

Анализ условий возникновения термоудара корпуса реактора с учетом выполненных модернизаций систем, важных для безопасности

Выполнен анализ эффективности функционирования систем реакторной установки по снижению риска возникновения условий термоудара корпуса реактора на примере представительных аварийных сценариев. Рассмотрены работа регулирующих клапанов, установленных на линии напорных трубопроводов насосов системы аварийного охлаждения активной зоны, а также функционирование защиты от холодной опрессовки, входящей в состав системы защиты первого контура от превышения давления. Для расчетного анализа использована теплогидравлическая модель для кода RELAP5/Mod3.2 с детальным моделированием опускного участка реактора и учетом выполненных модернизаций.

Ключевые слова: термоудар, запорно-регулирующий клапан, импульсно-предохранительное устройство, корпус реактора, опускной участок реактора, холодная опрессовка, теплогидравлическая модель.

О. С. Мазурок, М. П. Вишемирський

Аналіз умов виникнення термоудару корпусу реактора з урахуванням виконаних модернізацій систем, важливих для безпеки

Виконано аналіз ефективності функціонування систем реакторної установки із зниження ризику виникнення умов термоудару корпусу реактора на прикладі представницьких аварійних сценаріїв. Розглянуто роботу регулюючих клапанів, які встановлені на лінії напірних трубопроводів насосів системи аварійного охолодження активної зони, а також функціонування захисту від холодного опресування, що входить до складу системи захисту першого контуру від перевищення тиску. Для розрахункового аналізу використано теплогідравлічну модель для коду RELAP5/Mod3.2 з детальним моделюванням опускної ділянки реактора та врахуванням виконаних модернізацій.

Ключові слова: термоудар, запірно-регулюючий клапан, імпульсно-запобіжний пристрій, корпус реактора, опускна ділянка реактора, холодне опресовування, теплогідравлічна модель.

© А. С. Мазурок, М. П. Вышемирский, 2015

Необходимость выполнения расчетного анализа представительных аварийных режимов, приводящих к возникновению условий термоудара (включая холодную опрессовку) корпуса реактора (КР), с учетом выполненных модернизаций систем аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ) и защиты первого контура от превышения давления, вызвана реализацией мероприятий по модернизации систем и оборудования, направленных, в том числе, на предотвращение термоудара. В статье представлен сравнительный анализ влияния работы каждой системы на возникновение условий термоудара КР, так как ранее эффективность модернизаций не сопоставлялась.

Модернизация системы защиты от превышения давления первого контура заключается в замене клапанов импульсно-предохранительного устройства (ИПУ) компенсатора давления (КД) на клапана, выполняющие функцию защиты от холодной опрессовки (ЗХО) [1]. В частности, реализованы блокировки, предотвращающие опрессовку реакторной установки (РУ) в холодном состоянии (режим ЗХО), которые действуют при переводе ключа «Ввод алгоритма опрессовки» на панели ПА-I (II, III) оперативным персоналом [2] при расхолаживании РУ либо при идентификации аварии. После этого обеспечивается декомпрессия первого контура с целью снижения напряжений в КР и другом оборудовании путем сброса теплоносителя (ТН) первого контура через ИПУ КД при совпадении таких условий: давление в первом контуре — более 3,34 МПа (34 кгс/см²), температура в одной из холодных ниток главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) — менее 119 °С [3].

В САОЗ выполнена установка регулирующих клапанов (РК) на напорной линии насосов (вместо дроссельной шайбы) с целью расширения функциональности системы для возможности управления аварией при течах первого контура и защиты первого контура от холодной опрессовки. Реконструкция напорных трубопроводов и разработка алгоритма функционирования системы предполагают обеспечение эффективного управления напорными характеристиками насосов САОЗ и давлением первого контура. Регулятор САОЗ реализует следующие режимы работы: стерегущий; поддержания запаса температуры до вскипания ТН; поддержание установленного значения давления в напорном трубопроводе насосов САОЗ ВД. Оперативный персонал вводит в работу алгоритм через 10 мин после прохождения сигнала технологических защит. Детальное описание модернизации приведено в [4].

Совместная работа РК и ИПУ КД в режиме ЗХО не рассматривалась, так как при регулировании расхода воды САОЗ не достигаются уставки открытия ИПУ КД.

Основные подходы к выполнению теплогидравлических анализов. Расчетные анализы выполнены с использованием методики [5] и рекомендаций МАГАТЭ [6, 7], согласно которым используется консервативный подход при разработке сценариев с целью обеспечения максимально быстрого и глубокого захолаживания ТН и формирования условий термоудара КР. В качестве критерия оценки эффективности модернизаций выбран эксплуатационный предел по температуре хладноломкости КР при давлении более 3,43 МПа (35 кгс/см²), т. е. по температуре для срока эксплуатации РУ 30 лет, равной 119 °С [8]. Временной интервал для выполнения расчета выбран равным 20 000 с, что является достаточным для оценки эффективности модернизаций по отношению к условиям возникновения термоудара КР.

Расчетная модель. Для расчетного анализа использована 4-петлевая модель энергоблока № 1 Южно-Украинской АЭС для кода RELAP5/Mod3.2 с детализированной разбивкой опускного участка реактора (ОУР) [9, 10], моделированием РК САОЗ и работы ИПУ КД в режиме ЗХО. Детальная модель ОУР позволяет получить реалистичное поведение ТН, в том числе взаимное перемешивание потоков с различной температурой, и определить минимальное значение температуры на внутренней поверхности КР. Для учета модернизации САОЗ выполнено детальное моделирование трубопроводов и оборудования системы. Алгоритм работы РК включает различные режимы функционирования клапанов [4]. Для учета модернизации системы защиты первого контура от превышения давления логическая схема работы ИПУ КД дополнена блоком уставок, соответствующих режиму ЗХО. Измерение температуры реализовано на расстоянии 3,8 м от патрубка реактора в реальном месте расположения термопар [11].

