

## Проверка критериев безопасности смешанных загрузок ядерного топлива для реакторов типа ВВЭР-1000

Исследуются теплогидравлические аспекты моделирования смешанных активных зон (с несколькими видами ядерного топлива) с топливом ТВСА, ТВС-W и ТВС-WR. Предварительно оценены критерии безопасности по максимальной температуре оболочек твэлов в представительных событиях анализа проектных аварий (АПА) для ВВЭР-1000 с использованием расчетного кода RELAP5/MOD3.2. Установлено, что максимальная температура оболочек твэлов при введении нового топлива ТВС-W увеличивается по сравнению с температурой для ТВСА. При заклинивании главного циркуляционного насоса и двухстороннем разрыве холодной нитки главного циркуляционного трубопровода (максимальная проектная авария) предварительные оценки показали, что предел по максимальной температуре оболочек твэлов 1200 °С не нарушается. Полученные результаты позволяют утверждать о необходимости дальнейшего анализа теплогидравлики совместного использования ТВС ВВЭР-1000 различных типов в аварийных режимах. АПА энергоблока должен быть дополнен исследованием аварий для смешанных активных зон.

**Ключевые слова:** смешанные активные зоны, ядерное топливо, проектный предел, максимальная проектная авария, заклинивание главного циркуляционного насоса, закризисный теплообмен, ТВСА, ТВС-W, ТВС-WR, тепловыделяющая сборка, анализ проектных аварий.

**І. А. Шевченко, Ю. Ю. Воробйов**

### Перевірка критеріїв безпеки змішаних завантажень ядерного палива для реакторів типу ВВЕР-1000

Досліджуються теплогідравлічні аспекти моделювання змішаних активних зон (з кількома видами ядерного палива) з паливом ТВСА, ТВС-W та ТВС-WR. Проведено попередні оцінки критеріїв безпеки за максимальною температурою оболонок твєлів у показних подіях аналізу проектних аварій (АПА) для ВВЕР-1000 з використанням розрахункового коду RELAP5/MOD3.2. Доведено, що максимальна температура оболонок твєлів при введенні нового палива ТВС-W або ТВС-WR збільшується порівняно з температурою для ТВСА. При заклинюванні головного циркуляційного насоса і двосторонньому розриві холодної нитки головного циркуляційного трубопроводу (максимальна проектна аварія) попередні оцінки показали, що межа за максимальною температурою оболонок твєлів 1200 °С не порушується. Отримані результати підтверджують необхідність подальшого аналізу теплогідравліки спільного використання ТВЗ ВВЕР-1000 різних типів в аварійних режимах. АПА енергоблока має бути доповнений дослідженням аварій для змішаних активних зон.

**Ключові слова:** змішані активні зони, ядерне паливо, проектна межа, максимальна проектна аварія, заклинювання головного циркуляційного насоса, закризовий теплообмін, ТВСА, ТВС-W, ТВС-WR, тепловидільна збірка, аналіз проектних аварій.

© И. А. Шевченко, Ю. Ю. Воробьев, 2015

В настоящее время в Украине планируется применять альтернативные виды ядерного топлива для реакторов ВВЭР-1000. В частности, на Южно-Украинской АЭС (ЮУАЭС) предполагается установка тепловыделяющих сборок (ТВС) компании «Вестингауз» (Westinghouse) типа ТВС-WR. Данная модификация топлива является улучшенной по сравнению с предыдущей ТВС-W, которая проходила опытно-промышленную эксплуатацию ранее на ЮУАЭС.

Введение нового топлива в загрузку активной зоны (а.з.) требует подтверждения критериев безопасности, в первую очередь — по максимальной температуре оболочек тепловыделяющих элементов (твэлов) в аварийных режимах. Именно состояние оболочек твэлов определяет возможный выброс радиоактивности в первый контур реакторной установки (РУ), далее в гермообъем (ГО) и в окружающую среду.

При одной загрузке ядерного топлива заменяется примерно его четвертая часть в активной зоне, поэтому в процессе эксплуатации возникает ситуация с одновременным использованием нескольких видов топлива в одной а.з. В данной работе исследуются теплогидравлические аспекты моделирования смешанных активных зон (активные зоны с несколькими видами ядерного топлива) с топливом ТВСА, ТВС-W и ТВС-WR, а также предварительно определяются критерии безопасности по максимальной температуре оболочек твэлов в представительных событиях анализа проектных аварий (АПА) для реакторных установок типа ВВЭР-1000 с использованием расчетного кода RELAP5/MOD3.2.

