

## Численные исследования этапа пуска блока СКД на сепараторном режиме при помощи математической модели

Виноградов А.Л., Киселёв А.И., кандидаты техн. наук, Митюшов А.А., инж.

Рассматриваются вопросы математического моделирования энергетического оборудования и исследования режимов его работы при помощи всережимных математических моделей на примере растопочного узла энергетических котлов СКД во время растопки на сепараторном режиме. Данные исследования проводились для ГРЭС, входящих в ОАО «ОГК-6» в рамках совершенствования и расширения возможностей математических моделей тренажеров.

*Ключевые слова:* моделирование, тренажер, растопочный режим, котлоагрегат.

## The numerical Researches of the Stage of Start-up of Block SCP on the Separator Mode Using Mathematical Model

A. Vinogradov, A. Kiseliov, Candidates of Engineering, A.A. Mityushov, Engineer

This publication is a continuation of the article printed in release 3 of «Bulletin ISPU». Both publications are devoted to the questions of mathematical modeling of the power equipment and research of its working modes with the help of mathematical models with the example of kindling unit of power uniflow boilers SCP during a kindling on a separator mode. The given researches were spent for the power stations entering into Open Society «OGC-6» within the frames of perfection and expansion of possibilities of mathematical models of simulators.

*Keywords:* simulation, simulator, kindling mode, boiler.

На математической модели блока 300 МВт был воспроизведен фрагмент режима пуска из холодного состояния. Все операции производились согласно инструкции по эксплуатации. В качестве начального было принято состояние, соответствующее моменту подачи пара на прогрев стопорных клапанов турбины:

- 1) топливо – газ, горит 4 горелки, расход – 10 тыс. м<sup>3</sup>/ч;
- 2) расходы воды через РПК соответствуют растопочным и составляют 140 т/ч по каждой нитке;
- 3) температура среды до ВЗ – 137°С; положение дросселей Д-1А,Б – 33 %, Д-3А,Б – 100 %, Д-2А,Б – 100 %;
- 4) температура среды за ВЗ составляет 126°С, за ширмовыми пароперегревателями первой ступени – 221°С, на выходе из котла – 140°С;
- 5) положение БРОУ соответствует степени открытия 100 %;
- 6) температура металла стопорных клапанов равна 31,6 °С, температура среды в СК составляет 124 °С, а давление – 1,3 ати.

Завершение численного эксперимента соответствует моменту полного закрытия дросселей Д-2 (рис. 1).

Цель исследования – оценить количество влаги, забрасываемой в тракт из растопочных сепараторов в процессе пуска по существующей технологии регулирования температуры пароперегревателя котла.

Согласно инструкции по эксплуатации котлов СКД, во время пуска необходимо поддерживать температуру среды за ширмовым пароперегревателем первой ступени ( $t_{w1}$ ) на 20–30 °С боль-

ше температуры насыщения при давлении в стопорных клапанах ( $t_{s,ck}$ ), т.е.

$$t_{w1} - t_{s,ck} = (20 \div 30)^\circ\text{C}. \quad (1)$$

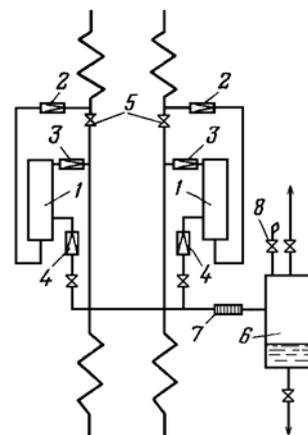


Рис. 1. Принципиальная схема встроенного сепарационного узла: 1 – встроенный центробежный сепаратор (ВС); 2 – дроссельный клапан ДЗ; 3 – дроссельный клапан Д1; 4 – дроссельный клапан Д2; 5 – встроенная задвижка (ВЗ); 6 – растопочный расширитель Р-20; 7 – ограничительные шайбы; 8 – предохранительные клапаны

Превышение этой разницы может привести к чрезмерному перегреву пароперегревателей котла, а занижение – к забросу воды в ширмовый перегреватель.

Регулирование этой разницы температур, согласно инструкции, осуществляется за счет изменения степени открытия дросселей Д-2. Регулирующие клапаны Д-2 предназначены для

удаления влаги, отсепарированной во встроенных растопочных сепараторах ВС-А,Б. В нормальном режиме работы положение клапанов Д-2 должны соответствовать пропуску, равному количеству сепарированной жидкости в ВС. Только в этом случае максимальное количество пара будет направляться в перегреватели котла, а условие (1) выполняться. Таким образом, заданному расходу среды с определенными параметрами перед ВС соответствует одно определенное положение дросселей Д-2 (рис. 1).

