

## ОБ УПРАВЛЕНИИ ВЫДЕРЖИВАНИЕМ ГРАФИКА-ЗАДАНИЯ ПУСКА МОНОБЛОКА СКД НА ПРЕДНАГРУЗОЧНОЙ СТАДИИ

Афанасьев Н.Н., Махно И.В., Курышко Г.И.

Институт прикладной математики и механики НАН Украины, Углегорская ТЭС

E-mail: nafan@iamm.ac.donetsk.ua

### Abstract

*Afanasyev N.N., Mahno I.V., Kurischko G.I. About control of the observation of the time schedule in a supercritical pressure steam power unit in advice mode. Methods of monitoring and control of the observation of the time schedule for the rise of the medium temperature before the built-in valve in a supercritical pressure steam power unit are suggested. These methods are based on the representation of the time schedule as a solution of some differential equation and provide the process control possibility in advice mode. The fully automated control option is foreseen.*

**Введение.** Известно [1], что пуски энергоблоков сверхкритического давления (СКД) проводятся с использованием сепараторного режима по унифицированной технологии, регламентируемой для каждого типа блока соответствующей инструкцией [2,3]. В этой технологии особое значение придается выдерживанию графика-задания на пуск блока, который фактически регламентирует его темп с учетом всех основных технологических ограничений. Такая роль графика-задания позволяет считать входящие в его состав параметры ведущими, а их значения, соответствующие графику-заданию, - нормативными.

Анализ регламентируемых упомянутыми инструкциями графиков-заданий показывает, что все они независимо от режима пуска имеют одну и ту же структуру по составу ведущих параметров. При этом до включения генератора в сеть график-задание образуют одни параметры, а после включения - другие, что делит период пуска блока после начала растопки котла на две стадии, называемые соответственно преднагрузочной и нагрузочной, и оказывает существенное влияние на управление выдерживанием графика-задания. Поэтому оно должно рассматриваться отдельно по указанным стадиям пуска блока.

Из-за ограниченного объема статьи будет рассмотрена только преднагрузочная стадия пуска моноблока СКД. Для нее график-задание образуют три ведущих параметра, а именно:

- температура среды перед встроенной задвижкой (ВЗ) котла  $t'_{ВЗ}$ ;
- давление свежего пара перед турбиной  $P_0$ ;
- частота вращения роторов турбины  $n$ .

Выдерживание графика-задания по  $n$  на практике сводится к соблюдению требуемых технологических выдержек для заданных промежуточных значений оборотов турбины, что обеспечивается выполнением соответствующих операций дискретного управления пуском блока. Что касается давления  $P_0$ , то согласно типовым инструкциям для обеспечения максимальной паропроизводительности котла желательно, чтобы оно принимало значения вблизи технически возможного минимума с обеспечением требуемых значений от толчка роторов турбины до ее выхода на номинальные обороты. Поэтому специального рассмотрения заслуживает лишь выдерживание графика-задания для  $t'_{ВЗ}$ . Он наиболее важен и требует более точного выдерживания, что может быть достигнуто только при автоматизации этого процесса. Однако ее осуществление встречает большие трудности, среди которых одна из главных состоит в том, что графики-задания на пуск блока в типовых инструкциях задаются в виде явных функций времени, которые не совпадают с реальными,