**Представительные аварийные последовательности АПА.** На согласование в Государственную инспекцию ядерного регулирования Украины переданы обосновывающие документы по вводу в опытно-промышленную эксплуатацию топлива ТВС-WR [1, 2] на энергоблоке № 3 ЮУАЭС. Проведение технической экспертизы потребовало моделирования данного топлива средствами расчетного кода RELAP5/MOD3.2 в рамках модели [3]. Для экспертного анализа выбраны аварии, приводящие к наибольшему температурам оболочки твэла: заклинивание главного циркуляционного насоса (ГЦН) и двухсторонний разрыв холодной нитки главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ), или так называемая максимальная проектная авария (МПА).

**Моделирование ТВС-WR.** Ядерное топливо компании «Вестингауз» отличается гидравлическими характеристиками от используемого в настоящий момент топлива ТВСА (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициент гидравлического сопротивления (КГС) топлива ВВЭР-1000 при  $Re = 500\ 000$  [1]

Параметр	ТВСА	ТВС-W	ТВС-WR
КГС входа в ТВС	0,71	0,97	1,03
КГС активной части ТВС	8,58	11,53	12,67
КГС выхода из ТВС	2,58	2,10	2,49
КГС ТВС суммарный	11,87	14,6	16,19

Так как пространственное разделение а.з. в модели RELAP5 позволяет выделить четыре сектора, которые соответствуют каждой петле ГЦТ, решено одновременно провести моделирование трех видов топлива в а.з.: ТВСА, ТВС-W и ТВС-WR. Это дает возможность одновременно определять параметры всех видов ТВС, например

для такого события, как заклинивание ГЦН, где уменьшение расхода в а.з. происходит равномерно по ее сечению. При другой комбинации топлива а.з. производится полная замена гидравлических элементов и тепловых структур модели на соответствующие ему компоненты. Горячий канал в каждом секторе при этом консервативно считается не соединенным с остальной частью а.з. (изолирован).

Настройка гидравлической модели ТВС-WR производится в соответствии с данными по коэффициентам гидравлического сопротивления участков для стационарного состояния модели путем изменения сопротивления на связях модели. Коэффициент сопротивления модели дистанционирующей решетки установлен для ТВС-WR равным 0,87. Для модели ТВС-W с общим КГС = 14,6 коэффициент сопротивления модели дистанционирующей решетки составил 0,67, для модели ТВСА — 0,329.

В качестве базового принят симметричный профиль энерговыделения по высоте ТВС-WR в а.з. со следующими характеристиками:

Участок от низа активной зоны	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Относительное энерговыделение по высоте активной зоны ( $K_z$ )	0,34	0,75	1,10	1,32	1,49	1,49	1,32	1,10	0,75	0,34

Данный профиль применяется к внутренним твэлам ТВС-WR с инженерным коэффициентом по тепловому потоку 1,16 и коэффициентом неравномерности энерговыделения по твэлам 1,5. С учетом данных характеристик в точке максимума теплового потока и мощности реактора 104 % линейный поток с поверхности твэлов составляет 448 Вт/см. Параметры точечной кинетики заменены на соответствующие стационарному циклу с ТВСА. Данная модель является базовой для ТВС-WR. На основании этой модели проведены разработка и инициализирование моделей для различных случаев при 104 % номинальной мощности:

модель а.з. ТВСА с 4 горячими каналами ТВСА, ТВС-W и ТВС-WR;

модель а.з. ТВСА с 4 горячими каналами ТВСА;

модель а.з. ТВСА с 4 горячими каналами ТВС-W;

модель а.з. ТВСА с 4 горячими каналами ТВС-WR;

модель а.з. ТВС-WR с 4 горячими каналами ТВС-WR,

модель а.з. ТВСА с 42 ТВС-WR, одним горячим каналом ТВС-WR и тремя горячими каналами ТВСА;

модель а.з. ТВСА с 42 ТВС-W, одним горячим каналом ТВС-W и тремя горячими каналами ТВСА.