При большем открытии Д-2 вместе с отсепарированной влагой в растопочный расширитель РР-20 будет проскакивать и часть пара, что приведет к снижению расхода среды через пароперегреватель и к его перегреву. Разность (1) в этом случае будет возрастать. При меньшем закрытии Д-2, в силу конструктивных и режимных особенностей ВС, будет происходить заброс отсепарированной влаги в тракт пароперегревателя, что вызовет его резкое расхолаживание, а разность (1) будет уменьшаться.

Таким образом, для обеспечения нормальной работы ВС и удовлетворения условия (1) необходимо, чтобы во встроенных сепараторах поддерживался определенный водяной уровень. С одной стороны, он должен быть достаточным для исключения проскока пара в РР-20, а с другой – не больше высоты расположения патрубка отвода сепарированного пара, чтобы избежать заброса влаги в пароперегреватели котла. В связи с чрезвычайно малым объемом встроенного сепаратора в районе отвода отсепарированной влаги и достаточно высокими расходами среды обеспечить необходимый водяной уровень весьма проблематично.

Таким образом, поддержание необходимой разницы температур (1) является достаточно сложной оперативной задачей.

Ниже приведены графики, полученные в ходе воспроизведения на математической модели блока фрагмента пуска из холодного состояния в соответствии с действующей инструкцией по эксплуатации (рис. 2–6).

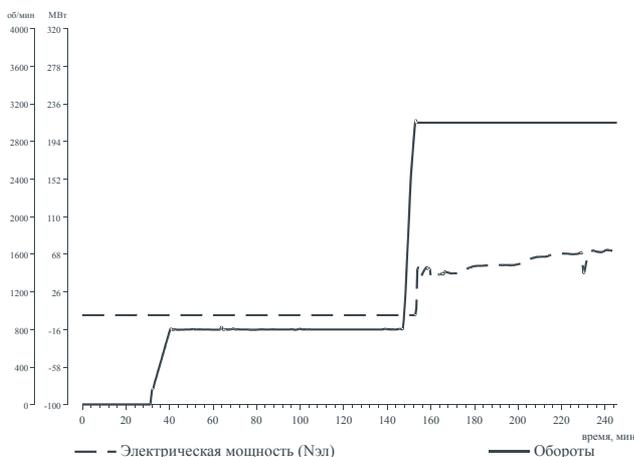


Рис. 2. Графики электрической мощности и частоты вращения ротора турбины

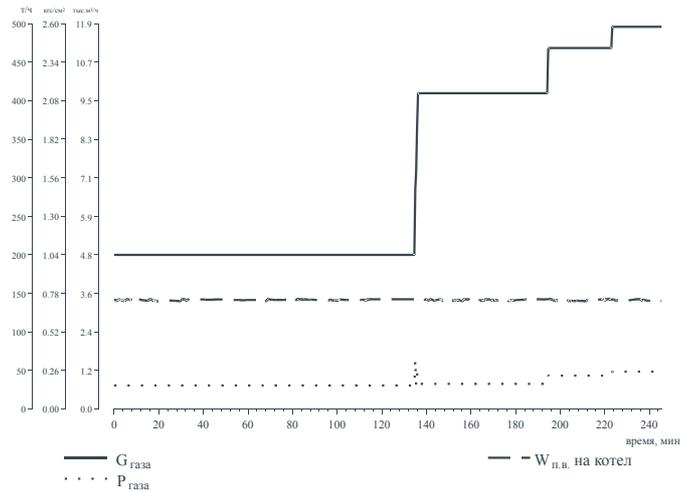


Рис. 3. Графики расхода, давления газа и расхода питательной воды по ниткам

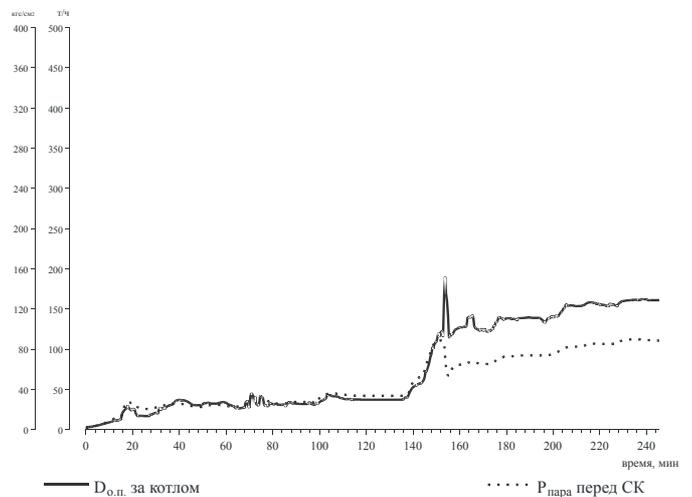


Рис. 4. Графики расхода и давления пара за котлом и перед турбиной

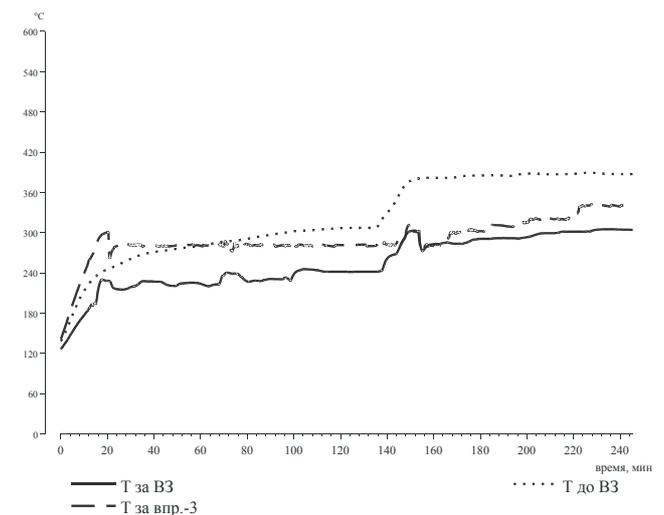


Рис. 5. Графики температур среды тракта котла за ВЗ

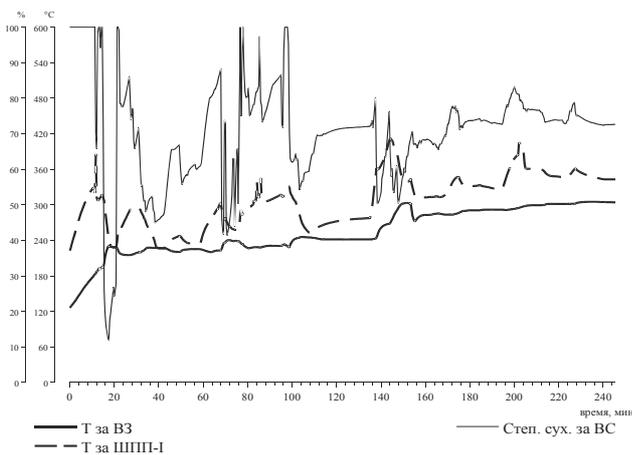


Рис. 6. Графики температур среды в тракте пароперегревателя и степень сухости пара на выходе из ВС

В результате проведенных исследований были сделаны выводы и даны рекомендации по повышению надежности работы оборудования. В рассматриваемом режиме расход пара, поступающий из ВС в пароперегреватели котла, достаточно низкий. Поэтому давление пара перед турбиной будет мало отличаться от давления пара за котлом и за встроенным сепаратором (рис. 9). В этом случае можно допустить, что температура насыщения, соответствующая давлению перед турбиной, приблизительно равна температуре пара за встроенным сепаратором (или встроенной задвижкой ВЗ), так как из сепаратора пар выходит в состоянии насыщения, т. е.  $t_{s,ck} \approx t_{e3}$ .

Поэтому для анализа результатов численного эксперимента вместо условия (1) будем использовать разность

$$t_{w1} - t_{e3} = (20 \pm 30)^\circ\text{C}. \quad (2)$$

Изменение температур за ширмовым пароперегревателем (ШПП) и за встроенной задвижкой в ходе имитации пуска из холодного состояния представлено на рис. 11, где также показана кривая изменения степени сухости пара, выходящего из встроенного сепаратора.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Существуют участки, на которых разность (2) значительно превышает регламентированное значение: 4–16 мин; 22–28 мин; 64–68 мин; 80–100 мин; 132–152 мин (в районе 202 м). Причем в интервале от 80 до 100 мин отмечены циклические пульсации температуры пара за ширмовыми пароперегревателями первой ступени (примерно на  $50^\circ\text{C}$ ).

2. Существуют области, в которых разность (2) ниже регламентированного значения (участки в окрестности 20 и 40 мин). Причем в этих интервалах температура пара за ширмовым пароперегревателем первой ступени выравнивается с температурой насыщения, что свидетельствует о забросе в тракт котла большого количества влаги (степень сухости пара на выходе из ВС в этих областях составляет 0–10 %).

3. В целом режим работы ВС вплоть до 160 мин (примерно 60 % всего времени эксперимента) крайне нестабилен. Контрольная разность температур (2) циклически меняется в среднем от 0 до  $80^\circ\text{C}$ . В этот период только на временном участке 112–136 мин отмечена стабильная область, в которой условие (2) выполняется.

