второго контура включает в себя модель парогенератора; модель теплообменника зарядки; модель паропровода, соединяющего ПГ, турбину и теплообменник зарядки; подсистемы регулирования давления в ПГ путем изменения его расхода в ТЗ и уровня конденсата в ТЗ.

Динамика в данном случае горизонтального парогенератора, заполненного термодинамически равновесной пароводяной смесью, при практически постоянных во времени параметрах первого контура описывается в одноточечном приближении уравнением изменения во времени температуры рабочей среды аналогично [4]:

$$\frac{dt_s}{d\tau} = \frac{G_{пв} \cdot h_{пв} - G_n \cdot h'' - f_1(t_s) \cdot (G_{пв} - G_n) + Q}{M \cdot \frac{df_1(t_s)}{dt_s} + V \cdot \left(\frac{df_2(t_s)}{dt_s} - \frac{f_2(t_s)}{t_s + 273} \right)},$$

$$f_1(t_s) = h' - v' \cdot \frac{h'' - h'}{v'' - v'}, \quad f_2(t_s) = \frac{h'' - h'}{v'' - v'}, \quad Q = k \cdot \Delta t_{ln} \cdot F,$$

где V – внутренний объем ПГ, m^3 ; M – масса пароводяной среды в парогенераторе, кг; $G_{ПВ}$ и $G_{П}$ – расходы питательной воды и генерируемого пара, кг/с; $h_{ПВ}$, h' и h'' – удельные энтальпии питательной воды и пара, кДж/кг; Q – мощность, передаваемая паровой смеси от теплоносителя первого контура через теплообменную поверхность, кВт; F – площадь поверхности теплообмена, m^2 ; k – коэффициент теплопередачи, $кВт/(m^2K)$; Δt_{ln} – логарифмический температурный напор, $^{\circ}C$.

Динамика поверхностного теплообменника зарядки описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений изменения теплового состояния греющей и нагреваемой сред и теплообменной поверхности в одномерном многоточечном приближении:

$$\begin{cases} M^{ГР} \cdot \frac{dH^{ГР}}{d\tau} = G^{ГР} \cdot (H^{ГР}_{ВХ} - H^{ГР}_{ВЫХ}) - Q^{ГР}; \\ M^{НАГ} \cdot \frac{dH^{НАГ}}{d\tau} = Q^{НАГ} - G^{НАГ} \cdot (H^{НАГ}_{ВЫХ} - H^{НАГ}_{ВХ}); \\ M^M \cdot C_p^M \cdot \frac{dT^M}{d\tau} = Q^{ГР} - Q^{НАГ}; \end{cases}$$

$$Q^{НАГ} = k^{НАГ} \cdot S^{НАГ} \cdot (t_{CP}^M - T_{CP}^{НАГ}); \quad Q^{ГР} = k^{ГР} \cdot S^{ГР} \cdot (T_{CP}^{ГР} - t_{CP}^M).$$

Здесь $Q^{ГР}$, $Q^{НАГ}$ – тепловые потоки; $S^{ГР}$, $S^{НАГ}$ – площади поверхности теплообмена; $k^{ГР}$, $k^{НАГ}$ – коэффициенты теплопередачи; $M^{ГР}$, $M^{НАГ}$ – массы; $H^{ГР}$, $H^{НАГ}$ – энтальпии; $T_{CP}^{ГР}$, $T_{CP}^{НАГ}$ – средние температуры греющей и нагреваемой сред; t_{CP}^M , M^M , C_p^M – средняя температура, масса и теплоемкость металла трубки.

Исследование проводилось применительно к энергоблоку АЭС 2006 ($N_{НОМ} = 1200$ МВт) с САТЭ разработки ВНИИАЭС с небольшими отклонениями, вызванными, в основном, удобством моделирования динамики. Система была рассчитана на максимальную мощность ночной разгрузки энергоблока 16,6% $N_{НОМ}$, как и в ранее рассмотренных схемах АЭС с аккумуляторами тепловой энергии.