Выбор сценариев. Инженерный анализ материалов, содержащих теплогидравлические расчеты для энергоблоков №№ 1, 2 ЮУАЭС, с целью оценки технического состояния КР [12, 13] позволил определить сценарии, при протекании которых создаются условия для ввода в работу РК САОЗ и достигаются уставки работы ИПУ КД в режиме ЗХО (табл. 1).

Из перечня сценариев, приведенных в табл. 1, для ИС, связанных с течью первого контура (№№ 1–5), для выполнения расчета выбран наиболее представительный

сценарий «Разрыв дренажного трубопровода» (№ 2); для ИС, связанных с течью из первого контура во второй (№№ 11, 12, 13) — «Разрыв трех теплообменных трубок ПГ» (№ 12). Сценарий № 14 «Непреднамеренное открытие ПК КД с последующим закрытием» рекомендован МАГАТЭ для рассмотрения в отдельной группе. Поскольку сценарий № 14 является огибающим для сценариев №№ 15 и 17, они исключены из дальнейшего рассмотрения. Таким образом, для расчетного анализа выбраны сценарии № 2, 12 и 14.

Начальные и граничные условия. В соответствии с выбранными подходами для расчетного анализа используются консервативные условия. *Начальные* условия — расчетные значения основных параметров РУ на начало переходного процесса с указанием отклонения в меньшую (Min) или большую (Max) сторону в пределах допустимых погрешностей — следующие:

Мощность реактора (Min)	3,0 МВт (0,1 %)
Давление на выходе из реактора (Max)	15,8 МПа
Температура на выходе из реактора (Max)	279 °С
Уровень в КД (Min)	5,4 м
Давление в ПГ (Max)	6,2 МПа
Температура питательной воды ПГ (Min)	160 °С
Массовый расход через реактор (Min)	17057 кг /с
Температура воды САОЗ (Min):	
ВД (ТJ10В01)	48 °С
НД (ТН10,20,30В01)	53 °С
НД (на выходе из теплообменника)	20 °С
Гидроемкость (ГЕ)	51 °С

Таблица 1. Анализируемые сценарии

№ сценария	Исходное событие (ИС)	Режим ЗХО	РК САОЗ
1	Разрыв импульсной трубки	+	+
2	Разрыв дренажного трубопровода	+	+
3	Разрыв трубопровода продувки первого контура	+	+
4	Разрыв трубопровода САОЗ высокого давления	+	+
5	Разрыв трубопровода сброса между КД и ИПУ	+	+
6	Разрыв трубопровода САОЗ низкого давления	–	+
7	Двухсторонний разрыв ГЦТ	–	–
8	Разрыв паропровода	+	–
9	Разрыв главного парового коллектора	+	–
10	Непреднамеренное открытие паросбрасывающих устройств (ПСУ) второго контура	+	–
11	Разрыв одной теплообменной трубки парогенератора (ПГ)	+	+
12	Разрыв трех теплообменных трубок ПГ	+	+
13	Отрыв крышки коллектора ПГ	+	+
14	Непреднамеренное открытие предохранительного клапана (ПК) КД с последующим закрытием	+	+
15	Непреднамеренный запуск насоса САОЗ ВД в состоянии РУ «холодный останов» и «полугорячий останов»	+	+
16	Отказы в системе продувки-подпитки, ведущие к увеличению количества ТН	+	–
17	Полная потеря основной питательной воды с отказом на запуск всех аварийных питательных электронасосов и реализацией режима «сброс-подпитка»	+	+

При выборе *граничных* условий принимаются следующие предположения и допущения:

моделируется обесточивание энергоблока для прекращения принудительной циркуляции ТН посредством отключения главного циркуляционного насоса и достижения условий стагнации потока;

выбираются максимальные расходные характеристики насосов и минимальные транспортные задержки в трубопроводах САОЗ;

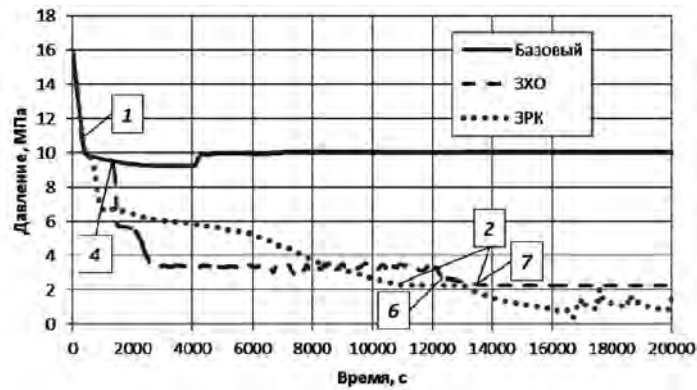
анализ выполняется с учетом принципа единичного отказа в системах безопасности;

рассматривается максимальная конфигурация САОЗ;

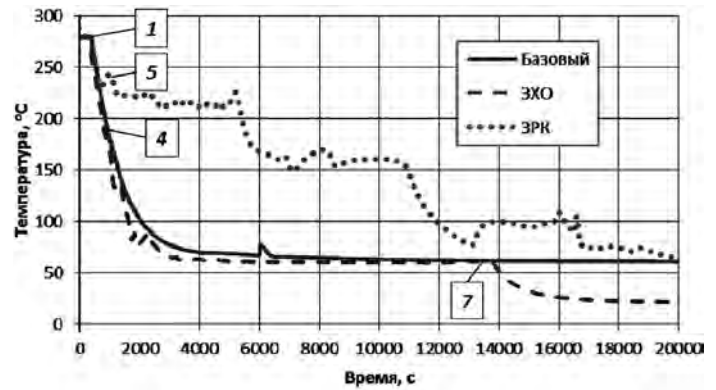
не учитывается работа системы впрыска в КД, уставки для ИПУ КД выбираются максимальными.