поскольку на пуск блока воздействует множество непредвиденных факторов, из-за чего практически всегда нарушается график пуска блока по времени. Кроме того, поведение графика-задания для  $t'_{ВЗ}$  существенно зависит от начального теплового состояния оборудования, характеризуемого температурами  $t_{MT1} = t_{ЦВД}^o$  и  $t_{MT2} = t_{ЦСД}^o$ , где  $t_{ЦВД}^o$ ,  $t_{ЦСД}^o$  - температуры металла верха наружных корпусов ЦВД и ЦСД в зоне паровпуска. По своей физической природе эта зависимость непрерывна. Однако в типовых инструкциях она отражена дискретным образом, что создает дополнительные трудности. Оказывается все эти трудности преодолеваются, если функцию, описывающую график-задание для  $t'_{ВЗ}$ , представить как решение некоторого дифференциального уравнения [4]. С технологической точки зрения такое представление графика-задания обосновано в [5]. Там же схематично указаны и его применения при управлении выдерживанием графика-задания. На практике впервые это было использовано в системе "ОКАПР" для оперативного контроля и автоматизации пусковых режимов газомазутного энергоблока 800 МВт [6], разработанной для работы на устаревшей сейчас технике (СМ1210, ПС1001). В дальнейшем система "ОКАПР" была распространена на некоторые другие моноблоки и реализована на IBM-совместимых ПЭВМ с расширением ее возможностей в представлении выходной информации. В настоящей статье основное внимание уделяется разработке эффективных способов контроля выдерживания графика-задания подъема температуры среды перед ВЗ и управления этим процессом с учетом накопленного опыта эксплуатации системы "ОКАПР" и появившихся дополнительных возможностей благодаря унификации отображения выходной информации [7]. Для определенности предполагается, что растопка котла на преднагрузочной стадии пуска ведется на природном газе, как это бывает в большинстве случаев.

**Формулировка задачи управления выдерживанием графика-задания подъема температуры среды перед ВЗ.** Сопоставление регламентируемых инструкциями [2,3] графиков-заданий подъема  $t'_{ВЗ}$  показывает, что существует всего четыре их вида, существенно отличающихся по своей конфигурации [5]. Все они схематично изображены на рис. 1 соответствующими кривыми.

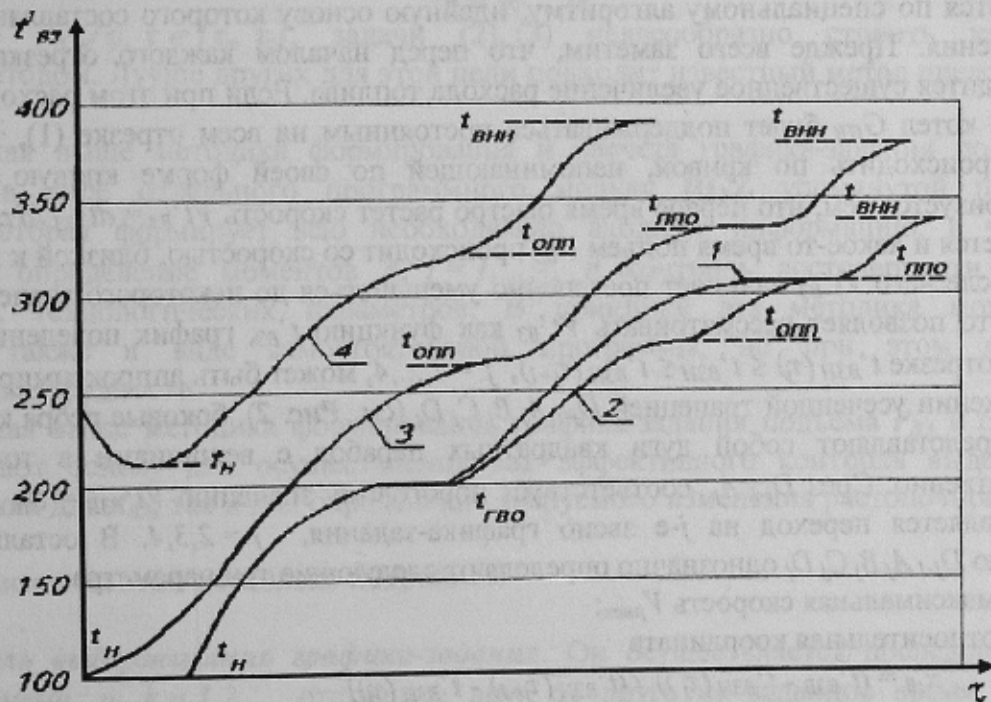


Рис. 1. Основные конфигурации графиков-заданий подъема температуры среды перед ВЗ

Каждая из них характеризуется определенным набором значений  $t'_{B3}$ , называемых опорными, и таких, что подъем  $t'_{B3}$  заключается в переходе от одного опорного значения  $t'_{B3}$  к другому вдоль кривой, близкой по своей форме к кривой разгона. Эти участки графика-задания между опорными значениями  $t'_{B3}$  будем называть кратко его звеньями.

