

## ВОДОРОДНАЯ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ЗАПРОЕКТНОЙ АВАРИИ ДЛЯ РЕАКТОРА ЭГП-6 БИЛИБИНСКОЙ АЭС

**А.А. Казанцев, О.В. Супотницкая, Е.А. Иванова, И.В. Московченко,**

**Р.И. Мухамадеев, В.Ф. Тимофеев, Н.Э. Астахова**

***АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»***

***249033, Калужская обл., г. Обнинск, пл. Бондаренко 1***



Представлены результаты моделирования запроектной аварии с точки зрения транспорта радиолитического водорода и анализа водородной взрывобезопасности в реакторном пространстве и центральном зале реактора Билибинской АЭС. В качестве расчетного средства для обоснования водородной взрывобезопасности используется программа для ЭВМ КУПОЛ-М версии 1.10а. Прототипом запроектной аварии служит авария, исходным событием которой является самоход двух пар стержней автоматического регулирования (АР) и отказ системы аварийной защиты реактора. Авария приводит к максимальному высвобождению положительной реактивности, массовому разрушению тепловыделяющих элементов и выходу радиолитического водорода в составе газовой смеси в реакторное пространство. Ранее растворенный в теплоносителе радиолитический водород при вскипании воды выходит в газопаровую смесь. Водород образуется от реакции пара и магниевой матрицы топлива и добавляется в газопаровую смесь. Практически отсутствует выход водорода от паростальной реакции в условиях этой запроектной аварии. Общий массовый расход водорода задается как исходные входные данные для кода КУПОЛ-М. Пароводородная смесь поступает в центральный зал (ЦЗ) и после разрушения стекол в окна выходит в атмосферу. Результаты расчетных исследований демонстрируют отсутствие образования взрывоопасных концентраций водорода в реакторном пространстве и в центральном зале АЭС. Следовательно, водородная взрывобезопасность обеспечивается на всем протяжении запроектной аварии для блока Билибинской АЭС с реактором ЭГП-6.

**Ключевые слова:** кипящий реактор, продукты радиолиза, радиолитический водород, Билибинская АЭС, ЭГП-6 (энергетический гетерогенный петлевой реактор с шестью петлями циркуляции теплоносителя), водородная взрывобезопасность, запроектная авария, код КУПОЛ-М, обоснование безопасности.

*Казанцев А.А., Супотницкая О.В., Иванова Е.А., Московченко И.В., Мухамадеев Р.И., Тимофеев В.Ф., Астахова Н.Э. Водородная взрывобезопасность в условиях запроектной аварии для реактора ЭГП-6 Билибинской АЭС. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2022. – № 4. – С. 67-77. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2022.4.06> .*

© ***А.А. Казанцев, О.В. Супотницкая, Е.А. Иванова, И.В. Московченко, Р.И. Мухамадеев, В.Ф. Тимофеев, Н.Э. Астахова, 2022***

**ВВЕДЕНИЕ**

Образование гремучей смеси и её взрыв может привести к разрушению стен и оборудования и последующему выбросу радиоактивных продуктов деления (РПД) в окружающую среду, поэтому вопросы обоснования водородной взрывобезопасности являются обязательными при проектировании и обосновании безопасной эксплуатации АЭС [1]. Тройная диаграмма Шапиро-Мофетти [2], наглядно отображающая концентрационные пределы начала режимов горения и детонации гремучей смеси, широко используется для анализа водородной взрывобезопасности.

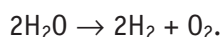
Взрывобезопасность водородосодержащих смесей характеризуется следующими критериями:

- минимальное взрывоопасное содержание кислорода – 5% об.;
- область воспламенения по водороду – 4% об.;
- флегматизация паром при его концентрации – более 55% об.

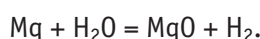
Современное состояние вопроса обеспечения водородной взрывобезопасности на АЭС и обзор нормативных документов приведены в [3]. В качестве расчетного средства для обоснования водородной взрывобезопасности авторы использовали аттестованную в НТЦ ЯРБ программу для ЭВМ КУПОЛ-М версии 1.10а (далее КУПОЛ-М) [4].

Рассматривается запроектная аварии (ЗПА) на РУ с реактором ЭГП-6, приводящая к максимальному высвобождению положительной реактивности вследствие самохода стержней АР при несрабатывании системы аварийной защиты. Сценарий запроектной аварии ранее описывался в статье [5], посвященной анализу радиационных последствий аварии. В работе сценарий ЗПА рассматривается с точки зрения обеспечения водородной взрывобезопасности.

В реакторных условиях водород образуется при радиолизе воды по схеме



После потери теплосъёма и разрушения оболочек твэлов ТВС при температурах 800 – 1100°C водород образуется при взаимодействии пара с магнием, входящим в топливную композицию твэлов, согласно реакции

**СЦЕНАРИЙ ЗАПРОЕКТНОЙ АВАРИИ**

Сценарий рассматриваемой запроектной аварии (ЗПА) приведен в [6]. Исходное состояние энергоблока перед ЗПА – работа на мощности 100% от номинальной, все параметры соответствуют номинальному стационарному состоянию. Дополнительно консервативно принимается, что станция обесточивается, не работают системы приточной и вытяжной вентиляции.