Результаты расчетных анализов отобранных сценариев.
Для анализа протекания аварийного процесса в графической части расчетных анализов (рис. 1–3) выделены следующие хронологические точки:

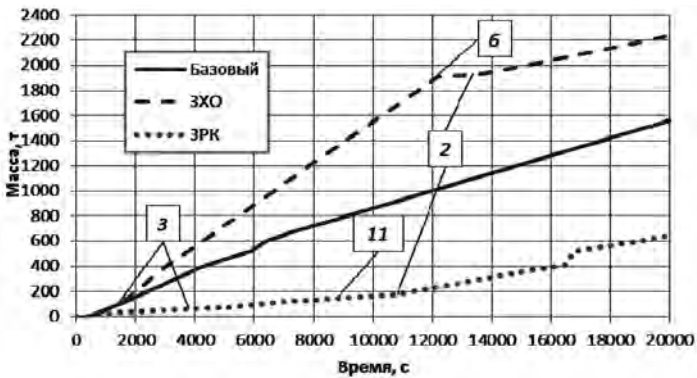
- 1 — начало подпитки от САОЗ ВД;
- 2 — начало подпитки от САОЗ НД;
- 3 — начало подпитки от ГЕ САОЗ;
- 4 — начало работы ИПУ КД в режиме ЗХО;
- 5 — начало работы РК САОЗ;
- 6 — опустошение баков САОЗ НД (ТН10,20,30В01);
- 7 — переключение насосов САОЗ НД на работу из бака-приямка;
- 8 — закрытие контрольного ПК КД;
- 9 — начало периодического срабатывания ПК КД;



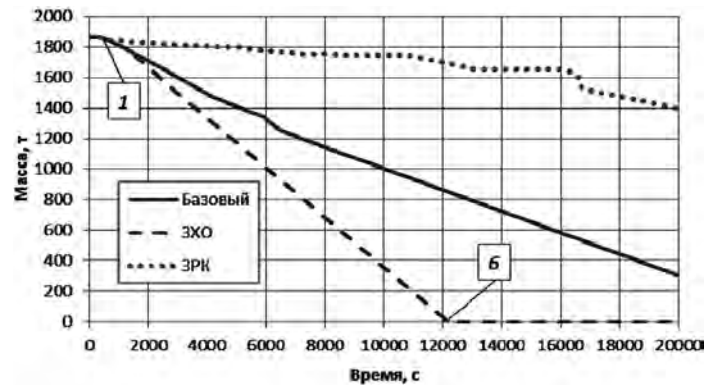
а



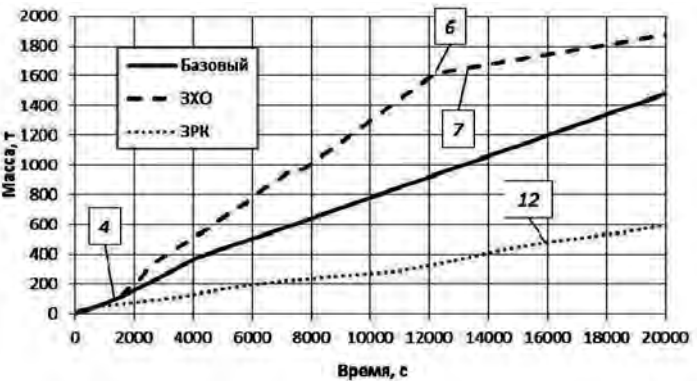
б



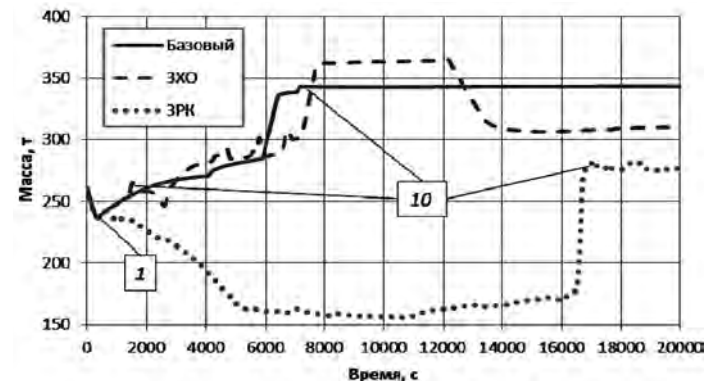
в



г



д



е

Рис. 1. Результаты расчетного анализа сценария «Разрыв дренажного трубопровода»:

а — давление на выходе из реактора; б — минимальная температура в ОУР; в — интегральный расход САОЗ (ВД, НД и ГЕ); г — запас воды в баках САОЗ (ТН10В01 и ТН10,20,30В01); д — интегральный расход в течь и через ПК КД; е — масса ТН

- 10 — заполнение КД;
- 11 — прекращение подпитки от САОЗ ВД;
- 12 — опустошение ГЕ САОЗ.

Разрыв дренажного трубопровода. В случае возникновения данной течи Ду32 потеря ТН компенсируется подпиткой от САОЗ ВД, вследствие чего создаются неблагоприятные условия в ОУР для КР: сочетание низкой температуры ТН с высоким давлением (порядка 10 МПа).

Функционирование РК САОЗ ВД позволяет уменьшить давление первого контура до условий слива ГЕ и подпитки от САОЗ НД, предотвращая при этом холодную опресовку первого контура. В момент снижения температуры в ОУР до 119 °С давление в первом контуре составляет около 2,2 МПа. Таким образом, критерий по температуре

