

следующих исходных данных: $Sk_B = 0,5$; $Sk_H = 0,3$; $Bi_B = 0,5$; $Bi_H = 0,3$; $k = 0,8433$.

Результаты вычислений протабулированы (табл. 1). Расчетный интервал во времени ΔF_0 принят 0,1.

В заключение можно отметить следующее.

Выведены новые расчетные выражения для вычисления нагрева массивных тел излучением и конвекцией в инерционном и регулярном периодах. Учтена возможность переменности теплофизических свойств материала от температуры. Полученные выражения для регулярного процесса нагрева отличаются от известных ранее простотой и возможностью любого временного разбиения для выполнения расчетов.

Новые формулы для выполнения расчетов полых и несимметрично нагреваемых тел могут найти применение при разработке радиационных теплообменников, рабочих камер нагревательных устройств, при уточнениях параметров тепловых процессов, а также при проектировании агрегатов, например, в трубопрокатной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдфарб Э.М. Теплотехника металлургических процессов. — М., 1967. — 540 с.
2. Постольник Ю.С., Тимошпольский В.И. Радиационно-конвективный нагрев неограниченного цилиндра с функционально-зависящими теплофизическими характеристиками // Изв. вузов. Энергетика. — 1980. — № 3. — С. 121–124.
3. Кавадеров А.В., Самойлович Ю.А. Закономерности нагрева пластины и цилиндра одновременно излучением и конвекцией // Нагрев металла и работа нагревательных печей: Сб. науч. тр. — Свердловск, 1960. — С. 44–58.

УДК 621.311.22.002.5:621.186.6:65.011.56

В.К.СУДИЛОВСКИЙ, канд.техн.наук,
Ю.В.МУЛЕВ, А.В.ЩЕРБИЧ, В.Г.БИЛУХА (БПИ)

СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УЗЛА ВСТРОЕННОГО СЕПАРАТОРА

Прирост энергетических мощностей в Европейской части СССР планируется и осуществляется в основном на атомных электрических станциях (АЭС) [1], работа которых рассчитана на базовый режим. Одновременно с ростом базовых мощностей увеличивается неравномерность электрических нагрузок потребителей.

Имеющиеся и прогнозируемые данные о суточной и недельной неравномерности нагрузки в период зимнего максимума на европейской территории СССР (исключая Урал) можно проиллюстрировать:

	1980 г.	1990 г.
Минимум рабочего дня	0,685	0,665
Максимум воскресного дня	0,825	0,805
Минимум воскресного дня	0,650	0,615

Из приведенных данных видно, что при прохождении минимумов электрических нагрузок снижение до технически минимального уровня мощности

энергоблоков 160, 200 и 300 МВт с параметрами пара 13 МПа и 24 МПа, $\gamma 40/540$ °С оказывается недостаточным. Часть блоков приходится останавливать на ночь и воскресные дни. Уже в 1980 г. число такого рода остановов энергетических блоков составило соответственно 10, 80 и 70 [2] . Поэтому возникает необходимость активизировать работы по оптимизации и автоматизации пусковых режимов энергетических блоков.

Одна из основных технологических операций при пуске энергоблоков — управление узлом встроенного сепаратора (ВС) . От качества выполнения этой операции зависят общая продолжительность и экономичность пуска парогенератора и энергоблока, надежность и долговечность пароперегревательных поверхностей парогенератора.

Все находящиеся в эксплуатации и проектируемые мощные отечественные прямоточные парогенераторы оснащены унифицированной пусковой схемой. Она состоит из встроенной задвижки (ВЗ), дроссельных клапанов на отводе отсепарированного пара и растопочного расширителя РР и самого встроенного сепаратора.

Работа ВС протекает в сложных гидродинамических условиях, так как при пуске парогенератора через сепаратор последовательно проходят вода, пароводяная смесь и перегретый пар с широким диапазоном изменения теплотехнических параметров.