Расход на входе в горячий канал корректируется при помощи КГС на входной связи. Для ТВСА, ТВС-W и ТВС-WR используются одинаковые опции на входе в горячий канал, что позволяет проводить сравнение с ТВСА при одинаковых гидравлических проектных условиях.

Для всех тепловых структур горячих каналов применены опции проводимости газового зазора и деформации оболочки, реализованные в коде RELAP5/MOD3.2 [4]. При этом граничным объемом принимается верхний объем необогреваемой части а.з. Данная модель позволяет автоматически учесть блокировку горячего канала при распухании оболочки твэла.

Для всех ТВС а.з. применены корреляции по критическому тепловому потоку ОКБ «Гидропресс» [5, 6]. В модели корректируется начальное значение критического теплового потока изменением влияния дистанционирующих решеток — их гидравлического сопротивления и расстояния

до центра обогреваемого участка. Данная операция используется для корректного учета закризисного теплообмена и подробно описана в [7]. В каналах №№ 1—4 модели корреляции критического теплового потока приведены в соответствии с корреляцией ОКБ «Гидропресс» с учетом форм-фактора. Данная корреляция является консервативной по отношению к ТВС-WR.

По варианту загрузки 42 ТВС-WR (1/4 а.з.) определен запас до кризиса теплообмена для сравнения с соответствующими корреляциями компании «Вестингауз». Расход через реактор выбран равным 82610 м<sup>3</sup>/ч, что соответствует 25-й топливной загрузке энергоблока № 3 ЮУАЭС. Коэффициент запаса до кризиса теплообмена (КЗКТ) для ТВС-WR по корреляции ОКБ «Гидропресс» составил 1,28, что соответствует значению 1,73 без учета погрешности определения (26 %). Для аналогичного случая по корреляции компании «Вестингауз» определено значение КЗКТ, равное 1,90 для  $K_z = 1,49$ . Таким образом, можно сделать вывод, что корреляция КЗКТ компании «Вестингауз» увеличивает критический тепловой поток примерно на 10 % по сравнению с корреляцией ОКБ «Гидропресс» и при этом обладает точностью около 12 % для доверительного интервала 95 %. Для корреляции ОКБ «Гидропресс» в использованной формулировке точность составляет 26 %. Следовательно, корреляция ОКБ «Гидропресс» более консервативна по сравнению с корреляцией КЗКТ компании «Вестингауз» применительно к топливу ТВС-WR.

**Расчетное моделирование заклинивания ГЦН.** Для моделирования заклинивания ГЦН использована расчетная модель [3], адаптированная с учетом применяемых в АПА консервативных предположений:

при заклинивании скорость вращения ГЦН-2 снижается до нуля за 0,1 с;

действия оперативного персонала не учитываются;

постулируется потеря электроснабжения собственных нужд в начальный момент времени;

задержка срабатывания сигнала аварийной защиты (АЗ) от начала исходного события — 1,8 с (время начала движения органов СУЗ, 1,5 с — время формирования сигнала, 0,3 с — время передачи сигнала по цепям).

Моделирование корреляции по критическому потоку ОКБ «Гидропресс» проведено для горячих каналов №№ 1—4 (элементы 46—49 расчетной модели), исключены

