



ЭЛЕМАШ
РОСАТОМ

ОРГАНИЗАЦИЯ АО «ТВЭЛ»

**Акционерное общество
«Машиностроительный завод»
(АО «МСЗ»)**

ул. Карла Маркса, д. 12, г. Электросталь,
Московская обл., 144001
Телефон: (495) 702-99-01, (495) 702-99-70
Факс: (495) 702-92-21
E-mail: zymsz@elemash.ru
ОКПО 07622118, ОГРН 1025007111491
ИНН 5053005918, КПП 505301001

14.08.2026 № 18/34-20-ген/1130

О Т З Ы В

**на автореферат диссертации Ильясовой Ольги Хисамовны
«Развитие моделей и валидация теплогидравлического программного
комплекса HYDRA-IBRAE/LM для реакторных установок с
жидкометаллическими теплоносителями» на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.4.9 – Ядерные
энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность**

Решающим фактором при использовании и развитии ядерной энергетики является обеспечение безопасности реакторных установок. Важнейшей составляющей в этом процессе обеспечения безопасности является её расчётное обоснование, основанное на применении компьютерных программ, дающих возможность наиболее точно смоделировать происходящие в реакторных установках физические процессы, влияющие на безопасность. При этом такие программы должны разрабатываться, совершенствоваться и модернизироваться по мере получения новых знаний о происходящих физических процессах, применительно к новым и модернизируемым реакторным установкам и с целью повышения точности расчётных обоснований.

Исходя из вышеизложенного, диссертационная работа Ильясовой О.Х., посвященная развитию моделей и программного комплекса для реакторных установок с жидкометаллическими теплоносителями, в частности, реакторных установок типа БРЕСТ-ОД-300 и БН-1200М, создание которых направлено на замыкание ядерного топливного цикла, является актуальной.

Можно отметить следующие наиболее важные научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы Ильясовой О.Х.

1. На протяжении нескольких лет с начала разработки теплогидравлического расчётного кода HYDRA-IBRAE/LM (2011г.) он развивался вместе с развитием объектов моделирования и в результате превратился в программный комплекс, позволяющий моделировать процессы в жидкометаллических (натриевых и свинцовых), водяных и воздушных контурах с однофазным и двухфазным режимами течения теплоносителей, в том числе с дисперсно-кольцевым режимом течения теплоносителя.

Однако, этот программный комплекс не в полной мере учитывал особенности дисперсно-кольцевого течения водяного теплоносителя, и требовал дальнейшего развития для повышения точности моделирования отдельных параметров реакторных установок БРЕСТ-ОД-300 и БН-1200М.

В связи с этим в настоящей диссертационной работе были сформулированы задачи исследования, которые необходимо было решить для повышения достоверности расчётных обоснований безопасности: усовершенствовать модель расчёта дисперсно-кольцевого течения водяного теплоносителя для двухжидкостного подхода и создать трёхжидкостную модель; разработать модель процесса течения и теплообмена пароводяной смеси со свинцовым теплоносителем для РУ БРЕСТ-ОД-300, возникающего в случае нарушения герметичности труб парогенератора; разработать формулу расчёта локального сопротивления дистанционирующих решёток ТВС РУ БРЕСТ-ОД-300; осуществить валидацию всех усовершенствований программного комплекса на экспериментальных данных, полученных в том числе на полномасштабных интегральных стендах с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем.

Постановка указанных задач исследования и их реализация осуществлены при непосредственном участии автора.

2. Усовершенствована модель расчёта коэффициента межфазного трения для дисперсно-кольцевого режима течения водяного теплоносителя, позволяющая проводить более точный его расчёт и обеспечивающая плавное его изменение за счёт учёта трения между газом и каплями. Разработана формула силы межфазного трения между газом и каплями в зависимости от доли капель в жидкости, относительной скорости капель и их диаметра.

Проведены и обчислены эксперименты с использованием данной модели, показано сглаживание значений расчётных параметров, влияющих на величину критического паросодержания.

3. Разработана трёхжидкостная модель дисперсно-кольцевого режима течения водяного теплоносителя, учитывающая взаимодействие

капель, являющихся третьей составляющей потока, с жидкой плёнкой и газовой фазой. Разработаны уравнения сохранения массы, энергии и количества движения, содержащие характеристики процессов, в которых участвует третья составляющая потока.

Проведены и обчислены с использованием новой модели эксперименты по уносу и осаждению капель и определению критического теплового потока. Результаты расчётов хорошо согласуются с экспериментальными данными.

4. Разработана модель течения пароводяной смеси в свинце, учитывающая возможность присутствия влаги в паровых пузырьках с введением дополнительного параметра - объёмной доли пара в пароводяной смеси.

Проведены и обчислены с использованием новой модели эксперименты по захлаживанию свинца при впрыске в него пароводяной смеси, получено хорошее совпадение расчётных и фактических данных.

5. Разработана формула расчёта локального сопротивления дистанционирующих решёток ТВС реакторной установки БРЕСТ-ОД-300 и верифицирована на основании экспериментальных данных.

Степень обоснованности и достоверности результатов диссертационной работы подтверждаются хорошим совпадением результатов расчётов, проведённых с применением модернизированного кода HYDRA-IBRAE/LM, и экспериментальных данных, а также положительными результатами независимой экспертизы при аттестации кода в Ростехнадзоре и получением аттестационного паспорта от 15.06.2023 № 577.

Модернизированный в рамках диссертационной работы код HYDRA-IBRAE/LM, обладающий повышенной точностью моделирования, был успешно использован при расчётном обосновании безопасности реакторных установок типа БРЕСТ-ОД-300 и БН-1200М.

Новизна результатов диссертационной работы подтверждается большим количеством публикаций в ведущих специализированных журналах и докладов на научно-технических конференциях.

В качестве замечания можно отметить следующее.

В автореферате недостаточно полно описаны модели, принятые для модернизации программного комплекса, с точки зрения рассмотрения происходящих в них физических процессов гидравлики и теплообмена, в том числе кризисов гидравлических сопротивлений первого и второго рода.

Указанное замечание не является принципиальным, не относится к основным результатам и положениям диссертационной работы, а сама диссертационная работа выполнена на высоком методическом уровне и

представляет собой законченное исследование, имеющее большое практическое значение и нашедшее применение в ядерной энергетике.

Объем исследований и полученные результаты, изложенные в автореферате, позволяют сделать вывод о том, что диссертационная работа Ильясовой О.Х. «Развитие моделей и валидация теплогидравлического программного комплекса HYDRA-IBRAE/LM для реакторных установок с жидкометаллическими теплоносителями» является законченной научно-исследовательской работой, соответствует специальности 2.4.9 - Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность и критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней от 17.03.2015 № 235, а Ильясова Ольга Хисамовна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук.

Технический директор
АО «Машиностроительный завод»
(АО «МСЗ»), тел. 8(495)702-99-70



Дмитрий
Вячеславович
Санников

Научный руководитель
АО «Машиностроительный завод»
(АО «МСЗ»), тел. 8(495)702-99-98

Александр
Викторович
Иванов

Подписи Д.В. Санникова и А.В. Иванова заверяю

Руководитель направления обучения
и развития отдела подбора, оценки
и развития персонала АО «МСЗ»



/ Н.Н. Русакова