Изменение расхода пара в режиме регулирования частоты тока соизмеримо с номинальным значением расхода пара на теплообменник зарядки, поэтому должны существенно изменяться и другие режимные параметры этого теплообменника. Для учета диапазона изменения режимных параметров теплообменника при выборе схемы регулирования и характеристик ее элементов выполнен расчет статических характеристик теплообменника на основании тепловых балансов:

$$G^{ГР} \cdot (H^{ГР}_{ВХ} - H^{ГР}_{ВЫХ}) - Q = 0; \quad Q - G^{НАГ} \cdot (H^{НАГ}_{ВЫХ} - H^{НАГ}_{ВХ}) = 0; \quad Q = k \cdot S_{ТЭ} \cdot \Delta t.$$

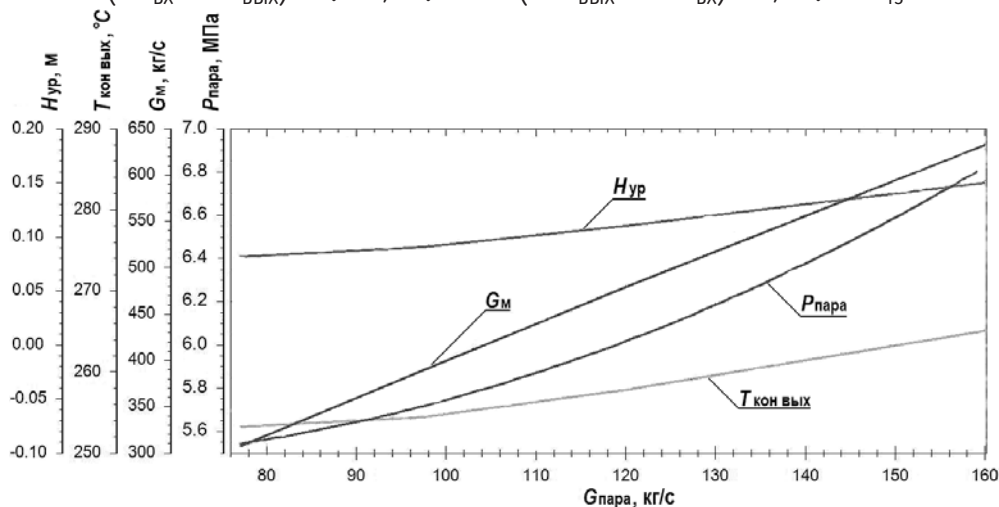


Рис.3. Статические характеристики теплообменника зарядки

Характеристики, представленные на рис. 3, рассчитаны в диапазоне максимально принятого в данном исследовании изменения мощности энергоблока при постоянном давлении пара в парогенераторе 7,2 МПа и заданной температуре масла на входе в теплообменник зарядки 110 °С.

Основным параметром в характеристиках является расход пара на теплообменник зарядки, определяемый следующими параметрами: давление конденсации пара в теплообменнике, расход нагреваемого масла, положение уровня конденсата (поверхность конденсации), температура масла на выходе из теплообменника.

Как видно из рисунка, при изменении расхода пара на теплообменник зарядки с 77 кг/с (увеличение нагрузки на турбогенератор на 10% $N_{НОМ}$) до 160 кг/с (сброс нагрузки на 10% $N_{НОМ}$) давление в теплообменнике изменяется с 5.56 до 6.8 МПа, расход масла – с 306.4 до 631.8 кг/с, уровень конденсата с 0.08 до 0.15 м.

Система совместно с регулятором турбины, включенным на режим «Т», работает следующим образом. По сигналу изменения давления пара в ПГ, вызванному изменением расхода пара на турбину, в связи с обработкой ею сигнала изменения частоты вращения ротора меняется расход пара в теплообменнике зарядки через дроссельно-регулирующий клапан регулятора давления пара. Измеренная величина расхода пара поступает на задатчики регуляторов расхода масла и уровня конденсата.