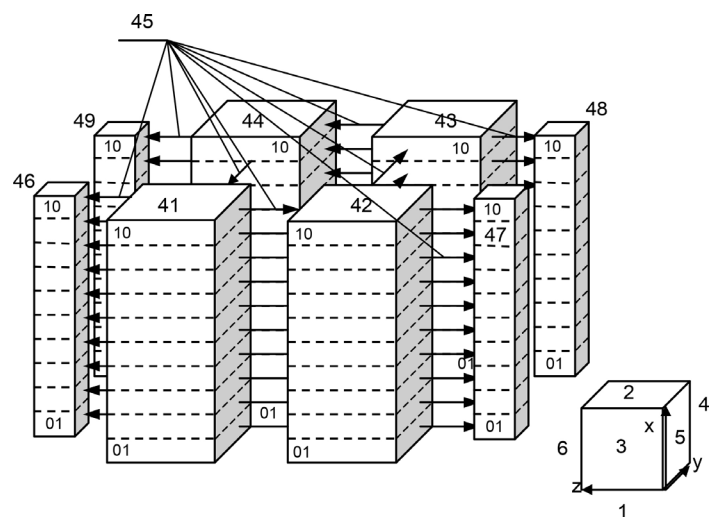


Рис. 1. Пространственное расположение элементов модели активной зоны

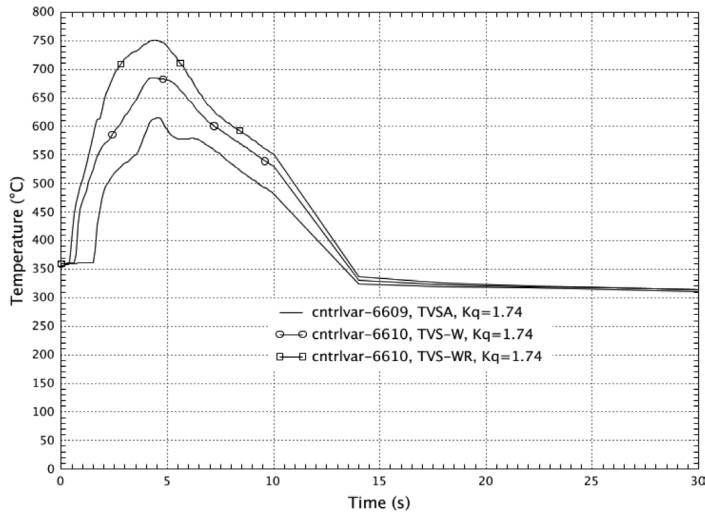


Рис. 2. Полученное максимальное значение температуры оболочки твэла для ТВСА, ТВС-В и ТВС-ВР при заклинивании ГЦН

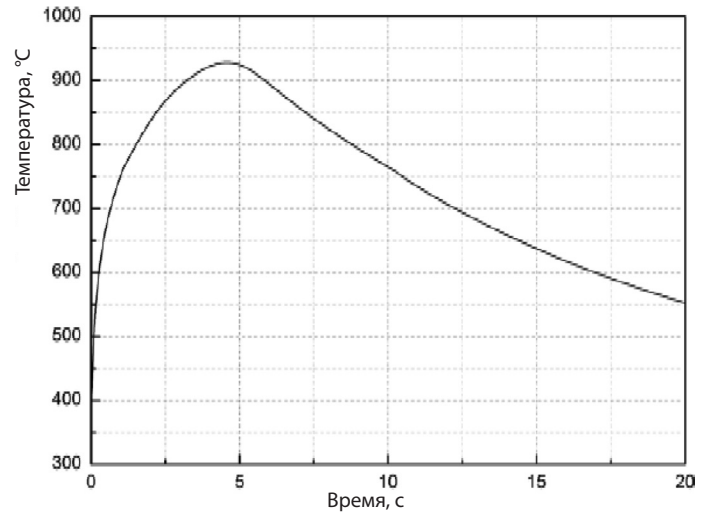


Рис. 3. Максимальная температура оболочки твэла для ТВС-ВР при заклинивании ГЦН в документе [2]

перетоки теплоносителя в соседние элементы а.з. — каналы «изолированы» (рис. 1). Элемент 46 представляет ТВСА, элемент 47 — ТВС-В, элементы 48 и 49 — ТВС-ВР. Остальная активная зона состоит из ТВСА, что консервативно с точки зрения расхода через горячие каналы ТВС-В и ТВС-ВР.

Поскольку рассматривается влияние на пиковое значение температуры сразу после заклинивания ГЦН, расчетный анализ ограничен временем 50 с. Энерговыведение в горячих каналах №№ 1—4 изменено с учетом формирования условий локального горячего подканала вокруг горячего твэла для элементов 46—49. При этом коэффициент неравномерности энерговыведения канала составил  $K_q = 1,5 \times 1,16 = 1,74$ .

