

## РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за присъждане на образователната и научна степен

„Доктор”

по научната специалност 02.06.04 „Ядрени реактори”, научна област „Енергетика”

**Автор** на дисертационния труд: Стоян Христов Кадалев от ИЯИЯЕ-БАН

**Тема:** „Анализ на безопасността на реактор ИРТ-София при загуба на електрозахранване”,

**Рецензент:** проф. дфн Кирил Асенов Крежов, Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика (ИЯИЯЕ) при БАН.

Стоян Кадалев е завършил през 1995 г. Санкт Петербургския Държавен Технически Университет, Енергомашиностроителен Факултет, катедра „АЕЦ и ТЕЦ” с магистърска степен инженер-физик. От март 1996 г. постъпва на работа в отдел „Оператори” на Ядрената Научно Експериментална База при ИЯИЯЕ – БАН. От 2000 г. заема длъжността Главен оператор, преименувана в Ръководител отдел „Оператори” в ЯНЕБ. При дейностите по Проекта ИРТ-200 е имал конкретни отговорности относно отработеното и свежото ядрено гориво, ядрената безопасност и експлоатационно-технологичните параметри, работил е по анализите на безопасността на реконструираното съоръжение, топлохидравличните пресмятания на активната зона на реактора, оценката на капацитета на пръскалните басейни и др., както и по изготвянето на Междинен Отчет по Анализ на безопасността в Редакции 1, 2 и 3.

В дисертационния труд на Кадалев са представени и обсъдени оригинални резултати от дългогодишните изследвания на автора върху безопасността на изследователския реактор ИРТ-2000 след реконструкцията му в реактор с ниска мощност ИРТ-200. Цел на изследванията, дискутирани в дисертационния труд, е да се проучи поведението на системите на ИРТ-200 при аварията “загуба на електрозахранване”. Тази авария спира работата на циркулационните помпи от системата за охлаждане на активната зона, което води до опасност от повреда на ядреното гориво с възможност за последващо радиационно замърсяване. За анализ на безопасността при развитието на аварията дисертантът е приложил успешно детерминистичен подход.

**Актуалността** на проблема е извън съмнение, защото изследователски реактор разположен в столицата императивно е необходимо да е безопасен, за да бъде реално средище с лаборатории за обучение на студенти и докторанти от съсредоточените в нея университети и институти на БАН, и център за подготовка на кадри за ядрените изследвания и ядрената енергетика от регионално значение за Балканите. Имат също място аргументи за поддържане на задължителното днес ниво на знания в ядрената област (ядрена култура).

Софийският ИРТ е хетерогенен басейнов тип реактор, в който активната зона е разположена близо до дъното на басейна и се използва лека вода (при атмосферно налягане) за забавител, охлаждащо вещество и биологическа защита. Практиката, включително и наша, показва, че този тип реактори се отличават със структурна простота, висока надеждност, ниски разходи за използване, диагностика, профилактика и ремонтно обслужване, и безопасност при експлоатация. Безопасността на конкретното ядрено съоръжение ИРТ-200 се определя от качествата на приложените конструктивни и технологични решения, така че при определени експлоатационни състояния и аварии да не се надвишават установените граници за вътрешно и външно облъчване на персонала и населението, както и да не се надхвърлят нормативно определените предели за изхвърляния на радиоактивни вещества в околната среда. В този смисъл разглеждането на постулираното изходно събитие е задължително по нормативни документи, отразява се в Отчета по анализ на безопасността (ОАБ) и сред обосновките при оценката на въздействието върху околната среда (ОВОС).

Дисертационният труд на Стоян Кадалев съдържа 150 стр. **Структуриран** е в рамките на шест глави, от които Глава I е “Въведение”. Включени са Списък на литературата, Списък на публикациите на автора и шест Приложения. Представени са общо 30 фигури и 47 таблици. Обхванати са изследвания на автора, отразени в 10 статии и доклади, които са публикувани в периода 1999 -2012 г. върху различни аспекти на безопасността на реконструирания реактор ИРТ-200 при използване на ядрено гориво ИРТ-4М с обогатяване по уран-235 под 20%. Цитирани са 73 литературни източника, 10 от които са статии на автора по тематиката на дисертацията.

**Първа глава** съдържа кратко въведение с исторически характер върху ролята на ИРТ – София в ядрената наука, технологии и енергетика през 28 годишния период на неговата безаварийна експлоатация. Представени са целите на проекта за реконструкция и са формулирани ясно целта и конкретните задачи определящи структурата на дисертацията.

**Втора глава** представлява интригуващ опит на дисертанта за класификация на ядрените реактори и мястото на ИРТ – София сред изследователските реактори въз основа на признаци, които дисертантът е подбрал, обосновал и приложил. Основните резултати и изводи в тази глава са публикувани в периодичното издание “Доклади на БЯД” през 2012 г.

