

основные размеры сооружения: диаметр наружный 6,52 м, внутренний 5,5 м, высота 2,7 м. Фундаменты проектом не предусмотрены. Плита днища камеры, согласно проекту, выполнена из монолитного бетона марки 100 без армирования, толщина плиты 150 мм. Основанием плиты принят уплотненный грунт с втрамбованным щебнем.

Отсутствие армирования плиты днища — грубая проектная ошибка, так как при расчетной нагрузке на перекрытие 36 кПа (3,6 тс/м²) возникающие в плите усилия неизбежно приводят к разрушению неармированного бетона, поскольку давление опорного кольца фундамента создает в плите днища растягивающий момент. Круглая плита, опертая по контуру и нагруженная симметричной относительно оси z нагрузкой q , деформируется симметрично относительно этого центра. При этом в точках, лежащих на одинаковом расстоянии r от центра (в кольцевых сечениях), возникают равные усилия: M_r — радиальный изгибающий момент на единицу длины кольцевого сечения; M_t — тангенциальный изгибающий момент на единицу длины радиального сечения; Q_r — поперечная сила на единицу длины кольцевого сечения.

Моменты M_r и M_t (и их знаки) в любой точке плиты зависят от расстояния от рассматриваемой точки до центра плиты, условий опирания плиты (свободно опертая или защемленная). Для свободно опертой и для защемленной по периметру плиты моменты M_r и M_t могут быть определены по формулам:

$$M_r = C_r q a^2;$$

$$M_t = C_t q a^2,$$

где C_r и C_t — коэффициенты, зависящие от соотношения r/a и условий опирания; $q a^2 = 27\,225 \text{ кгс} \approx 272 \text{ кН}$.

Максимальное растягивающее напряжение в бетонной плите возникает в центре днища и составляет $\sigma_{\max} = 5390,55 / (0,15 \cdot 100) = 359,37 \text{ кгс/см}^2 \approx 35,9 \text{ МПа}$, что значительно превышает прочность бетона на растяжение (не более $14,1 \text{ кгс/см}^2 \approx 1,41 \text{ МПа}$). Минимальное растягивающее напряжение в бетонной плите возникает в месте примыкания днища к стене и составляет $\sigma_{\min} = 2831,4 / (0,15 \cdot 100) = 188,76 \text{ кгс/см}^2 \approx 18,9 \text{ МПа}$, что также значительно превышает прочность бетона на растяжение (не более $14,1 \text{ кг/см}^2$, или $1,41 \text{ МПа}$).

В целях определения технического состояния конструкций наружных стен выкопан шурф $2 \times 2 \text{ м}$ и глубиной 3 м. Визуальный осмотр показал значительные утечки масла через дефектные участки стен и главным образом днища.

Толщину круглой плиты рекомендуется принимать не менее $(1/35 \div 1/40)d$ при свободном опирании и не менее $(1/40 \div 1/45)d$ при защемлении по контуру (d — диаметр плиты). При таких отношениях прогиб плиты обычно не превышает прогиба, предусмотренного нормами, и проверку на жесткость можно не проводить. В рассматриваемом случае $d = 6,52 \text{ м}$, откуда минимальная толщина плиты должна быть не менее $652/40 = 16,3 \text{ см}$. Фактическая толщина (по проекту) 15 см. Жесткость недостаточна даже для армированной плиты.

Поверочные расчеты показывают, что из-за грубого проектного просчета днище бака полностью неработоспособно. Можно с полной ответственностью утверждать, что в случае строительства по проектному решению неизбежно произойдет срез бетона на примыкании плиты с днищем, даже при отсутствии проектных нагрузок $3,6 \text{ тс/м}^2$ (36 кПа), с неизбежной разгерметизацией камеры.

uetn-ucpk@yandex.ru

Материал поступил в редакцию 25 ноября 2015 г.

УДК 621.182.13

© Коллектив авторов, 2016

Сравнительный анализ различных схем регулирования уровня питательной воды в барабане котла

В.А. Слесь, вед. инженер, В.А. Григорьев, С.Д. Лисёнкин, бригадные инженеры, С.Г. Аглиулин, ген. директор, Е.В. Чистяков, нач. отдела (АО «Сибтехэнерго»)

Приведен сравнительный анализ двух схем регулирования уровня питательной воды в барабане котлоагрегата: классической трехимпульсной и с дифференциатором.

Comparative analysis is given of two schemes of regulation of boiler feed water level in the boiler drum: classic three-pulse and with differentiator.