Параметры и результаты расчета начального состояния модели таковы:

Параметр	Расчетное значение
Тепловая мощность реактора, МВт	3120 (104 %)
Максимальная мощность ТВС, МВт	28,7
Максимальный линейный тепловой поток, Вт/см	448
Давление теплоносителя на выходе из реактора, кгс/см <sup>2</sup>	157,5
Расход теплоносителя через реактор, м <sup>3</sup> /ч	80000
Расход через горячий канал ТВСА, м <sup>3</sup> /ч	460
Расход через горячий канал ТВС-В, м <sup>3</sup> /ч	406
Расход через горячий канал ТВС-ВР, м <sup>3</sup> /ч	380
Уровень теплоносителя в компенсаторе давления (КД), м	8,68
Температура теплоносителя на входе в реактор, °C	290,1
Температура теплоносителя на выходе из реактора, °C	323,0
Давление в парогенераторах, кгс/см <sup>2</sup>	63,1-63,2

Результаты расчёта показывают, что теплообмен около горячего твэла (при  $K_q = 1,74$ ) временно переходит в закритическую область. При этом максимальная температура оболочек твэлов составила 751 °C для канала ТВС-ВР, 685 °C — для канала ТВС-В и 615 °C — для канала ТВСА (рис. 2). В документе [2] для ТВС-ВР получено значение 928 °C, которое является консервативным с точки зрения критерия приемлемости по температуре оболочек твэлов (рис. 3).

Полученное максимальное значение температуры оболочек твэлов не превышает установленный в [8]

проектный предел повреждения твэлов, равный 1200 °C. Следовательно, целостность оболочки ядерного топлива не нарушается.

**Расчетное моделирование МПА.** Расчет представляет собой вариант загрузки 42 ТВС-ВР (1/4 а.з.) в активную зону из ТВСА. Сектор № 1 в модели а.з. представляет собой загрузку ТВС-ВР с выделенным горячим каналом. Коэффициент неравномерности энерговыведения горячего канала равен 1,35 при неравномерности мощности твэлов 1,5.

Граничные условия анализа:

предполагается двухстороннее истечение течи на входе в реактор петли 1;

выбирается опция гомогенного истечения в течь;

энерговыведение в активной зоне после срабатывания АЗ консервативно увеличивается на 10 %;

постулируется потеря электроснабжения собственных нужд на начало расчета;

предполагается единичный отказ в системе надежного электроснабжения — отказ одного дизель-генератора (ДГ-3);

в качестве дополнительного отказа принимается отказ одной гидроемкости системы аварийного охлаждения активной зоны (ГЕ САОЗ), подающей воду в нижнюю камеру смешения реактора;

для систем САОЗ высокого давления (ВД) и низкого давления (НД) используется минимальный расход охлаждающей воды;

температура воды САОЗ ВД принимается равной 55 °C при подаче из собственных баков. Консервативно, после переключения на подачу через теплообменник (ТО) САОЗ, температура воды САОЗ ВД и НД принимается равной 70 °C [9]; применяется модель противотока жидкости и пара (CCFL).

Данный расчетный анализ фактически включает в себя несколько случаев с базовым вариантом загрузки 42 ТВС-ВР и 121 ТВСА и расчетом МПА при помощи расчетного кода RELAP5/MOD3.2 с гомогенным истечением через течь (температура воды САОЗ — 70 °C). Получены следующие результаты расчетного анализа (рис. 4 и табл. 2):

с учетом замены топлива с ТВС-В на ТВС-ВР происходит значительное увеличение максимальной температуры оболочек твэлов — с 901 °C до 1099 °C;

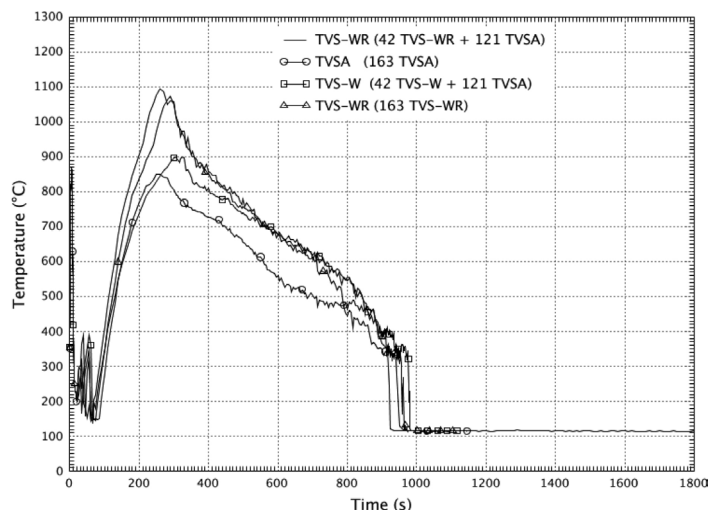


Рис. 4. Максимальная температура оболочки твэла ТВСА, ТВС-В и ТВС-ВР при различных комбинациях загрузки а.з. для МПА

