

О Т З Ы В

АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт энергетических технологий» (АО «Атомпроект») на автореферат диссертации РАМАЗАНОВА Руслана Махмутовича «Разработка критериев обеспечения безопасности реакторных установок на быстрых нейтронах при разгерметизации трубопроводов с натриевым теплоносителем в процессе эксплуатации», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 «Материаловедение (машиностроение)»

Актуальность темы диссертации Рамазанова Р.М. обусловлена необходимостью совершенствования существующих и разработки новых методов принятия обоснованных решений при проектировании АЭС с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Известно, что основным доводом противников этой технологии является утверждение об опасности течей натрия с последующими возгораниями и взрывами.

Несмотря на то, что за многие годы эксплуатации отечественных - БН-350 и БН-600, а также зарубежных быстрых реакторов - PFR, PHENIX, SUPERPHENIX, MONJU, произошло всего 82 течи, из которых 80 % по своему объему не превышали 10 л и не представляли опасности для персонала и оборудования установок, что ни одна из течей и ни один из возникших случаев горения натрия не выходили за требования ядерной и промышленной безопасности, противники АЭС с БН продолжают твердить об опасности натриевого теплоносителя. Тем самым создаются реальные препятствия на пути наиболее рациональной и отработанной технологии замыкания ядерного топливного цикла.

Вместе с тем опасность потери герметичности натриевых трубопроводов действительно существует, действительно существует опасность самовоспламенения натрия при контакте с воздухом. Повышение температуры вследствие горения натрия на оборудовании, опорных и строительных конструкциях может вызвать последующие отказы приборов, защитных и локализирующих систем и устройств. Окись натрия в течение короткого времени превращается в гидроокись и карбонат натрия, которые вызывают коррозию конструкционных материалов. Все это требует совершенствования процедур оценки безопасности, основанных на концепции «течь перед разрушением» (ТПР).

Данные процедуры должны учитывать, как очевидные факторы, например то, что интенсивность протекания аварии, различные ее гидродинамические, тепловые и силовые эффекты существенно зависят от формы и размеров образовавшегося дефекта.

Вх. №	4257	Исследовано
15	12	15
Основ.	4	
Прил.		л. подп.

через который происходит истечение натрия, времени и вытесняющего давления, так и особенности поведения материалов при повышенных температурах и ряд событий, реализующихся на установках с натриевым теплоносителем и существенно отличающихся от условий течей контуров реакторных установок с водяным теплоносителем.

В связи с вышесказанным работа, направленная на применение современного методического и математического аппарата, экспериментальных методов в целях совершенствования концепции «течь перед разрушением» (ТПР) и применения ее для контуров РУ БН с натриевым теплоносителем, является, несомненно, актуальной.

К основным **научным результатам**, полученным автором настоящего исследования, следует отнести:

1. Комплекс критериев для оценки уровня безопасности при эксплуатации трубопроводов и корпусов оборудования с натриевым теплоносителем, в том числе при горении натрия.
2. Методика расчета параметров течей натрия из трубопроводов 1 и 2 контура АЭС с реакторами типа БН в условиях нормальной эксплуатации и при авариях (течах и горении натрия).
3. Методика расчета параметров течей натрия из трубопроводов 1 и 2 контура АЭС с реакторами типа БН через сквозные трещины.

Научная новизна полученных автором результатов состоит в том, что:

- при разработке комплекса критериев для оценки уровня безопасности при эксплуатации трубопроводов и корпусов оборудования с натриевым теплоносителем учтены такие особенности РУ БН, как ограничение по объему вытекшего натрия, возможность реализации нескольких сценариев горения натрия, изменение параметров ползучести конструкционных материалов при горении натрия в диапазоне $600-800^{\circ}\text{C}$ и др.;
- методика расчета параметров течей натрия из трубопроводов 1 и 2 контура АЭС с реакторами типа БН при течах с горением натрия позволяет учесть наличие температурных напряжений и, как следствие, снижение несущей способности трубопроводов, ускоренный рост трещин;
- методика гидравлического расчета параметров истечения натрия через сквозные трещины позволяет учесть геометрические характеристики трещины – неодинаковость площади раскрытия на внутренней и наружной стенках трубопровода, шероховатость берега трещины и др.