Ключевые слова: котлоагрегат, барабан, уровень питательной воды, упуск уровня, перепитка барабана, пережог поверхностей нагрева, надежность, безаварийность, регулирование.

Key words: boiler, drum, boiler feed water level, short-water level, drum overfeeding, heating surfaces burnout, reliability, trouble-free, control.

В современных барабанных котлоагрегатах, применяемых на тепловых электрических станциях, один из ключевых технологических параметров, влияющих на длительность, надежность и экономичность работы оборудования, — уровень питательной воды в барабане. Уровень воды, близкий к номинальному значению (к отметке 0 мм), — оптимален для работы барабана, это один из основополагающих факторов, обеспечивающих безаварийную работу испарительного и пароперегревательного трактов котла. Упуск уровня воды и перепитка приводят к тяжелым технологическим авариям [1]. При уровне, превышающем второй верхний аварийный предел, уменьшается эффективность внутрибарабанных сепарационных устройств и возрастает вероятность заброса питательной воды в пароперегреватель (с отложением солей и ухудшением теплопередачи, что в последующем приводит к пережогу труб) или в турбину (может стать причиной серьезных механических повреждений ротора или лопаток турбины). Если уровень находится ниже аварийной уставки, то возможно нарушение циркуляции воды в экранных трубах, приводящее к их пережогу.

Для данного параметра существует допустимый диапазон изменения, который ограничен уставками срабатывания технологических защит на отключение оборудования. Так, для безопасной работы барабанного котла Еп-670-13,8-565 БТ применяют следующие технологические защиты:

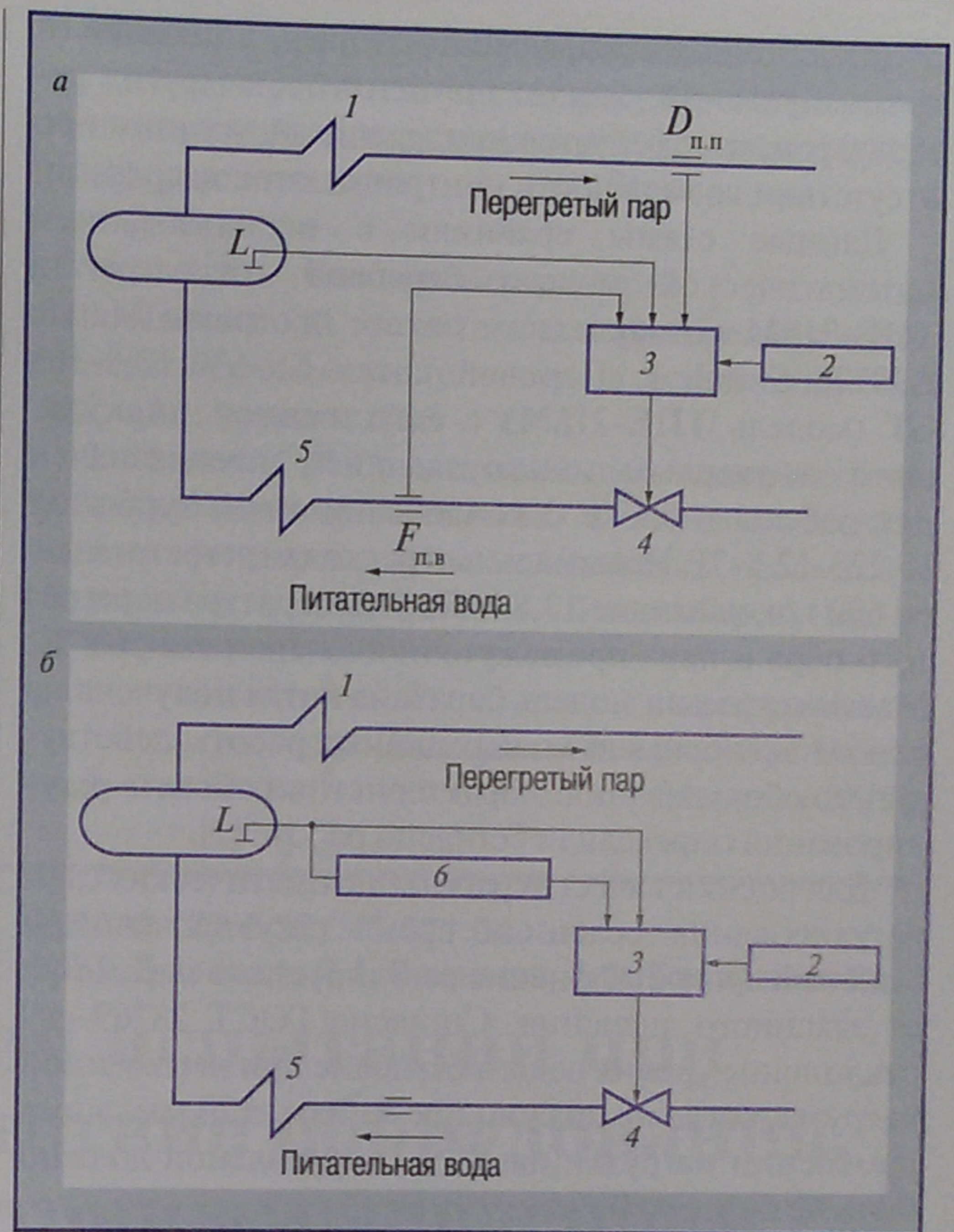
по понижению уровня питательной воды в барабане (действует на останов котла при уровне -100 мм);