Для обеспечения более стабильного режима работы встроенного сепаратора и всего тракта пароперегревателя котла необходимо рассматривать варианты автоматизации процесса пуска, в частности поддержания разницы температур (1) или (2). В связи с этим нами предлагаются два варианта.

1. Автоматическое поддержание уровня во встроенных сепараторах путем увеличения водяного объема за счет установки дополнительных баков. Возможно, что в этом случае для регулирования температуры потребуется вводить в работу первый впрыск (до ШПП).

2. Непосредственное поддержание разности температур (1) или (2) путем установки автоматического регулятора для управления клапанами Д-2.

Для реализации первого варианта требуется внесение значительных конструктивных изменений в теплую схему, которые повлекут за собой значительные материальные вложения, так как баки и их обвязка должны быть рассчитаны на сверхкритические параметры.

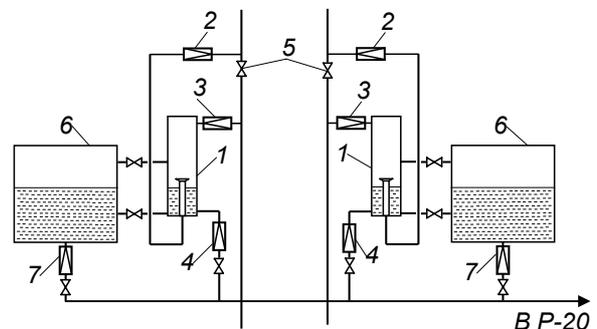


Рис. 7. Принципиальная схема встроенного сепарационного узла: 1 – встроенный центробежный сепаратор (ВС); 2 – дроссельный клапан Д3; 3 – дроссельный клапан Д1; 4 – дроссельный клапан Д2; 5 – встроенная задвижка (ВЗ); 6 – баки дополнительного объема; 7 – дроссельный клапан Д2-1

Таким образом, более реальным на настоящий момент является осуществление второго варианта. Проверка работоспособности этого подхода также была выполнена на математической модели тренажера энергоблока 300 МВт. Для этого математический аппарат тренажера был дополнен моделями автоматических регуляторов, предназначенных для управления клапанами Д-2.

В целях проверки правильности предложенных решений на математической модели блока 300 МВт был воспроизведен фрагмент

режима пуска из холодного состояния при тех же самых условиях, что и в первом случае. Однако регулирование разности между температурой пара за ширмовым пароперегревателем первой ступени и температурой насыщения при давлении среды перед турбиной осуществлялось в автоматическом режиме с заданием  $\Delta t = 30^\circ\text{C}$ . Ниже приведены графики изменения некоторых параметров в ходе проведения этого численного эксперимента.