**Трета глава** озаглавена “*Проектни основи на безопасността*” дава обстоен преглед на съвременните концепции и критерии по безопасност на ядрените реактори и принципите за осигуряване на безопасността при нормална експлоатация и аварийни ситуации. Сбито, но достатъчно информативно са дадени принципите за изграждане на дълбокоекшелонирана

защита; концепцията за многобариерна защита и принципът на единичния отказ. Представени са основните положения при разработване и прилагане на активни и пасивни конструкции, системи и компоненти (КСК) осигуряващи безопасността, както и условията за посрещане на високите изисквания за качество при проектиране на ядрени съоръжения. Спазвайки своя характерен стил на изложение Кадалев изяснява сбито и достатъчно ясно, без да ги противопоставя, двата основни подхода - детерминистичния и вероятностния - за анализ на безопасността и за обосновка на последващи действия и технически решения по посока повишаване на безопасността.

**Четвърта и Пета глави** са свързани много тясно и биха могли да бъдат обединени, защото са посветени изцяло на Техническия проект ИРТ-200. Този проект, представен за лицензиране в Агенцията за Ядрено Регулиране (АЯР) е в съответствие с нормативния акт "Наредба за осигуряване безопасността на изследователските ядрени инсталации" от 2004 г. Нормативните изисквания към системите и компонентите на реактора, ядреното гориво, басейна за отлежаване на отработилите горивни касети (шахтоохранилището) и важните за безопасността конструктивни решения са описани в Четвърта глава, а в Пета глава са дискутирани конфигурацията и състава на активната зона с берилиеви блокове, хоризонталните и вертикалните експериментални канали, канала за бор-захватна неутронна терапия, контролно измерителната апаратура и др. В таблична форма (Таблица 5.1, Таблица 5.2 и Таблица 5.3) са представени технологичните параметри при експлоатация в стационарен режим на мощност от 1000 kW.

Тази част на дисертацията е безусловно необходима. Ясното изложение на важните детайли спомага за изясняване на приетия от автора модел и определяне на конкретните задачи при моделирането и анализирането на процесите проведени в следващата шеста глава. Тя демонстрира знанията и аналитичните способности на Главния оператор на съоръжението, както и познаването на проектната документация в дълбочина.

**Шеста глава** озаглавена „Аварийна ситуация със загуба на електрозахранване“ съдържа подробна информация за аварията на конкретното съоръжение, нейното моделиране, сценария за развитие на аварията, получените резултати и направените изводи. Дадени са проектните предели за безопасна експлоатация на реактора, началните и граничните условия, допусканията при моделирането и направените количествени оценки.

Значително място в тази глава е отделено на развитата от дисертанта **методика на изследване**, която включва компютърни пресмятания с помощта на специализиран софтуерен пакет PLTEMP/ANL V2.0 CODE, разработен в Аргонската Национална Лаборатория, Чикаго, САЩ, съвместно с Университета в Киото, Япония. С този пакет е

определяно разпределението на температурните полета в цялата активна зона на реактора, включително тези на най-енергонапрегнатата горивна касета и горивните елементи в нея. От изложението ясно личи, че Кадалев познава отлично възможностите и ограниченията на програмата за пресмятане в зависимост от геометрията на горивните елементи и режима на движение на еднофазен и/или многофазен поток на охлаждащата течност.

Анализират се трите процеси, които протичат по време на развитието на изходното събитие - остатъчно топлоотделяне, пренос на топлоносител поради инерция след спиране на помпата и появата на естествена циркулация на охлаждащата вода.

Анализите са правени за работа при 1000 kW в реакторни цикли, различни по времетраене и състав на активната зона. За всеки един от процесите, физическите основания са формулирани математически и после са отразени при пресмятанията. Подробно се дискутира връзката им и преобладаващ принос в хода на развитието на аварията. Остатъчната топлина след аварийно изключване на реактора се оценява, като се използват емпиричните методи на Вигнер-Вей. Определянето на скоростта и времето за пренос на топлоносителя по инерция, както и хидравличните характеристики за моделиране на пътища функции се извършват в съответствие с дадените в текста препратки.

Достоверността на резултатите от пресмятанията е проверена чрез анализиране на данни от експеримент на изследователския реактор в Росендорф (Германия) с конструкция сходна на тази на ИРТ-200, при който принудителната циркулация на топлоносителя е прекъсната чрез изключване на помпите от първи контур и верижната реакция е прекратена след една секунда от аварийната защита. Измервана е температурата на повърхността на горивните касети. За постигане на коректност на сравнението е обосновано въвеждането на подходящ коефициент. От експеримента и моделното пресмятане се получават криви със сходно температурно поведение във времето, така че може да се приеме, че съпадението е удовлетворително и моделирането на аварийните процеси при „Загуба на електрозахранване” на реактор ИРТ - София води до правилни изводи за безопасността му.

