

УДК 621.039.586

ОПЕРАТИВНЫЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ЯЭУ АЭС НА ЕЕ ЭКОНОМИЧНОСТЬ

В.Н. Пучков

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

Предложен машинный алгоритм выполнения оценочного расчета ЯЭУ, позволяющий оперативно рассчитать основные параметры установки без использования диаграмм и таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара. В качестве примера по этому алгоритму оценено изменение коэффициента полезного действия ЯЭУ АЭС при уменьшении количества теплообменных аппаратов системы регенерации, а также при варьировании давления в деаэраторе.

Введение

Для повышения экономичности ЯЭУ АЭС в их рабочих контурах используется весьма разветвленная система регенерации, содержащая в своем составе различные подогреватели воды высокого и низкого давления, поверхностного и смешивающего типов. Это позволило получить КПД брутто порядка 33 %.

Представляет интерес оценить, как будет изменяться коэффициент полезного действия ЯЭУ, если из всех теплообменных аппаратов системы регенерации вначале оставить только деаэратор, а потом добавлять в систему водоподогреватели разных типов. Не менее интересно проследить, как сказывается на экономичности установки изменение таких параметров, как температура питательной воды, подаваемой в парогенератор, разделительное давление пара между ЦВД и ЦНД, степень перегрева пара в пароперегревателе и т.д.

Возможность оперативного выполнения подобных исследований появилась в результате перехода от "калькуляторных" методов расчета к использованию электронных таблиц MS Excel. Еще большая оперативность была достигнута за счет использования пакета программ *WaterSteamPro* [1] для вычисления термодинамических свойств воды и пара. После инсталляции пакета функции *WaterSteamPro* попадают в список стандартных функций MS Excel и могут выбираться оттуда, как любые другие встроенные функции. В этом случае отпадает необходимость использования таблиц термодинамических свойств воды и пара, а также *i-s* диаграммы, что избавляет от рутинной численной и графической интерполяции данных и повышает точность расчетов.

Предложенный алгоритм исключает также трудоемкие алгебраические преобразования уравнений тепловых балансов при разрешении их относительно искомым переменных. Эта задача решается в Mathcad с использованием его средств символьных вычислений.

Теоретической основой построения использованного в статье расчетного алгоритма является работа [2]. Более подробно данный алгоритм рассмотрен в работе [3].

Постановка задачи и принятие допущений

Целью данной работы является создание электронных таблиц, предназначенных для оценочного эскизного проектирования ЯЭУ АЭС. Структура и взаимосвязь таблиц должны обеспечивать многовариантные расчеты с целью оптимизации параметров установки.

бонасос (КГТН) с гидроприводом (ГП), на который подается силовая вода от ПН; сепаратор (С); деаэрактор (Д). Также на схеме показаны расходы циркулирующих сред: $G_{\text{ПГ}}$ – паропроизводительность ПГ; $G_{\text{Т}}$ – расход пара на турбину; $G_{\text{ПП}}$ – расход греющего пара на пароперегреватель; $G_{\text{от}}$ – расход греющего пара, отбираемого на деаэрактор; $G_{\text{с}}$ – расход конденсата, образовавшегося при сепарации пара; $G_{\text{ПН}}$ – расход пара на турбопривод питательного насоса; $G_{\text{ГК}}$ – расход конденсата, поступающего из ГК в деаэрактор.

Коэффициент полезного действия энергетической установки брутто ($h_{\text{брутто}}$) вычисляется как частное от деления электрической мощности турбогенератора ($P_{\text{ЭГ}}$) на тепловую мощность ядерного реактора ($Q_{\text{ЯР}}$). Если электрическая мощность генератора задана, то для вычисления КПД остается найти соответствующую тепловую мощность реактора:

$$Q_{\text{ЯР}} = G_{\text{ПГ}} \cdot (i_{\text{ПГ}} - i_{\text{ПВ}}), \quad (1)$$

где $G_{\text{ПГ}}$ – паропроизводительность ПГ, кг/с;
 $i_{\text{ПГ}}$ – энтальпия пара на выходе из ПГ, кДж/кг;
 $i_{\text{ПВ}}$ – энтальпия питательной воды на входе в ПГ.