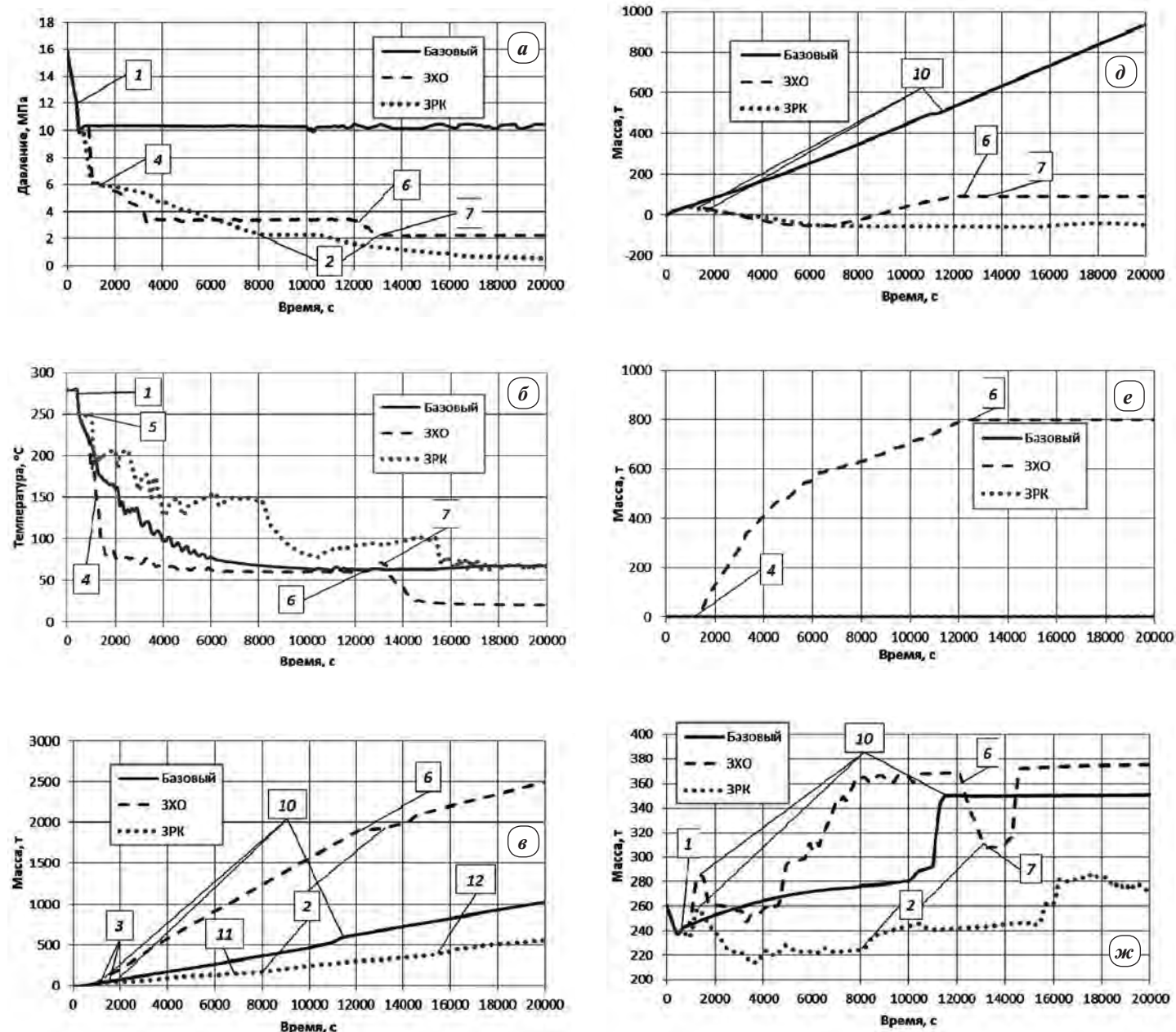


Рис. 2. Результаты расчетного анализа сценария «Разрыв трех теплообменных трубок ПГ»: а — давление на выходе из реактора; б — минимальная температура в ОУР; в — интегральный расход САОЗ (ВД, НД и ГЕ); г — запас воды в баках САОЗ (ТН10В01 и ТН10,20,30В01); д — интегральный расход в течь; е — интегральный расход через ПК КД; ж — масса ТН