При аварии с вводом максимально возможной положительной реактивности и отказе системы аварийной защиты происходит возрастание нейтронной мощности до 419% от номинальной и поэтапное разрушение оболочек до 126-ти ТВС. В течение 30-ти секунд после начала самохода вверх стержней АР происходит нарушение съёма тепла от оболочек, приводящего к кризису теплоотдачи и вскипанию теплоносителя. Это, в свою очередь, приводит к быстрому росту давления (до 10 МПа), разрыву и осушению циркуляционного контура РУ. Кризис теплоотдачи приводит к перегреву оболочек ТВС и разрушению примерно половины ТВС от их общего числа. Вследствие взаимодействия испаряющегося теплоносителя с магниевой матрицей топлива образуется водород.

Длительность рассматриваемого этапа запроектной аварии составляет 1000 с.

На рисунке 1 показан общий вид моделируемого помещения центрального зала (ЦЗ) Билибинской АЭС. Справа расположены окна, являющиеся предохранительными конструкциями.

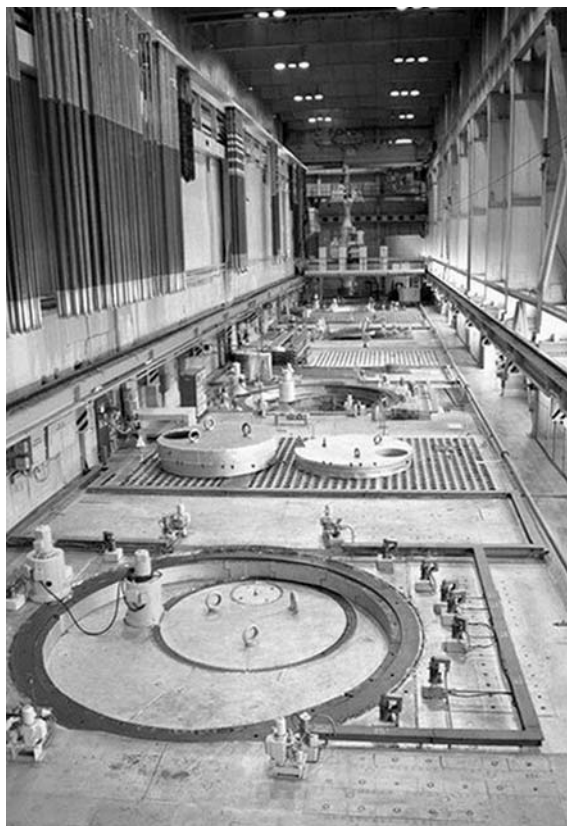


Рис. 1. Вид на центральный зал Билибинской АЭС с четырьмя реакторами ЭГП-6 [www.fotoalbom.su]

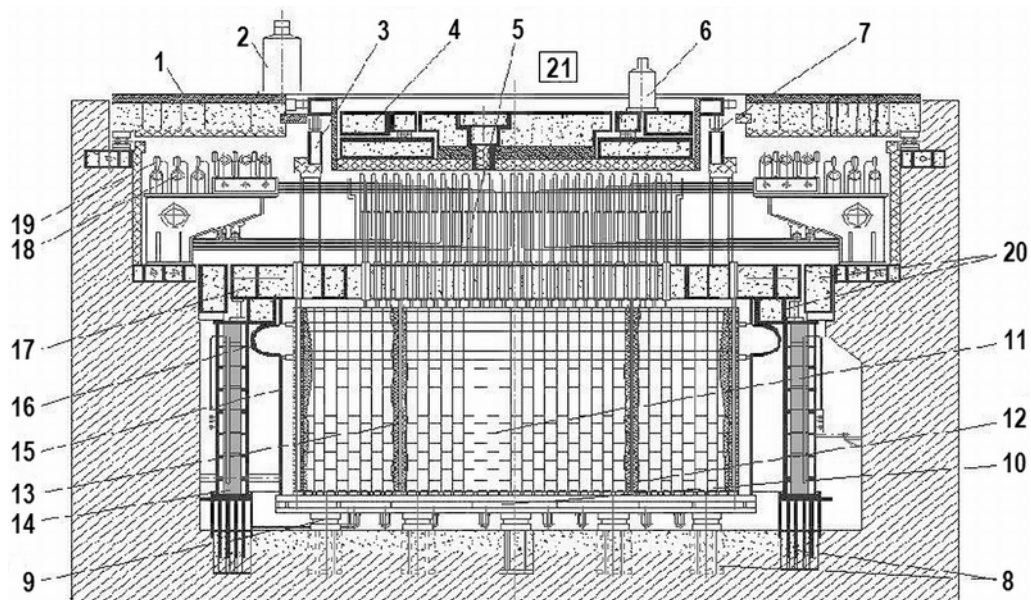


Рис. 2. Сечение реактора ЭГП-6 [5]: 1 – верхнее боковое перекрытие; 2 – привод большого вращающегося перекрытия; 3 – центральная рама с опорами; 4 – центральное вращающееся перекрытие; 5 – стойки; 6 – привод малого вращающегося перекрытия; 7 – опора катков; 8 – закладные части; 9 – опорные узлы; 10 – нижняя плита; 11 – графитовая кладка; 12 – канал СУЗ; 13 – ТВС; 14 – бак биологической защиты; 15 – кожух; 16 – компенсатор кожуха; 17 – верхняя плита; 18 – групповые коллекторы с рабочими трубопроводами; 19 – вентили запорные; 20 – нижний слой защитного перекрытия; 21 – центральный зал (ЦЗ)

На рисунке 2 представлено сечение реактора ЭГП-6 [6]. За время эксплуатации технологическая схема изменялась от момента начала эксплуатации [7] до схемы Билибинской АЭС с реакторной установкой РУ ЭГП-6 [8] на момент 30 лет эксплуатации.

