

УДК 629.039.58

ФРОЛОВ КИРИЛЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ГЛАВНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО КОЛЬЦА ЯДЕРНОГО ЭНЕРГОБЛОКА

АННОТАЦИЯ

Вопросы безопасной и безаварийной эксплуатации атомного реактора являются ключевыми и приоритетными направлениями в части охраны жизни и здоровья граждан не только нашего государства, но и соседних государств. В статье рассмотрены основные негативные факторы, оказывающие влияние на снижение прочностных характеристик конструкционных материалов используемых при изготовлении трубопроводов главного циркуляционного кольца, а также перечень необходимых мероприятий, направленных на повышение их прочностных характеристик.

Ключевые слова: конструкционные материалы; коррозионное воздействие; радиоллиз водного теплоносителя; легирующие компоненты.

FROLOV K. A.

ENSURING SAFE OPERATION OF PIPELINES OF THE MAIN CIRCULATION RING OF A NUCLEAR POWER

ABSTRACT

Questions of safe and accident-free operation of the atomic nuclear reactor are the key priorities in terms of protection of life and health of citizens not only of our state but also neighboring states. In article the major negative factors exerting impact on decrease in strength characteristics of constructional materials of the pipelines of the main circulating ring used at production, and also the list of the necessary actions directed to increase in their strength characteristics are considered.

Keywords: constructional materials; corrosive attack; radiolysis of water coolant alloying components; the alloying components.

В жизненном цикле атомной электростанции, как и любой другой системы, начиная с проектирования и до выработки назначенного ресурса, значительная доля времени приходится на эксплуатацию. Эффективность процесса безопасной эксплуатации атомной станции в общем случае определяется большим числом факторов, действующих на различных этапах создания, наладки и эксплуатации. Современная философия обеспечения безопасности впервые наиболее четко сформулирована специалистами МАГАТЭ в «Основных принципах безопасности атомной станции». В этом документе рассматриваются цели и принципы, осуществление которых позволит достичь высокого уровня безопасности атомной станции (АС). При этом цели провозгла-

шают, что должно быть достигнуто, а принципы-как должны быть реализованы цели. Цели и принципы не являются нормативными требованиями, однако национальные нормативные документы по безопасности должны отражать цели и принципы в виде конкретных требований.

Активная зона атомного реактора, охлаждаемая водой высокого давления, размещается в стальном корпусе. Теплосъем с активной зоны обеспечивается принудительной циркуляцией теплоносителя в первом контуре, еще в начале 50-х годов при проектировании первой АС И.В. Курчатова заложил основы безопасности, утверждая, что безопасность ядерного реактора будет обеспечена, если в активной зоне ядерного реактора будет постоянно обеспечи-

ваться поток теплоносителя. Приоритет вопросам безопасности АС в нашей стране нашел отражение в нормативных документах: «Правила ядерной безопасности атомных станций», «Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов энергетических установок» и многих других. По влиянию на безопасность элементы и системы АС делятся на две категории: важные для безопасности и остальные, не влияющие на безопасность. Устанавливаются четыре класса элементов и систем по влиянию на безопасность АС. К первому классу относятся твэлы и элементы АС, отказы которых являются исходными событиями, приводящими при проектном функционировании систем безопасности к повреждению твэлов с превышением установленных для проектных аварий пределов.

В состав первого контура кроме корпуса реактора входят: парогенератор, главный циркуляционный насос (ГЦН), главный циркуляционный трубопровод (ГЦТ), запорные задвижки. ГЦТ имеет диаметр от 500 до 800 мм, что при использовании легированных марок сталей делает его вместе с ГЦН сопоставимым по стоимости с атомным реактором без топливной составляющей. Ядерный реактор является мощным источником ионизирующего излучения, а теплоноситель оказывает сильное коррозионное воздействие на конструкционные материалы ядерного энергоблока. С этим явлением связаны физико-химические процессы, протекающие в контурах.

К основным из них относятся:

1. Радиационные процессы (активация примесей, газовая и осколочная активность теплоносителя, радиолиз водного теплоносителя);
2. Химические процессы (коррозия, отложение на ТВЭЛах).

При взаимодействии ионизирующего излучения с теплоносителем и находящимися в нем примесями образуются радиоактивные нуклиды, служащие дополнительным источником активности. Различают газовую, осколочную активность теплоносителя, а также активность примесей.

Осколочная активность является результатом попадания в него продуктов деления ядерного топлива при работе ядерного реактора с поврежденными ТВЭЛами. Обычно различают две стадии повреждения ТВЭЛов: газовые не плотности, когда в теплоноситель попадают нуклиды инертных газов (криптона и ксенона) и осколки деления, летучие при рабочей температуре ТВЭЛов (йод, бром, цезий) и повреждения, сопровождающиеся контак-

том топлива с теплоносителем, которые может привести к попаданию в контур не летучих нуклидов.

Активация примесей вносит существенный вклад в радиоактивность теплоносителя. Это прежде всего естественные примеси, растворенные в теплоносителе соли натрия, калия, магния. Наиболее существенный вклад в радиоактивность вносит Na с периодом полураспада 15 часов, который излучает высокоэнергетические кванты. Активность теплоносителя повышается из-за коррозии активированных материалов активной зоны ядерного реактора и активации продуктов коррозии конструкционных материалов контура в процессе их миграции через активную зону. В связи с такого рода активацией примесей водный теплоноситель должен быть не только умягчен, но и деионизирован. Для этого в отечественных ядерных реакторах получило распространение добавление в теплоноситель едкого кали при регулировании реактивности.

