

*Расчетные исследования теплового состояния испытательных стендов
БМ-П и БМ-ЛР*

А.А. Рякин, Е.С. Горбачева, О.В. Койнов, М.В. Никульшин, О.С. Путилин
РФЯЦ-ВНИИТФ, г. Снежинск

artemryakin@mail.ru

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИТФ проводятся исследования рекомбинатора водорода на основе высокопористых ячеистых материалов. Рекомбинатор (рисунок 1) служит для беспламенного сжигания водорода. В рекомбинаторе при протекании через пористый катализатор происходят различные физико-химические процессы, основными из которых являются экзотермическая химическая реакция окисления водорода на каталитических поверхностях рекомбинатора и конвективное течение газовой смеси через каталитический блок. Эти процессы определяют технические характеристики рекомбинатора, наиболее важной является производительность, измеряемая при заданном составе входящего газа.

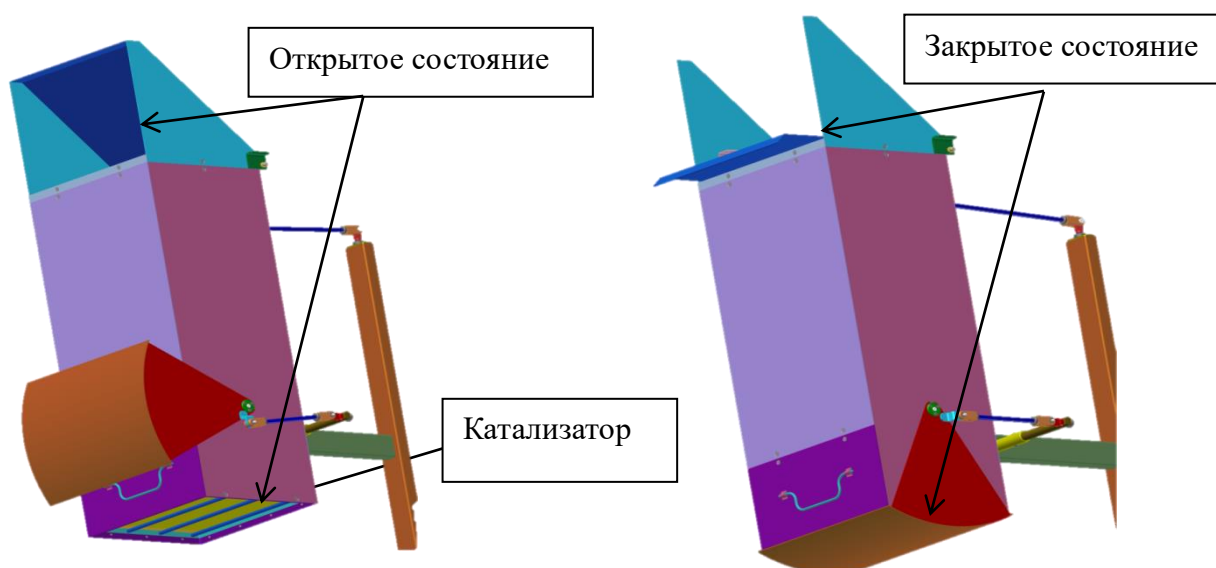


Рисунок 1-Конструкция рекомбинатора

Для проведения испытаний по определению диапазона концентраций водорода, в котором осуществляется режим беспламенной работы рекомбинатора при атмосферном давлении, повышенных температурах и влажностях, характерных для сценария тяжелых аварий на АЭС, используются камеры БМ-ЛР и БМ-П [1,2].

Камера БМ-ЛР представляет собой внутреннюю камеру (пяти тонный железнодорожный контейнер), и внешний термос (слой минеральной ваты и стекломagneзиевая плита). Внутренняя камера обеспечивает герметичность, одна из стенок камеры для возможности видео фиксации результатов эксперимента закрыта листом поликарбоната, который вылетит при повышении давления во время воспламенения

водорода и сохранит целостность металлической части камеры. Необходимая температура для проведения эксперимента поддерживается при помощи тепловых пушек.

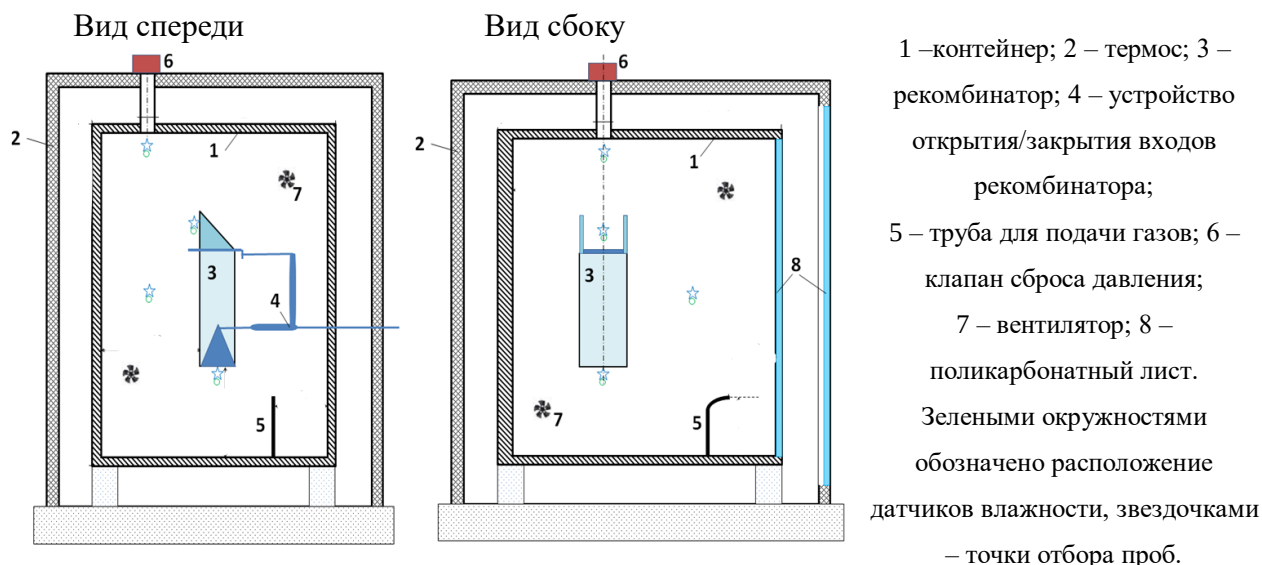


Рисунок 2-Камера БМ-ЛР

Камера БМ-П представляет собой стальной цилиндр высотой 5 м и диаметром 2 м. На стенках камеры имеются окна для возможности скоростной видеосъемки процессов конденсации и распространения пламени. Конструкция камеры позволяет сохранять герметичность при высоких давлениях, и способна выдерживать значительные взрывные нагрузки, возникающие вследствие воспламенения пароводяной смеси.

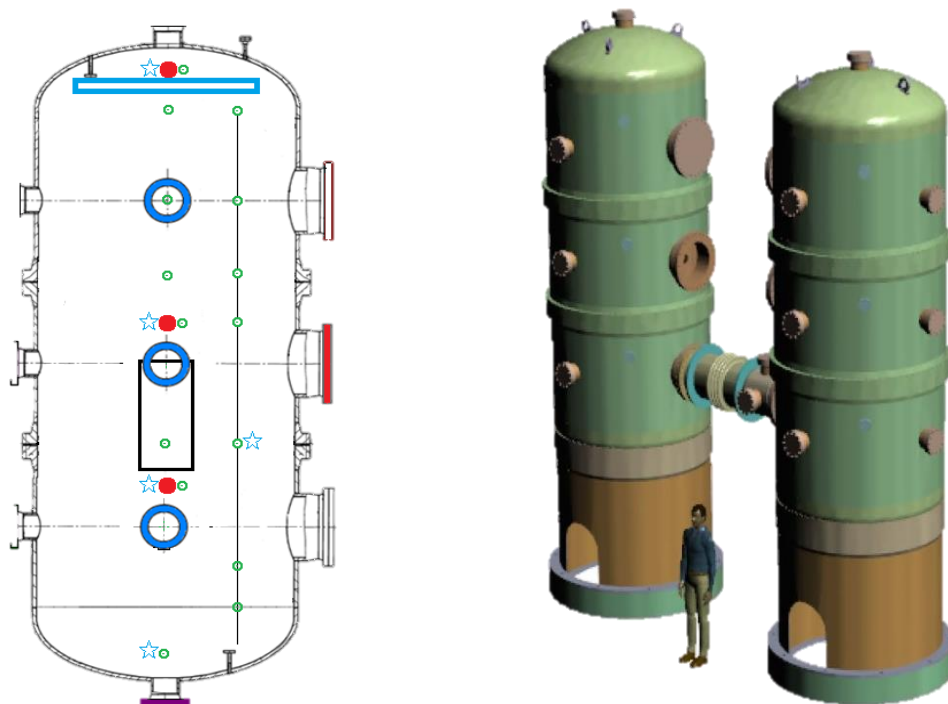


Рисунок 3-Камера БМ-П

Предварительные расчеты необходимы для прогнозирования процессов, вероятных при проведении экспериментов, оценки температурных режимов и обеспечивающих необходимые условия для тестирования рекомбинатора.

Цели расчетов камеры БМ-П: расчетное обоснование достаточности системы охлаждения для поддержания постоянной температуры газовой смеси внутри камеры.

Цели расчетов камеры БМ-ЛР: определение времени, за которое температура поликарбонатного листа превысит температуру плавления поликарбоната 150°C.

Задачи расчетов камеры БМ-П и БМ-ЛР:

- Моделирование работы блока катализаторов;
- Определение максимальных температур в камерах при работе рекомбинатора;
- Расчет полей скоростей газовой смеси, движущейся в установке при работе рекомбинатора;

При концентрации водорода 3% энерговыделение катализатора составляет 9,6 кВт. Для концентрации водорода до 8% повышает энерговыделение до 24кВт.

Конечно-элементная модель камеры БМ-П представлена на рисунке 4.

