

## Оптимальное управление рисками при эксплуатации паровых котлов высокого и сверхвысокого давления

Цепилев И. А.

*Цепилев Игорь Александрович / Cepilev Igor' Aleksandrovich - заместитель директора по техническим вопросам, эксперт по промышленной безопасности, ООО «ПромГазЭнерго», г. Волгоград*

**Аннотация:** рассмотрена актуальность проблемы оптимального управления рисками при эксплуатации паровых котлов высокого и сверхвысокого давления, относящихся к опасным производственным объектам. Рассмотрены основные аспекты стабильного и безопасного функционирования котлоагрегатов различных типов, даны рекомендации по разработке эффективных мер и методов предотвращения и нивелирования негативных факторов, отрицательно влияющих на работу и эксплуатационные характеристики рассматриваемого оборудования.

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, опасные производственные объекты, паровой котел высокого давления, паровой котел сверхвысокого давления, износ, водоподготовка, автоматизация.

Основной предметной областью применения технологических паровых котлов той или иной промышленной конструкции является их использование в теплоэнергетике и котельном хозяйстве для тепло- и энергоснабжения различных категорий потребителей.

Данные отрасли народного хозяйства в Российской Федерации относятся к стратегическим и жизнеобеспечивающим, в т. ч. опасным производственным объектам (ОПО), уровень контроля их функционирования в области соблюдения норм и правил промышленной безопасности находится на общегосударственном уровне.

Следовательно, разработка комплекса мер по оптимальному управлению рисками при эксплуатации данного оборудования является важной научно-практической задачей.

Конструктивно котельная установка состоит из большого количества взаимосвязанных технических узлов и агрегатов, представленных основным (котельный агрегат) и вспомогательным оборудованием, предназначенным для выработки горячей воды и пара. Котельный агрегат состоит из парового (водогрейного) котла, топки, водного экономайзера, воздухоподогревателя, паронагревателя и арматуры [1].

Авторы работы [2] сформировали представительный банк данных и провели критический анализ современного состояния котлового хозяйства, выявившего следующие недостатки и проблемы объектов котлонадзора России:

1. Критическое состояние основных фондов предприятий теплоэнергетики (котлового хозяйства), характеризующихся значительным износом, остановками, уменьшением межремонтных циклов, резким снижением остаточного ресурса эксплуатации.

2. Снижение параметров эксплуатации технологического оборудования, вследствие неудовлетворительного состояния основных элементов котлоагрегатов из-за наличия и прогрессирующего эксплуатационных дефектов одинакового генезиса, но разных форм проявления, зависящих от типа парового котла.

Динамика ухудшения свойств металла котлоагрегатов связана с совокупным влиянием коррозионных, термических и усталостных напряжений, а также ползучести металла.

Большая часть отечественных котловых установок представлена стационарными двухбарабанными котлами Бийского завода типа ДКВ и их модификациями ДКВР. Одной из отличительных черт котлов данного типа является весьма продолжительный срок службы (40-50 и более лет) [3].

Наиболее распространенные повреждения в котлах типа ДКВР, а также МЗК и ДЭ связаны с некачественной подготовкой питательной воды и нарушением технологического регламента кислотной промывки котла.

В совокупности эти негативные факторы являются спусковым механизмом для зарождения коррозионно-усталостных напряжений в наиболее нагруженных участках барабанов котлов и локально-неравномерным распространением коррозии металла.

Следующий тип паровых котлов, в частности ПТВМ, характеризуется иными причинами, ухудшающими свойства и структуру металла котла:

1) низкое качество заводской металлоконструкции котлового теплоагрегата, наличие множества скрытых дефектных образований;

2) грубые нарушения «Правил безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов» в части их консервации при простоях и остановках;

3) низкое качество водоподготовки, слабо коррелирующее с рабочими параметрами эксплуатации конкретного объекта котлонадзора.

Перечисленные технологические и технические недочеты неминуемо провоцируют коррозионно-эрозионные процессы различной природы в металле конструкции парового котла, создают благоприятные условия для возникновения и роста коррозионных язв. Это, в свою очередь, приводит к снижению эксплуатационных характеристик оборудования, снижает надежность его функционирования и безопасность эксплуатации.