с учетом загрузки 42 ТВС-ВР или 163 ТВС-ВР для данной постановки граничных и начальных условий проектный предел по температуре оболочек твэлов 1200 °С не превышает. Максимальная температура оболочек твэлов достигает 1099 °С для 42 ТВС-ВР и 1074 °С для 163 ТВС-ВР;

вариант расчета с температурой воды САОЗ 90 °С (вместо 70 °С) дает максимальную температуру оболочек твэлов 1320 °С на этапе повторного залива для загрузки 163 ТВС-ВР, что является нарушением критерия приемлемости. Данная температура воды САОЗ служит изначально проектной величиной для данных аварий, однако неприемлема для анализа загрузки а.з. с ТВС-ВР. Поэтому необходимо снизить консерватизм анализа, применив температуру воды САОЗ 70 °С. Это также свидетельствует о том, что с применением ТВС-ВР происходит общее ухудшение охлаждения топлива в аварийных процессах, что требует обоснованного снижения консерватизма при постановке начальных и граничных условий.

Таблица 2. Результаты расчета МПА для различных комбинаций загрузки а.з.

Вариант загрузки	Температура воды САОЗ, °С	Первый пик температуры оболочек, °С	Второй пик температуры оболочек, °С
42 ТВС-ВР и 121 ТВСА (канал ТВС-ВР)	70	867	1099
163 ТВСА (канал ТВСА)	70	874	849
42 ТВС-В и 121 ТВСА (канал ТВС-В)	70	864	901
163 ТВС-ВР (канал ТВС-ВР)	70	850	1074
163 ТВС-ВР (канал ТВС-ВР)	90	850	1320

Подводя итоги анализа, констатируем, что использование ТВС-ВР в активной зоне меняет протекание МПА

и увеличивает максимальную температуру оболочек твэлов даже по сравнению с ТВС-В. Полная загрузка ТВС-ВР в а.з. ухудшает охлаждение топлива в аварийных режимах, поэтому необходимо проведение дополнительного анализа МПА при различных вариантах загрузки. Использование расчетного анализа ТВС-В для адаптации результатов к топливу ТВС-ВР неприменимо.

## Выводы

В работе исследованы теплогидравлические аспекты моделирования смешанных активных зон с топливом ТВСА, ТВС-В и ТВС-ВР. Предварительно определены критерии безопасности по максимальной температуре оболочек твэлов в представительных событиях анализа проектных аварий (АПА) для реакторных установок типа ВВЭР-1000 с использованием расчетного кода RELAP5/MOD3.2.

Указано, что в общем случае происходит перераспределение расхода между ТВС различного типа, обусловленное различием гидравлического сопротивления. В консервативной постановке анализа, применяемого для АПА, рассчитаны максимальные температуры оболочек твэлов в исходных событиях с заклиниванием ГЦН и двухсторонним разрывом холодной нитки главного циркуляционного трубопровода. Для заклинивания ГЦН введение топлива ТВС-ВР или ТВС-В не нарушает предел по максимальной температуре оболочек твэлов 1200 °С. Максимальная температура оболочек твэлов при МПА зависит от конфигурации активной зоны и при введении нового топлива ТВС-ВР или ТВС-В увеличивается по сравнению с температурой для ТВСА. Тем не менее, при снижении консерватизма анализа критерий по температуре 1200 °С также не нарушается.

Полученные результаты позволяют утверждать о необходимости дальнейшего анализа теплогидравлики совместного использования ТВС ВВЭР-1000 различных типов в аварийных режимах. Анализ проектных аварий энергоблока должен быть дополнен исследованием аварий для смешанных активных зон.