Дальнейшее изложение мы будем вести на примере второй кривой как наиболее общей, считая, что все ее функции для определения температур  $t_{НПП}$ ,  $t_{ОПП}$  и  $t_{ВНН}$  уже построены. Тем самым в любой момент времени пуска блока по измеренным значениям  $t_{MT1}$  и  $t_{MT2}$  может быть вычислена любая требуемая опорная температура, т.е. либо  $t_{ОПП}$ , либо  $t_{ППО}$ , либо  $t_{ВНН}$ . Кроме того, условимся о следующих обозначениях. Как видно из инструкций [2,3], график-задание подъема  $t'_{B3}$  от  $t_H$  до  $t_{ВНН}$  разбивается другими опорными температурами в общем случае на четыре звена, причем все звенья являются графиками монотонно возрастающих функций. Пронумеруем указанные звенья по возрастанию  $t'_{B3}$  с помощью индекса  $j$ ,  $j = 1, 2, 3, 4$ , и каждому  $j$ -му звену поставим в соответствие отрезок времени

$$\tau_n \leq \tau_j \leq \tau \leq \tau_{j+1} \leq \tau_c, \tag{1}$$

где  $\tau_n$  – момент времени начала подъема  $t'_{B3}$ ,  $\tau_c$  – время включения генератора в сеть,  $\tau_j$  обозначает время совпадения  $t'_{B3}$  с опорной температурой для левого конца  $j$ -го звена, а  $\tau_{j+1}$  – для его правого конца.

Из анализа инструкций [2,3] вытекает, что управление выдерживанием графика-задания для  $t'_{B3}$  сводится к решению для каждого промежутка времени (1) следующей общей задачи.

В текущий момент времени  $\tau_j$ ,  $j = 1, \dots, 4$  известны нормативное значение  $t'_{B3N}(\tau_j)$ , а также опорное значение  $t'_{B3N}(\tau_{j+1})$ , вычисленное по текущим значениям  $t_{MT1}(\tau_{j+1})$ , и  $t_{MT2}(\tau_{j+1})$ . Но сам момент времени  $\tau_{j+1}$  заранее не известен. Требуется осуществить подъем  $t'_{B3}$  на отрезке времени  $\tau_j \leq \tau < \tau_{j+1}$ , от значения  $t'_{B3N}(\tau_j)$  до значения  $t'_{B3N}(\tau_{j+1})$  по соответствующему звену графика-задания для  $t'_{B3}$ .

Основу решения этой задачи управления составляет расчет нормативных значений  $t'_{B3N}$  с использованием указанного подхода к представлению графика-задания подъема  $t'_{B3}(\tau)$ ,  $\tau \in [\tau_n, \tau_c]$ . Осуществляется он одинаково для всех промежутков времени (1).