Условно протекание запроектной аварии можно разделить на три стадии.

**Стадия I.** На этой стадии происходит массовое повреждение оболочек твэлов 16-ти ТВС с максимальной мощностью, что приводит к образованию парогазоводяной смеси (содержащей радиолитический водород) в реакторе. Резкий рост давления в реакторе более 0,24 МПа приводит к разрушению сварного соединения верхней плиты реактора с компенсатором температурных расширений кожуха реактора и её подъему. Рост давления парогазоводородной смеси в пространстве между крышкой реактора и верхним защитным перекрытием приводит к поступлению парогазоводяной смеси в центральный зал.

Водород на этой стадии образуется в результате вскипания воды и выхода растворенного в ней радиолитического водорода. К нему добавляется водород, образующийся вследствие реакции магниевой матрицы топлива с теплоносителем в 16-ти ТВС с поврежденными оболочками.

**Стадия II.** Резкое повышение давления в ЦЗ приводит к разрушению окон центрального зала и выходу парогазоводяной смеси в атмосферу. Растущая потеря теплоносителя основного циркуляционного контура (ОЦК) приводит к росту температуры оболочек ТВС до 900°C, что приводит к дальнейшему повреждению ~ 100 ТВС средней мощности к 100-й секунде. Процесс сопровождается дополнительным выходом парогазоводяной смеси через графитовую кладку в реакторном пространстве (РП), монтажное пространство, пространство между крышкой реактора и верхним защитным перекрытием и далее в центральный зал и атмосферу через окна ЦЗ.

**Стадия III.** После полной потери теплоносителя ОЦК к 100-й секунде происходит дополнительное разрушение 126-ти ТВС вследствие нагрева ТВС до 1100°C.

Разгерметизация твэлов для анализа последствий запроектной аварии (ЗПА) изучалась в ГНЦ «РФ – ФЭИ» экспериментально [9]. Полученные результаты позволили сделать оценку выхода водорода от паростальной реакции в условиях этой ЗПА как пренебрежимо малую. Причиной является маленькая мощность реактора и малое запасенное тепло из-за низких рабочих температур.

В статье [10] представлены результаты расчетных оценок авторов источников водорода в результате радиолитических процессов при кипении теплоносителя в трубчатых твэлах тепловыделяющих сборок реактора ЭГП-6 Билибинской АЭС.

## РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЗАЛЕ КОДОМ КУПОЛ-М

Для рассматриваемой запроектной аварии на Билибинской АЭС в работе [11] дана следующая оценка: «Объем образовавшегося водорода, по консервативным оценкам, составит 2,5 м<sup>3</sup>». При выходе всего этого водорода в центральный зал (ЦЗ) (см. рис. 1) и равномерном перемешивании его средняя концентрация составит 0.02 % об. [11]. Выполненный расчёт с использованием кода КУПОЛ-М [4] существенно уточнил эту оценку, так как расчет изменения объёмной доли водорода от времени позволяет учесть наличие максимума концентрации водорода в месте течи и последующее его распространение по объёмам нодализационной схемы ЦЗ.

Расход пароводяной смеси, поступающей в центральный зал, представлен на рис. 3 [6]. Расчетная оценка изменения во времени расхода получена с использованием кода RELAP5/Mod3.2 [12].

Выход водорода из реакторного пространства в центральный зал определяется двумя процессами: выходом растворенного радиолитического водорода при вскипании воды и выходом водорода вследствие реакции топливной магниевой матрицы с водяным

паром после разрушения части оболочек ТВС. При этом количество водорода, образовавшегося в результате взаимодействия топливной матрицы, будет в несколько раз больше количества радиолитического водорода.