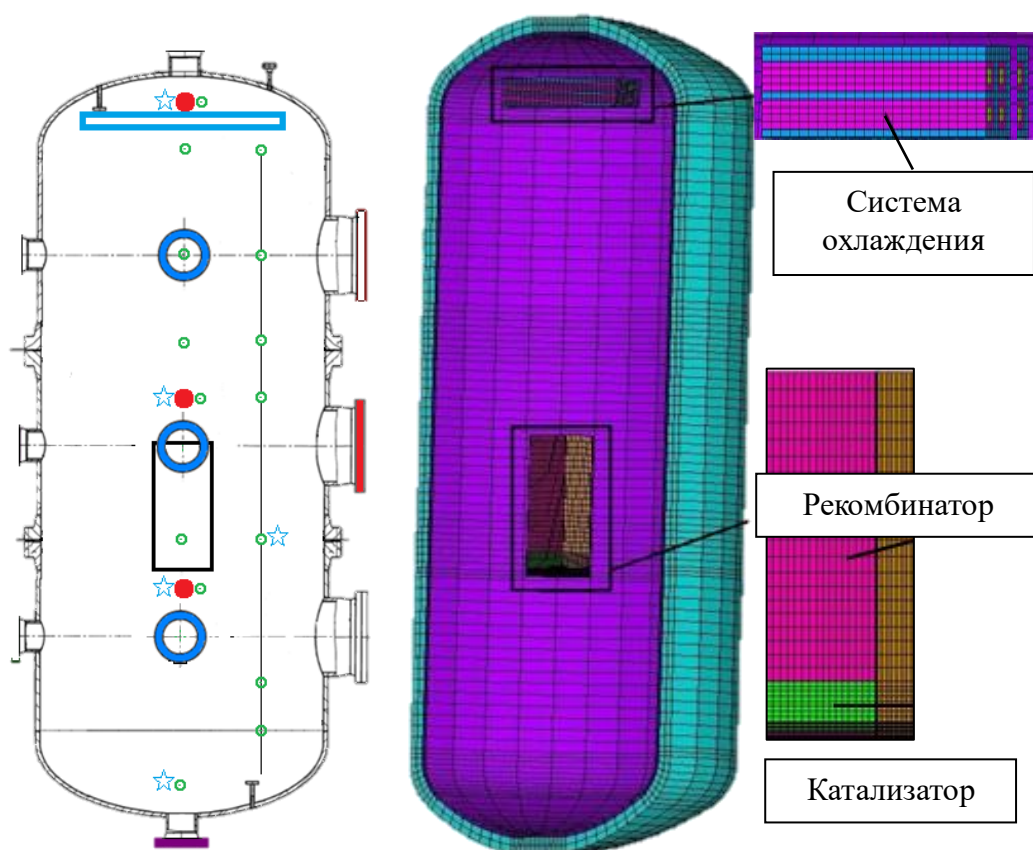


Рисунок 4-Конечно-элементная модель камеры БМ-П

Расчеты камеры БМ-П проводились для четырех вариантов начальных условий (таблица 1), с включенной и выключенной системой охлаждения.

Таблица 1-Граничные условия для расчетов камеры БМ-П

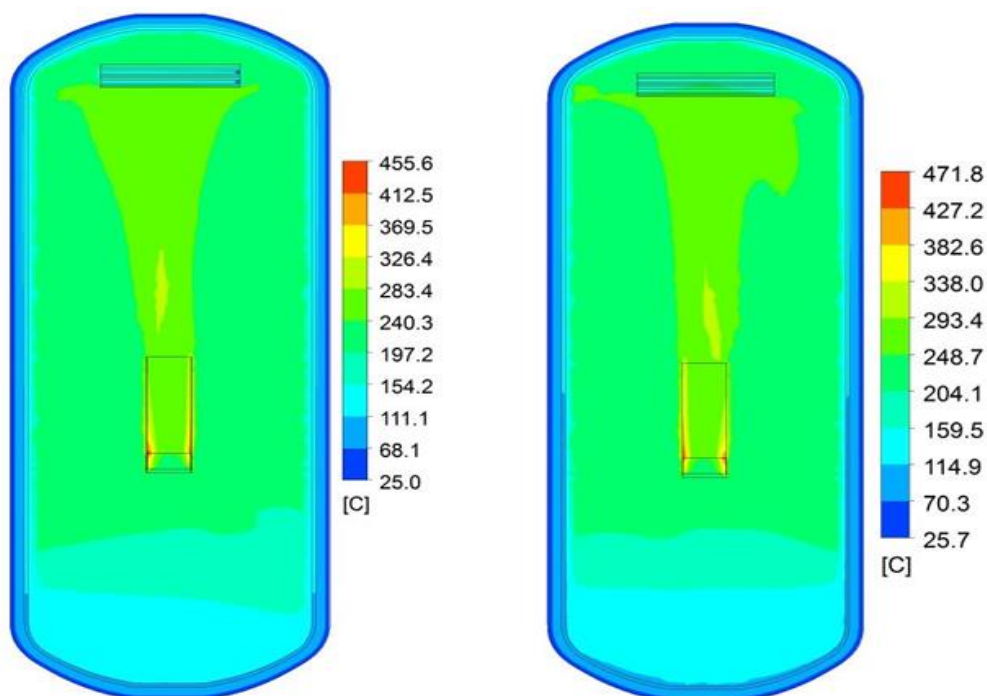
№	Давление, кПа	Температура, °С	Время, с
1	103	20	462.5
2	150	70	575
3	250	110	862.5
4	500	110	1712.5

Температура теплоносителя в системе охлаждения принималась равной 20°С.

Газовая смесь моделировалась при помощи типа элемента соответствующего газу/жидкости, катализатор моделировался типом элемента пористое тело.

В расчетах использовалась модель турбулентности $k-\varepsilon$ и учитывалась гравитация.

Температурные поля камеры БМ-П при давлении $P=500$ кПа и $T=110^{\circ}\text{C}$ на момент времени 1710 секунд. Максимальная температура с включенной системой охлаждения составляет 455.6°C .