В соответствии с представленной на рис. 1 расчетной схемой весь пар, генерируемый в ПГ, идет на два потребителя: турбину ($G_{\text{Т}}$) и пароперегреватель ($G_{\text{ПП}}$). В свою очередь пар, поступивший на вход ЦВД и отработавший в турбинных ступенях, по пути к ЦНД расходуется частично на подогрев воды в деаэракторе ($G_{\text{от}}$), на работу турбопривода питательного насоса ($G_{\text{ПН}}$) и еще отводится из сепаратора ($G_{\text{с}}$) в деаэрактор в виде отсепарированного конденсата. Определение этих расходов начинается с составления уравнений тепловых балансов пароперегревателя и деаэратора.

Если для обозначения параметров нагреваемой среды использовать индекс "н", для греющей – индекс "г", а коэффициент удержания теплоты в ПП обозначить $h_{\text{ПП}}$ и сухость пара на выходе из ЦВД – $x_{\text{ЦВД}}$, то уравнение теплового баланса для пароперегревателя применительно к нашей расчетной схеме можно записать в виде

$$\eta_{\text{ПП}} \cdot G_{\text{ПП}} \cdot (i_{\text{вхППГ}} - i_{\text{выхППГ}}) = (G_{\text{Т}} - G_{\text{от}}) \cdot x_{\text{ЦВД}} \cdot (i_{\text{выхППн}} - i_{\text{вхППн}}). \quad (2)$$

Соответственно уравнение теплового баланса для деаэратора будет иметь вид

$$\eta_{\text{д}} [G_{\text{от}} \cdot i_{\text{выхЦВД}} + G_{\text{с}} \cdot i_{\text{вод.сеп}} + G_{\text{ПП}} \cdot i_{\text{выхППГ}} + (G_{\text{Т}} - G_{\text{от}}) \cdot x_{\text{ЦВД}} \cdot i_{\text{выхОПУ}}] = G_{\text{Т}} \cdot i_{\text{выхД}}, \quad (3)$$

где $G_{\text{с}} = (G_{\text{Т}} - G_{\text{от}}) \cdot (1 - x_{\text{ЦВД}})$.

Для получения количественных оценок нужно определить базовые параметры теплоносителя и рабочего тела, задав следующие исходные данные:

- давление теплоносителя в 1-м контуре - $P_{\text{ТН}}$;
- запас до кипения на выходе из реактора - $\Delta T_{\text{с}}$;
- подогрев теплоносителя в реакторе - $\Delta T_{\text{ЯР}}$;
- минимальный температурный напор в ПГ - $\Delta T_{\text{минПГ}}$;
- минимальный температурный напор в ПП - $\Delta T_{\text{минПП}}$;
- потеря давления пара между ПГ и ЦВД - $\Delta P_{\text{ПГ-ЦВД}}$;
- давления в главном конденсаторе - $P_{\text{ГК}}$ и деаэракторе - $P_{\text{д}}$.

Приведенный ниже алгоритм вычислений предполагает работу в среде MS Excel с встроенными функциями термодинамических свойств воды и водяного пара [2].

Целью следующего блока вычислений является предварительный расчет параметров пара в ЦВД и ЦНД. Традиционно эту задачу решали графически с использованием i - s диаграммы, как это показано ниже на рис. 2 для ЦВД. Использование встроенных в MS Excel функций термодинамических свойств воды и пара позволяет обойтись без диаграммы.