по повышению уровня питательной воды в барабане до первого предела (автоматически открывает аварийный слив из барабана при уровне $+150$ мм, а затем закрывает его при достижении уровня $+75$ мм);

по повышению уровня питательной воды в барабане до второго предела (действует на останов котла при уровне $+200$ мм).

Для поддержания уровня питательной воды в барабане котла в заданном диапазоне используют различные автоматические схемы его регулирования. Рассмотрим две из них: традиционную трехимпульсную (рис. 1, а) и с дифференциатором (рис. 1, б).

В работе трехимпульсной схемы использованы сигналы по уровню воды в барабане котла, а также по расходу питательной воды и перегретого пара. Данная схема хорошо себя зарекомендовала за годы применения на различных котлах. У нее имеется четкий экспериментальный алгоритм настройки на оптимальные параметры регулирования, она удовлетворяет требованиям точности поддержания уровня. Но есть и негативные особенности: при исчезновении любого из трех показаний схема прекращает работу, а при наличии расхождения в показаниях расходомеров по питательной воде и



▲ Рис. 1. Принципиальные схемы регулирования уровня питательной воды в барабане котла:

1 — пароперегреватель; 2 — задатчик; 3 — пропорционально-интегральный регулятор; 4 — регулирующий питательный клапан; 5 — водяной экономайзер; 6 — дифференциатор; L — уровень питательной воды; $F_{п.в}$ — расход питательной воды; $D_{п.п}$ — расход перегретого пара

перегретому пару регулятор начинает поддерживать уровень воды в барабане, равный сумме задания и величины, пропорциональной этому расхождению (появляется статическая ошибка регулирования). Конечно, методы «борьбы» с приведенными недостатками известны. Так, при неисправности расходомера можно предусмотреть перевод регулирования с трехимпульсной схемы на схему с жесткой обратной связью (или с обратной связью по расходу питательной воды), однако при этом существенно снизится качество регулирования. Если же использовать исчезающие сигналы по расходам перегретого пара и питательной воды, то это позволит устранить статическую ошибку регулирования, но в переходных режимах работы оборудования исчезающие сигналы расходомеров также приведут к негативным последствиям — ухудшению качества регулирования.

Схема регулирования уровня питательной воды в барабане котла с использованием дифференциатора лишена недостатков трехимпульсной схемы. Она не имеет статической ошибки и использует только один сигнал — по уровню воды в барабане, что повышает надежность ее работы. Однако в настройке она

сложнее. Схему с дифференциатором, в отличие от трехимпульсной, можно применять для других резервуаров, где требуется поддерживать уровень при отсутствии возможности контроля потоков среды.