**Вычисление нормативных значений температуры среды перед ВЗ  $t'_{B3N}$ .** Оно проводится по специальному алгоритму, идейную основу которого составляют следующие соображения. Прежде всего заметим, что перед началом каждого отрезка времени (1) производится существенное увеличение расхода топлива. Если при этом расход питательной воды на котел  $G_{ПВ}$  будет поддерживаться постоянным на всем отрезке (1), то подъем  $t'_{B3}$  будет происходить по кривой, напоминающей по своей форме кривую разгона. Она характеризуется тем, что первое время быстро растет скорость  $Vt'_{B3} = dt'_{B3}/d\tau$ , затем ее рост замедляется и какое-то время подъем  $t'_{B3}$  происходит со скоростью, близкой к максимальной  $V_{jmax}$ , после чего  $Vt'_{B3}$  начинает постепенно уменьшаться до некоторого значения, близкого нулю. Это позволяет рассматривать  $Vt'_{B3}$  как функцию  $t'_{B3}$ , график поведения которой на каждом отрезке  $t'_{B3N}(\tau_j) \leq t'_{B3} \leq t'_{B3N}(\tau_{j+1})$ ,  $j = 1, \dots, 4$ , может быть аппроксимирован в первом приближении усеченной трапецией  $D_{j-1} A_j B_j C_j D_j$  (см. Рис. 2), боковые ребра которой  $A_j B_j$  и  $C_j D_j$  представляют собой дуги квадратных парабол с вершинами в точках  $B_j$  и  $C_j$  соответственно. Срез  $D_{j-1} A_j$  соответствует пороговому значению  $Vt'_{B3П} = \vartheta_{П}$ , по которому осуществляется переход на  $j$ -е звено графика-задания,  $j = 2, 3, 4$ . В остальном каждую трапецию  $D_{j-1} A_j B_j C_j D_j$  однозначно определяют следующие три параметра:

- 1) максимальная скорость  $V_{jmax}$ ;
- 2) относительная координата

$$x_{iB} = (t'_{B3B} - t'_{B3N}(\tau_j)) / (t'_{B3N}(\tau_{j+1}) - t'_{B3N}(\tau_j))$$

проекции точки  $B_j$  на ось  $t'_{B3N}$ ;

3) относительная координата

$$x_{iC} = (t'_{B3C} - t'_{B3H}(\tau_j)) / (t'_{B3H}(\tau_{j+1}) - t'_{B3H}(\tau_j))$$

проекции точки  $C_j$  на ось  $t'_{B3H}$

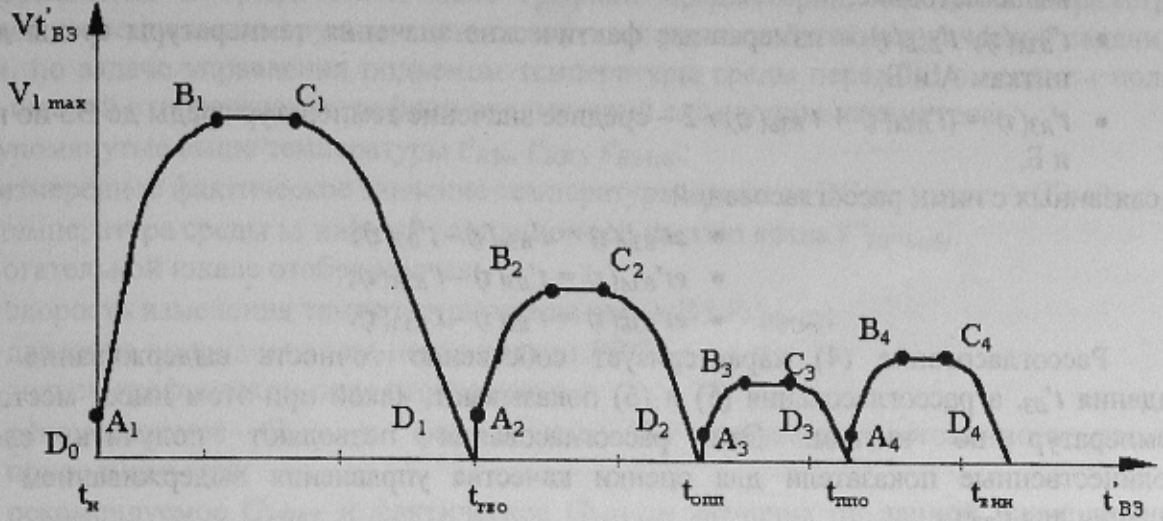


Рис. 2. Аппроксимация графика скорости подъема  $t'_{B3}$  как функции  $t'_{B3}$

