

## СТ А Н О В И Щ Е

### на проф. дфн. Кирил Крежов, асоцииран член на ИЯИЯЕ-БАН

относно материалите представени по процедура за защита на дисертационен труд за придобиване на научна степен „доктор на физическите науки” по професионално направление 4.1 Физически науки (научна специалност “Неутронна физика и физика на ядрените реактори“ (шифър 01.03.06))

**Автор** на представените материали - д-р Павлин Петков Грудев, доцент, ръководител на лаборатория “Ядрена енергетика и ядрена безопасност” в ИЯИЯЕ-БАН

#### Материали по процедурата:

1. Автореферат на дисертация *”Аналитично валидиране на аварийни процедури за ВВЕР реактори”*
2. Дисертация на тема *”Аналитично валидиране на аварийни процедури за ВВЕР реактори”*
3. Копия на публикации на д-р Грудев по темата на дисертацията
4. Списък на забелязани цитирания на публикациите по темата на дисертацията

**Относно автора:** Павлин Петков Грудев е роден през 1961 година. Назначен е на работа в ИЯИЯЕ през 1987 г. веднага след завършването на магистратура в Московски енергетически институт, Москва, “Енерго - физически факултет”, специалност “Атомни станции и установки”. През март 1995 година защитава дисертация в Московския енергетически институт, Катедра “Атомни електрически станции” на “Енерго - физически факултет”. В периода юни 1995 - декември 1996 година Грудев е специализирал в областта на ядрената безопасност в Брукхевънската национална лаборатория (BNL, New York), САЩ, където е бил запознат и е работил активно с редица основни програмни продукти, които макар и развити и съществено допълнени във времето, остават актуални за реализацията на физичните методи и аналитични подходи за разкриване и превъзможване на проблеми в безопасността. Автор и/или съавтор е на над 180 научни трудове, част от които са отразени в специализираната литература по проблемите на ядрената безопасност на реакторните системи с вода под налягане.

#### Анализ на представените материали

Представените материали адресират особено важни проблеми за безопасността на ядрените реактори с лека вода под налягане, вкл. реакторите ВВЕР на АЕЦ “Козлодуй”. Получена и анализирана е нова или допълваща информация за поведението на активната зона и вътрешно корпусните устройства въз основа на модели, заложи в съвременните водещи софтуерни пакети, разработени и прилагани активно в САЩ и Европейския съюз за анализ на енергийни реакторни системи в условия на проектни, над проектни и тежки аварии. Естествено, резултатите от тези многопараметрични анализи, основани на математични модели за описание на сложните ядрени, топлофизични, физикохимични и термохидравлични процеси (в това число и реактивностни процеси, отчитащи връзката на топлофизичните процеси с неутронно-физичните характеристики на активната зона) в ядрената централа, включващи свойствата на конкретно ядрено гориво, геометрия и състав на активната зона, специфични или типични системи за безопасност и използваните конкретни конструктивни



материали (стомани, бетон и други), подпомагат валидирането на реакторните модели и поведението на активната зона в нормален режим на експлоатация.

След Чернобилската авария и особено след аварията на реакторни системи в централата Фукушима при интегрираните проверки по безопасност (стрестестове) и след тях стартираха мащабни международни проекти по ядрена безопасност, свързани с преразглеждане на реакторните модели и разбирането на процесите в реакторната система при развитие на тежка авария, както и на съществуващите анализи и оценки, залегнали в разработените аварийни процедури (симптомно ориентирани аварийни инструкции и ръководства за управление на тежки аварии и използваните стратегии в тях). Крайната цел на тези и подобни изследвания е да се постигне оптимизиране на работата на активната зона и използването на ядреното гориво до позволената дълбочина на изгаряне, подобряване на точността на оценките на експлоатационните предели и условия, навременното овладяване на аварийна ситуация от оперативния реакторен персонал и предотвратяване както на проектните аварии, така и на тежка авария с оглед на ядрената и радиационна безопасност на персонала и населението. Получената информация позволява да се оцени ефективността на системите за безопасност, както и ефективността на операторските действия при развитието на изследваните физични процеси в ядрената система, в това число и в активната зона.