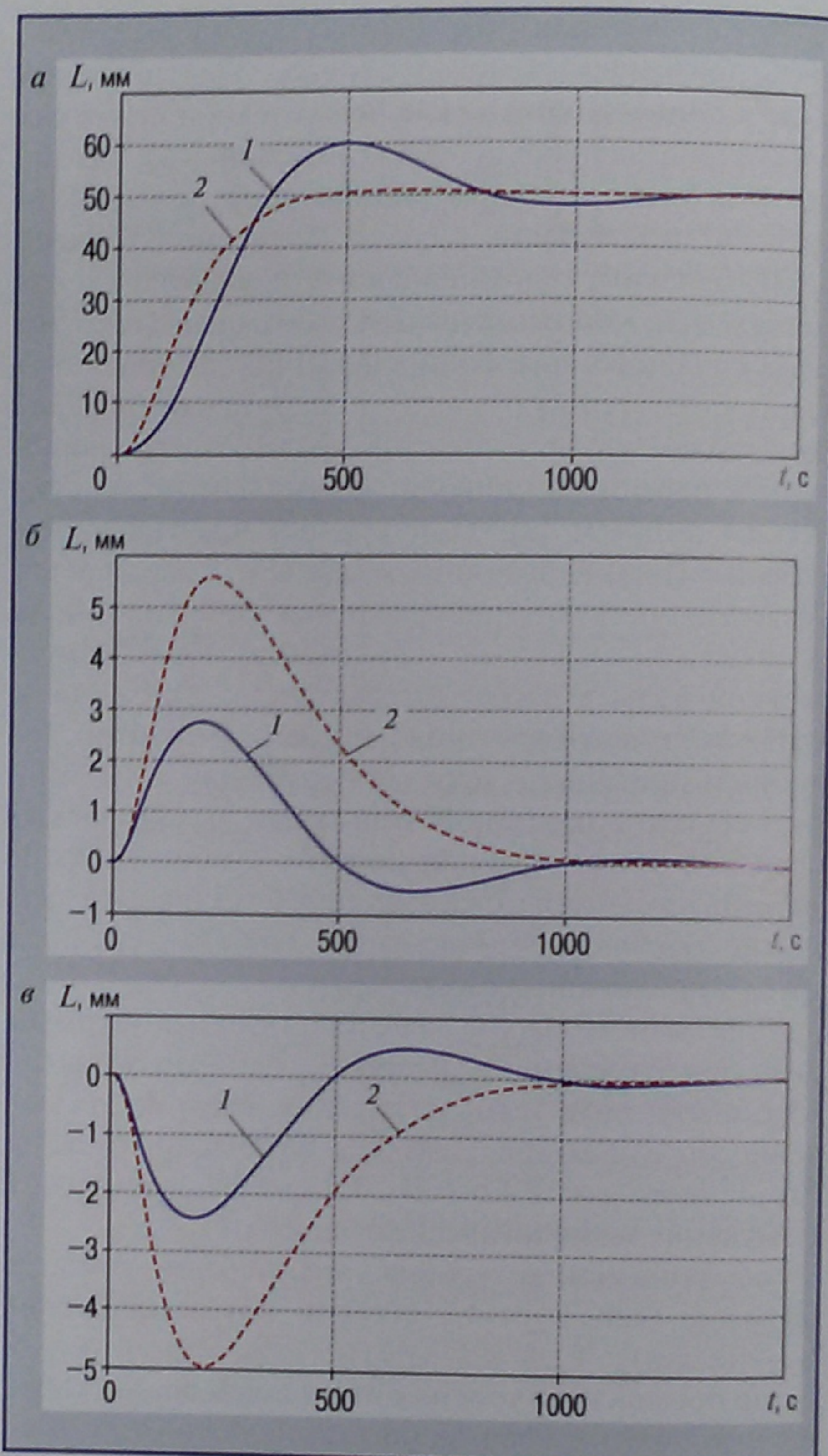
Данные схемы сравнили с использованием математической модели барабана котлоагрегата ТПЕ-216М в прикладном пакете программ Matlab R2012b Simulink. Паровой котел Еп-630-13,8-565 БТ (модель ТПЕ-216М) с естественной циркуляцией и твердым шлакоудалением предназначен для работы в блоке с конденсационной турбиной К-225-12,8-3Р. Номинальный расход перегретого пара 630 т/ч, давление 13,8 МПа, температура перегретого пара и пара промежуточного перегрева 565 °С. Математическая модель барабана котла получена на основе экспериментальных данных работы действующего оборудования. Характеристики объекта регулирования определяли согласно работе [2].

Для оценки качества работы автоматических схем регулирования сравнили время регулирования и максимальное отклонение регулируемого параметра от заданного значения. Согласно ГОСТ 28269—89 отклонение уровня воды в барабане при неизменной нагрузке котла не должно превышать ± 20 мм, а при изменении нагрузки на 10 % номинальной должно быть не более ± 50 мм.

Изменение уровня питательной воды в барабане котла при различных возмущениях приведено на рис. 2.

При изменении заданного уровня питательной воды с 0 на +50 мм (рис. 2, а) схема регулирования с дифференциатором быстрее приводит уровень к заданному значению и с меньшим максимальным отклонением параметра. Если принять за окончание процесса регулирования вхождение величины в коридор ± 2 мм заданного значения, то для схемы с дифференциатором время регулирования составило 355 с, а для трехимпульсной схемы — 744 с. Максимальное отклонение уровня воды от заданного значения для схемы регулирования с дифференциатором составило 1 мм, а для трехимпульсной — 10 мм. Данные отклонения допустимы.