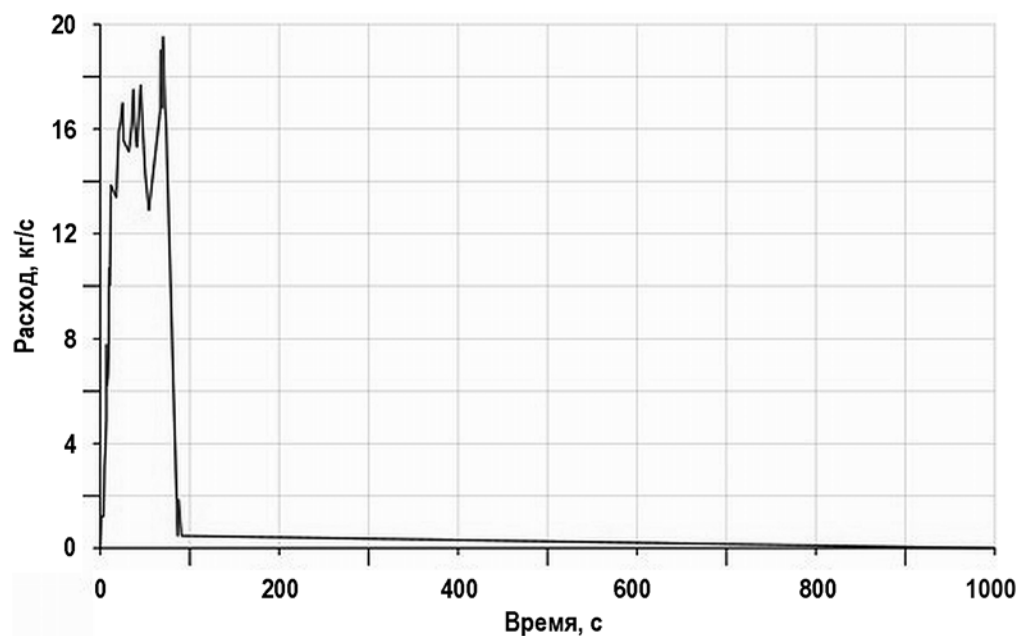


Рис. 3. Расход пароводяной смеси, поступающей в ЦЗ

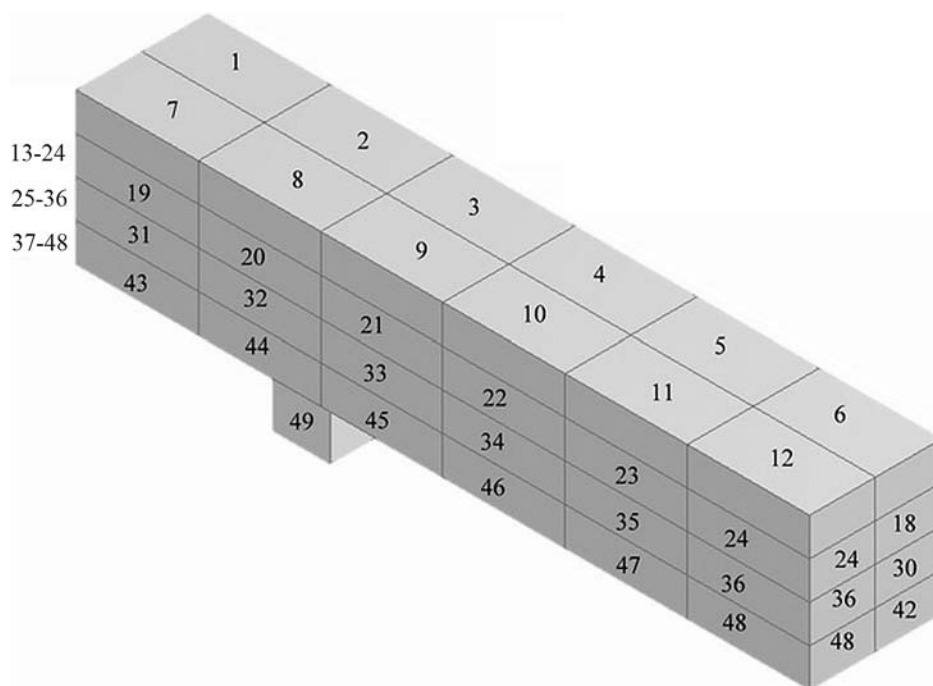


Рис. 4. Нодализационная схема, используемая в расчетах кодом КУПОЛ-М

Нодализационная схема, используемая для проведения расчетов кодом КУПОЛ-М, изображена на рис. 4. Нодализационная схема включала в себя 50 внутренних боксов, соединенных 202-мя связями. Помещение центрального зала моделируется 48-ю бок-

сами. Источник расположен в боксе № 49, моделирующем надреакторное пространство. Бокс № 50 моделирует атмосферу.

На рисунках 5 – 8 представлены результаты расчетного моделирования изменения параметров газовой среды в реакторном пространстве и ЦЗ в течение аварии. На рисунке 5 показано изменение во времени давления в ЦЗ. Примерно на 28-й секунде наблюдается перепад давления в 3 кПа, при котором происходит разрушение предохранительных конструкций – стекло окон ЦЗ; общая площадь разрушенных окон ЦЗ составляет 240 м<sup>2</sup>. После этого параметры в ЦЗ стремятся к атмосферным. На рисунке 6 представлены изменения температуры в боксах № 45 и № 9 (см. рис. 4) в ЦЗ.

