

Отзыв

на автореферат диссертации Томашика Дмитрия Юрьевича:
«Модуль CONT_TH для расчета теплогидравлических параметров
атмосферы в герметичном ограждении РУ с водяным теплоносителем при
тяжелых авариях»,

*представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный
цикл, радиационная безопасность»*

При обосновании безопасности атомных станций в обязательном порядке выполняется анализ запроектных аварий, в том числе тяжелых, сопровождающихся повреждением ТВЭЛов выше установленных в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии максимальных пределов их повреждения. Одним из этапов анализа запроектных аварий с разгерметизацией первого контура и повреждением ядерного топлива является оценка изменения параметров в герметичном ограждении (далее – ГО) при поступлении в него теплоносителя первого контура с радиоактивными веществами. К оцениваемым параметрам при таких авариях, в соответствии с требованиями федеральных норм и правил в области использования атомной энергии, относятся: давление и температура в расчетных объемах ГО; выход радионуклидов в ГО; скорость генерации водорода; состав парогазовой среды в расчетных объемах; расход, энтальпия воды от спринклерной системы; поток тепла, отводимый от ГО и другие. При рассмотрении тяжёлых аварий и оценке изменений параметров ГО единственным разумным способом получения достоверных результатов является моделирование интегральных процессов и явлений с использованием специальных программ для ЭВМ.

В настоящее время, возможность оценки изменений параметров в ГО при тяжелых авариях, реализована в целом ряде программ для ЭВМ, например, в зарубежных программах для ЭВМ: MELCOR, ASTEC, AC2, DRASYS и RALOC, а также в отечественных: АНГАР, КУПОЛ-М, PROBL-3ET-COM, LEAK4, ISTRА. Несмотря на достаточно внушительный по количеству перечень программ для ЭВМ, позволяющих оценивать параметры в ГО, ряд задач, возникающих при анализе тяжелых аварий в части оценки изменений параметров в ГО при тяжелых авариях, остаются нерешенными. С целью поиска эффективного пути решения указанных задач в рамках деятельности международных организаций, в том числе МАГАТЭ и ОЭСР, из года в год проводятся семинары и конференции с привлечением лучших специалистов в данной области по обсуждению подходов, применяемых при выполнении анализа тяжелых аварий с учетом процессов и явлений в ГО.

В настоящее время для моделирования протекания тяжелых аварий на АЭС с РУ ВВЭР в России разработана (в нескольких версиях) программа для ЭВМ СОКРАТ, которая позволяет рассчитывать как внутрикорпусную, так и внекорпусную фазы тяжелых аварий и способна давать реалистичную оценку динамики развития тяжелых аварий при различных эксплуатационных

состояниях. В автореферате диссертации Томашика Дмитрия Юрьевича на тему: «Модуль CONT_TH для расчета теплогидравлических параметров атмосферы в ГО РУ с водяным теплоносителем при тяжелых авариях» изложены результаты работ по созданию в составе программы для ЭВМ СОКРАТ специального модуля CONT_TH, способного решить ряд актуальных задач расчетного анализа безопасности атомных станций с реакторами ВВЭР в части тяжелых аварий. В своей работе Томашик Д.Ю. рассмотрел процессы, протекающие в ГО, в первую очередь в части влияния динамики изменения давления в связанной системе РУ ↔ ГО на процессы в активной зоне и контурах РУ, в том числе на выход радиоактивных веществ.

С учетом вышеизложенного, не вызывает сомнения **актуальность** диссертационной работы, целью которой определена разработка для интегральной программы для ЭВМ СОКРАТ теплогидравлического модуля, предназначенного для согласованного расчета протекания тяжелых аварий на атомных станциях с водяным теплоносителем.

Поставленные цели достигнуты за счет выполнения следующих обладающих признаками **научной новизны** задач:

- проведен анализ и выбраны модели теплогидравлических процессов для реалистичного описания поведения давления, температуры и состава газовой среды, включая стратификацию и ее разрушение с сохранением характерного времени протекания процессов на малом количестве расчетных ячеек;
- впервые в рамках единого подхода к моделированию процессов для интегральной программы для ЭВМ СОКРАТ реализован согласованный расчет теплогидравлических параметров РУ и ГО атомных станций с реакторами с водяным теплоносителем;
- впервые разработана модель течения газовой фазы, учитывающая импульс, передаваемый газу за счет процессов теплообмена;
- разработана модель образования и разрушения стратифицированных слоев за счет плавучести и импульса;
- разработана универсальная модель спринклерной системы, учитывающая взаимодействие капель с конструкциями и ограничение перемешиваемости газовой фазы каплями спрея;
- разработана и проверена на экспериментальных данных универсальная методика моделирования теплообменника-конденсатора.
- проведена валидация модуля на экспериментальных данных высокого пространственного разрешения в части поведения давления и изменения состава газовой среды в ГО, при работе активных и пассивных СБ, применяемых для смягчения последствий ТА;
- для ряда сценариев тяжелых аварий по модулю CONT_TH получен теплогидравлический отклик ГО, проведено его сопоставление с имеющимися

экспериментальными данными и с результатами расчетов по аттестованной программе для ЭВМ CFD класса.