Температурное поле стенда при работе рекомбинатора с включенной системой охлаждения

Температурное поле стенда при работе рекомбинатора с выключенной системой охлаждения

Рисунок 5-Температурные поля камеры БМ-П

Сравнение результатов расчетов с включенной и выключенной системой охлаждения показывает:

- Выключенная система охлаждения в камере благодаря своей значительной теплоемкости влияет на температурное поле внутри камеры, понижая максимальную температуру газовой смеси, проходящей через нее;
- Включенная система охлаждения понижает максимальную температуру газовой смеси в камере до 20°C, а среднюю температуру газовой смеси до 40°C;
- Для увеличения эффективности работы системы охлаждения следует понизить температуру воздуха в теплообменнике или увеличить его размеры.

Конечно-элементная модель камеры БМ-ЛР и граничные условия представлены на рисунке 6.

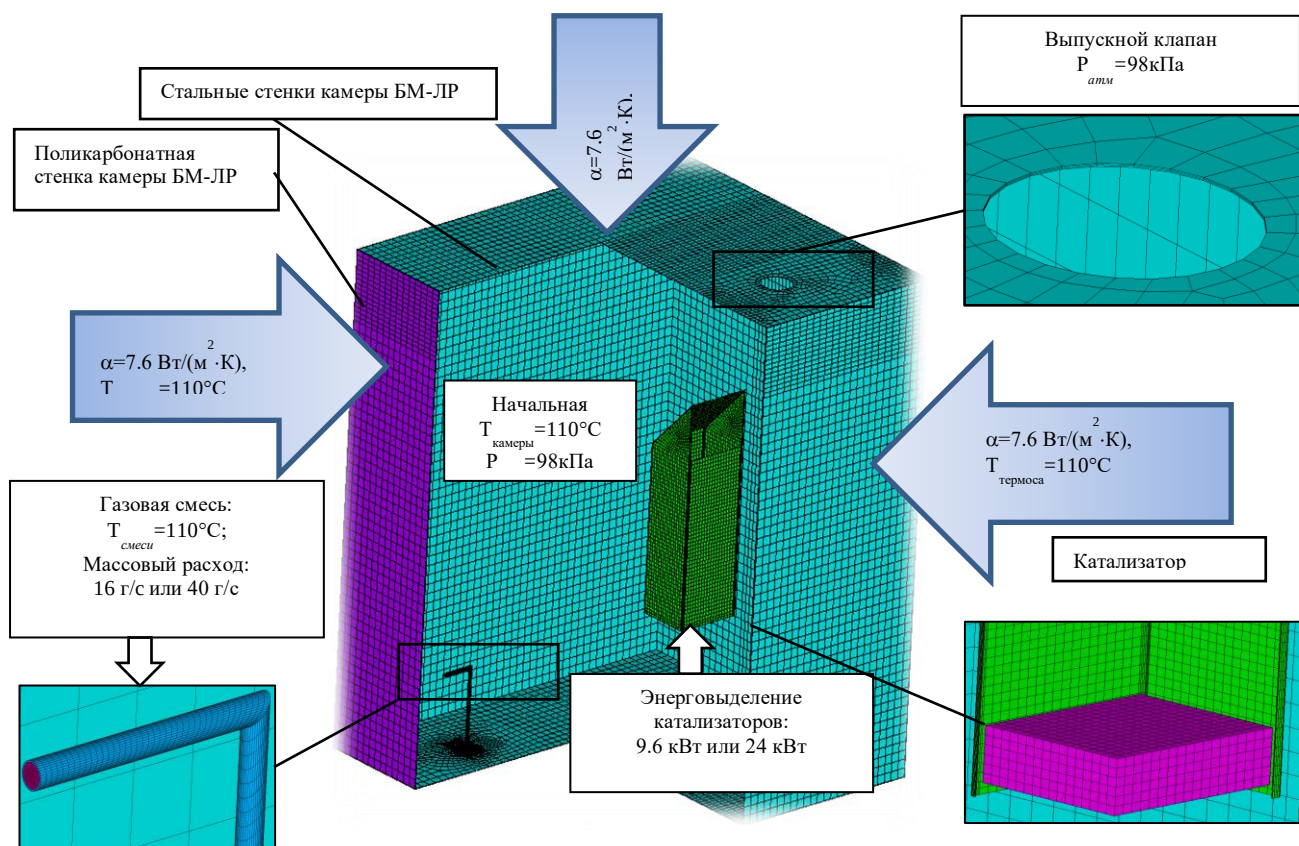


Рисунок 6-Конечно-элементная модель и граничные условия БМ-ЛР

Установка предварительно прогревается тепловыми пушками до 110°C, затем заполняется смесью водород пар–воздух. Начальная температура 110°C соответствует возможной температуре при развитии сценария тяжелой аварии «малая течь». Для предотвращения окисления водорода на поверхности катализатора до начала эксперимента рекомбинатор находится в закрытом состоянии. Эксперимент начинается в момент открытия входов рекомбинатора. После начала работы рекомбинатора в установку

непрерывно подается смесь водорода, пара и воздуха с концентрациями газов, соответствующими стартовому составу.