Если открытие регулирующего питательного клапана изменить с 50 до 70 % (рис. 2, б), то трехимпульсная схема регулирования быстрее приходит к заданному значению и с меньшим максимальным отклонением параметра. Это связано с тем, что в данной схеме имеется сигнал по расходу питательной воды и еще до изменения уровня происходит корректировка расхода. Если принять за окончание процесса регулирования уровня вхождение величины в коридор ± 2 мм от установившегося значения, то для схемы с дифференциатором время регулирования составило 525 с, а для трехимпульсной схемы — 307 с. Максимальное отклонение уровня от заданного значения для регулятора с дифференциатором составило 5,6 мм, а для трехимпульсной — 2,8 мм. Данные отклонения допустимы.



▲ Изменение уровня питательной воды в барабане котла при различных возмущениях:
1 — трехимпульсная схема; 2 — схема с дифференциатором

При увеличении нагрузки энергоблока с 180 до 200 МВт (рис. 2, в) трехимпульсная схема регулирования уровня воды, как и в случае с изменением положения питательного клапана (см. рис. 2, б), быстрее приводит систему к заданному значению и с меньшим максимальным отклонением параметра. В данной схеме предусмотрен сигнал по расходу перегретого пара, поэтому в барабане корректируется расход воды в соответствии с этим сигналом еще до начала изменения уровня. Если принять за окончание процесса регулирования вхождение в коридор ± 2 мм от заданного значения, то для схемы с дифференциатором время регулирования составило 494 с, а для трехимпульсной — 274 с. Максимальное отклонение уровня от заданного значения для схемы с дифференциатором составило 5 мм, а для трехимпульсной схемы — 2,5 мм. Данные отклонения также допустимы.

На основании полученных результатов моделирования можно сделать следующие выводы.

1. Трехимпульсная схема показывает лучшие результаты при возмущениях по расходу пара или воды, что связано с наличием в схеме внутреннего стабилизирующего контура по расходу питательной воды.

2. Схема с дифференциатором быстрее и точнее приводит уровень воды к новому заданному значению, но при этом она сложнее в настройке.

3. Работа обеих схем регулирования удовлетворяет требованиям точности поддержания уровня питательной воды в барабане котла, отклонения находятся в допустимых пределах.

4. Схема регулирования с дифференциатором по сравнению с традиционной трехимпульсной схемой имеет ряд преимуществ, таких как увеличение надежности и возможность работы в растопочных режимах.

Поскольку результаты моделирования показали, что качество работы двух схем регулирования сопоставимо, необходимо проведение дополнительных натуральных испытаний.

Список литературы

1. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электрических станций. — М.: Энергия, 1976. — 424 с.

2. Новиков С.И. Оптимизация систем автоматизации теплоэнергетических процессов. Ч. 1. Автоматические системы регулирования технологических процессов с аналоговыми регуляторами. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. — 284 с.

slesv@yandex.ru

Материал поступил в редакцию
24 ноября 2015 г.

УДК 340.132.6:331.45:621.64

© П.Г. Вишняков, П.А. Вишняков, А.Ф. Гонтаренко, 2016

Особенности проведения испытаний при подтверждении соответствия оборудования, работающего под избыточным давлением, спроектированного и изготовленного без применения стандартов



П.Г. Вишняков,
руководитель
лаборатории

ООО «ТЭДЭК»



П.А. Вишняков,
эксперт

ООО «НТК ЭКОНТ»



А.Ф. Гонтаренко,
канд. техн. наук,
доцент, зав.
отделом

АНО АИПР

Предложены подходы к решению проблем технического регулирования безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением, в части подтверждения соответствия этого оборудования, когда не применяются стандарты, включенные в перечень, предусмотренные техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением».

The Article proposes the approaches to the resolution of problems of technical regulation of safety of the equipment operating under excessive pressure with respect to conformity confirmation of this equipment when the standards are not applied, which are not included in the lists provided by Technical Reglament of Customs Union «On safety of the equipment operating under excessive pressure».

Ключевые слова: техническое регулирование, технический регламент, обеспечение соответствия требованиям технического регламента, презумпция соответствия, подтверждение соответствия требованиям технического регламента, методики исследований.

Key words: technical regulation, Technical Reglament, ensuring conformity with the requirements of Technical Reglament, presumption of conformity, confirmation of conformity with the requirements of Technical Reglament, research technique.

Проводимая в последнее десятилетие реформа технического регулирования в области безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением, привела к замене более сотни нормативных документов, содержащих обяза-

тельные для исполнения требования безопасности для объектов котлонадзора, на технический регламент Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2013), который имеет статус межгосу-