**Авторефератът на дисертацията** *"Аналитично валидиране на аварийни процедури за ВВЕР реактори"* е изложен на 73 страници. Той представлява достатъчно сбито изложение по същество на дисертационния труд, съдържа коректно описание на получените резултати и позволява самостоятелен анализ и преценка относно формулираните в 9 точки приноси.

**Дисертационният труд** е изложен на 246 страници, включително списък на използваната литература от 124 публикации (7 стр.), част от които са трудове с участието на Грудев, дадени в отделен списък (3 стр.). Структуриран е в 6 глави и включва 168 фигури и 54 таблици. Предхожда се от достатъчно пълен Списък на използваните съкращения, който силно облекчава прочита на текста изобилстващ с рускоезични и англоезични термини, възприети у нас за отразяване на специфични технически средства, оборудване и системи в АЕЦ с реактори ВВЕР. Придружава се от Списък на таблиците и Списък на фигурите, изнесени в края на дисертационния труд, съответно като Приложение 1 и Приложение 2.

Изложението започва с кратък **Увод** (2 стр.), в който се представят основните цели в дисертацията и как са постигнати те, като е отделено и необходимото внимание на актуалността на изучаваната проблематика за осигуряване на ядрената безопасност.

В **Глава 1** (5 стр.) са представени съвременните изисквания за осигуряване на ядрената безопасност и как се оценява тя. В **Глава 2** (13 стр.) е представена използваната методология. В следващите три глави от дисертацията, последователно се представят характеристиките на основния инструментариум за реализирането на целите в представената методология, като използваните компютърни кодове с модулна структура RELAP5, ASTEC и MELCOR и решаваните диференциални уравнения са представени в **Глава 3** (17 стр.), конкретни моменти от тяхното валидиране на базата на две експериментални конфигурации QUENCH-11 и QUENCH-11 на стенда QUENCH в Изследователския Център Карслуе, както и на интегралния термохидравличен стенд PSV-VVER в град Електрогорск-Русия е представено в **Глава 4** (30 стр.), а самото представяне на използваните 4-ри модела (два модела за RELAP5 (един за ВВЕР 440 и един за ВВЕР 1000), 1 модел за ВВЕР 1000 за MELCOR и 1 модел за ВВЕР 1000 за ASTEC) и тяхното валидиране е представено в **Глава 5** (54 стр.).



Аналитичното валидиране на аварийните процедури и на стратегиите за управление на ядрени аварии, т.е. реалното прилагане на разработената *методология*, е представена подробно в **Глава 6** (99 стр.). За тази цел са избрани по два характерни анализа за всеки един от представените модели, като числото анализи за решаването на задачата поставена в методологията за различните случаи варира от няколко до 8 за *междусистемен теч* във ВВЕР 1000, където са дадени препоръки към оперативния персонал на базата от получените резултати за недопускане на ранно *байпасиране* на хермозоната и изхвърляне на радионуклеиди при такъв тип авария. По този начин в Глава 6 са обхванати следните аварийни режими:

**Модел на ВВЕР 1000 за RELAP5:** Теч по втори контур (реактивността авария – нарушаване на критичната функция по безопасност (КФБ) критичност)); Междусистемен теч (нарушаване на КФБ топлоотвеждане).

**Модел на 440 RELAP5:** Теч при спрян и разхерметизиран реактор, когато повечето системи за безопасност са изведени от експлоатация – нарушаване на КФБ охлаждане на активната зона).