БМ-ЛР непрерывно обдувается тепловыми пушками (температура воздуха 110°C).

Эксперимент продолжается до момента:

- 1) превышения температуры смеси в установке значения 140°C (плавление поликарбоната начинается при 150°C);
- 2) воспламенения смеси в установке.

После завершения эксперимента подачу газов прекращают, установка продувается воздухом или азотом.

Результаты расчетов камеры БМ-ЛР представлены на рисунках 7,8,9,10,11.

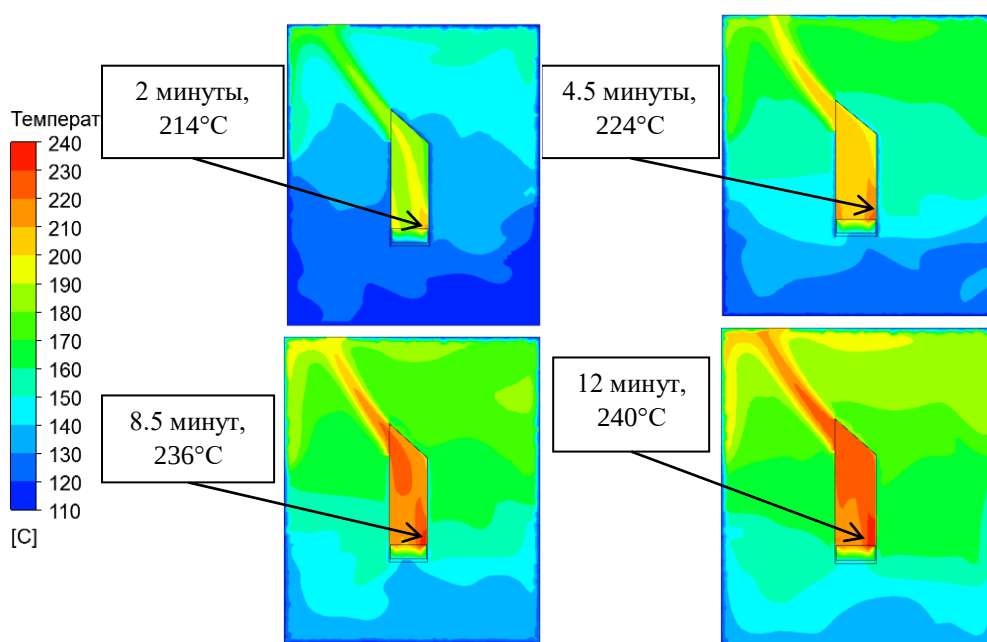


Рисунок 7-Температурные поля камеры БМ-ЛР и рекомбинатора на различные моменты времени при режиме энерговыделения 9.6 кВт (°C)

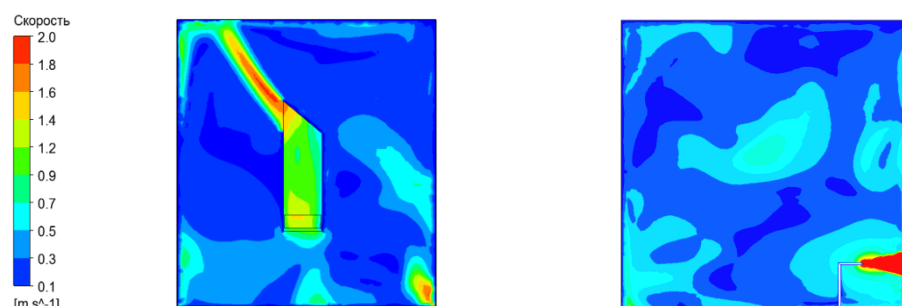


Рисунок 8- Поля скоростей воздуха в камере БМ ЛР и рекомбинаторе на момент времени 8.5 минут при режиме энерговыделения 9.6 кВт (м/с)