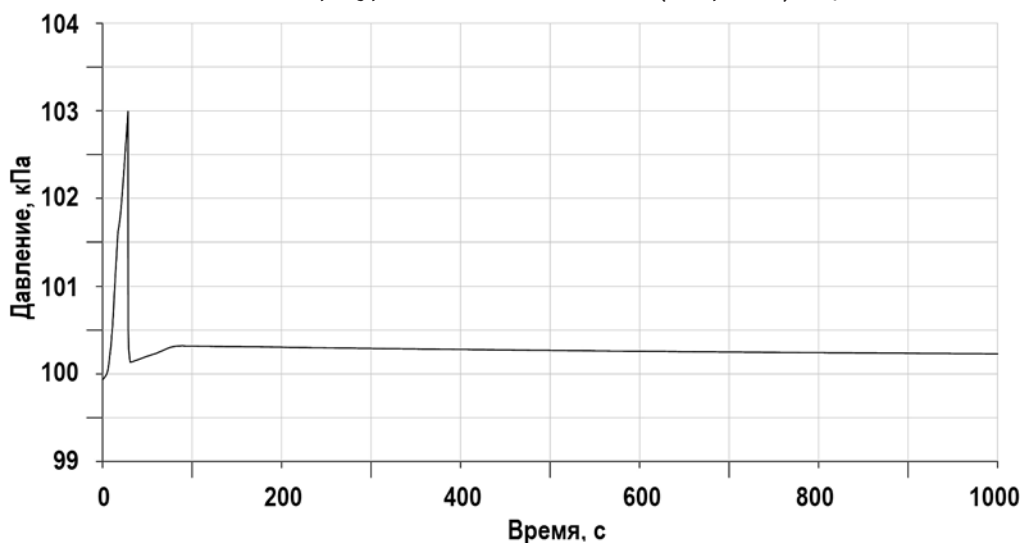


Рис. 5. Изменение давления в ЦЗ

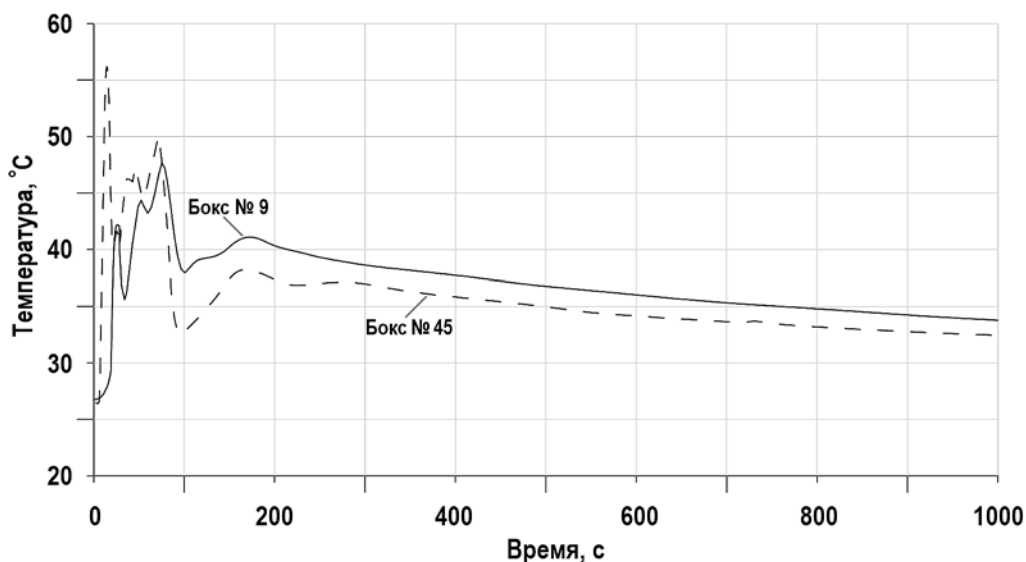


Рис. 6. Изменение температуры среды в ЦЗ

На рисунке 7 представлены изменения концентрации водорода и пара (правая ось) в надреакторном пространстве. На рисунке видно, что за счет флегматизации паром при превышении его концентрации 55% об. водородная безопасность обеспечивается в надреакторном пространстве на всем интервале моделирования аварии.