В паровых котлах марок БГ, ТС и ТП, функционирующих в температурном диапазоне до 450°С, металл конструкции претерпевает с течением времени значительные и часто необратимые изменения своей структуры и свойств, что вызывает деградацию его физико-механических свойств.

Это, в свою очередь, требует изменения режима функционирования парового котла (снижения рабочих параметров), его соотнесения с функциональным состоянием технологического агрегата в аспекте поддержания стабильной и безопасной работы.

Подобные изменения в работе парового котла порождают на макроуровне многочисленные и частые локальные перегревы металла, способствуют росту и развитию различных отложений на его внутренних поверхностях. Развитие подобных деструктивных процессов оказывает отрицательное влияние на котловую установку и приводит к нетипичным повреждениям, выражающимся в постепенном разрушении труб перегревателей вследствие образования трещин и свищей, повреждении перегревателей [2].

Главной особенностью котлов высокого и сверхвысокого давления является величина депрессии, на которую они заданы функционально – высокого (14 МПа), сверхвысокого (18-20 МПа).

При столь жестких условиях негативные явления и последствия, описанные для котлов среднего давления, например, типа ДКВР, рассчитанных на давление 1,3 Мпа, в рассматриваемых котлах, относящихся к ОПО 2 группы, многократно усложняются и усугубляются.

Основные причины, которые могут в силу своей специфики провоцировать возникновение аварийных ситуаций на паровых котлах высокого и сверхвысокого давления, можно классифицировать следующим образом:

- нарушение технологических режимов подготовки, либо подбор несоответствующих методов водоподготовки питательной воды для котла;
- межкристаллическая коррозия и износ элементов конструкции котла;
- перепитка котла или упуск уровня воды в барабане котла [4].

Системной причиной, которая может спровоцировать появление, развитие и реализацию обозначенных выше осложнений в работе котла, является природная вода. Она представляет собой главный ресурс, который котлоагрегат трансформирует в товарный продукт – горячее водоснабжение и пар для турбин электростанций. Следовательно, от качества воды, ее подготовки к использованию будет зависеть состояние парового агрегата и его технические показатели.

Вода, как известно, является универсальным растворителем и, участвуя в кругообороте в природной среде, трансформирует свой состав, насыщаясь различными флюидами (газами) и минеральными компонентами (солями). Состав воды определяется геохимической обстановкой территории, с которой осуществляется ее отбор для нужд котлового хозяйства.

Таким образом, неподготовленная, подготовленная с нарушениями, либо с использованием нерациональных методов питательная вода для парового котла может спровоцировать ряд осложняющих работу котлоагрегатов явлений: коррозию (различной природы) металлов, значительные, в т. ч. агрессивные отложения на металлических поверхностях оборудования.

Коррозия и накипь в силу своих физико-химических свойств заметно снизят теплопередачу, приведут к местному перегреву поверхностей и неоправданно увеличат потребление топлива паровым котлом.

Улучшение технико-экономических показателей и оптимизация работы парогенераторных установок могут быть достигнуты путем грамотного выбора современных методов подготовки исходной воды, в зависимости от ее состава.

Лучше всего соответствует требованиям технологов классификация методов водоочистки, разработанная Л. А. Кульским. В классификации в качестве базиса использован принцип фазово-дисперсного состояния примесей воды, исходя из которого, в зависимости от дисперсности частиц и их химических свойств, примеси разделяются на определенные классы. Всего известно около 40 методов водоподготовки, например, фильтрация, умягчение воды способом катионного обмена, деаэрация воды, использование пленкообразующих аминов и т. д. [5, 6].

Касательно влияния уровня воды на качество функционирования парового котлоагрегата можно сформулировать следующий тезис: «Изменение уровня воды в барабане котла в пределах верхнего и нижнего установленных значений практически не оказывает влияния на его работу. Однако от качества

регулирования расхода питательной воды зависит долговечность металла барабана и водяного экономайзера».

Функциональная задача управления питанием заключается в поддержании уровня воды на оптимальном для стабильной работы котла уровне. В связи с этим весьма жесткими являются требования к надежности его регулирования.