Эти параметры позволяют легко получить аналитическое выражение для описания поведения кривой  $A_j B_j C_j D_j$ , а значит, и скорости  $Vt'_{B3H}$  как функции  $t'_{B3H}$ . Выполнив очевидные вычисления и обозначив полученную функцию через  $\varphi_j(t'_{B3H})$ , приходим к искомому дифференциальному уравнению

$$dt'_{B3H}/d\tau = \begin{cases} \varphi_1(t'_{B3H}), & \tau_n = \tau_1 \leq \tau < \tau_2, \\ \varphi_2(t'_{B3H}), & \tau_2 \leq \tau < \tau_3, \\ \varphi_3(t'_{B3H}), & \tau_3 \leq \tau < \tau_4, \\ \varphi_4(t'_{B3H}), & \tau_4 \leq \tau < \tau_5 = \tau_c. \end{cases} \quad (2)$$

При  $\tau = \tau_n$  оно должно удовлетворять начальному условию

$$t'_{B3H}(\tau_n) = t_n. \quad (3)$$

Решение  $t'_{B3H}(\tau)$ ,  $\tau \in [\tau_n, \tau_c]$ , задачи (2), (3) целесообразно строить каким-либо численным методом. Лучше других для этой цели подходит известный метод предсказания и коррекции [8].

Описанная выше методика формирования и расчета графика-задания подъема  $t'_{B3}$  реализована в виде отдельного программного модуля **RGZ** упомянутой программы "ОКАПР", которая формирует всю необходимую входную информацию, в частности, осуществляет определение моментов  $\tau_j$ ,  $j = 1, \dots, 4$ , и контроль достоверности значений используемых технологических параметров. В принципе эта методика может быть реализована также в виде самостоятельной программы, но при этом возникают дополнительные трудности.

Описанная выше методика формирования графика-задания подъема  $t'_{B3}$  и способ его расчета создают основу для осуществления как эффективного контроля выдерживания графика-задания для  $t'_{B3}$ , так и для определения требуемого изменения растопочного расхода топлива.

Остановимся на этом несколько подробнее.

**Контроль выдерживания графика-задания.** Он осуществляется последовательно в моменты времени  $\tau_k$ ,  $k = 1, 2, \dots$ , отстоящие друг от друга на заданное время  $h_{\tau k}$  - шаг

контроля. Предусматривается, что в каждый текущий момент контроля  $\tau_k$  используются значения следующих определенных на отрезке  $[\tau_n, \tau_c]$  функций:

- $t'_{B3n}(\tau)$  - нормативное значение температуры среды до ВЗ, вычисляемое по описанной выше методике;
- $t'_{B3A}(\tau), t'_{B3B}(\tau)$  – измеренные фактические значения температуры среды до ВЗ по ниткам А и Б;
- $t'_{B3}(\tau) = (t'_{B3A}(\tau) + t'_{B3B}(\tau)) / 2$  – среднее значение температур среды до ВЗ по ниткам А и Б,

и связанных с ними рассогласований:

$$\bullet \quad et'_{B3n}(\tau) = t'_{B3n}(\tau) - t'_{B3}(\tau); \quad (4)$$

$$\bullet \quad et'_{B3A}(\tau) = t'_{B3}(\tau) - t'_{B3A}(\tau); \quad (5)$$

$$\bullet \quad et'_{B3B}(\tau) = t'_{B3}(\tau) - t'_{B3B}(\tau). \quad (6)$$

Рассогласование (4) характеризует собственно точность выдерживания графика-задания  $t'_{B3}$ , а рассогласования (5) и (6) показывают, какой при этом имеет место разброс температур по ниткам. Эти рассогласования позволяют получить следующие количественные показатели для оценки качества управления выдерживанием графика-задания для  $t'_{B3}$ :

$$et'_M = \max_{\tau \in T} |et'_{B3}(\tau)|,$$

$$et'_{СИ} = \frac{1}{|T|} \int_T |et'_{B3}(\tau)| d\tau,$$

$$et'_{МА} = \max_{\tau \in T} |et'_{B3A}(\tau)|,$$

$$et'_{СИА} = \frac{1}{|T|} \int_T |et'_{B3A}(\tau)| d\tau, \quad (7)$$

$$et'_{МБ} = \max_{\tau \in T} |et'_{B3B}(\tau)|,$$

$$et'_{СИБ} = \frac{1}{|T|} \int_T |et'_{B3B}(\tau)| d\tau,$$

где  $|T|$  - длина промежутка времени  $T=[\tau_n, \tau_c]$ . В каждой строке первый показатель характеризует максимальную величину рассогласования, а второй – среднеинтегральную.