Сложность управления ВС, отсутствие измерительных средств для безынерционного определения соотношения компонентов двухфазного потока обусловили множество способов решения этой задачи [3] .

Наиболее распространенными являются способы косвенного определения влажности [3] , которые в зависимости от используемых гидродинамических и термодинамических параметров можно подразделить на три группы.

К первой относятся способы, в основу которых положено косвенное определение влажности пара по параметрам, измеренным на линии подвода рабочей среды к ВС, в самом ВС и на линии отвода сепарата из ВС.

В работах [3] предлагается регулировать сброс из ВС по перепадам давления на дроссельных диафрагмах, установленных в трубопроводах рабочей среды и сброса сепарата, и по температуре среды перед ВС.

Испытания указанных автоматических систем регулирования (АСР) сброса среды из ВС показали, что им присущи серьезные недостатки. Они вызваны главным образом неоднозначной зависимостью сигналов по перепаду давления на расходомерных диафрагмах или по положению клапана сброса при прохождении через них двухфазных потоков, появление которых и соотношение фаз определяются многими режимными факторами. Так как компенсировать влияние этих факторов приемлемыми средствами не представляется возможным, то описанные выше способы и схемы регулирования ВС оказываются неработоспособными. Значительным недостатком способов регулирования первой группы является и то, что они не учитывают температурное состояние перегревательных поверхностей нагрева и коллекторов.

Ко второй группе можно отнести способы, по которым косвенно определяемое значение влажности пара получают по параметрам, измеренным на линии отвода отсепарированного пара и в пароперегревательной зоне.

Согласно способу, предложенному Л.Н.Касьяновым и Л.П.Пугачевым [4] , на регулятор подавались сигналы по расходу отсепарированного пара и

температуре перегретого пара в пароперегревателе.

Авторы [5] с целью улучшения динамики АСР предусмотрели подачу на регулятор ВС сигналов по температуре и давлению пара в пароперегревателе и по температуре топочных газов.

В работе [6] управление ВС основано на формировании регулируемого сигнала как отношения разности температур: влажного пара на выходе ВС и перегретого пара в первой зоне перегрева; в первой и последующей зоне перегрева.

Недостатком АСР сброса из ВС, использующих сигнал по влажности, которая косвенно определяется в соответствии с параметрами отсепарированного и перегретого пара, является необходимость их включения в работу при низких значениях влажности отсепарированного пара. Причем определение моментов включения АСР само по себе — неопределенная задача. Кроме того, данные системы характеризуются большим запаздыванием по температуре пара, которое обусловлено в основном незначительным расходом среды и сильным влиянием аккумуляции теплоты и вещества в период растопки пароперегревателя. В связи с этим любая из систем регулирования ВС, основанная на использовании температур в любой точке пароперегревательного тракта, будет структурно неустойчива на значительном временном интервале пуска.

К третьей комбинированной группе относятся способы, согласно которым влажность отсепарированного пара в ВС косвенно определяют по параметрам, измеренным на линии подвода пароводяной смеси к ВС, в ВС, на линии отвода отсепарированного пара и в пароперегреватель.

Так, в работе [7] регулятор ВС получает сигналы по температуре поступающей во ВС среды, давлению в ВС и корректирующий сигнал по скорости изменения температуры пара за первым пакетом пароперегревателя.

Известен способ управления ВС [8], в соответствии с которым используют значение давления ВС температуры пара за второй ступенью пароперегревателя, вводят коррекцию по разности температур верха и низа паропровода, расположенного за первой ступенью пароперегревателя.

Характерным для этой группы способов является то, что, используя регулируемые параметры первой и второй групп, они сохранили и их недостатки: высокую инерционность сигнала по температуре пара в пароперегревателе, трудность определения начала включения АСР, сложность и неоднозначность динамических зависимостей, влекущих за собой трудность в наладке и низкое качество регулирования в эксплуатации.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенные способы и схемы регулирования встроенных сепараторов прямоточных парогенераторов с косвенным измерением влажности пара на основе сигналов по температуре, давлению и перепадам давлений на дроссельных диафрагмах обладают рядом существенных недостатков, препятствующих их использованию в промышленных условиях.