В первом контуре ядерного реактора происходит коррозия трех видов: общая, межкристаллитная и коррозия под напряжением (коррозионное растрескивание). Общей коррозией подвержены как углеродистые, так и аустенитные стали. Ее механизм носит электрохимический характер. Здесь большую роль играет однородность структуры металла, влияющая на скорость коррозии. Чем однороднее металл, тем меньше возникает коррозионных пар, меньше разность потенциалов катодных и анодных участков. С увеличением шероховатости поверхности металла растет скорость коррозии. Это происходит из-за того, что окисная пленка на вершинах и в впадинах разрушается быстрее, вследствие концентрации напряжений и возникновению коррозионных пар.

Коррозионная активность теплоносителя определяется главным образом составом и концентрацией примесей. Для воды таковыми является кислород, водородные ионы, CO₂, растворенные в ней соли. Считается, что содержание кислорода в воде первого и второго контуров не должно превышать 0,01-0,02 мг/кг. Ион водорода также является катодным деполяризатором. С повышением его концентрации увеличивается разность потенциалов коррозионной пара и скорость коррозии растет.

Ионизирующее излучение изменяет коррозионную активность воды и стойкость металла. Облучение металла приводит к увеличению его физико-химической неоднородности, связанной с разрывом химических связей и деформацией кристаллической решетки, а также к изменению защитных свойств окисных пленок.

Скорость общей коррозии в первом контуре тем меньше, чем меньше мощность ядерного реактора и больше длительность его работы. Увеличение мощности ядерного реактора приводит к интенсификации радиолитического и радиационного синтеза.

Основными факторами, влияющими на скорость коррозии под напряжением, являются температура, химический состав стали и состояние поверхности. С увеличением температуры скорость коррозионного растрескивания растет. Коррозионное растрескивание возникает при одновременном, комплексном действии растягивающих напряжений и агрессивного теплоносителя имеющего хлор-ионы, кислород или высокую концентрацию (до 4-6%) едкой щелочи. Обычно трещины проходят по зернам металла и направлены перпендикулярно главным растягивающим напряжениям. Основными факторами, влияющими на скорость коррозии под напряжением, являются: температура, напряжения и деформации, коррозионная агрессивность теплоносителя, состояние поверхности. С увеличением температуры скорость растрескивания растет. Сильное сокращение времени до разрушения наблюдается при пластических деформациях металла. Чем однороднее в физико-химическом отношении поверхность металла, тем медленнее возникают первичные микротрещины. Риски, царапины, вмятины и другие деформированные места поверхности становятся очагами зарождения коррозионных трещин. Коррозионная агрессивность теплоносителя определяется содержанием кислорода и хлорид-ионов. При отсутствии хлорид-ионов хлорное железо из альфа фазы не образуется и коррозионного растрескивания не наблюдается.

Износ углеродистых сталей, использовавшихся в качестве конструкционных материалов для трубопроводов первого контура, становится наиболее существенным в области их рабочих температур. Изучение альтернативных материалов показало, что стойкость сталей к износу значительно (в несколько раз) повышается при наличии 1-2% Cr и Mo в качестве легирующих элементов стали. При этом необходимо считаться с возможностью возникновения межкристаллитной коррозии при неравномерном распределении легирующих добавок по границам зерен. В результате коррозии сталь становится хрупкой, что особенно опасно в условиях ядерных энергетических установок. Внешний вид стали при этом не изменяется. В интервалах рабочих температур 500-800 С могут образовываться хромистые карбиды с соответствующим

снижением содержания Cr и увеличением коррозии на границах зерен. Склонность материалов к межкристаллитной коррозии увеличивается по мере укрупнения зерна, так как при этом пограничные участки обедняются легирующим элементом.

Выводы: Использование легирующих сталей в качестве конструкционных материалов главного циркуляционного кольца многократно поднимает его стоимость. Наиболее разумным компромиссом, обеспечивающим расчетную безопасную эксплуатацию трубопроводов главного циркуляционного кольца, является применение следующих мероприятий и подходов:

- исключение неоптимальных конструкций с Т-образным соединением трубопроводов, приводящему к прямому давлению потока воды на внутреннюю поверхность колена и к появлению в месте поворота более высоких локальных скоростей турбулентного потока;
- использование углеродистых сталей с нанесением защитных металлических и неметаллических покрытий и пленок;
- применение трубопроводов малого диаметра из аустенитных марок сталей (до 100 мм);
- повышение стабильности аустенита (наиболее успешно это достигается увеличением содержания в стали Ni);
- более полное удаление из воды кислорода и хлор-ионов;
- проведение закалки, после каждой технологической операции.

Применение данных подходов позволяет повысить безопасную и безаварийную эксплуатацию трубопроводов главного циркуляционного кольца и ядерного реактора в целом.

Список литературы

1. Махунтов Н. А., Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. В 2-х ч. – Новосибирск: Наука, 2005. Критерии прочности и ресурса. Ч.1.-494 с; Обоснование ресурса и безопасности. Ч. 2. – 610 с.
2. Друян В. М., Гуяев Ю. Г. Технология и оборудование трубного производства. – Днепр-ВАЛ, 2001. – 544 с.
3. Островский В. А. Старение и прогнозирование ресурса оборудования АС. – М.: «Энергоатомиздат», 1994.
4. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ.