N.N.Shangin, A.A. Loukianov, , A.A. Zaitsev, Yu.G. Davydov

SIMULATION OF THE HYDROGEN DISTRIBUTION AND REMOVAL IN THE CONTAINMENT OF VVER-1000 NPP

Last safety barrier of new generation VVER-type NPP is leak-tight containment. Its integrity is determined by character of a lot of thermophysical, aerodynamic and physico-chemical processes accompanying severe accidents with loss of coolant. These processes are described by mathematical models of a code KUPOL-M developed in IPPE.

The calculations of heat and mass transfer processes during LOCA including hydrogen distribution in containment, carried out by KUPOL-M, have allowed to receive values of concentration of hydrogen and oxygen in each compartment and to make a choice of catalytic recombiner's productivity and their arrangement in containment. Sufficiency of use of 80 recombiners for maintenance of inflammability of containment atmosphere is shown.

Н.Н. ШАНЬГИН, А.А. ЗАЙЦЕВ, А.А. ЛУКЬЯНОВ, Ю.Г. ДАВЫДОВ

РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И УДАЛЕНИЯ ВОДОРОДА В ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКЕ АЭС С ВВЭР-1000

Последним барьером безопасности при анализе аварий на АЭС с ВВЭР нового поколения является защитная оболочка (ЗО). Ее целостность определяется характером протекания целого ряда теплофизических, аэродинамических и физико-химических процессов, сопровождающих запроектные аварии с течью теплоносителя. Эти процессы описываются математическими моделями кода КУПОЛ-М, разработанного в Физико-энергетическом институте с целью проведения расчетов в обоснование безопасности АЭС с ВВЭР.

Расчеты тепломассопереноса с распространением водорода в ЗО, проведенные по коду КУПОЛ-М, позволили получить значения концентраций водорода и кислорода в каждом помещении ЗО и провести выбор производительности каталитических рекомбинаторов водорода и схемы их размещения в ЗО АЭС. Поверочный расчет рекомбинации водорода показал достаточность использования восьмидесяти каталитических рекомбинаторов для обеспечения пожаровзрывобезопасности в ЗО АЭС с ВВЭР-1000 при протекании запроектной аварии.

1 Сценарий аварии

За наиболее опасную запроектную аварию с точки зрения накопления водорода в контейнменте принята авария с гильотинным разрывом главного циркуляционного трубопровода Ду 850 и полным обесточиванием АЭС. При этом, за счет ошибок оператора активная зона осушается в конце второго часа протекания аварии и начинается неконтролируемый рост температуры ТВЭЛ. Количество воды, подаваемой в активную зону из гидроемкостей второй ступени, является достаточным (10 -12 кг/с) для окисления всего циркония активной зоны в течение часа. Срабатывание спринклерной системы происходит через сутки от начала аварии после восстановления энергоснабжения станции.

В качестве исходных данных по массе и энергии теплоносителя, выбрасываемого из разрыва трубопровода, приняты результаты расчета, проведенного в ОКБ «Гидропресс». В таблице 1 приведены источники поступления водорода в объем ЗО.

2 Нодализация расчетной области

Расчетная область, моделирующая ЗО, представлялась 28 помещениями с 44 связями между ними. Выделено 113 тепловых структур, моделирующих стены помещений и различное оборудование. Схема ЗО с расчетными помещениями представлена на рис. 1. Разрыв главного циркуляционного трубопровода моделировался в боксе парогенератора (помещение №5).

3 Результаты расчета

В системе аварийного удаления водорода использовались пассивные каталитические рекомбинаторы водорода (ПКРВ) разработки АЭП - РНЦ КИ типа ВПЯМ-87. Их основные характеристики приведены в таблице 2.

На основе анализа расчета распространения водорода по помещениям ЗО при протекании запроектной аварии были выбраны типы ПКРВ, их количество и расположение по помещениям. Эти данные представлены в таблице 3.

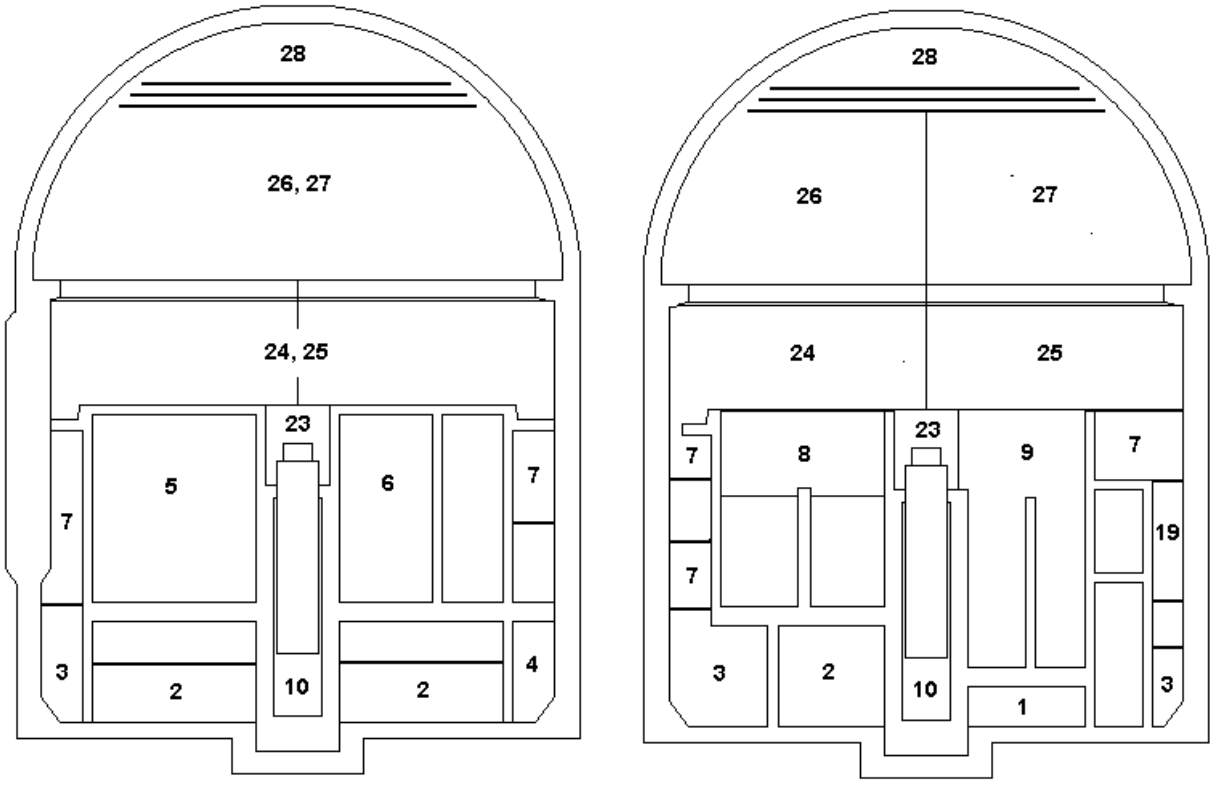

Рис. 1. Схема ЗО с выделенными расчетными помещениями

Использование выбранной системы удаления водорода приводит к существенному изменению его количества в объеме ЗО. На графике рис.2

для сравнения приведены кривые изменения массы водорода в ЗО без функционирования системы аварийного удаления водорода и с ее функционированием. На рис. 3 представлена средняя по объему ЗО концентрация водорода. Не смотря на достаточно большую среднюю концентрацию в максимуме, пределы распространения пламени в помещениях ЗО не реализуются, т.к. большая концентрация водорода характерна в основном для боксов парогенераторов, где отсутствует кислород и находится большое количество пара.

При рекомбинации водорода, поступившего из активной зоны, существенно падает средняя концентрация кислорода. Однако в дальнейшем, недостаток кислорода компенсируется радиолизом воды в приямке (рис. 4).

На рис. 5 - 8 приведены результаты расчета изменения концентраций водорода и кислорода в помещениях при функционировании системы аварийного удаления водорода в сравнении с расчетом, проведенным без функционирования системы. В частности концентрация водорода, превышающая 4% предел, наблюдается в помещении ПГ (рис. 5) однако в этот момент времени в боксе отсутствует кислород (рис. 6). Его недостаток определяется вытеснением паром и рекомбинацией водорода. Рис.7 и 8 иллюстрируют пожаробезопасную обстановку в основном объеме ЗО (подкупольное пространство).

Заключение

Проведен анализ и определены источники водорода в защитной оболочке АЭС с ВВЭР-1000 при запроектной аварии с гильотинным разрывом главного циркуляционного трубопровода и потерей энергоснабжения.

По коду КУПОЛ-М проведен расчет распространения водорода по помещениям защитной оболочки АЭС в период развития запроектной аварии (24 часа) и в поставарийный период (30 суток). На основании полученных расчетных результатов определены требования к системе аварийного удаления водорода. Проведенные расчеты с функционированием выбранной системы аварийного удаления водорода показали, что она полностью выполняет свои функции.

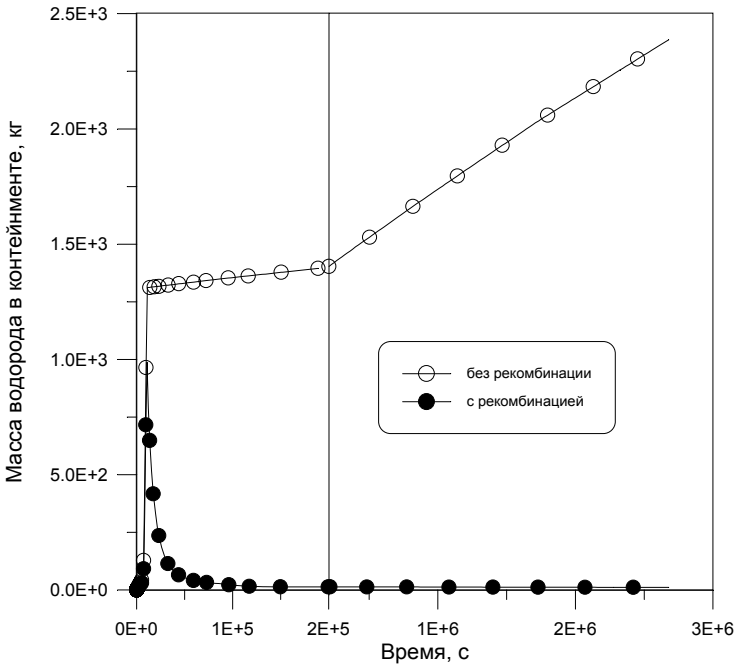

Рис. 2. Масса водорода в ЗО

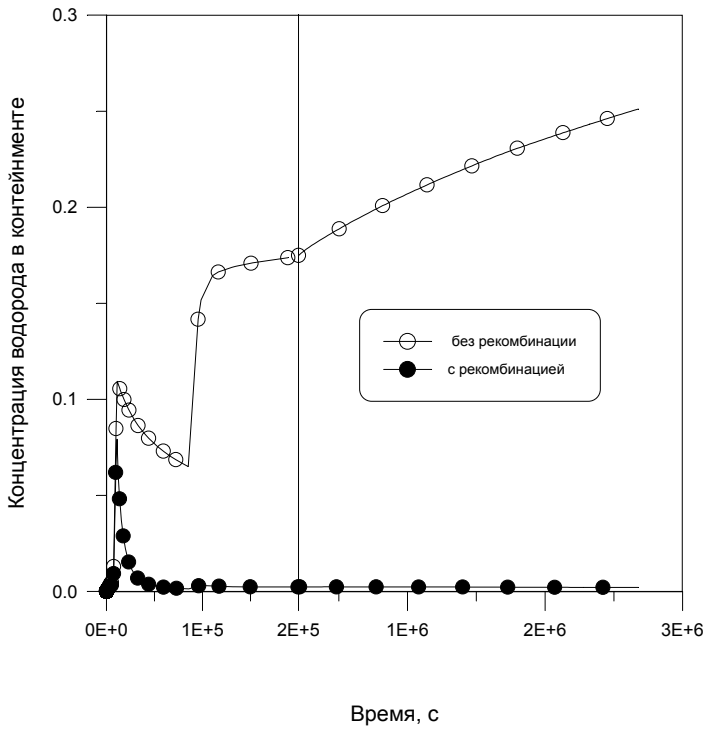

Рис. 3. Средняя по объему концентрация водорода в ЗО

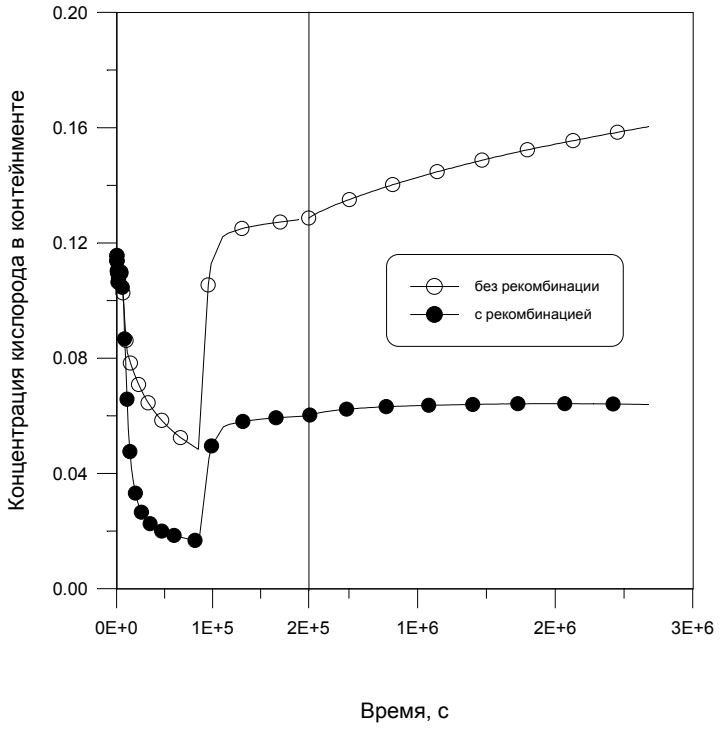

Рис. 4. Средняя по объему концентрация кислорода в ЗО

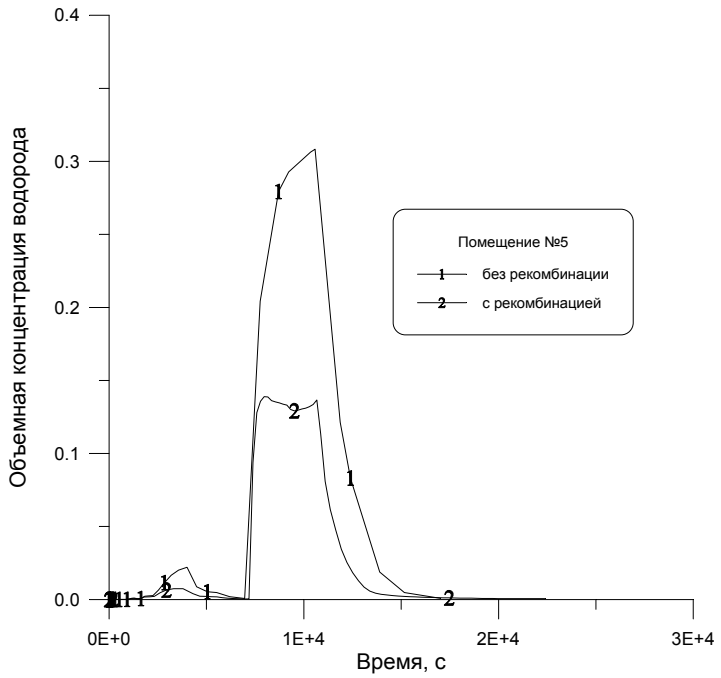

Рис. 5. Объемная концентрация водорода в боксе ПГ (помещение течи)

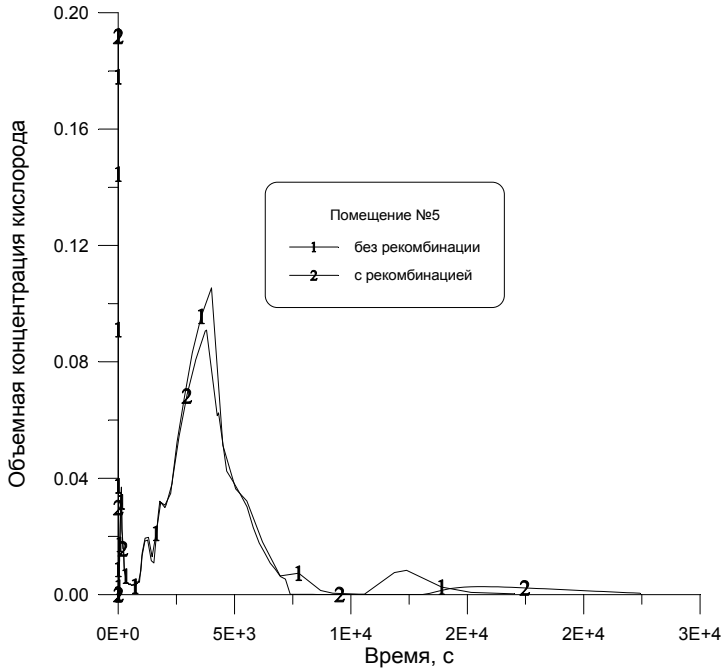

Рис. 6. Объемная концентрация кислорода в боксе ПГ (помещение течи)

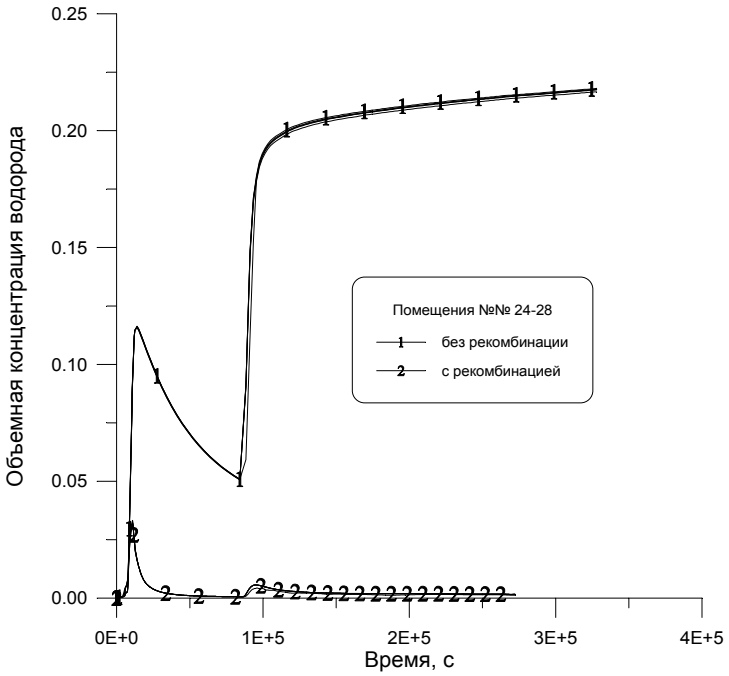

Рис. 7. Объемная концентрация водорода в подкупольном пространстве

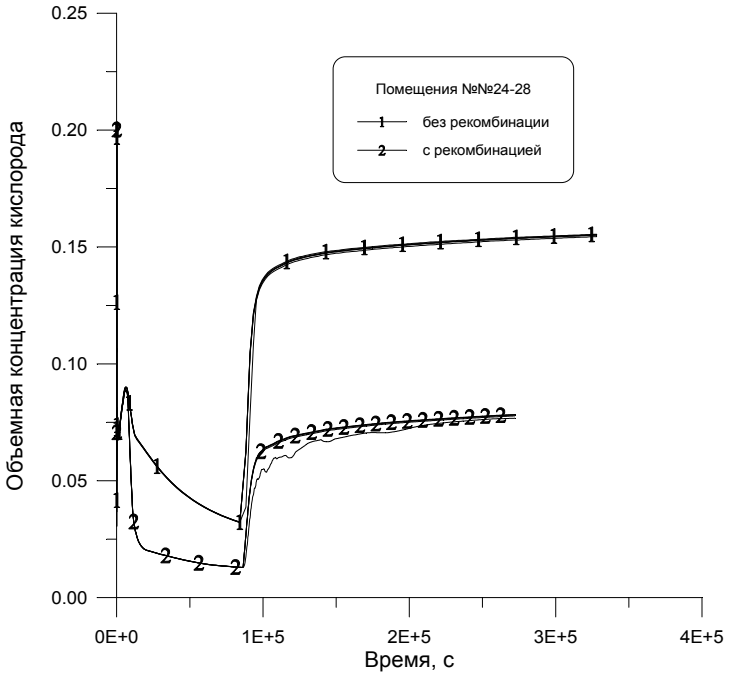

Рис. 8. Объемная концентрация кислорода в подкупольном пространстве

Таблица 1

Динамика и количества поступления водорода при запроектной аварии

Генерация водорода по Отдельным источникам и суммарная, m,кг	**Время, часы/сутки**		
	1	**24**	**744**
	-	**1**	**31**
Радиолиз в активной зоне	1.5	13	102
Пароциркониевая реакция	0.0	1250	1250
Радиолиз в приямке	1.3	32	1000
Радиолиз в бассейне выдержки	0.1	2	44
Разложение гидразин-гидрата и аммиака	26.8	54	54
Суммарное поступление водорода, m_{Σ}, кг	**29.7**	**1351**	**2450**
Концентрация водорода, усредненная по объему контейнмента, об. %	**0.3**	**6.3**	**24.5**

Таблица 2

Характеристики пассивных каталитических рекомбинаторов водорода типа ВПЯМ

Тип ПКРВ	Геометрические параметры		Производительность, кг/час (при P=0,2 МПа, T = 373,15 К)		
	Высота, м	Сечение, $м^2$	3% H_2	5% H_2	8% H_2
Reco_4	1.5	0.2 x 0.6	3.0	6.0	12.0
Reco_5	1.5	0.4 x 0.6	7.0	14.0	28.0
Reco_6	1.5	0.4 x 1.2	15.5	31.0	62.0

Таблица 3

Характеристика помещений ЗО и размещение в них ПКРВ

№№ по схеме	Наименование помещения	Количество ПКРВ
1	"Ловушка"	Reco_4
2	Вентильные камеры и высокотемпературные фильтры	6 Reco_6
3	Вентцентр	Reco_5
4	Помещение фильтров СВО-2	Reco_4
5	Бокс ГЦН, ПГ, помещение барботажного бака	8 Reco_6
6	Бокс ГЦН, ПГ, помещение барботажного бака, компенсатора давления	8 Reco_6
7	Коридоры с отм. 14,14 до 31.7, палубы ГЦН, шахта ревизии верхнего блока	4 Reco_6
8	Отсеки бассейна выдержки и перегрузки топлива	Reco_4
9	Шахты ревизии ВКУ и БЗТ, бассейн перегрузки ВКУ	Reco_4
10	Шахта аппарата с отм. 11.0 до 21.6	Reco_4
11	Контейнерный отсек бассейна выдержки	Reco_4
12	Мойка	Reco_4
13-18	Кабельные галереи	Reco_4
19	Резервное помещение у 3 оси оболочки	Reco_4
20-22	Кабельные галереи	Reco_4
23	Шахта аппарата с отм. 21.6 до 31.7	Reco_4
24	Половина нижней части объема подкупольного пространства с отм. 31.7 до 43.9 (аппаратный зал)	3 Reco_6
25	Половина нижней части объема подкупольного пространства с отм. 31.7 до 43.9 (аппаратный зал)	3 Reco_6
26	Половина средней части объема подкупольного пространства с отм. 43.9 до 60.0 (аппаратный зал)	3 Reco_6
27	Половина средней части объема подкупольного пространства с отм. 43.9 до 60.0 (аппаратный зал)	3 Reco_6
28	Верхняя часть подкупольного пространства от отм. 60.0 до 66.0 (аппаратный зал)	3 Reco_6