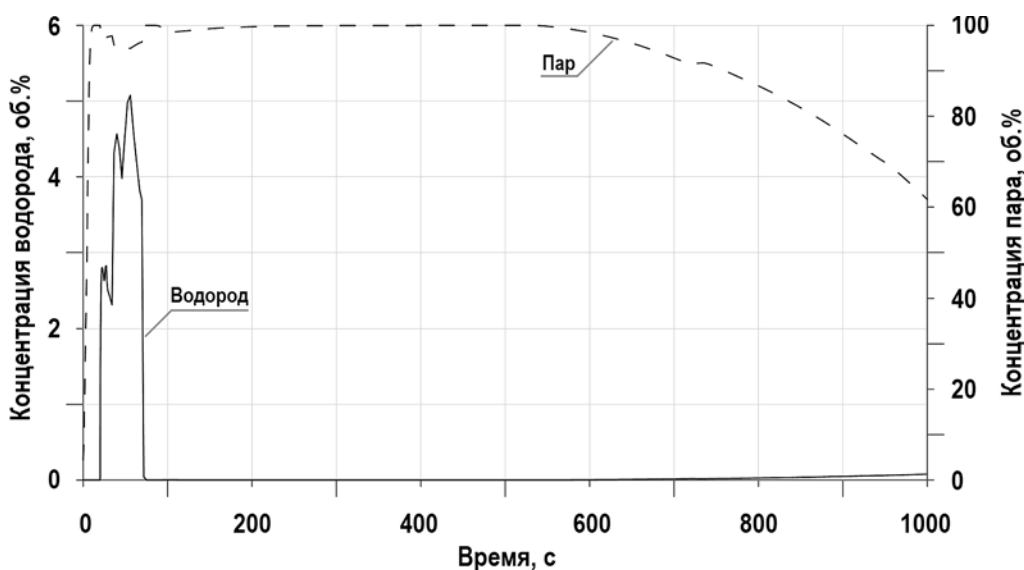


Рис. 7. Концентрация водорода и пара в реакторном пространстве

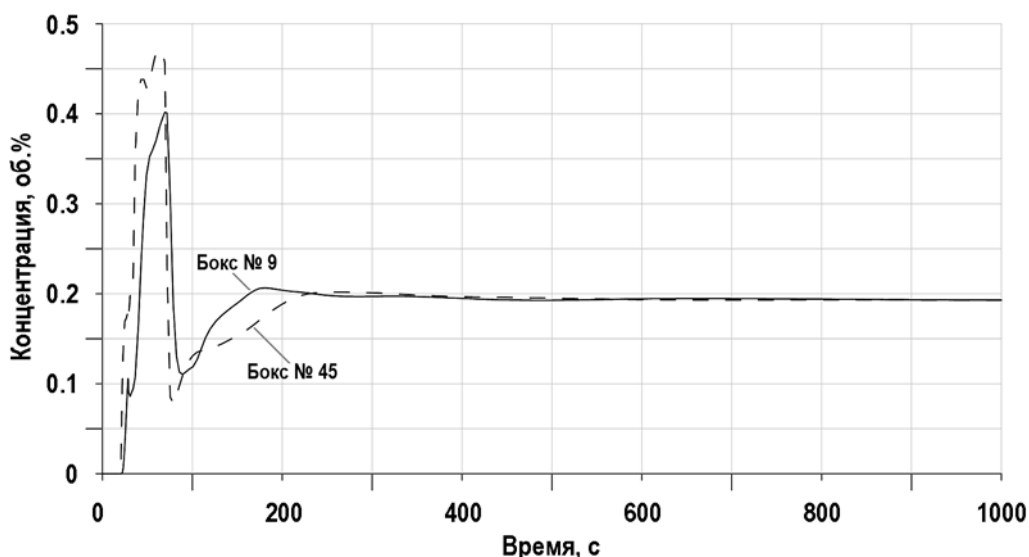


Рис. 8. Изменение концентрации водорода в ЦЗ

На рисунке 8 показаны изменения концентрации водорода в некоторых расчетных объемах в атмосфере ЦЗ. В боксе № 45, расположенном рядом с боксом с течью теплоносителя, наблюдается концентрация водорода выше, чем в боксе № 9, расположенном в верхней части помещения ЦЗ. Рисунок 8 демонстрирует, что концентрация водорода не превышает 0,46 % об. во всех расчетных объемах ЦЗ, что на порядок меньше предельной концентрации 4% об., т.е. водородная взрывобезопасность обеспечивается на всем интервале моделирования аварии.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов расчетов, проведенных с использованием кода КУПОЛ-М, показал, что концентрация пара в реакторном пространстве в течение аварии превышает 55% об., что обеспечивает водородную взрывобезопасность на рассмотренном этапе проектной аварии.

В центральном зале объёмная концентрация водорода на порядок меньше предельной концентрации 4% об., соответственно, водородная взрывобезопасность обеспечивается на всем интервале моделирования тяжелой запроектной аварии.

### Литература

1. НП-040-02. Правила обеспечения водородной взрывозащиты на атомной станции. – М.: Госатомнадзор России, 2002. – 10 с. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200034921?ysclid=l5hteiyuyk105526523> (дата доступа 12.07.2022).
2. *Shapiro Z.M., Moffette T.R.* Hydrogen Flammability Data and Application to PWR Loss-of-Coolant Accident, WAPD-SC-545, Westinghouse Electric Corp. – Bettis Plant, Pittsburgh, 1957. Электронный ресурс: [https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1024816/m2/1/high\\_res\\_d/4327402.pdf](https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1024816/m2/1/high_res_d/4327402.pdf) (дата доступа 12.07.2022).
3. *Кириллов И.А., Харитонов Н.Л., Шарафутдинов Р.Б., Хренников Н.Н.* Обеспечение водородной безопасности на атомных электростанциях с водоохлаждаемыми реакторными установками. Современное состояние проблемы. // Ядерная и радиационная безопасность. – 2017. – № 2 (84). – С. 26-37. – Электронный ресурс: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29680571> (дата доступа 12.07.2022).
4. КУПОЛ-М версия 1.10а. Аттестационный паспорт программного средства № 397 от 27.02.2018. – М.: НТЦ ЯРБ, 2018. Электронный ресурс: [https://www.secncs.ru/expertise/software-review/База\\_аттестационных\\_паспортов\\_декабрь\\_\\_2021.pdf](https://www.secncs.ru/expertise/software-review/База_аттестационных_паспортов_декабрь__2021.pdf) (дата доступа 12.07.2022).
5. *Каширин В.И., Дрягин Д.О., Афанасьев В.А.* Некоторые вопросы анализа безопасности РУ ЭГП-6 с позиции стресс-тестов (ОАО «Ижорские заводы»). / Труды научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» ОКБ Гидропресс 2013 г. Электронный ресурс: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/kms2013/documents/kms2013-022.pdf> (дата доступа 12.07.2022).
6. *Парафило Л.М., Мухамадеев Р.И., Баранаев Ю.Д., Суворов А.П.* Анализ тяжелой запроектной аварии реакторной установки ЭГП-6 Билибинской АЭС. Формирование источника выброса. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2018. – № 1. – С. 99-111. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2018.1.10>
7. *Воронин Л.М., Проценко А.Н., Столяревский А.Я. и др.* Атомная наука и техника СССР / Под общ. ред. А.М. Петросьянца. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 312 с. (глава 1.9 Опыт эксплуатации Билибинской АТЭЦ, с 66-75) Электронный ресурс [http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-nauka-i-tehnika-sssr\\_1987/go,66/](http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-nauka-i-tehnika-sssr_1987/go,66/) (дата доступа 12.07.2022).
8. *Долгов В.В.* Билибинская АЭС – тридцать лет работы в экстремальных условиях крайнего северо-востока России «История атомной энергетики Советского Союза и России. Вып. 5 История малой атомной энергетики». – 2004 г. Электронный ресурс. [http://elib.biblioatom.ru/text/istoriya-atomnoy-energetiki\\_v5\\_2004/go,118/](http://elib.biblioatom.ru/text/istoriya-atomnoy-energetiki_v5_2004/go,118/) (дата доступа 12.07.2022).
9. *Баранаев Ю.Д., Викторов А.Н., Долгов В.В., Мосеев Л.И.* Исследование выхода продуктов деления из топлива реакторов Билибинской АЭС в условиях, моделирующих тяжелую аварию. // Атомная энергия. – 1993. – Т. 74. – Вып. 5. – С. 416-421. Электронный ресурс: [http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya\\_t74-5\\_1993/go,19/](http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t74-5_1993/go,19/) (дата доступа 12.07.2022).
10. *Казанцев А.А., Супотницкая О.В., Иванова Е.А., Московченко И.В., Мухамадеев Р.И., Тимофеев В.Ф., Астахова Н.Э.* Радиолит теплоносителя в реакторе ЭГП-6 Билибинской АЭС. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2022. – № 3. – С. 76-83. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2022.3.07>
11. *Мухамадеев Р.И., Баранаев Ю.Д.* Методический подход к анализу последствий запроектных аварий РУ ЭГП-6 для населения. Препринт ФЭИ-3285. – Обнинск: ГНЦ РФ – ФЭИ, 2019. – 24 с. Электронный ресурс: <https://ippe.ru/images/publications/preprints/2019/3285.pdf> (дата доступа 12.07.2022).
12. RELAP5/MOD3.2. Аттестационный паспорт программного средства № 317 от