Если реализуется сценарий, в котором происходит превышение критического уровня воды (перепитка котла), может произойти резкое снижение температуры пара, тепловые и гидравлические удары, заброс части воды в пароперегреватель и выходу последнего со временем из строя.

В обратном случае, если уровень воды окажется ниже критической отметки, может произойти нарушение циркуляции жидкости в экранных трубах и их дальнейший пережог.

Следовательно, для поддержки стабильной работы парового котла необходима надежная регуляция уровня воды в барабане котлоагрегата. В этом случае эффективным решением является развитие сферы автоматизации технологических процессов.

Анализ существующих на сегодняшний день технических решений и разработок (использование классических типовых регуляторов) в рассматриваемой области позволил выявить их недостаточную эффективность.

В работе [7] предложен новый класс средств автоматического контроля уровня воды для паровых котлов в теплоэнергетике. Разработка базируется на основе использования цифровых многопроцессорных средств автоматизации и позволяет гораздо шире использовать приемы аналитического конструирования оптимальных систем регулирования, объединяя методы структурно-параметрической оптимизации и теории инвариантности.

Авторами разработки для оптимизации колебаний расхода питательной воды в барабане разработана инвариантная каскадная система автоматического регулирования ее уровня на основе оптимальной передаточной функции регулятора.

Технический эффект от внедрения модернизированной системы автоматического регулирования уровня воды в котлоагрегате весьма значителен. Его основными преимуществами при использовании по сравнению с конкурентами является: 1) значительное уменьшение потребления энергии питательными насосами; 2) повышение стабильности и надежности работы, повышение безопасности эксплуатации; 3) сокращение количества аварийных ситуаций, связанных с уменьшением числа аварий, обусловленных перепиткой котла или упуском уровня воды в его барабане, а также снижения повреждений котла в случае аварии.

Таким образом, исходя из представленного материала, в качестве рекомендаций по оптимальному управлению рисками паровых котлов высокого и сверхвысокого давления можно выделить реализацию двух технологических мер:

1) разработка и внедрение новых прогрессивных высокоэффективных методов подготовки питательной воды, обеспечивающей стабильную работу паровых котлоагрегатов в режиме «допустимого риска»;

2) разработка и внедрение новых средств автоматизации управления уровнем воды в барабане котлоагрегата.

Реализация предложенных мер позволит обеспечить синергетический эффект, гарантирующий высокий уровень безопасности работы паровых котлов высокого и сверхвысокого давления, применяемых в теплоэнергетической отрасли Российской Федерации.

### *Литература*

1. Паровые и водогрейные котлы: Безопасность при эксплуатации. Приказы, инструкции, журналы, положения. – М.: Альфа-Пресс, 2010. – 200 с.
2. *Абашкина Н. В., Вергазов Ю. В., Мирочник В. Л., Троянок Т. И.* Проблемы обеспечения промышленной безопасности объектов котлонадзора [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rgkp.com/upload/iblock/7e6/7e698d026ae7968b969407528362d743.pdf> (дата обращения 10.12.15).
3. *Мухортов М. Ю., Дьяченков М. А., Бабадаев М. Х., Козырев О. Е.* Некоторые особенности диагностирования паровых котлов типа ДКВР с большим сроком эксплуатации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <downloads/k-problemam-modernizatsii-i-promyshlennoy-bezopasnosti-neftegazopererabatyvayuschih-proizvodstv%20.pdf> (дата обращения 10.12.15).
4. *Прядченко Д. В.* Анализ аварий паровых котлов высокого давления и причин их вызывающих // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. - № 3/1 (45). – 20-24.
5. Водоподготовка: справочник. / Под ред. С. Е. Беликова. – М.: Аква-Терм, 2007. – 140 с.

6. *Романенков М. М., Дьяченко Ф. В.* Современные технологии обработки котловой воды с применением пленкообразующих аминов // V Межотрасл. конф-ция «Вода в промышленности». – М., 2014. – 137-140.
7. *Кухоренко А. Н., Кулаков Т. Г.* Аварии паровых котлов – как недостаток системы автоматического регулирования уровнем воды в его барабане // IX Междунар. науч.-практич. конф. Молодых ученых, студентов и аспирантов. – Минск, 2015. - С. 36-37.