В ряде способов управления ВС с прямым измерением влажности [9–12] предусматривается дополнительная сепарация пара, установка специальных измерительных сосудов, промежуточных емкостей и т. п., в результате чего утрачиваются преимущества непосредственного контроля влажности.

Для наиболее полного решения поставленной задачи следует воспользоваться способом, изложенным в [11]. Сигнал по влажности отсепарированно-

го пара, сформированный дизелькомметрическим датчиком, подавался на вход регулятора, который воздействовал на регулирующий клапан подключения пароперегревателя. При полном открытии этого клапана воздействие регулятора переключалось на клапан, регулирующий сброс отсепарированной воды из ВС.

Испытания выявили благоприятные динамические характеристики указанного сигнала. Однако недостаточный уровень исследований электрофизических свойств влажного водяного пара, малая изученность дизелькомметрического способа измерения влажности не позволили авторам внедрить данную систему в промышленную эксплуатацию.

За последнее время в БПИ проведены исследования диэлектрических свойств влажного водяного пара и разработаны измерительные высокочастотные преобразователи [12]. Благодаря этому появилась возможность начать разработку промышленной АСР ВС на основе прямого регулирования влажности водяного пара, поступающего в пароперегреватель котла с учетом его температурного состояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986–1990 годы и на период до 2000 года // Правда. – 1985. – 9 нояб. 2. Криллин В.А. Создание маневренного оборудования для обеспечения эффективного покрытия графика нагрузок // Теплоэнергетика. – 1982. – № 6. – С. 2, 3. Автоматизация узла встроенных сепараторов котла ПК-47 / Г.И.Доверман, А.Н.Мелехин, В.Н.Вальцев, Н.Г.Малиновский // Электр. станции, 1976. – № 1. – С. 14–15. 4. А. с. 247317 (СССР). Устройство для пуска блока, прямоточный котел-турбина / Л.Н.Касьянов, Л.А.Пугачев. – Оpubл. в Б. И., 1969, № 22. 5. А. с. 669145 (СССР). Способ автоматического регулирования сброса пароводяной среды из растопочного сепаратора / В.А.Лебедев, А.А.Свечников, Н.М.Борисов, А.С.Землянский. – Оpubл. в Б. И., 1979, № 23. 6. А. с. 510621 (СССР). Способ автоматического регулирования сброса пароводяной среды / Е.И.Олейник, Е.В.Чайковский, И.А.Кусков. Оpubл. в Б. И., 1976, № 4. 7. А. с. 665178 (СССР). Способ автоматического регулирования сброса пароводяной среды из растопочного сепаратора / А.Ф.Сурков, С.И. Шейкин. – Оpubл. в Б. И., 1979, № 20. 8. А. с. № 711317 (СССР). Способ автоматического регулирования сброса пароводяной среды из растопочного сепаратора / А.Ф.Суркова, С.П.Николаев, С.И.Шейкин, В.П.Зубарева. – Оpubл. в Б. И., 1980, № 3. 9. Кемельман Д.Н. Линейная сепарация влажного пара. – М.: Энергоиздат, 1982. – 134 с. 10. А. с. 813082 (СССР). Устройство для автоматического регулирования сброса водопаровой среды / А.Б.Рябой, Н.А.Кваша. – Оpubл. в Б. И., 1981, № 10. 11. Судловский В.К., Олейник Е.И., Леонкова О.А. Автоматизация управления встроенными сепараторами прямоточных котлов // Автоматические и автоматизированные системы управления на энергетических предприятиях. – М.: Изд-во ЭНИНА, 1973. – С. 42–46. 12. Мулев Ю.В., Судловский В.К. Схема управления встроенными сепараторами прямоточных котлоагрегатов: Инф. листок о науч.-техн. достижении № 84–40. – Минск: БелНИИТИ, 1984.