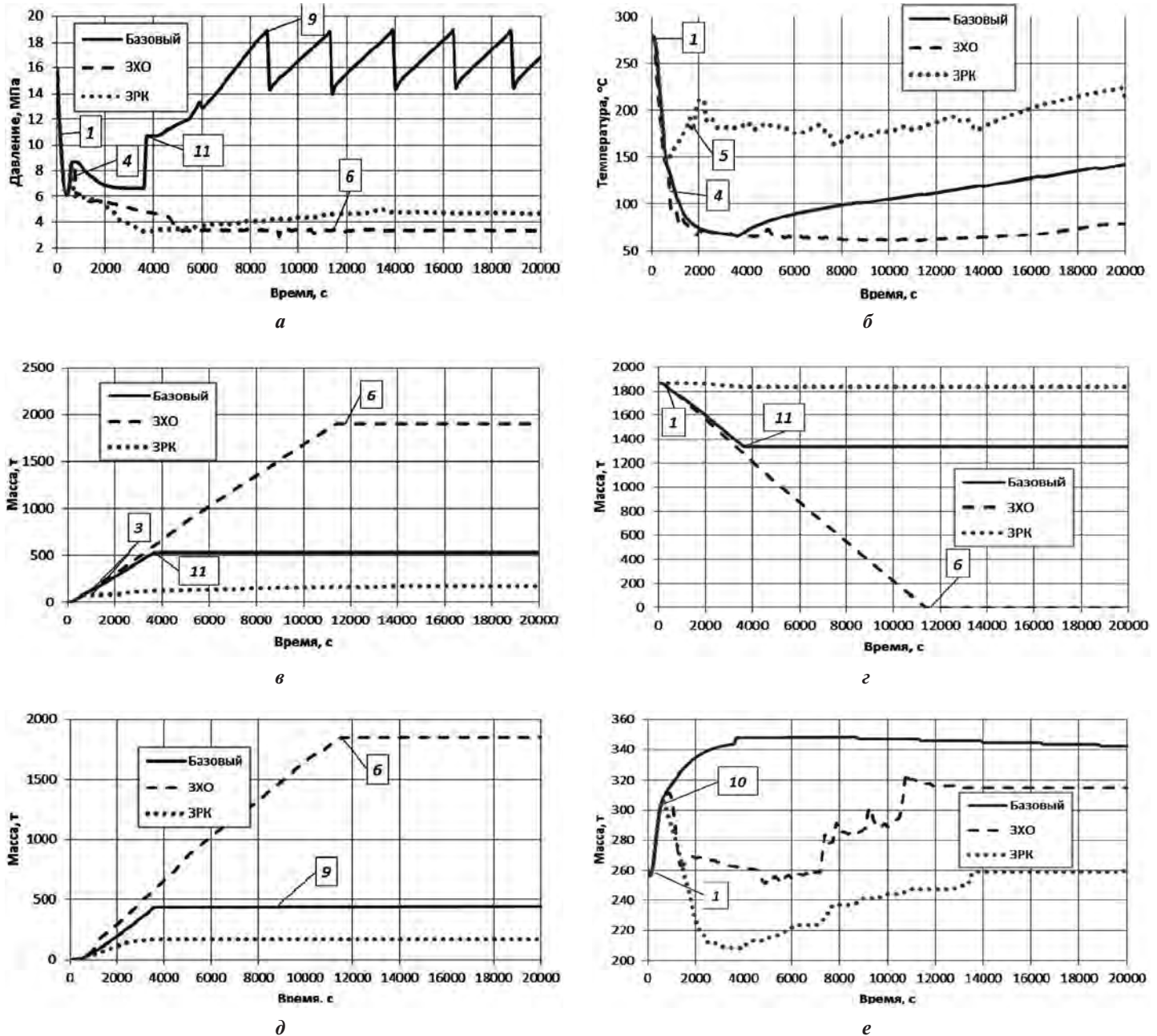


Рис. 3. Результаты расчетного анализа сценария «Непреднамеренное открытие ПК КД с последующим закрытием»: а — давление на выходе из реактора; б — минимальная температура в ОУР; в — интегральный расход САОЗ (ВД, НД и ГЕ); г — запас воды в баках САОЗ (ТН10В01 и ТН10,20,30В01); д — интегральный расход через ПК КД; е — масса ТН

хладноломкости КР не нарушается. При этом потеря ТН в течь уменьшается приблизительно в 2,5 раза по сравнению с базовым сценарием без работы РК, что позволяет смягчить радиационные последствия аварии.

Работа ИПУ КД в режиме ЗХО приводит к более позднему, но более интенсивному снижению давления в отличие от сценария с работой РК. При этом хотя и создаются кратковременные условия для нарушения критерия по температуре хладноломкости КР, протекание аварии существенно мягче по сравнению с протеканием базового сценария относительно формирования условий термоудара КР. Периодическая работа ИПУ КД в режиме ЗХО приводит к дополнительной течи первого контура и увеличению потери ТН приблизительно в 1,4 раза,

что не позволяет сохранить запас в баках САОЗ вследствие повышения расхода насосов.

На рис. 1, а–е приведены результаты расчетного анализа базового сценария и с учетом модернизаций для сравнительного анализа.

Разрыв трех теплообменных трубок ПГ. Данная течь Ду3×2×11 является течью из первого контура во второй, компенсируемой САОЗ. Таким образом, авария характеризуется сочетанием высокого давления ТН (около 10,2 МПа) с низкой температурой в ОУР.

В данном сценарии с работой РК САОЗ и ИПУ КД в режиме ЗХО получены более консервативные результаты, чем для течи Ду32, по отношению к формированию условий термоудара в ОУР, достижению условий слива ГЕ

и подпитки от САОЗ НД; критерий по температуре хладноломкости КР не нарушается. В переходных процессах давление в первом контуре падает ниже давления в аварийном ПГ, вследствие чего течь разворачивается в сторону первого контура. Это позволяет избежать потери 750 т ТН через ПСУ аварийного ПГ для сценария с работой РК. В сценарии с работой ИПУ КД в режиме ЗХО после приблизительно 7000-й секунды наблюдается формирование условий для возобновления потока в сторону аварийного ПГ, однако повышения давления до уставок открытия ПСУ второго контура не происходит.

На рис. 2, а–ж приведены результаты расчетного анализа базового сценария и с учетом модернизаций для сравнительного анализа.

Непреднамеренное открытие ПК КД с последующим закрытием. Потеря ТН через открытый клапан компенсируется подачей от САОЗ ВД, но при более низком давлении в первом контуре, чем для предыдущих сценариев. На начальном этапе аварии через открытый клапан сбрасывается пар, а после заполнения КД — вода. Закрытие контрольного клапана на 3600-й секунде переходного процесса приводит к увеличению давления до уставки открытия двух оставшихся функциональными рабочих клапанов. Благодаря такой комбинации высокого давления и охлажденного первого контура данный сценарий рекомендован МАГАТЭ отдельно от группы сценариев с течью первого контура.

В случае работы РК САОЗ давление в первом контуре снижается до давления слива ГЕ САОЗ. Критерий по температуре хладноломкости КР не нарушается, при этом закрытие клапана на 3600-й секунде приводит к благоприятным последствиям вследствие локализации течи.

Анализ результатов выполненных расчетов показывает, что работа ИПУ КД в режиме ЗХО обладает меньшей эффективностью в части предотвращения термоудара КР по сравнению с работой РК САОЗ. В данном случае создаются кратковременные условия для нарушения критерия по температуре хладноломкости КР, характеризующиеся более низким давлением в первом контуре по сравнению с базовым расчетом. В рассматриваемом сценарии работают все ПК КД, что приводит к увеличению потери ТН в течь примерно в 4 раза и не позволяет сохранить запас в баках САОЗ (поэтому насосы работают из бака-приямка).

На рис. 3, а–е приведены результаты расчетного анализа базового сценария и с учетом модернизаций.

Анализ полученных результатов. Выполненные расчеты показывают, что установка РК на линии напорных трубопроводов насосов САОЗ позволяет сохранить запас раствора борной кислоты в баках САОЗ, уменьшить расход ТН в течь, произвести контролируемое снижение давления в первом контуре и поддерживать запас до температуры насыщения в первом контуре в допустимых пределах.

Работа ИПУ КД в режиме ЗХО менее эффективна по отношению к предотвращению термоудара КР, однако обеспечивает более мягкое протекание переходного процесса по сравнению с базовым сценарием. Снижение давления теплоносителя в данном случае происходит за счет образования дополнительной течи из первого контура — сброса через ИПУ КД.

В качестве критерия оценки эффективности выполненных модернизаций выбран эксплуатационный предел по температуре хладноломкости КР («красная зона»). На рис. 4–6 представлены результаты расчетного анализа для отобранных сценариев по отношению к выбранному

критерию. При этом в базовом сценарии происходит нарушение критерия (высокое давление в контуре при низкой температуре теплоносителя), что создает опасные условия, которые потенциально могут привести к разрушению КР. В сценарии с работой ИПУ КД в режиме ЗХО создаются кратковременные условия для нарушения критерия, так как скорость снижения давления ограничивается сечением ПК КД. При работе РК САОЗ критерий не нарушается вследствие непосредственного ограничения поступления источника захлаживания — холодной воды САОЗ.

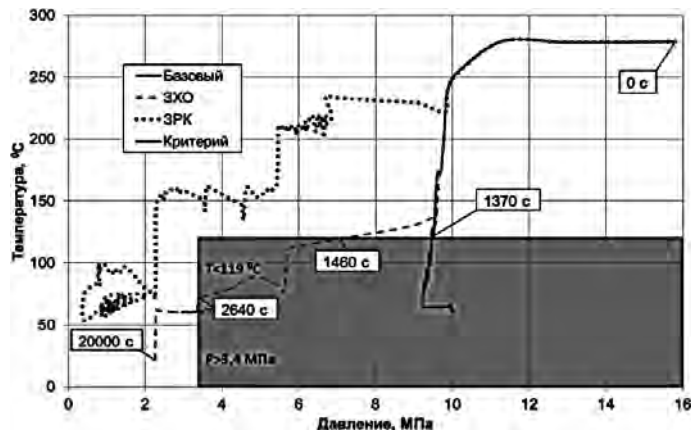


Рис. 4. Разрыв дренажного трубопровода

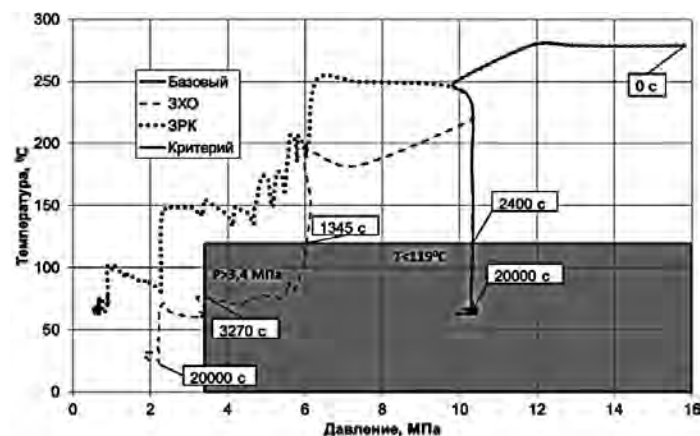


Рис. 5. Разрыв трех теплообменных трубок

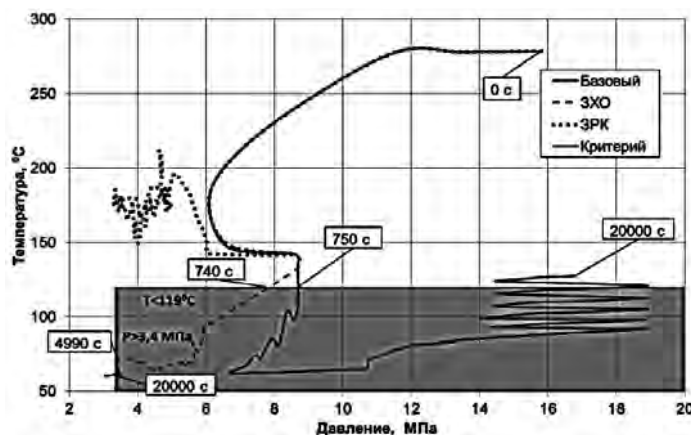


Рис. 6. Непреднамеренное открытие ПК КД с последующим закрытием

Выводы

Поскольку КР является наиболее важным элементом АЭС и его целостность должна быть сохранена на протяжении всего срока эксплуатации, необходимо принять все меры для минимизации условий термоудара. Адекватный подход к оценке целостности КР обеспечивает основу для безопасной эксплуатации и своевременного осуществления профилактических и корректирующих мер в случае необходимости.

Реализованные мероприятия, рассмотренные в статье, позволяют уменьшить последствия термоудара либо избежать его возникновения, что способствует сохранению целостности КР и, таким образом, предотвращению образования дефектов, потенциально приводящих к тяжелой аварии.

Полученные результаты будут использованы в качестве граничных условий при выполнении прочностных расчетов напряжений в металле КР с целью количественной оценки влияния модернизаций на целостность КР, на основании которых можно будет сделать окончательный вывод об эффективности модернизаций.

Список использованной литературы

1. Предварительный отчет по анализу безопасности проекта модификации «Приведение импульсно-предохранительных устройств компенсатора давления энергоблока № 1 ОП ЮУ АЭС к требованиям норм и правил атомной энергетики»: Отчет № ОЧ.0.0039.0036Ц / ОП «Южно-Украинская АЭС». — Южноукраинск, 2011. — 52 с.

2. Реакторная установка В-302 энергоблока № 1. Инструкция по эксплуатации. Оборудование, важное для безопасности: ИЭ.1.0001.0094 / ОП «Южно-Украинская АЭС». — Южноукраинск, 2011. — 220 с.

3. Карта уставок защит и блокировок первого контура. Блок № 1 ЮУ АЭС: КУ.1.0011.0141 / ОП «Южно-Украинская АЭС». — Южноукраинск, 2011. — 56 с.

4. Mazurok O. Effect of regulation valves installation in high pressure injection system pipelines on the formation of reactor vessel thermal stress conditions (ICONE22-30437) / Mazurok O., Vyshemirskiy M. // Proceedings of the 2014 22nd International Conference on Nuclear Engineering ICONE22. — Prague, 2014. — 10 p.

5. Методика выполнения теплогидравлических анализов в обоснование сопротивления хрупкому разрушению корпуса реактора / Алексеев Ю. П., Бережной А. И., Громов Г. В., Мазурок А. С. // Сб. докладов второй междунар. науч.-практ. конф. «Повышение безопасности и эффективности АЭС». — Одесса, 2011. — С. 111–120.

6. Pressurized Thermal Shock in Nuclear Power Plants: Good Practices for Assessment. Deterministic Evaluation for the Integrity of Reactor Pressure Vessel. — Vienna: IAEA, 2010. — (IAEA-TEC-DOC-1627). — ISBN 978-92-0-111109-8, ISSN 1011-4289.

7. Guidelines on pressurized thermal shock analysis for WWER Nuclear Power Plants. — Vienna: IAEA, 2006. — (IAEA-EBP-WWER-08/Rev. 1). — ISSN 1025-2762.

8. Технологический регламент безопасной эксплуатации энергоблока № 1 ЮУ АЭС с реактором ВВЭР-1000 (В-302) / ОП «Южно-Украинская АЭС». — Южноукраинск, 2011. — 265 с.

9. Модель опускного участка реактора ВВЭР-1000 / Алексеев Ю. П., Бережной А. И., Мазурок А. С., Корницкий А. В. // Ядерна та радіаційна безпека. — 2011. — № 3 (51). — С. 44–46.

10. Валидация теплогидравлической модели РУ с детальной разбивкой ОКР для анализа термических нагрузок на корпус реактора / Мазурок А. С., Алексеев Ю. П., Крушинский А. Г., Корницкий А. В. // Ядерна та радіаційна безпека. — 2012. — № 1 (53). — С. 16–21.

11. Южно-Украинская АЭС. Энергоблок № 1. Анализ за проектных аварий. База данных по ЯППУ. 10/08–06.231.ОД.2 / ООО «Энергориск». — К., 2009. — 392 с.

12. Оценка технического состояния и продление срока эксплуатации реактора энергоблока № 1 ОП Южно-Украинской АЭС. (Этапы № 4.1.3–4.1.5). Расчет для событий типа «течь из 2-го контура» (MSLB). Расчет для событий типа «течь из первого контура» (LOCA). Расчеты для событий типа «течь из первого контура во второй контур» (PRISE). Расчет для событий типа «течь из 2-го контура» (MSLB). Термогидравлические расчеты для остальных событий приводящих к термоудару / ИЯИ Ржеж. — К., 2011. — 1872 с.

13. Южно-Украинская АЭС. Энергоблок № 2. Теплогидравлические и вероятностные расчеты для оценки технического состояния и переназначения срока эксплуатации корпуса реактора энергоблока № 2 ОП ЮУАЭС. Этап 2. Расчет теплогидравлических параметров для всех режимов эксплуатации (НЭ, ННЭ и АС) энергоблока № 2 ОП ЮУ АЭС. Задачи 2.1–2.4. Выполнение расчетных анализов аварийных процессов, связанных с течами второго контура энергоблока (MSLB). Выполнение расчетных анализов аварийных процессов, связанных с течами первого контура энергоблока (LOCA). Выполнение расчетных анализов аварийных процессов, связанных с течами из первого контура во второй (PRISE). Выполнение расчетных анализов аварийных процессов, связанных с непреднамеренным открытием ИПУ КД, и других отобранных ИС / ООО «Энергориск». — К., 2011. — 866 с.

References

1. Preliminary Safety Analysis Report on Modification Project “Improvement of PRZ SV of SUNPP-1 to Comply with Nuclear Energy Rules and Regulations” [Predvaritelnyi otchet po analizu bezopasnosti proekta modifikatsii “Privedenie impulsno-predokhranitelnykh ustroystv kompensatora davleniya energobloka 1 OP YuU AES k trebovaniyam norm i pravil atomnoi enerhetiky], South Ukraine NPP, Yuzhnoukrainsk, 2011, 52 p. (Rus)

2. Reactor Facility V-302 Unit 1. Operating Procedure. Equipment Important to Safety [Reaktornaya ustanovka V-302 energobloka 1. Instruksiya po ekspluatatsii. Oborudovanie vazhnoye dlya bezopasnosti], South Ukraine NPP, Yuzhnoukrainsk, 2011, 220 p. (Rus)

3. Setpoints of Primary Protections and Interlocks. SUNPP Unit 1 [Karta ustavok zaschit i blokirovok pervoho kontura. Blok 1 YuU AES], South Ukraine NPP, Yuzhnoukrainsk, 2011, 56 p. (Rus)

4. Mazurok, O., Vyshemirskiy, M. (2014), “Effect of regulation valves installation in high pressure injection system pipelines on the formation of reactor vessel thermal stress conditions (ICONE22-30437),” Proc. 22nd International Conference on Nuclear Engineering ICONE22, Prague, 10 p.

5. Alekseev, Yu.P., Berezhnoy, A.I., Gromov, G.V., Mazurok, O.S. (2011), Methodology of thermal-hydraulic analysis in support of reactor pressure vessel brittle fracture analysis [Metodika vypolneniya teplohivdravlicheskih analizov v obosnovanie soprotivleniya khрупкому razrusheniyu korpusa reaktora], Proc. 2nd International Scientific Conference “Improvement of NPP safety and efficiency”, Odessa, pp. 111-120. (Rus)

6. Pressurized Thermal Shock in Nuclear Power Plants: Good Practices for Assessment. Deterministic Evaluation for the Integrity of Reactor Pressure Vessel, IAEA-TECDOC-1627, IAEA, Vienna, 2010.