09.10.2012. – М.: НТЦ ЯРБ, 2012. – Электронный ресурс: [https://www.secncrs.ru/expertise/software-review/База\\_аттестационных\\_паспортов\\_декабрь\\_\\_2021.pdf](https://www.secncrs.ru/expertise/software-review/База_аттестационных_паспортов_декабрь__2021.pdf) (дата доступа 12.07.2022).

Поступила в редакцию 24.03.2022 г.

#### **Авторы**

Казанцев Анатолий Александрович, ведущий научный сотрудник, доцент, к. т. н.  
E-mail: akazancev@ippe.ru

Супотницкая Ольга Владимировна, начальник лаборатории  
E-mail: sov@ippe.ru

Иванова Евгения Александровна, инженер-исследователь 2 категории  
E-mail: eivanova@ippe.ru

Московченко Ирина Владимировна, начальник лаборатории  
E-mail: idemeneva@ippe.ru

Мухамадеев Рубен Ильдарович, старший научный сотрудник, к. т. н.  
E-mail: ben@ippe.ru

Тимофеев Владимир Федорович, ведущий инженер  
E-mail: vtimofeev@ippe.ru

Астахова Наталья Эдуардовна, инженер-теплофизик 1 категории  
E-mail: astakhova@ippe.ru

UDC 621.039.534:541.15

### **HYDROGEN EXPLOSION SAFETY FOR THE BILIBINO NPP EGP-6 REACTOR IN CONDITIONS OF A BEYOND DESIGN BASIS ACCIDENT**

Kazantsev A.A., Supotnitskaya O.V., Ivanova E.A., Moskovchenko I.V., Mukhamadeev R.I., Timofeev V.F., Astakhova N.E.

IPPE JSC

1, Bondarenko Sq., 249033 Obninsk, Kaluga Reg., Russia

#### **ABSTRACT**

The paper presents the results of simulating a beyond design basis accident with regard to radiolytic hydrogen transport and analysis of hydrogen explosion safety in the reactor cavity and in the central reactor hall of the Bilibino NPP. The KUPOL-M code, version 1.10a, is used as the calculation tool for justifying hydrogen explosion safety. The accident under investigation is a beyond design basis accident, the initial event for which is spontaneous travel of two pairs of automatic control rods and a failure of the reactor scram system. The accident leads to the maximum possible release of positive reactivity, mass destruction of fuel elements, and escape of radiolytic hydrogen, as part of the gas mixture, into the reactor cavity and the central hall and further, through the broken windows, into the atmosphere. The calculation results show that no explosive concentrations of hydrogen are formed in the reactor cavity and in the central hall. Therefore, hydrogen explosion safety is ensured throughout the duration of the design basis accident for the Bilibino NPP unit with the EGP-6 reactor.

**Key words:** boiling water reactor, radiolysis products, radiolytic hydrogen, Bilibino NPP, EGP-6, hydrogen explosion safety, beyond design basis accident, KUPOL-M code.

Kazantsev A.A., Supotnitskaya O.V., Ivanova E.A., Moskovchenko I.V., Mukhamadeev R.I., Timofeev V.F., Astakhova N.E. Hydrogen Explosion Safety for the Bilibino NPP EGP-6 Reactor in Conditions of a Beyond Design Basis Accident. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2022, no. 4, pp. 67-77; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2022.4.06> (in Russian).