В разработанной системе автоматического регулирования (САР) теплообменника зарядки были использованы типовые регуляторы с электроприводом постоянной скорости вращения и реальными параметрами настройки (табл. 1).

Таблица 1

Параметры настройки элементов системы автоматического регулирования теплообменника зарядки

Наименование параметра	Обозначение	САР давления пара в ПГ	САР расхода масла в ТЗ
Положение клапана при номинальном расходе, отн. ед.	$X_{кл}$	0,51	0,52
Постоянная времени привода, с	$T_{ПР}$	60,0	25,0
Постоянная интегрирования, с	$T_{И}$	5,0	5,0
Коэффициент обратной связи	$K_{ОБР СВ}$	0,005	1,0
Коэффициент усиления сигнала	K_1	1,0	1,0
Зона нечувствительности	a_1	0,005	0,5
Зона возврата	a_2	0,01	10

Согласно схеме (рис. 4), регулятор получает сигнал рассогласования заданного и текущего значений давления в парогенераторе, воздействует по ПИ-закону на перемещение регулирующего клапана, обеспечивая тем самым изменение расхода пара в ТЗ с учетом зоны нечувствительности, зоны возврата и обратной связи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В обоснование возможности использования на АЭС данной системы регулирования САТЭ для поддержания давления пара в ПГ в режимах регулирования частоты тока были выполнены расчеты режимов, имитирующих сброс и увеличение нагрузки на энергоблок на величину до 10% $N_{НОМ}$, при работе энергоблока в режиме ночной разгрузки до мощности 83,4% $N_{НОМ}$. Изменение расхода пара на турбину принималось аналогичным кривой требуемого изменения мощности энергоблока при его участии в нормированном первичном регулировании частоты [2]. Величины сброса и увеличения нагрузки были сознательно увеличены относительно существующих требований для АЭС с ВВЭР при

их участии в регулировании частоты тока для демонстрации маневренных возможностей АЭС с САТЭ, далеко выходящих за пределы возможностей АЭС без САТЭ.

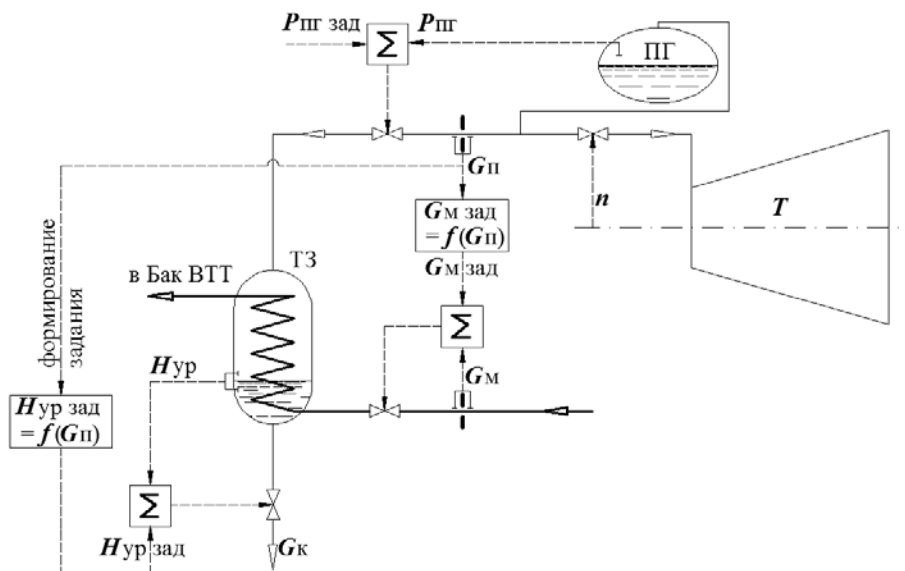


Рис.4. Общая схема системы регулирования теплообменника зарядки

Расчеты проводились на специально разработанной динамической модели, имитирующей работу одной четвертой части подсистемы зарядки САТЭ, включающей в себя парогенератор, теплообменник зарядки, питательный насос, регулятор расхода пара в теплообменник зарядки (регулятор давления пара в ПГ), регулятор расхода масла в теплообменник, регулятор уровня конденсата в теплообменнике, трубопроводы пара, масла и конденсата.