Модуль CONT_TH в составе аттестованной в 2022 г. программы для ЭВМ СОКРАТ-В1/В2 в настоящее время применяется при анализе запроектных аварий на атомных станциях с реакторами ВВЭР, что подтверждает указанную в автореферате **практическую значимость** выполненной Томащиком Д.Ю. работы.

Законченность и полноту исследования, а также достаточно высокий уровень **апробации** результатов и признания их научной общественностью подтверждают: результаты целого ряда научно-технических конференций, на которых докладывались положения и результаты диссертационной работы Томащика Д.Ю.; 10 публикаций по тематике диссертации, в том числе 4 в журналах из перечня ВАК; результаты завершённой аттестации модуля CONT_TH в составе программы для ЭВМ СОКРАТ-В1/В2.

Автореферат диссертации Томащика Д.Ю. изложен хорошим языком с использованием терминологии, общепринятой в исследуемой области.

По содержанию автореферата диссертации Томащика Д.Ю. можно сделать следующие **замечания**:

1. Отсутствие явного моделирования течения Стефана может быть одним из ограничений модели CONT_TH, особенно в случаях интенсивной конденсации пара на холодных стенках, а также в случаях когда эти течения играют существенную роль в формировании распределения температуры и состава газовой фазы в ГО;

2. Не приведено описание ограничений применимости модуля CONT_TH, обусловленных реализованными в его составе математическими методиками;

3. В разделе автореферата «Практическая ценность результатов» указано, что модуль CONT_TH аттестован в составе программы для ЭВМ СОКРАТ-В1/В2 для расчета давления, температуры и состава газовой атмосферы в помещениях ГО. При этом в аттестационном паспорте программы ЭВМ СОКРАТ/В1/В2 не указаны погрешности определения температуры в ГО, что свидетельствует о недостаточности верификационных данных и/или отсутствии обоснованных погрешностей результатов расчетов температуры в ГО по модулю CONT_TH;

4. Не представлена информация о влиянии неопределенностей исходных данных, а также допущений и упрощений, принятых при разработке модуля CONT_TH, на получаемые результаты расчетов параметров в ГО;

5. Имеется ряд незначительных погрешностей изложения в тексте автореферата. Так, по его содержанию ясно, что практическая значимость работы определяется, в том числе и результатами количественной оценки динамики изменения мольной доли водорода в пароводородной смеси в течение тяжелой аварии с плавлением активной зоны (Рис. 13), важными по отношению к вопросам **взрывобезопасности**, связанным с парациркониевой

реакцией. Однако на стр. 3, отмечено, что «газовый состав атмосферы ГО принципиально важен по соображениям **пожаробезопасности**». В ссылках на основные публикации автора по теме диссертации №№ 5, 9 и 10 его фамилия отсутствует в приведенном перечне авторов, хотя допустимо было бы привести его в такой форме: 5. *V. B. Morozov, A. E. Kiselev, A. A. Kiselev, Tomashchik D.Y. [et al., 6 auth.] Issues of Safety Assessment of New Russian NPP Projects in View of Current Requirements for the Probability of a Large Release // Nuclear Technology. – 2021. – Vol. 207, No. 2. – P. 204-216; 10. Л.А. Большов (RU), М.А. Затевахин (RU), Д.Ю. Томащук и др. (всего 32 автора).*

Сформулированные выше замечания не изменяют общей **положительной оценки** диссертации, а лишь свидетельствуют о целесообразности проведения дальнейшей работы в заданном направлении. Исходя из сведений, приведенных в автореферате, диссертационная работа Томащика Д.Ю. представляет собой завершённое исследование в части разработки модуля для расчета теплогидравлических параметров в ГО РУ с водяным теплоносителем при тяжелых авариях, результаты которого имеют существенное значение для развития расчетного моделирования процессов и явлений в ГО, характерных для тяжелых аварий на атомных станциях.

На основании всего вышеизложенного считаем, что диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, и п. 1 паспорта специальности 2.4.9 – «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность», а её автор Томащук Дмитрий Юрьевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Главный научный сотрудник
отдела аварийной готовности
и радиационной защиты,
ФБУ «НТЦ ЯРБ», к.ф.-м.н.



Строганов Анатолий Александрович

Старший научный сотрудник
отдела безопасности атомных
станций и инновационных
ядерных установок
ФБУ «НТЦ ЯРБ»



Курбонмамадов Алишер Шакармамадович

Главный специалист отдела безопасности
атомных станций и инновационных
ядерных установок отделения ядерной и
радиационной безопасности ФБУ «НТЦ
ЯРБ»



Хлобыстов Валерий Михайлович

Подписи Строганова А.А.,
Курбонмамадова А.Ш., Хлобыстова В.М.
заверяю

Ученый секретарь ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
к.т.н.



Гремячкин Владимир Анатольевич

«16» сентября 2024 г.



М.П.

Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и
радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ»)
107140, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Красносельский,
ул. Малая Красносельская, дом 2/8, корпус 5;
тел.: +7 (499) 264-00-03; факс: +7 (499) 264-28-59; secnrs@secnrs.ru