#### REFERENCES

1. NP-040-02, 2003. *Rules for Ensuring Hydrogen Explosion Protection at a Nuclear Power Plant*. Moscow. Gosatomnadzor Rossii Publ., 2002, 10 p. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200034921?ysclid=l5hteiyuyk105526523> (accessed Jul. 12, 2022) (in Russian).
2. Shapiro Z.M., Moffette T.R. *Hydrogen Flammability Data and Application to PWR Loss-of-Coolant Accident*, WAPD-SC-545. Westinghouse Electric Corp. Bettis Plant, Pittsburgh, 1957. Available at: [https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1024816/m2/1/high\\_res\\_d/4327402.pdf](https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1024816/m2/1/high_res_d/4327402.pdf) (accessed Jul. 12, 2022).
3. Kirillov I.A., Kharitonova N.L., Sharafutdinov R.B., Krennikov N.N. Hydrogen Safety for Nuclear Power Plants with Light Water Reactor Units. Current State of the Problem. *Yadernaya i Radiatsionnaya Bezopasnost'*. 2017 no. 2 (84), pp. 26-37. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29680571> (accessed Jul. 12, 2022) (in Russian).
4. KUPOL-M version 1.10a. Code Certification Passport № 397 from 27.02.2018. – М.: NTCJaRB, 2018. Available at: [https://www.secncs.ru/expertise/software-review/База\\_аттестационных\\_паспортов\\_декабрь\\_2021.pdf](https://www.secncs.ru/expertise/software-review/База_аттестационных_паспортов_декабрь_2021.pdf) (accessed Jul. 12, 2022) (in Russian).
5. Kashirin V.I., Dryagin D.O., Afanasiev V.A. Some Issues of Safety Analysis of the EGP-6 Reactor Facility from the Position of Stress Tests (OJSC Izhora Plants). *Proc. of the Scientific and Technical Conference «Safety Assurance of NPP with VVER»*. Podolsk, OKB Gidropress 2013. Available at: <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/kms2013/documents/kms2013-022.pdf> (accessed Jul. 12, 2022) (in Russian).
6. Parafilo L.M., Mukhamadeev R.I., Baranaev Yu.D., Suvorov A.P. Analysis of a Severe Beyond Design Basis Accident for the EGP-6 Reactor of the Bilibino NPP. Radioactive Source Term Determination. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2018, no. 1, pp. 99-111; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2018>. (in Russian).
7. *Nuclear Science and Technology of the USSR* / Petrosyants A.M. (General. Ed.). Moscow. Energoatomizdat Publ., 1987, 312 p: (Chapter 1.9 Operation experience of Bilibino ATEC, pp. 66-75). Available at: [http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-nauka-i-tehnika-sssr\\_1987/go,66/](http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-nauka-i-tehnika-sssr_1987/go,66/) (accessed Jul. 12, 2022) (in Russian).
8. Dolgov V.V. Bilibino NPP – Thirty Years of Operation in Extreme Conditions of the Extreme North-East of Russia. *History of Nuclear Energy of the Soviet Union and Russia*. 2004, iss. 5. History of *Small Nuclear Power*. Available at: [http://elib.biblioatom.ru/text/istoriya-atomnoy-energetiki\\_v5\\_2004/go,118/](http://elib.biblioatom.ru/text/istoriya-atomnoy-energetiki_v5_2004/go,118/) (accessed Jul. 12, 2022) (in Russian).
9. Baranaev Yu.D., Viktorov A.N., Dolgov V.V., Moseev L.I. Study of Fission Products Release from Fuel of Reactors of Bilibino NPP Under Conditions Simulating a Severe Accident. *Atomnaya Energiya*. 1993, v.74, iss. 5, pp. 416-421. Available at: [http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya\\_t74-5\\_1993/go,19/](http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t74-5_1993/go,19/) (accessed Jul. 12, 2022) (in Russian).
10. Kazantsev A.A., Supotnitskaya O.V., Ivanova E.A., Moskovchenko I.V., Mukhamadeev R.I., Timofeev V.F., Astakhova N.E. Radiolysis of Coolant for the EGP-6 Reactor of the Bilibino NPP. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2022, no. 3, pp. 76-83; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2022.3.07> (in Russian).
11. Mukhamadeev R.I., Baranaev Yu.D. *Methodological Approach to Analysis of Consequences of Beyond-Design-Basis Accidents of Reactor Facility EGP-6 for the Population*: Preprint IPPE-3285. Obninsk. IPPE JSC Publ., 2019, 24 p. – Available at: <https://ippe.ru/images/publications/preprints/2019/3285.pdf> (accessed Jul. 12, 2022) (in Russian).

12. RELAP5/MOD3.2 Code Certification Passport No 317 from 09.10.2012. – М.: NTCJaRB, 2012 Available at: [https://www.secnr.ru/expertise/software-review/База\\_аттестационных\\_паспортов\\_декабрь\\_\\_2021.pdf](https://www.secnr.ru/expertise/software-review/База_аттестационных_паспортов_декабрь__2021.pdf) (accessed Jul. 12, 2022) (in Russian).

**Authors**

Kazantsev Anatoly Alexandrovich, Leading Researcher, Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: akazancev@ippe.ru

Supotnitskaya Ol'ga Vladimirovna, Head of Laboratory

E-mail: sov@ippe.ru

Ivanova Evgeniya Alexandrovna, Research Engineer

E-mail: eivanova@ippe.ru

Moskovchenko Irina Vladimirovna, Head of Laboratory

E-mail: idemeneva@ippe.ru

Mukhamadeev Ruben Il'darovich, Senior Researcher, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: ben@ippe.ru

Timofeev Vladimir Fedorovich, Leading Engineer

E-mail: vtimofeev@ippe.ru

Astakhova Nataliya Eduardovna, Thermophysics Engineer

E-mail: astakhova@ippe.ru