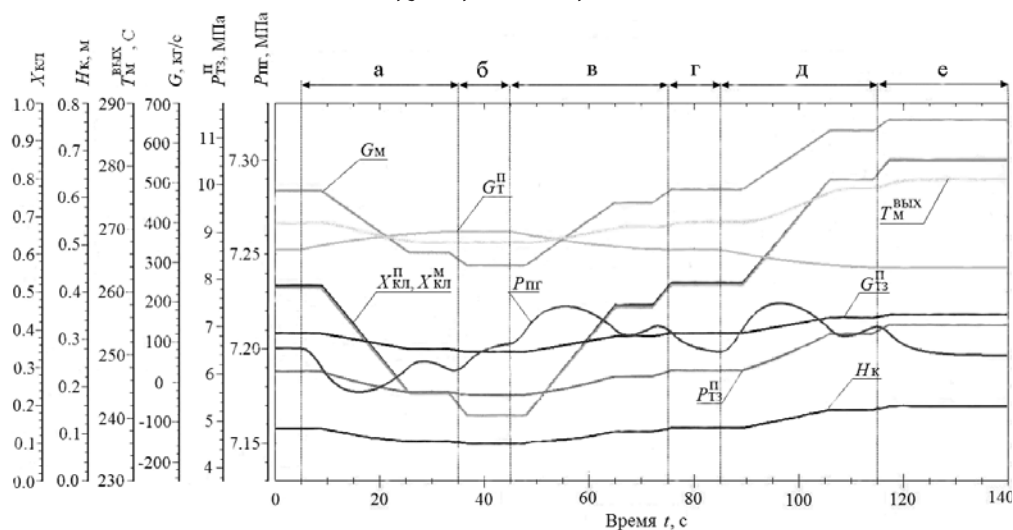


Рис. 5. Графики изменения во времени основных параметров теплообменника зарядки САТЭ при набросе и последующем сбросе нагрузки энергоблока АЭС: а) увеличение мощности ТГ на 10% $N_{ном}$; б) работа на повышенной мощности ТГ; в) возврат к начальному значению мощности ТГ; г) работа на исходной мощности ТГ; д) уменьшение мощности ТГ на 10% $N_{ном}$; е) работа на пониженной мощности ТГ

Результаты расчета представлены на рис. 5 в виде графиков изменения во времени основных параметров, характеризующих динамику энергоблока при скачкообразном увеличении нагрузки на 10% $N_{ном}$ с последующим (после окончания переходного процесса) скачкообразным возвратом в начальное состояние и скачкообразным сбросом

нагрузки на те же 10% $N_{НОМ}$.

На рисунке используются следующие обозначения: расход пара на турбину $G_T^П$ и в теплообменник зарядки $G_{ТЗ}^П$, давление пара в парогенераторе $P_{ПГ}$ и в теплообменнике зарядки $P_{ТЗ}^П$, расход нагреваемого масла G_M , положение регулирующих клапанов $X_{КЛ}^П$ и $X_{КЛ}^М$, положение уровня конденсата в теплообменнике H_K .

Из графиков следует, что

– изменение расхода пара на турбину, имитирующее реакцию турбины на отклонение частоты тока в сети, полностью соответствует требованиям к динамике нормированного первичного регулирования энергоблока при его участии в нормированном первичном регулировании частоты [2];

– отклонение давления пара в парогенераторе от заданного значения 7.2 МПа на протяжении всего исследуемого процесса регулирования при отклонении мощности турбины относительно начального значения сначала на +10% $N_{НОМ}$, затем на – 10% $N_{НОМ}$ не превышает 0.03 МПа;

– температура масла на выходе теплообменника отклоняется от заданного значения при увеличении нагрузки на – 8 °С, при сбросе нагрузки на +8 °С.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты свидетельствуют, что наличие на АЭС с ВВЭР системы аккумуляции тепловой энергии, оборудованной системой регулирования давления пара в парогенераторе в режиме зарядки САТЭ, обеспечивает поддержание давления в парогенераторе при скачкообразных сбросах и увеличениях нагрузки с качеством, исключающим необходимость участия в процессе регулирования реакторной установки, причем в диапазоне нагрузок, существенно выходящих за рамки существующих требований к АЭС при их участии в регулировании частоты тока.