По окончании пуска блока эти показатели фиксируются в соответствующих документах и используются для оценки качества пуска и действий персонала.

Во время же пуска блока контроль выдерживания графика-задания по  $t'_{B3}$  осуществляется визуально, причем это может быть сделано двумя способами.

Первый связан с использованием разработанного для системы "ОКАПР" унифицированного отображения выходной информации [7]. В его основе лежит разбиение видеокadra с информацией по тракту котла на три части, разделенные вертикальными линиями. Левая и правая части служат для отображения информации отдельно по ниткам А и Б тракта, а центральная часть в виде одной колонки - для отображения значений параметров, общих для обеих ниток. В свою очередь, левая и правая части видеокadra делятся по вертикали на поле мнемосхемы и графическое поле для соответствующей нитки тракта котла. На поле мнемосхемы выводятся числовые значения температур и давлений среды соответствующей нитки, а также параметры узла ВС, температуры поверхностей нагрева котла, параметры питательной воды и расход топлива. На графическом поле выводятся графики предысторий поведения параметров, представленных на мнемосхеме.

Графическое поле делится на нижнее и верхнее. Нижнее поле, как правило, используется для вывода графиков предысторий поведения входных управляющих параметров, а верхнее – для отображения графиков выходных параметров. Поскольку графическая информация, выводимая как в верхнее так и в нижнее графические поля, имеет различную физическую природу, то для ее представления используются по две шкалы, из

которых левая рассматривается как основная, а правая – как вспомогательная. Обе шкалы являются плавающими.

Изображаемые в графическом поле графики предысторий поведения параметров объединены в специальные группы в зависимости от решаемой технологической задачи. В частности, по задаче управления подъемом температуры среды перед ВЗ в верхнем поле с основной шкалой отображаются графики предысторий следующих параметров:

- упомянутые выше температуры  $t'_{ВЗн}$ ,  $t'_{ВЗс}$ ,  $t'_{ВЗА(Б)}$ ;
- измеренное фактическое значение температуры среды за ВС по нитке А (Б)  $t''_{ВСА(Б)}$ ;
- температура среды за нижней радиационной частью котла  $t''_{НРЧА(Б)}$ .

По вспомогательной шкале отображаются:

- скорость изменения температуры среды перед ВЗ  $Vt'_{ВЗА(Б)}$ ;
- давление природного газа перед котлом  $PPG'_{к}$ .

На нижнем графическом поле отображаются:

- рекомендуемое  $G_{ПГР}$  и фактическое  $G_{ПГ}$  значения растопочного расхода природного газа;
- рекомендуемое  $G_{РПКР}$  и фактическое  $G_{РПКА(Б)}$  значения по данной нитке расходы питательной воды через РПК.

Принято, что расходы природного газа отображаются по основной шкале, а расходы питательной воды – по вспомогательной шкале.

Значения параметров на правых концах графиков соответствуют значениям, приведенным на мнемосхеме. Этот способ контроля дает машинисту блока наглядное представление о динамике процесса выдерживания графика-задания по подъему  $t'_{ВЗ}$  и, что особенно важно, позволяет сопоставлять рекомендуемые значения параметров с их фактическими. Однако этот способ позволяет получать довольно грубое представление о рассогласованиях (4)-(6). В этом отношении более удобен второй способ контроля, основанный на использовании приведенной ниже Таблицы 1, в которой наряду с перечнем выдаваемых параметров приводятся форматы их числового представления:

Таблица 1

Управление растопочным расходом газа. Время контроля – XX:XX:XX

Параметры		Значения	
Наименование	обозначение	текущее	прогн./рек.
Т среды до ВЗ, норм. ср. по нн	T1B3H	XXX	XXX
	T1B3c	XXX	XXX
Разность T1B3 норм. и ср. ср. и по н.А ср. и по н.Б	T1B3H-T1B3c	±XX.X	±XX.X
	T1B3c-T1B3A	±XX.X	±XX.X
	T1B3c-T1B3Б	±XX.X	±XX.X
Р газа перед котлом	P'кТЛ	X.XX	X.XX
G природного газа, реком. факт.	GPGR	XX.X	XX.X
	GPG	XX.X	XX.X
Разность расходов газа	GPGR-GPG	±XX.X	±XX.X
Т дым. газов в повор. камере	TДГ <sub>ПКМХ</sub>	XXX	XXX

В приведенной таблице фактические значения параметров (кроме рассогласований) совпадают с их значениями на мнемосхеме. Прогнозные значения параметров приводятся либо на один шаг контроля вперед, либо на любое другое заданное время в пределах времени запаздывания реакции  $t'_{B3}$  на проведенное изменение расхода топлива.

Как графический, так и табличный способы представления выходной информации в задаче контроля выдерживания графика-задания по  $t'_{B3}$  могут быть использованы при управлении этим процессом в режиме "Совета".

**Управление выдерживанием графика-задания подъема  $t'_{B3}$ .** Из формулировки задачи управления подъемом  $t'_{B3}$  следует, что оно предусматривает выполнение двух видов действий.

Во-первых, перед каждым моментом времени  $\tau_j, j = 1, 2, 3, 4$ , следует производить существенное увеличение расхода топлива ("форсировку" котла). При  $j = 1$  устанавливается стартовый расход топлива и, соответственно, форсировка называется стартовой. Остальные форсировки котла называются установочными. Требуемое увеличение расхода топлива перед началом очередного промежутка времени (1), как видно из **Рис.2**, может быть легко вычислено по разности опорных температур  $t'_{B3n}(\tau_{j+1}) - t'_{B3n}(\tau_j)$ .

Во-вторых, внутри отрезка (1) необходимо осуществлять регулирование расхода топлива из условия обращения в 0 рассогласования (4). Непосредственное использование для этого рассогласования (4) является затруднительным. Удобнее использовать рассогласование по энтальпии

$$ei'_{B3}(\tau) = i'_{B3n}(\tau) - i'_{B3}(\tau), \tau \in (\tau_j, \tau_{j+1}), \quad (8)$$

где  $i'_{B3n}$  и  $i'_{B3}$  - удельные энтальпии среды перед ВЗ, вычисленные соответственно по  $t'_{B3n}$  и  $t'_{B3}$ .

Формула (8) позволяет легко вычислить изменение расхода растопочного топлива

$$\delta G_T(\tau) = ei'_{B3}(\tau) G_{ПВС}(\tau) \chi / qT, \quad (9)$$

необходимое для устранения рассогласования (4). Здесь  $G_{ПВС}$  - скорректированный (истинный) расход питательной воды на котел,  $qT$  - удельная теплотворная способность топлива,  $\chi > 0$  - поправочный коэффициент, учитывающий КПД топки, аккумуляцию тепла корпусом котла, а также относительную долю тепловосприятия испарительной части котла.

Поскольку реакция  $t'_{B3}$  на изменение  $G_T$  происходит с большим временем запаздывания  $\tau_3$ , то регулировочное изменение  $D_T$  в первом приближении должно производиться на интервале  $(\tau_j, \tau_{j+1})$  в моменты времени  $\tau_{jk}, k=1, 2, \dots$ , отстоящие друг от друга на время  $\tau_3$ . Осуществляется оно либо вручную, либо путем подачи на вход исполнительного регулятора задания

$$G_T(\tau_{jk}) = G_T(\tau_{j,k-1}) - \delta G_T(\tau_{jk}),$$

где  $G_T(\tau_{j,k-1})$  - предшествующее задание регулятору, а  $\delta G_T(\tau_{jk})$  вычисляется по формуле (9) на момент времени  $\tau = \tau_{jk}$ . Для более точного учета влияния запаздывания реакции  $t'_{B3}$  на изменение расхода  $G_T(\tau)$  необходима динамическая модель испарительной части котла, устанавливающая зависимость  $t'_{B3}(\tau)$  от  $G_{ПВ}(\tau)$  и  $G_T(\tau)$ .