Т а б л и ц а 2

Предварительный расчет параметров пара в ЦВД

Параметры	Формулы
Энтальпия насыщенного пара на выходе из ПГ – $i_{пг} = i_{вх_цвд}$	wspHSST($T_{пг}$)
Энтропия пара на входе в ЦВД – $s_{вх_цвд}$	wspSPH($P_{цвд}; i_{пг}$)
Энтальпия пара после изоэнтроп. расшир. до $P_{разд}$ – $i_{вх_пп}$	wspHPS($P_{разд}; s_{вх_цвд}$)
Располагаемый адиабатический теплоперепад в ЦВД – $Ha_{цвд}$	$i_{вх_цвд} - i_{вх_пп}$
Внутренний КПД ЦВД – $\eta_{цвд}$	Принято 0.82
Внутренний теплоперепад в ЦВД – $Hi_{цвд}$	$Ha_{цвд} \cdot \eta_{цвд}$
Энтальпия пара на выходе из ЦВД – $i_{вых_цвд}$	$i_{вх_цвд} - Hi_{цвд}$
Энтальпия пара на линии насыщения при $T_{вх_пп}$ – $i''_{пп}$	wspHSST($T_{вх_пп}$)
Энтальпия воды на линии насыщения при $T_{вх_пп}$ – $i'_{пп}$	wspHSWT($T_{вх_пп}$)
Сухость пара на выходе из ЦВД – $x_{цвд}$	$(i_{вых_цвд} - i'_{пп}) / (i''_{пп} - i'_{пп})$
Энтропия пара на выходе из ЦВД – $s_{вых_цвд}$	wspSSTX($T_{вх_пп}; x_{цвд}$)

На выходе из ЦВД сухость пара должна быть не менее 85 %. Если этот предел окажется превышенным, нужно изменить выбранные параметры пара и повторить расчет.

Приведенный в табл. 3 алгоритм расчета параметров пара в ЦНД не имеет принципиальных отличий от алгоритма, представленного в табл. 2. Особенность лишь в том, что на вход ЦНД поступает перегретый пар и для расчета его параметров используются соответствующие встроенные функции.

Т а б л и ц а 3

Предварительный расчет параметров пара в ЦНД

Параметры	Формулы
Энтропия пара на входе в ЦНД – $s_{вх_цнд}$	wspSPT($P_{цнд}; T_{вых_пп}$)
Энтальпия пара на входе в ЦНД – $i_{вх_цнд}$	wspHPT($P_{цнд}; T_{вых_пп}$)
Энтальпия пара после изоэнтропийного расширения до $P_{гк}$ – $i_{гк}$	wspHPS($P_{гк}; s_{вх_цнд}$)
Располагаемый адиабатический теплоперепад в ЦНД – $Ha_{цнд}$	$i_{вх_цнд} - i_{гк}$
Внутренний КПД ЦНД – $\eta_{цнд}$	Принято 0.83
Внутренний теплоперепад в ЦНД – $Hi_{цнд}$	$Ha_{цнд} \cdot \eta_{цнд}$
Энтальпия пара на выходе из ЦНД – $i_{вых_цнд}$	$i_{вх_цнд} - Hi_{цнд}$
Энтальпия пара на линии насыщения при $T_{гк}$ – $i''_{гк}$	wspHSST($T_{гк}$)
Энтальпия воды на линии насыщения при $T_{гк}$ – $i'_{гк}$	wspHSWT($T_{гк}$)
Сухость пара на выходе из ЦНД – $x_{цнд}$	$(i_{вых_цнд} - i'_{гк}) / (i''_{гк} - i'_{гк})$
Энтропия пара на выходе из ЦНД – $s_{вых_цнд}$	wspSSTX($T_{гк}; x_{цнд}$)

Зададимся исходными данными: $P_{тн} = 16,5$ МПа; $\Delta T_s = 24$ °С; $\Delta T_{яп} = 32$ °С; $\Delta T_{минПГ} = 10$ °С; $\Delta T_{минПП} = 22$ °С; $\Delta P_{пг-цвд} = 0,04$ МПа; кПа; $P_d = 0,7$ МПа и вычислим операнды уравнения (2):

- $i_{вхППг} = 2775,2$ кДж/кг - это $i_{вх_цвд}$ из табл. 2;
- $i_{выхППг} = 1228,3$ кДж/кг - энтальпия насыщ. воды при $P = 0,98 \cdot P_{вх_цвд}$. Здесь коэффициент 0,98 введен для учета потери давления в паропроводе ($P_{вх_цвд}$ берется из табл. 1);
- $x_{цвд} = 0,86$ – см. формулу в табл. 2;
- $i_{вхППн} = 2770,9$ кДж/кг - энтальпия насыщенного пара при $0,95 \cdot P_{разд}$. Здесь коэффициент 0,95 введен для учета потери давления в сепараторе ($P_{разд}$ берется из табл. 1);
- $i_{выхППн} = 2972,8$ кДж/кг - энтальпия перегретого пара – функция $T_{вых_пп}$ и $0,95 \cdot P_{разд}$ (аргументы берутся из табл. 1);
- $\eta_{пп} = 0,99$ - по прототипу.