Литература

1. Чаховский В.М., Сопленков К.И. Сэкономим? Энергоэффективность теплоаккумулирующих систем в атомной энергетике. – М.: Росэнергоатом, №2, 2010. – 6с.
2. Нормы участия энергоблоков АЭС в нормированном первичном регулировании частоты. СТО 5912820.27.120.20.002-2010. – М.: ОАО «СО ЕЭС», 2010. – 34с.
3. Основные технические требования к внедрению общего первичного регулирования частоты на энергоблоке №2 Ростовской АЭС, ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2010.
4. Букринский А.М. Аварийные переходные процессы на АЭС с ВВЭР. – М.: Энергоиздат, 1982.

Поступила в редакцию 04.03.2013

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.51.17

Constants base for calculations of fast reactors. The path to the modern state of the problems of the further development. \ Nikolaev M.N.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2013. – 12 pages, 1 illustration. – References, 14 titles.

Briefly described the history of the development of a constant ensure neutron-physical calculations of fast reactors. Impairments in the current state are noted and tasks for further development are formulated.

УДК 519.87:621.039.5

There can be a nuclear power to competitive energy in the free market? \ Klimenko A.V.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2013. – 12 pages, 7 illustrations. – References, 20 titles.

Modern nuclear power installations are noncompetitive at interest rates of economy above 10 %/year in the free market of energy. However, it does not mean, that the nuclear power in general is noncompetitive and, especially, unprofitable. That the nuclear power had the future, it is necessary to reconsider system of designing of nuclear power installations and a nuclear fuel cycle.

УДК 621.181.29

Research of possibility of using thermal energy accumulators on the nuclear power plant at regulation of frequency of current in the power network \ Bazhanov V.V., Loshchakov I.I., Shchuklinov A.P.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2013. – 8 pages, 5 illustrations. – References, 4 titles.

The results of research proving possibility of using a system of accumulation of thermal energy in the nuclear power plant with the VVER reactor for ensuring variable power of a turbogenerator with the participation of the nuclear power plant in regulation of frequency of current in a power network are given in this article. Research is conducted in relation to one of possible versions of the project of the power unit of the nuclear power plant with the VVER reactor of the rated power of 1200 MW and system of accumulation of thermal energy with insignificant deviations in the thermal scheme, power and a design of system of rather published data of the project.

УДК 621.039.57-58

Efficiency of low-power nuclear engineering for heat production \ Kursky A.S.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2013. – 8 pages, 3 tables, 2 illustrations. – References, 14 titles.

The paper presents the usefulness and importance of the development of small nuclear energy. The technical and economic performance of modern reactor are given. This reactor facility is designed for regional energy. The efficiency of vessel-type boiling water reactors in operation of nuclear cogeneration plants and nuclear power combined cycle plants is shown.

УДК 621.039.564

Study of the functioning of the gas phase electrochemical oxygen sensor with a solid oxygenated electrolyte under conditions which emulate process of hydrogen regeneration of circulation loops of perspective reactors with heavy liquid metal coolants \ Ivanov I.I., Storozhenko A.N., Ulyanov V.V., Teplyakov Yu.A., Shelemet'ev V.M., Sadovnichy R.P.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scool. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2013. – 6 pages, 1 table, 6 illustrations. – References, 4 titles.

The theoretical model which describes the dependence of voltage of the gas phase electrochemical oxygen sensor with a solid oxygenated electrolyte on partial pressure of hydrogen in mixture «argon – hydrogen – water vapor» has been considered. This model has been proved in experiments with gas phase electrochemical oxygen sensor with a solid