**Модел на ВВЕР 1000 за MELCOR:** Изследване на стратегията за инжектиране вода при разгорещена активна зона (над 1200 С) и изследване на ефектите и процесите при това операторско действие – основната КФБ тук е охлаждане на активната зона; Вторият анализ е свързан с изследване на процесите в хермозоната след отказа на корпуса на реактора и падането на разтопеното ядрено гориво в бетонната шахта на ректора – оценена е ефективността на пасивните автокаталитични рекомбинатори за водород, като са направени препоръки към операторския персонал.

**Модел на ВВЕР 1000 за ASTEC:** Анализирани са стратегии за управление на тежки аварии, които се обсаждат за възможността да се използват при изпълнението на РУТА (ръководствата за управление на тежки аварии). Демонстрирани са проблемите при взаимодействието на кориума с бетона (възможността за пробив на хермозоната); Демонстрирано е възможността за прилагане на стратегията за външно корпусно заливане на задържане на разтопената активна зона (кориума) на дъното на корпуса на реактора.

- Доказването на ядрената безопасност, както и предприемането на адекватни организационни и технически мероприятия за повишаване на безопасността е **изключително актуална проблематика** в пряка връзка с ефективността на атомната електроцентрали и с високи финансови измерения. Тази дейност се базира на използването на утвърдени методики и средства за анализи, които непрекъснато се усъвършенстват за удовлетворяване на все по-високите изисквания по безопасност. Оценката на безопасността е системен процес, който се провежда през целия жизнен цикъл на ядрените централи, за да определи изпълнението на всички приложими изисквания за безопасната им експлоатация. Дисертационният труд представя резултати именно в тази посока, като предлага на вниманието адаптиране на методологията за аналитичен анализ, както и нейното прилагане, която се използва за първи път за валидиране на симптомно ориентирани процедури и стратегии за управление на ядрени аварии за ВВЕР реактори.

- **За степента на познаване на изследвания проблем** може да се съди от използваната литература при разработването на дисертационния труд, както и от специализираните форуми, на които са представени и дискутирани, както резултатите от проведените анализи, така и детайлно излагане на предложената методология за аналитично валидиране.



Фактът, че предложената методология, е реферирана в ръководствата за аналитично валидиране на СОАИ в материали на МААЕ, като един от примерите за разработването на аварийни процедури, говори за степента на познаване на дискутирания проблем. Самите резултати са представени не само в специализирани списания с импакт фактор, като „*Nuclear Engineering and Design*”, „*Progress in Nuclear Energy*”, „*Annals of Nuclear Energy*” на Elsevier, но и на професионални работни срещи по линия на WANO, IAEA, както и на специализирани конференции, като ICONE, PHYSORE и др.

- **Представената методика на изследване** е използвана за първи път за целите на аналитичното валидиране на аварийните инструкции в АЕЦ Козлодуй. Тя е един от основните инструменти за доказване ефективността на съществуващите и бъдещи процедури и ръководства за управление на аварии на АЕЦ.

Аварийните процедури (инструкции и ръководства) са сред важните компоненти на концепцията „Защита в дълбочина“, която осигурява безопасната и надеждна експлоатация на АЕЦ. В условията на растящата чувствителност към безопасната експлоатация на ядрените централи, настоящата дисертация демонстрира как може да бъдат обхванати практически максимален брой аварийни ситуации, процеси и явления с наличните ресурси за анализ, така, че надеждно да се обезпечи и гарантира настоящата и бъдеща експлоатация на ядрените ни блокове. Именно затова, използваната методология се нарича често обхващаща, защото с минимален брой анализи могат да бъдат анализирани всички критични функции на безопасността при провеждането на аналитичното валидиране на аварийни инструкции.

- Представените резултати от аналитичното валидиране на аварийните процедури и стратегии за управление на ядрени аварии за ВВЕР реактори, както и представените валидации на различни модели за симулиране поведението на ядрените блокове в аварийни условия, по мое мнение, имат **научно-приложен характер**. В голяма степен те са намерили практическо приложение при валидирането на аварийни процедури и стратегии за управление на ядрени аварии, както се вижда в някои от докладите, и затова може да се каже, че имат и **инженерно-приложен характер**. Представените анализи за аналитичното валидиране на аварийни процедури и стратегии са оригинални резултати и имат принос в изследването и подобряването на безопасността на реактори от типа ВВЕР-1000.