Формула (9) с очевидной заменой соотношения (8) может быть использована и для оценки изменений расхода  $G_T$  при проведении установочных форсировок котла.

**Заключение.** Предложен эффективный способ контроля выдерживания графика-задания подъема температуры среды перед ВЗ при пуске моноблока СКД, реализуемый как составная функциональная задача системы "ОКАПР". Предусмотрена возможность представления информации в двух видах:

- в графическом виде с использованием разработанного для системы "ОКАПР"

унифицированного алгоритма отображения выходной информации;

- в виде специальной таблицы с текущими и прогнозными значениями параметров.

В первом случае машинист блока получает информацию о динамике процесса выдерживания графика-задания, а во втором случае он получает более точную информацию о текущем состоянии процесса и прогноз на его развитие.

Оба указанных способа представления выходной информации содержат рекомендуемое значение растопочного расхода газа. Благодаря этому, они могут быть использованы для управления выдерживанием графика-задания в режиме "Совета". При этом рассогласование между рекомендуемым и фактическим расходами растопочного газа отрабатывается машинистом вручную.

После надлежащей проверки работоспособности алгоритма расчета рекомендуемого расхода растопочного топлива в условиях реальных пусков управление выдерживанием графика-задания может быть переведено в автоматический режим, для чего рассогласование рекомендуемого и фактического расходов растопочного газа должно быть подано на вход исполнительного регулятора.

### Литература

1. Доброхотов В.И., Жгулев Г.В. Эксплуатация энергетических блоков. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 108 с.
2. Типовая инструкция по пуску из различных тепловых состояний и останову моноблока мощностью 800 МВт с котлом ТГМП-204 и турбиной К-800-240-3. - М.: СПО Союзтехэнерго, 1980. - 56 с.
3. Типовая инструкция по пуску из различных тепловых состояний и останову моноблока мощностью 300 МВт с турбиной К-300-249 ХТГЗ. - М.: СПО ОРГРЭС, 1977. - 48 с.
4. Афанасьев Н.Н., Махно И.В. О математическом представлении графика-задания пуска энергоблока сверхкритического давления //Методы математического моделирования в научных исследованиях: Тез. Докл. II школы-семинара. – Донецк, 1990. – с.6
5. О формировании и выдерживании графика-задания подъема температуры среды перед ВЗ при пуске моноблока сверхкритического давления /Афанасьев Н.Н., Панасовский О.Г., Курышко Г.И., Рудый М.И., Гоновоблев А.С., Шамонин Е.П. // "Энергетика и электрификация", 1997, №3, с.4-9.
6. Концептуальные основы программы "ОКАПР" и результаты ее опытно-промышленной эксплуатации /Афанасьев Н.Н., Гоновоблев А.С., Махно И.В., Островецкий Р.М., Подгорный Б.И., Рудый М.И., Чирков Ю.А.// "Энергетика и электрификация", 1994, №4, с.1-4.
7. Афанасьев Н.Н., Махно И.В., Третьяков В.Н. Унификация отображения выходной информации в системе оперативного контроля и автоматизации пусковых режимов моноблоков СКД. //Матеріали міжнародної конференції з управління "Автоматика-2002", 16-20 вересня 2002 р., м. Донецьк, Україна: в 2-х т. – Донецьк: Донецький національний технічний університет, 2002. – т. 1, с. 106.
8. Крылов В.И., Бобков В.В., Монастырный П.И. Вычислительные методы, т.П.- М.: Наука, 1977.- 400 с.