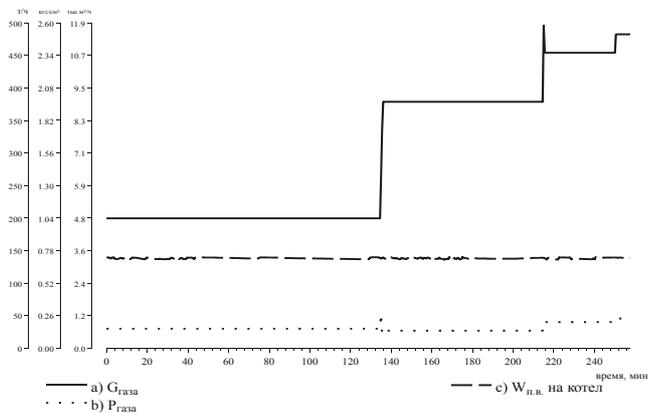


Рис. 8. Расход, давление газа и расход питательной воды по ниткам

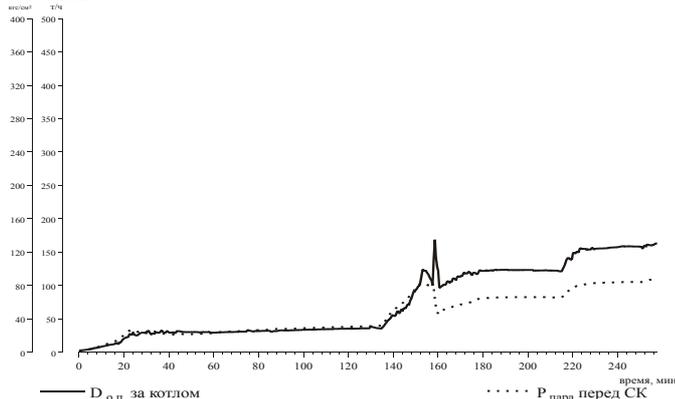


Рис. 9. Расход и давление пара за котлом и перед турбиной

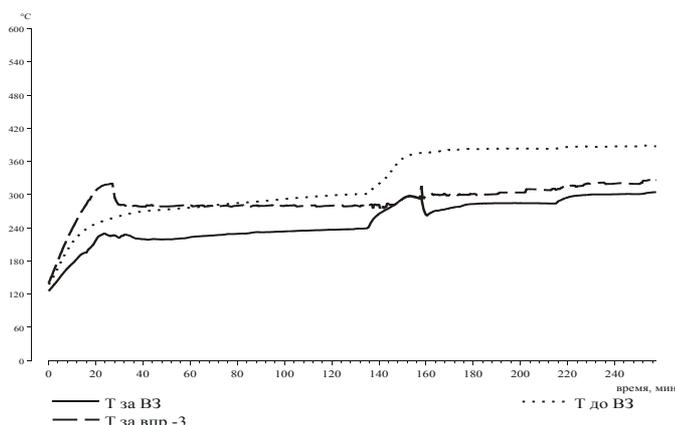


Рис. 10. Температуры среды тракта котла за ВЗ

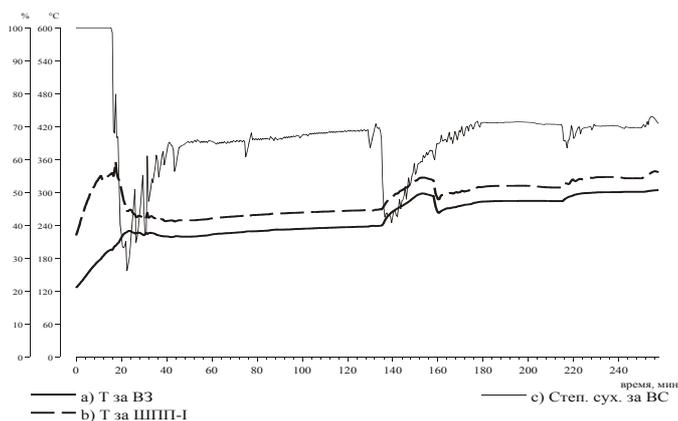


Рис. 11. Температуры среды в тракте пароперегревателя и степень сухости пара на выходе из ВС

На двадцать пятой минуте пуска регулирующие клапаны Д-2 были переведены в автоматический режим с заданием поддержания разности температур (1)  $30^\circ\text{C}$ . Согласно кривым, представленным на рис. 8–11, практически в течение всего времени проведения численного эксперимента разность между температурой среды за ширмовым пароперегревателем первой ступени и температурой насыщения при давлении пара перед турбиной не выходит за пределы допустимых значений. Сравнение кривых изменения степени сухости в случаях ручного и автоматического управления положением клапанов Д-2 позволяет заключить, что режим работы встроенных сепараторов во втором варианте гораздо стабильней и заброса большого количества влаги в тракт пароперегревателей котла не происходит.

#### Список литературы

1. Шмуклер Б.И., Чернецкий Н.С., Директор Б.Я. Разработка и исследование пусковых схем и режимов пуска мощных блоков / Освоение энергоблоков. – М.: Энергия, 1971.
2. Суркова А.Ф., Шейкин С.И., Рудыка А.В. Работа пускосбросных устройств головного котлоагрегата П-57 энергоблока 500 МВт // Электрические станции. – 1978. – № 1.
3. Кемельман Д.Н., Рябова Г.Н., Шалагин А.Д. Результаты испытаний сепараторного прямооточного котла с паровой довыпаркой сепарата: тр. ЦКТИ. Основное и вспомогательное оборудование котельных установок. Вып. 87. – Л., 1968.
4. Иванов В.А. Регулирование энергоблоков. – Л.: Машиностроение, 1982.
5. Рабенко В.В., Виноградов А.Л., Киселёв А.И. Моделирование растопочного узла энергетических прямооточных котлов СКД для тренажеров // Вестник ИГЭУ. – 2010. – Вып. 3.

*Виноградов Андрей Львович,*  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
доцент кафедры паровых и газовых турбин,  
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 102а,  
e-mail: val@tren.ispu.ru

*Киселёв Андрей Игоревич,*  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
доцент кафедры паровых и газовых турбин,  
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 102а,  
e-mail: andrey@tren.ispu.ru

*Митюшов Алексей Александрович,*  
ОАО «ОГК-6»,  
генеральный директор,  
адрес: г. Москва, проспект Вернадского, д. 101/3,  
телефон (495) 428-53-01.