## Список использованной литературы

1. Предварительный отчет по обоснованию безопасности использования упрочненной конструкции ТВС компании «Вестингауз» на энергоблоке № 3 ЮУАЭС. Книга 1. Ред. 0 / ННЦ ХФТИ. ЦПАЗ. — Харьков, 2014. — 279 с. — Инв. 12-3-293.
2. Предварительный отчет по обоснованию безопасности использования упрочненной конструкции ТВС компании «Вестингауз» на энергоблоке № 3 ЮУАЭС. Книга 2. Ред. 0/ ННЦ ХФТИ. ЦПАЗ. — Харьков, 2014. — 548с. — Инв. 12-3-293.
3. Звіт про науково-дослідну роботу. Розробка багатопільової теплогидравлічної моделі ЯПВУ із ВВЕР-1000/320. Деталізація основних компонентів моделі / ДНТЦ ЯРБ. — К., 2010. — 788 с. — № держреєстрації 0109U008229.
4. NUREG/CR-5535. INEL-95/0174. (Formerly EGG-2596). Vol. IV: RELAP5/MOD3 Code manual :Vol. IV: Models and correlations. — Idaho, 1995. — 430 p.
5. Исследование влияния профиля тепловыделения по длине на кризис теплообмена в пучках стержней / В. И. Астахов, Ю. А. Безруков, С. А. Логвинов, В. Г. Брантов // Тр. семинара «Теплофизика-78». — Т. 2. — Будапешт, 1978. — С. 589-600.
6. Исследование кризиса теплообмена применительно к реальным аксиальным профилям тепловыделения / Ю. А. Безруков, В. И. Астахов, А. М. Трушин, А. С. Богданов, С. А. Логвинов, А. В. Селезнев // Тр. третьей науч.-техн. конф. «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», Подольск, 26-30 мая 2003 г.

7. Вороб'єв Ю. Ю. Особливості моделювання заклинювання головного циркуляційного насоса і урахування аварійного теплообміну при аналізі проєктних аварій для реакторів типу ВВЕР-1000 / Ю. Ю. Вороб'єв, О. І. Жабин, І. А. Терещенко // Ядерна та радіаційна безпека. — 2014. — № 4 (64). — С. 17–21.

8. НП 306.2.145–2008. Правила ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій з реакторами з водою під тиском. — К. : Держ. комітет ядерного регулювання України, 2008. — 28 с.

9. Розрахункове дослідження числових критеріїв ефективності теплообмінників системи аварійного охолодження активної зони за різних умов роботи з допомогою коду RELAP5 / Ю. Ю. Вороб'єв, І. А. Терещенко // Ядерна та радіаційна безпека. — 2014. — № 2 (62). — С. 17–21.

## References

1. Preliminary Report on Safety Justification for Use of Westinghouse Robust Fuel Assemblies at SUNPP-3 [Predvaritelnyi otchet po obosnovaniiu bezopasnosti ispolzovania uprochnennoi konstruktsii TVS kompanii Westinghouse na energobloke No.3 YuUAES], Book 1, Revision 0, NSC KIPT, Center for Reactor Core Design, Inv. No. 12–3–293, 2014, 279 p. (Rus)

2. Preliminary Report on Safety Justification for Use of Westinghouse Robust Fuel Assemblies at SUNPP-3 [Predvaritelnyi otchet po obosnovaniiu bezopasnosti ispolzovania uprochnennoi konstruktsii TVS kompanii Westinghouse na energobloke No.3 YuUAES], Book 2, Revision 0, NSC KIPT, Center for Reactor Core Design, Inv. No. 12–3–293, 2014, 548 p. (Rus)

3. Research & Development Report. Development of Multi-Purpose Thermohydraulic Model of NSSS with WWER-1000/320. Specification of Basic Model Components [Zvit pro naukovo-doslidnu robotu. Rozrobka bahatotsilivoi teplohivrichnoi modeli YaPVU iz VVER-1000/320. Detalizatsiia osnovnykh komponentiv modelei], SSTC NRS, Kyiv, 2010, State Reg. No. 0109U008229.

4. NUREG/CR-5535. INEL-95/0174 (Formerly EGG-2596), Vol. IV: RELAP5/MOD3 Code Manual: Vol. IV: Models and Correlations, Idaho, 1995, 430 p.