7. Guidelines on Pressurized Thermal Shock Analysis for WWER Nuclear Power Plants. IAEA-EBP-WWER-08/Rev. 1, IAEA, Vienna, 2006.

8. Technical Specifications for Safe Operation of SUNPP Unit 1 with VVER-1000/302 Reactor [Tekhnologicheskii reglament bezopasnoi ekspluatatsii energobloka 1 YuU AES s reaktorom VVER-1000 (V-302)], South Ukraine NPP, Yuzhnoukrainsk, 2011, 265 p. (Rus)

9. Alekseev, Yu.P., Berezhnoy, A.I., Mazurok, O.S., Kornitskiy, A.V. (2011), “Model of the WWER-1000 downcomer” [Model opusknogo uchastka reaktora VVER-1000], Yaderna ta radiatsiina bezpeka (Nuclear and Radiation Safety), Vol. 3 (51), pp. 44–46. (Rus)

10. Mazurok, O.S., Alekseev, Yu.P., Krushinskiy, A.G., Kornitskiy, A.V. (2012), Validation of thermal-hydraulic model with detailed partition of downcomer for reactor pressure vessel thermal load analysis [Validatsiya teplohivdravlicheskoj modeli RU s detalnoi razbivkoi OKR dlya analiza termicheskikh nagruzok na korpus reaktora], Yaderna ta radiatsiina bezpeka (Nuclear and Radiation Safety), Vol. 1 (53), pp. 16–21. (Rus)

11. South Ukraine NPP. Unit 1. Beyond Design Basis Accident Analysis. NSSS Database [Yuzhno-Ukrainskaya AES. Energoblok 1. Analiz zaproektnykh aviarii. Baza dannykh po YaPPU], Energorisk Ltd., Kiev, 2009, 392 (Rus).

12. Assessment of reactor technical condition and life extension of South Ukraine NPP unit 1 (Stages No. 4.1.3–4.1.5). Calculation for the MSLB, LOCA and PRISE events. Calculations for other events leading to pressurized thermal shock [Otsenka tekhnicheskoho sostoyaniya i prodlenie sroka ekspluatatsii reaktora energobloka 1 OP Yuzhno-Ukrainskoi AES. (Etap 4.1.3–4.1.5). Raschet dlya sobytii “tech iz 2-ho kontura” (MSLB). Raschet dlya sobytii tipa “tech iz pervoho kontura” (LOCA). Raschety dlya sobytii tipa “tech iz pervoho kontura vo vtoroi kontur” (PRISE). Raschet dlya sobytii tipa “tech iz 2-ho kontura” (MSLB). Termohidravlicheskie raschety dlya ostalnikh sobytii privodyaschikh k termoudary], NRI Rez, Kiev, 2011, 1872 p.

13. South Ukraine NPP. Unit 2. Thermal-hydraulic and probabilistic calculations for technical condition assessment and life extension of the reactor pressure vessel. Stage 2. Calculation of thermal-hydraulic parameters for all operating modes. Tasks 2.1–2.4. MSLB, LOCA and PRISE analyses. Analyses related to PRZ SV opening and other selected IEs [Yuzhno-Ukrainskaya AES. Energoblok 2. Teplohivaylicheskie i veroyatnostnye raschety dlya otsenki tekhnicheskoho sostoyaniya i perenaznacheniya sroka ekspluatatsii korpusa reaktor energobloka 2 OP YuUAES. Etap 2. Raschet teplohivaylicheskiykh parametrov dlya vsehkh rezhimov ekspluatatsii (NE, NNE i AS) energobloka 2 OP YuU AES. Zadachi 2.1–2.4. MSLB, LOCA, PRISE. Vypolnenie raschetnykh analizov aviariinykh protsessov svyazannykh s neprednamerennym otrkytiyem IPU KD i drugikh otobrannykh IS], Energorisk Ltd., Kiev, 2011, 866.

Надійшла до редакції 02.02.2015.

МІЖНАРОДНІ СТАНДАРТИ ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

СТРУКТУРА І ЗМІСТ СТАТТІ

Вимоги до назви статті

Назва статті повинна:
передавати основну ідею дослідження;
робити акцент на важливість дослідження;
бути коротким;
зацікавлювати читачів.

Назва не повинна містити зайвих і непотрібних слів, які не несуть смислового навантаження для розкриття тематики.

Автору слід задуматися, чому його дослідження становитиме інтерес для інших вчених. Якщо назва дає ясну і зрозумілу відповідь на це питання, стаття приверне багато читачів.

Вимоги до анотації

Анотація — це:
коротка інформація про зміст статті;
економія часу для зайнятих дослідників;
посібник з найбільш важливих розділів статті.

Багато читачів будуть читати тільки анотацію статті, тому анотація повинна бути зрозумілою і ясною за умови опублікування її окремо від статті.

Вимоги до ключових слів

Ключові слова використовуються для індексування роботи в електронних системах та мережі Інтернет. Чим краще будуть підібрані ключові слова до роботи, тим більше людей зможуть її знайти, вбиваючи у пошук такі самі ключові слова. Це збільшить читаність статті, а отже, підвищить ймовірність її цитування.

Ключові слова повинні представляти зміст рукопису і бути конкретними у своїй предметній галузі.

П р и к л а д:

Назва статті: Пряме спостереження нелінійної оптики в ізолюваній вуглецевій нанотрубці.

Погані ключові слова: молекула, оптика, лазери, енергетичний час життя.

Хороші ключові слова: взаємодія одиночних молекул, ефект Керра, вуглецеві нанотрубки, структура рівнів енергії.

Як правильно структурувати статтю

Основні розділи статті:

- Вступ
- Аналіз літературних даних
- Постановка завдань дослідження
- Матеріали дослідження, експериментальна частина
- Інтерпретація результатів та їх апробація
- Висновки