Най-важно заключение от анализите е, че реактор ИРТ-200 в София, дори работещ при мощност 1000 kW, остава в безопасно състояние спрямо разглежданата авария.

Поради значението на разглежданата авария в контекста на ОАБ ще си позволя да отбележа, че Стоян Кадалев е имал възможност да работи с утвърдени наши и чужди специалисти. През 2003 г. той е преминал специализирано тримесечно обучение в Аргонската Национална Лаборатория, Чикаго, САЩ, по оценка на параметрите на активната зона на реконструирувания реактор във връзка с преминаването към ниско обогатено ядрено гориво. През 2007 година е завършил едномесечен курс по безопасност на

изследователски реактори в Научно Изследователският Институт за Атомни реактори (НИИЯР), Димитровград, Русия. Тези специализации безспорно са оставили отпечатък върху ерудицията и квалификацията на дисертанта.

Дисертацията е изградена върху 10 научни труда, от които 2 са самостоятелни статии в Доклади на БАН и Доклади на БЯД, а 8 са доклади на международни научни конференции и на технически срещи, организирани от МААЕ-Виена. Съавтори са членове на групите от ИЯИЯЕ, работещи по проблеми на неутронната и ректорната физика. В една от публикациите негов съавтор е видният руски специалист в областта на реакторната физика и реакторите ИРТ проф. Павел Егоренков. Затова приемам, че личният принос на дисертанта е значим и повече от достатъчен.

Дисертантът не дава сведения за **забелязани цитати**. Това не намалява значимостта на проведените изследвания поради уникалността на проекта ИРТ-200 и специфичната тематика за реакторна система с активна зона, която работи на ниска мощност в голям по обем басейн с охлаждаща течност. На практика получените от Кадалев резултати са използвани нееднократно. Те са цитирани от доцент Белоусов и други колеги като частни съобщения и са им послужили при докладване на напредъка по проекта ИРТ-200 на симпозиуми и технически срещи по програмата за използване в изследователските реактори на ядрено гориво с ниско обогатяване (RERTR) и по линия на МААЕ. Използвани са също в лицензионната процедура.

**Приносите** в дисертацията имат научно-приложен характер и могат да се отнесат, от една страна, към обогатяване на съществуващи знания в областта на реакторната физика, а от друга, към създаване на нови методи и получаване и доказване на нови и потвърдителни факти, защото е разработена методика за прилагане на детерминистичен подход към анализа на безопасността на басейнов тип изследователски реактори.

Познавам дисертанта още от 1996 г., когато постъпи на работа. До края на 2010 г. бях запознат до няква степен с работите му от годишните отчети за напредъка по проекта ИРТ-200. Съвместната ни работа от началото на 2011 г. го представя като много инициативен, добросъвестен и компетентен оператор. Запознат е до най-дребни детайли с особеностите на конкретната реакторна система ИРТ-София и проявява стабилни знания и умения за анализ и оценки на безопасността на ядрените реакторни системи.

Принципни **възражения** към материала в дисертацията нямам. Като цяло дисертационният труд е оформен прегледно и ясно представя заявените основни оригинални приноси на автора. Забелязани са дребни езикови и технически грешки. Четенето се затруднява от липса на номерация на част от формулите и позоваването към

тях в текста на съответните глави е объркващо. Странно впечатление оставят обсъжданията по дълбокоешелонираната защита и на многобариерната защита, макар Кадалев да е запознат с многобройните документи на МААЕ по изследователски реактори (30-ина след 2006 г.) и в частност с публикациите от серията по безопасност. От методологична гледна точка интерес представлява дисертантът да направи сравнителен анализ на възможностите на избрания от него подход и други методи за анализ на реакторната безопасност за конкретната реакторна система при постулираната авария “Загуба на електрозахранване”.

Направените от мен забележки и препоръки не омаловажават сериозната работа по дисертацията на Кадалев и не подлагат под съмнение неговия висок професионализъм.

Въз основа на анализа на представените ми писмени материали по процедурата и съдържанието и приносите на дисертацията за докторска степен, както и мои лични впечатления считам, че:

- представеният труд отговаря на възприетите за физическата колегия високи критерии за актуалност, обем и качество на изследванията за присъждане на исканата степен “доктор”; и в частност на изискванията на Правилника за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в ИЯИЯЕ;
- докторантът е утвърден специалист по „Ядрени реактори” (шифър 02.06.04) и е изпълнил всички приети изисквания за получаването на степен “доктор”;
- авторефератът достатъчно кратко, ясно и точно отразява съдържанието и основните научни резултати от дисертационния труд.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Представеният ми дисертационен труд е значим по тематика, цели, начин на изпълнение и съдържателност на приносите. Оценявам подчертано положително неговите достойнства и с **пълно убеждение препоръчвам на уважаемото Научно жури да присъди на магистър Стоян Христов Кадалев образователната и научна степен “доктор”.**

20.10.2012 г.

Рецензент:

Проф. д-р К. Крежов