5. Astakhov, V.I., Bezrukov, Yu.A., Logvinov, S.A., Brantov, V.G. (1978), Studying the Effect of Heat Release Longitudinal Profile on Departure from Nucleate Boiling in Rod Bundles [Issledovanie vlianiia profilii teplovydeleniia pod line na krizis teploobmena v puchkakh sterzhnei], Proc. Workshop Thermophysics-78, Volume 2, Budapest, pp. 589–600. (Rus)

6. Bezrukov, Yu.A., Astakhov, V.I., Trushin, A.M., Bogdanov, A.S., Logvinov, S.A., Seleznev, A. V. (2003), Studying Departure from Nucleate Boiling as Regards Real Axial Heat Release Profiles [Issledovaniie krizisa teploobmena primanitelno k realnym aksialnym profiliam teplovydeleniia], Proc. 3rd Scientific and Technical Conference “Safety of NPPs with WWR”, Podolsk, 26–30 May. (Rus)

7. Vorobyov, Yu.Yu., Zhabin, O.I., Tereschenko I.A. (2014), “Modeling of MCP Jamming and Accounting of Post-Critical Heat Transfer during Analysis of Design-Basis Accidents at WWER-1000” [Osobennosti modelirovaniia zaklinivaniia glavnoho tsirkuliatsionnogo nasosa i uchet zakrizisnogo teploobmena pri analize proektnykh avarii dlia reaktorov tipa VVER-1000], Yaderna ta radiatsiina bezpeka (Nuclear and Radiation Safety), No. 4(64), pp. 17–21. (Rus)

8. NP 306.2.145–2008. Nuclear Safety Rules for Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactors. [Pravila yadernoi bezopasnosti reaktornykh ustanovok atomnykh stantsii s reaktorami s vodoi pod davleniim], State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine, Kyiv, 2008, 28 p.

9. Vorobyov, Yu.Yu., Tereschenko, I.A. (2014), “Computer Study of Numerical Criteria for Performance of ECCS Heat Exchangers under Various Conditions Using RELAP5 Code” [Rozrakhunkove doslidzhennia chyslovykh kryteriiv efektyvnosti teploobminnykh systemy avariinoho okholodzhennia aktyvnoi zony za riznykh umov roboty z dopomohoiu kodu RELAP5], Yaderna ta radiatsiina bezpeka (Nuclear and Radiation Safety), No. 2 (62), pp. 17–21. (Ukr)

Отримано 27.01.2014.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ СТАТЕЙ ЖУРНАЛУ «ЯДЕРНА ТА РАДІАЦІЙНА БЕЗПЕКА»

1. Рукопис статті журналу подається у вигляді твердої копії з підписами всіх авторів на останній сторінці, а також електронної версії (на електронному носії або електронною поштою).

2. Стаття має містити УДК. Українською, російською та англійською мовами наводяться: прізвище, ім'я та по батькові автора; повна назва організації, де працює автор, і поштова адреса організації; назва статті; анотація (до 1000 знаків).

3. Загальний обсяг статті разом з графічними матеріалами не повинен перевищувати 18 сторінок формату А4. На одній сторінці може бути не більш як 30 рядків та до 60 знаків (з урахуванням розділових знаків і проміжків між словами) у кожному рядку. Розмір шрифту підготовленого на комп'ютері матеріалу – 14; міжрядковий інтервал – 1,5. Розміри полів, мм: зліва – 30, справа – 10, зверху – 20, знизу – 25.

Слова мають розділятися тільки одним пропуском. Між значенням величини та одиницею її виміру ставиться жорсткий пропуск (Ctrl+Shift+пропуск).

4. Текст набирається шрифтом Times New Roman у редакторі Microsoft Word. Графічний матеріал (чорно-білий) подається окремо від тексту у форматі EPS, TIFF або JPG-файлів з густиною точок на дюйм 300–600 dpi. Формули набираються у формульному редакторі.

5. Статті, які є результатами робіт, проведених в організаціях, повинні мати супровідний документ від цих організацій.

6. Разом зі статтею до редакції журналу має бути поданий документ про можливість відкритої публікації матеріалів, а також про згоду на поширення їх через мережу Інтернет.

7. До авторського оригіналу статті на окремому аркуші додаються: прізвище, ім'я, по батькові (повністю) автора, організація, вчений ступінь, звання, мобільний, службовий і домашній номери телефону, службова та домашня адреси, e-mail.

8. Скорочення слів, словосполучень, назв, термінів, за винятком загальноприйнятих, можливе тільки після їх повного першого згадування в тексті.

9. Оформлення статей має відповідати міжнародним стандартам (див. далі).

10. Матеріали, які не відповідають зазначеним вимогам, редакцією не розглядаються.

11. Для скорочення витрат на видання журналу виплата авторського гонорару не передбачається.

12. Матеріали, що надійшли до редакції, авторам не повертаються.