После подстановки в выражение (2) этих значений и переноса влево правой части равенства получим

$$0.99 \cdot G_{\text{пп}} \cdot (2775.2 - 1228.3) - (G_{\text{T}} - G_{\text{от}}) \cdot 0.86 \cdot (2972.8 - 2770.9).$$

Для раскрытия скобок и упрощения этого выражения загрузим его в окно документов Mathcad, выделим всю запись и щелкнем в панели *Символьные операторы* по *Символьному знаку равенства*. В результате справа от нашего выражения появится стрелка. Нажав клавишу Enter, получим результат преобразования (правее стрелки):

$$0.99 \cdot G_{\text{пп}} \cdot (2775.2 - 1228.3) - (G_{\text{T}} - G_{\text{от}}) \cdot 0.86 \cdot (2972.8 - 2770.9) \rightarrow 1532 \cdot G_{\text{пп}} - 173.7 \cdot G_{\text{T}} + 173.7 \cdot G_{\text{от}}.$$

Разделив полученное выражение на 173.7 и разрешив относительно $G_{\text{от}}$, получим

$$G_{\text{от}} = G_{\text{T}} - 8.82 \cdot G_{\text{пп}}. \quad (4)$$

Далее таким же образом преобразуем выражение (3). Операндами в данном случае будут:

- $\eta_{\text{д}} = 0,995$ - по прототипу;
- $i_{\text{выхЦВД}} = 2489,6$ кДж/кг - энтальпия пара на выходе из ЦВД берется из табл. 2;
- $i_{\text{вод.сеп}} = 742,1$ кДж/кг - энтальпия насыщ. воды при $P_{\text{разд}}$ ($P_{\text{разд}}$ берется из табл. 1);
- $i_{\text{выхППГ}} = 1228,3$ кДж/кг - энтальпия определена выше;
- $i_{\text{выхОПУ}} = 151,27$ кДж/кг - энтальпия воды после охладителя пара уплотнений.

При заданном давлении в ГК 5 кПа температура конденсата 32,9 °С. По опыту эксплуатации в ОПУ вода нагревается примерно на 3 °С, а давление воды за ОПУ составляет 0,5 МПа. Поэтому энтальпия вычисляется для $T = 36$ °С и $P = 0,5$ МПа:

- $i_{\text{выхд}} = 697.14$ - энтальпия насыщенной воды в деаэраторе при $P_{\text{д}} = 0.7$ МПа;
- $x_{\text{цвд}} = 0.86$ - сухость пара определена выше.

После подстановки в выражение (3) этих значений и переноса влево правой части равенства получим

$$0.995 \cdot [G_{\text{от}} \cdot 2489.6 + (G_{\text{T}} - G_{\text{от}}) \cdot (1 - 0.86) \cdot 742.1 + G_{\text{пп}} \cdot 1228.3 + (G_{\text{T}} - G_{\text{от}}) \cdot 0.86 \cdot 151.27] - G_{\text{T}} \cdot 697.14.$$

Для раскрытия скобок и упрощения этого выражения загрузим его в окно документов Mathcad и выполним символьную операцию вычисления. В результате получим

$$0.995 \cdot [G_{\text{от}} \cdot 2489.6 + (G_{\text{T}} - G_{\text{от}}) \cdot (1 - 0.86) \cdot 742.1 + G_{\text{пп}} \cdot 1228.3 + (G_{\text{T}} - G_{\text{от}}) \cdot 0.86 \cdot 151.27] - G_{\text{T}} \cdot 697.14 \rightarrow 2244.3 \cdot G_{\text{от}} - 464.33 \cdot G_{\text{T}} + 1222.2 \cdot G_{\text{пп}}.$$