- Дисертацията на доцент Грудев отразява изследвания публикувани в общо **40 научни трудове**, от които **29** са статии в международни списания с импакт фактор (*Nuclear Engineering and Design-12*, *Annals of Nuclear Energy-7*, *Progress in Nuclear Energy-9*, *Доклади на БАН-1*), **1** е статия с импакт ранк (Proceedings of ICONE22) и **10** са доклади, публикувани в пълен текст в рецензирани материали от международни конференции. Трудовете са колективни, повечето са с 2 -3 съавтори, като съавторите не са подредени по азбучен ред. Изследванията са изпълнени съвместно с български и/или чуждестранни учени, но личният принос на Грудев е значим и не буди съмнение - в **18** от публикациите той е първи автор. В друга част съавтори са негови докторанти или членове на ръководения от него колектив, което показва, че той е имал принос и във всички фази на проведената изследователска работа – планиране, избор на задачата и методология, анализ и интерпретация. Получените резултати са намерили отзвук в специализираната научна литература – забелязани са **134** независими цитирания на част от публикациите по темата на дисертацията.

За цялостната дейност на Грудев информационната база Google Scholar разкрива **452** цитирания и индекс на Хирш (h) **11**.



Тези наукометрични факти и сведенията, които съм получил от основните съавтори на Грудев и от много други колеги извън ИЯИЯЕ, работещи активно в областта на ядрената безопасност, ми позволяват да заключа, че той има не само съществен ръководен, а и изявен творчески личен принос в получаването на публикуваните резултати и формулирането на приносите в дисертационния труд.

- Нямам критични бележки по същество към момента. Останах с впечатлението, че част от информацията в дисертационния труд, макар и леко модифицирана, се повтаря, но при следващ внимателен прочит от автора този недостатък е лесно отстраним.

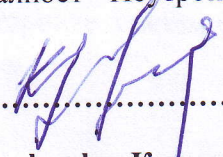
- Познавам отблизо дейността на Павлин Грудев и неговото професионално развитие още от времето на неговото постъпване на работа в ИЯИЯЕ-БАН. Безспорно, той има важна роля в развитието на изследванията в областта на ядрената безопасност, провеждани от лаборатория "Ядрена енергетика и ядрена безопасност", както и за приоритетните приноси на ръководения от него колектив за разкриване на организационни недостатъци в управлението на ядрени реактори от типа ВВЕР и за преодоляване на технически несъответствия със съвременните рязко повишени изисквания относно безопасността и съдейства за повишаване на ефективността на ядрените инсталации от типа ВВЕР за производство на електроенергия.

Имам изцяло положително мнение за представения ми за становище дисертационен труд. Той доказва, че кандидатът прилага творчески специализирани знания за описание на сложните физични процеси в реакторните системи, отразени в съвременни протрамни пакети за моделиране на аварийни ситуации и на тежки аварии. Решаваните проблеми са интердисциплинарни, а получените резултати са с принос за повишаване на безопасността на ядрените реакторни системи.

#### **Заключение:**

Давам положително становище относно представените материали и най-убедено препоръчвам на Експертния съвет на направлението "Неутронна физика, реакторна физика и ядрена енергетика" да даде положителна оценка и да предложи на Научния съвет на Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика на БАН да открие процедура за придобиване от доцент д-р Павлин Петков Грудев на научната степен "доктор на науките" в професионално направление "Физически науки" (научна специалност "Неутронна физика и физика на ядрените реактори" (шифър 01.03.06)).

Дата: 22.06.2017

.....  
  
проф. дфн. Кирил Крезов