Указанные выше научные положения, выводы и рекомендации достаточно глубоко и полно **обоснованы** ссылками на данные аналогичных исследований, проводив-

шихся отечественными и зарубежными специалистами, результатами сравнения разработанных методик с методиками, используемыми другими авторами, результатами экспериментов.

Достоверность выполненных автором исследований подтверждается корректным использованием апробированных методов математического моделирования, достаточно хорошей обоснованностью принятых допущений, результатами сравнения результатов расчетов по полученным моделям с результатами разработок сторонних авторов, результатами экспериментальных исследований.

Практическая ценность результатов работы состоит в том, что разработанные теоретические положения доведены до уровня инженерных методик с соответствующей программной реализацией.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в журналах и изданиях, соответствующих Перечню, утвержденному ВАК.

Автореферат отличается достаточно высоким качеством оформления, изложен технически грамотным языком.

В качестве **замечаний и дискуссионных вопросов** следует отметить следующее:

1. Автореферат содержит большое число расчетных формул, что является несомненным его достоинством, однако расшифровка обозначений, входящих в эти формулы, приводится не в полном объеме, см. например, формулу 2 (стр.8), 9 (стр.14) и др., что затрудняет понимание смысла работы.
2. Автор считает, что наиболее опасен сценарий горения натрия в непосредственной близости от трещины. С этим можно согласиться только с учетом целей рецензируемой работы. Если же рассматривать безопасность энергоблока в целом, то горение натрия «в луже» более опасно. Автор пишет, что факельное горение опасно из-за высокой интенсивности горения и других факторов, но не делает попыток расчета условий, необходимых для возникновения струйного выброса (фонтанирования) натрия.
3. В ряде случаев автор не точно определяет суть консервативного подхода. Обычно считают, что при таком подходе расчеты проводятся с заведомо большим запасом. Например, принимают, что течь происходит через трещину с площадью раскрытия, имеющей место на внутренней стенке трубопровода, не учитывают шероховатость стенок и т.п. По мнению рецензента, ценность работы как раз и состоит в снижении

степени консерватизма расчетов. Однако в автореферате встречаются формулировки, противоречащие этому утверждению.

4. В автореферате (стр. 29) приводится очень интересный экспериментально подтвержденный факт – самоликвидация течи натрия при расходах менее 1 л/мин. А в выводах по работе на стр. 30 говорится, что течь закупоривается при расходах 1-5 л/мин в течение 10-20 минут. Не совсем ясно, каким данным следует верить, т.к. соответствующие зависимости в автореферате не представлены.

5. Из автореферата не ясно, использовались ли автором методы планирования эксперимента?

Указанные замечания несколько снижают качество рецензируемого исследования, однако в целом диссертация РАМАЗАНОВА Р.М. является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи разработки математического и методического аппарата, обеспечивающих проведение анализа и оценки текущего и прогнозируемого уровня надежности трубопроводов и, как следствие, уровня безопасности энергоблоков АЭС с реакторами типа БН, имеющей существенное значение для атомной энергетики страны.

Диссертация соответствует специальности 05.16.09 - материаловедение (машиностроение), удовлетворяет требованиям п.7 ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор работы достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Заместитель главного инженера отделения технологии ВВЭР

АО «Атомпроект», Санкт-Петербург, ул. Савушкина, д. 82, e-mail:
G_Ershov@bgip3.spbaep.ru, т.р. (812) 457-02-74

д.т.н., профессор

14 декабря 2015 года



Г.А. Ершов

Подпись д.т.н., профессора Ершова Г.А.

ЗАВЕРЯЮ

Заместитель генерального директора-
директор отделения технологии ВВЭР АО «Атомпроект»

14 декабря 2015 года



А.М. Казарин