Разделив полученное выражение на 1222.2 и разрешив относительно $G_{\text{пп}}$, получим

$$G_{\text{пп}} = 0.38 \cdot G_{\text{T}} - 1.836 \cdot G_{\text{от}}. \quad (5)$$

Решив систему уравнений (4)-(5), получим

$$G_{\text{пп}} = 0.096 \cdot G_{\text{T}} \text{ и } G_{\text{от}} = 0.155 \cdot G_{\text{T}}. \quad (6)$$

Выше было показано, что потери пара в виде конденсата, отводимого из сепаратора, определяются равенством: $G_{\text{с}} = (G_{\text{T}} - G_{\text{от}}) \cdot (1 - x_{\text{цвд}})$. Подставив сюда выражение для $G_{\text{от}}$ из выражения (6) и вычисленное выше значение $x_{\text{цвд}}$, получим

$$G_{\text{с}} = 0.12 \cdot G_{\text{T}}. \quad (7)$$

Как видно из приведенной на рис. 1 расчетной схемы, в составе рабочего контура предусмотрен конденсатный насос пароперегревателя с гидротурбинным приводом, получающим рабочую воду из напорного трубопровода питательного насоса и возвращающим отработавшую воду в приемный трубопровод ПН, то есть, по сути, - в деаэрактор. Поэтому нужно рассчитать расход силовой воды на гидропривод и учесть его при определении подачи ПН. Чтобы не загромождать статью, здесь не приводятся расчеты гидропривода конденсатного насоса и турбопривода питательного насоса, а только заимствуется из выполненного ранее проекта выражение, определяющее расход пара на турбопривод ПН:

$$G_{\text{пн}} = 0.022 \cdot G_{\text{т}}. \quad (8)$$

Теперь у нас есть все расчетные зависимости, необходимые для вычисления отборов пара в долях от расхода его на турбину ($G_{\text{т}}$). Для перехода от относительных расходов пара на потребители к абсолютным нужно вычислить расход пара на главную турбину.

При разработке технического задания в качестве одного из важнейших параметров указывается электрическая мощность генератора АЭС – $P_{\text{эГ}}$, МВт. Задавшись значениями КПД электрогенератора ($\eta_{\text{ген}} = 0.98 \dots 0.99$) и механического КПД турбоагрегата ($\eta_{\text{мех}} = 0.98 \dots 0.985$), электрическую мощность генератора можно пересчитать во внутреннюю мощность турбины:

$$N_{\text{ит}} = P_{\text{эГ}} / (\eta_{\text{ген}} \cdot \eta_{\text{мех}}). \quad (9)$$

Так как внутренняя мощность турбины равна сумме мощностей всех ее ступеней, а мощность каждой j -й ступени определяется произведением теплоперепада, срабатываемого в ступени ($H_{i_{\text{ст } j}}$), на расход пара через эту ступень ($G_{\text{ст } j}$), то для турбины, имеющей m ступеней, справедливо равенство

$$N_{\text{ит}} = \sum_{j=1}^m G_{\text{ст } j} \cdot H_{i_{\text{ст } j}}. \quad (10)$$

Теплоперепады, срабатываемые в ступенях ЦВД и ЦНД, в первом приближении определяются посредством деления соответствующего внутреннего теплоперепада на количество ступеней. А расходы пара через ступени можно найти, последовательно вычитая из начального расхода пара $G_{\text{т}}$ отборы в соответствии с расчетной схемой рабочего контура.

В рассматриваемом нами частном случае, когда нет отборов из проточных частей ЦВД и ЦНД, задача упрощается. В ЦВД расход пара через все ступени равен $G_{\text{т}}$, а в ЦНД расход через ступени равен $G_{\text{т}} - G_{\text{от}} - G_{\text{с}} - G_{\text{пн}}$.

Если взять из табл. 2 и 3 значения внутренних теплоперепадов $H_{i_{\text{цвд}}}$ и $H_{i_{\text{цнд}}}$, то в нашем случае формулу (10) с учетом (9) можно переписать в виде

$$P_{\text{эГ}} / (\eta_{\text{ген}} \cdot \eta_{\text{мех}}) = G_{\text{т}} \cdot H_{i_{\text{цвд}}} + (G_{\text{т}} - G_{\text{от}} - G_{\text{с}} - G_{\text{пн}}) \cdot H_{i_{\text{цнд}}}. \quad (11)$$

Из этого равенства в окне документов Mathcad определяется необходимый расход пара на турбину $G_{\text{т}}$. В нашем конкретном случае $H_{i_{\text{цвд}}} = 285,5$, а $H_{i_{\text{цнд}}} = 675,7$ кДж/кг. Если задать электрическую мощность генератора $P_{\text{эГ}} = 10^6$ кВт, то из выражения (11) следует, что $G_{\text{т}} = 1364,3$ кг/с.

Поскольку на пароперегреватель в качестве греющего идет $G_{\text{пн}} = 0.096 \cdot G_{\text{т}} = 131$ кг/с свежего пара, общая потребность в паре составляет $G_{\text{т}} + G_{\text{пн}} = 1495$ кг/с. С учетом дополнительных затрат пара на теплофикацию, собственные нужды и протечки пара, которые приняты равными 7 % от $(G_{\text{т}} + G_{\text{пн}})$, паропроизводительность ПГ $G_{\text{пг}}$ будет равна 1600 кг/с.

Для вычисления мощности реактора подставим в формулу (1) найденное значение $G_{\text{ПГ}}$, а также вычисленные ранее значения $i_{\text{ПГ}} = 2775,2$ и $i_{\text{ПВ}} = 697,14$ кДж/кг. В результате получим, что мощность ядерного реактора $Q_{\text{ЯР}}$ должна быть равна 3392300 кВт. При заданной электрической мощности генератора 10^6 кВт этому соответствует значение коэффициента полезного действия $h_{\text{брутто}} = P_{\text{ЭГ}}/Q_{\text{ЯР}} \cdot 100 = 29,5$ %. Как видим, сокращение числа водоподогревателей привело к снижению КПД на 3,5 %.

Использование созданных электронных таблиц для оценки изменений КПД ЯЭУ

Приведенный выше, в качестве примера, расчет выполнен для давления в деаэраторе 0,7 МПа. Решим с помощью созданных электронных таблиц практическую задачу – оценим изменение КПД установки при снижении давления в деаэраторе с 0,7 до 0,5, а затем до 0,3 МПа (при этом значения всех параметров, не зависящих от давления в деаэраторе, оставим неизменными).

Очевидно, что уменьшение давления в деаэраторе приведет к снижению температуры и энтальпии питательной воды, подаваемой в ПГ. Соответственно изменится тепловой баланс деаэратора, а значит, расход пара, отбираемого на деаэратор, и расход конденсата, поступающего в деаэратор из сепаратора. В свою очередь, при этом изменятся расход пара на турбину, паропроизводительность ПГ и мощность реактора, что повлияет на КПД брутто. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Зависимость КПД брутто от давления в деаэраторе

Параметры	Давление в деаэраторе, МПа		
	0.7	0.5	0.3
Температура воды в деаэраторе, °С	165.0	151.8	133.5
Энтальпия воды в деаэраторе, кДж/кг	697.1	640.2	561.5
Расход пара на турбину, кг/с	1364	1332	1302
Паропроизводительность ПГ, кг/с	1600	1565	1534
Мощность реактора, МВт	3392	3410	3464
КПД брутто, %	29.5	29.3	28.9

В табл. 4 приведены итоговые результаты. Для их получения в каждом варианте корректировалось уравнение теплового баланса деаэратора (заменялась энтальпия воды в деаэраторе), пересчитывались расход пара в отборе на деаэратор и расход конденсата, поступающего в деаэратор из сепаратора. После этого из равенства (11) вычислялся расход пара на турбину. Последовательность дальнейших вычислений пояснена выше на примере расчета КПД брутто при давлении в деаэраторе 0,7 МПа.

Как видно из табл. 4, изменение КПД брутто при варьировании давления в деаэраторе в рассмотренном диапазоне незначительно. Тем не менее, существует тенденция снижения КПД при уменьшении давления в деаэраторе. Подобным образом можно оценить влияние других эксплуатационных параметров на КПД установки.

Выводы

По мере возрастания требований к качеству и оперативности многовариантных расчетов в теплоэнергетике все активнее используются различные электронные таблицы в сочетании с библиотеками программ для вычисления термодинамических свойств воды, пара, газов и т.д. В данной работе показана возможность выполнения проектных заданий для ЯЭУ АЭС с ВВЭР в среде MS Excel без таблиц термодинамических свойств воды и пара, а также без термодинамических диаграмм. В данном случае объ-

емные справочники и диаграммы заменяет разработанный в МЭИ пакет программ *WaterSteamPro* [1]. Существуют и другие подобные программные средства. Эти программы избавляют проектантов от рутинной численной и графической интерполяции данных и повышают точность вычислений.

Объектом проектирования в данном случае является установка с максимально сокращенной системой регенерации – из всех водоподогревателей оставлен только деаэратор. Направлением дальнейшей работы является наращивание системы регенерации вплоть до полного комплекта [3] с отслеживанием того, как это сказывается на КПД брутто.

Представленный алгоритм расчета ориентирован на вычисление КПД брутто ЯЭУ АЭС, но при желании его легко изменить или дополнить, по-другому скоммутировав таблицы. Примером этого может служить работа [3], выполненная для ЯЭУ с семью водоподогревателями, и содержащая в числе прочих таблиц блок расчета системы теплофикации, блок вычисления параметров питательного насоса и некоторые другие блоки.

В качестве примера, демонстрирующего работоспособность представленных таблиц, в конце статьи приведены результаты расчета изменения КПД при варьировании давления в деаэраторе. Полученные данные указывают на тенденцию снижения КПД при уменьшении этого давления.

ОПЕРАТИВНИЙ СПОСІБ ОЦІНКИ ВПЛИВУ СКЛАДУ СИСТЕМИ РЕГЕНЕРАЦІЇ ЯЕУ АЕС НА ЇЇ ЕКОНОМІЧНІСТЬ

В.М. Пучков

Запропоновано машинний алгоритм виконання оцінного розрахунку ЯЕУ, що дозволяє оперативно розрахувати основні параметри установки без використання діаграм і таблиць термодинамічних властивостей води і водяної пари. Як приклад, за цим алгоритмом оцінена зміна коефіцієнта корисної дії ЯЕУ АЕС при зменшенні кількості теплообмінних апаратів системи регенерації, а також при варіюванні тиску в деаераторі.

OPERATIVE METHOD of ESTIMATION of INFLUENCE of COMPOSITION SYSTEMS of REGENERATION YAEU AES on its ECONOMY

V. Puchkov

The machine algorithm of NPP' evaluation calculation execution, allowing to calculate operatively the basic plant parameters without use the diagrams and tables of water and water steam thermodynamics properties was suggested. It was estimated the NPP' efficiency change at the regeneration system heat-exchangers number decrease and also at varying of pressure in the deaerator as an example of this algorithm application.

Список использованных источников

1. *Александров А.А.* Сертифицированный набор программ для вычислений свойств воды/водяного пара, газов и смесей газов "WaterSteamPro"™ / А.А. Александров, К.А. Орлов, А.В. Очков, В.Ф. Очков [Электронный ресурс]. – М.: Московский энергетический ин-т (технический ун-т), 1999 - 2010. – Режим доступа: WWW-site программы WaterSteamPro: <http://www.wsp.ru>

2. *Кирияченко В.А.* Основы теории и проектирования ядерных энергетических установок атомных электрических станций: учеб. пособие / В.А. Кирияченко. – Севастополь: СМУЯЭиП, 2011. – 480 с.

3. *Кирияченко В.А.* Алгоритм выполнения эскизного проекта ЯЭУ АЭС с ВВЭР: метод. пособие к курсовому и дипломному проектированию / В.А. Кирияченко, Б.Л. Пилипчук, В.Н. Пучков. – Севастополь: СМУЯЭиП, 2013. – 48 с.

Надійшла до редакції 04.03.2013 р.