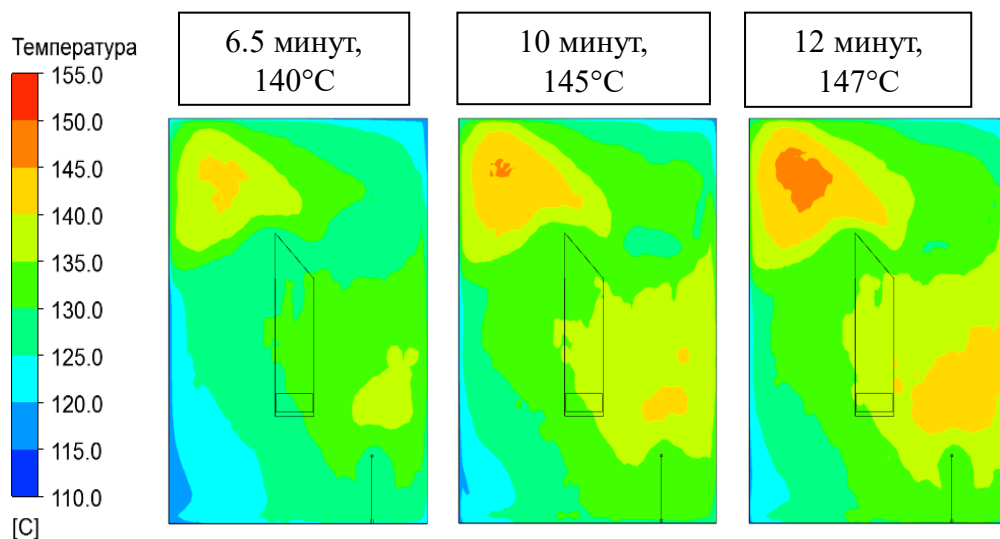


Рисунок 9-Температурные поля поликарбонатной стенки камеры БМ-ЛР на различные моменты времени при режиме энерговыделения 9.6 кВт (°C)

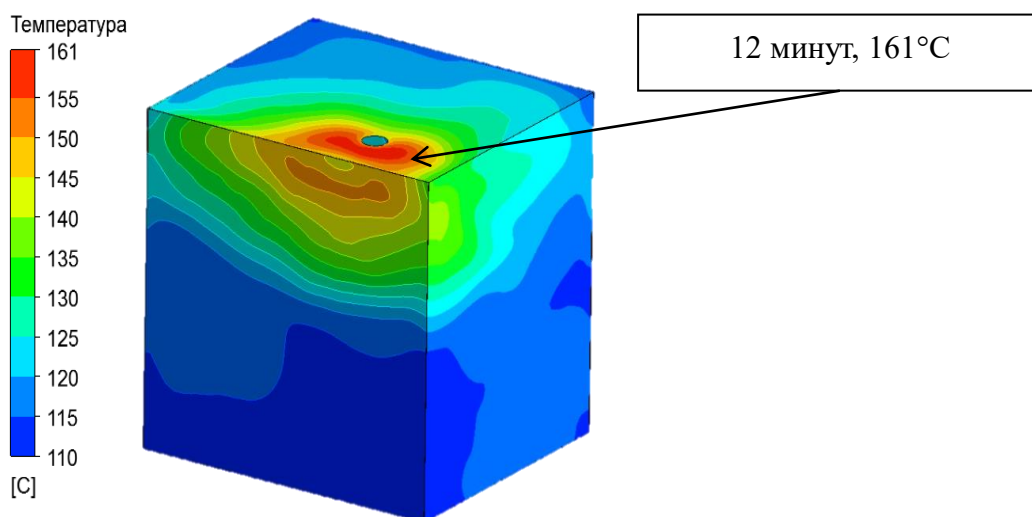


Рисунок 10-Температурное поле металлических стенок камеры БМ-ЛР при режиме энерговыделения 9.6 кВт (°C)

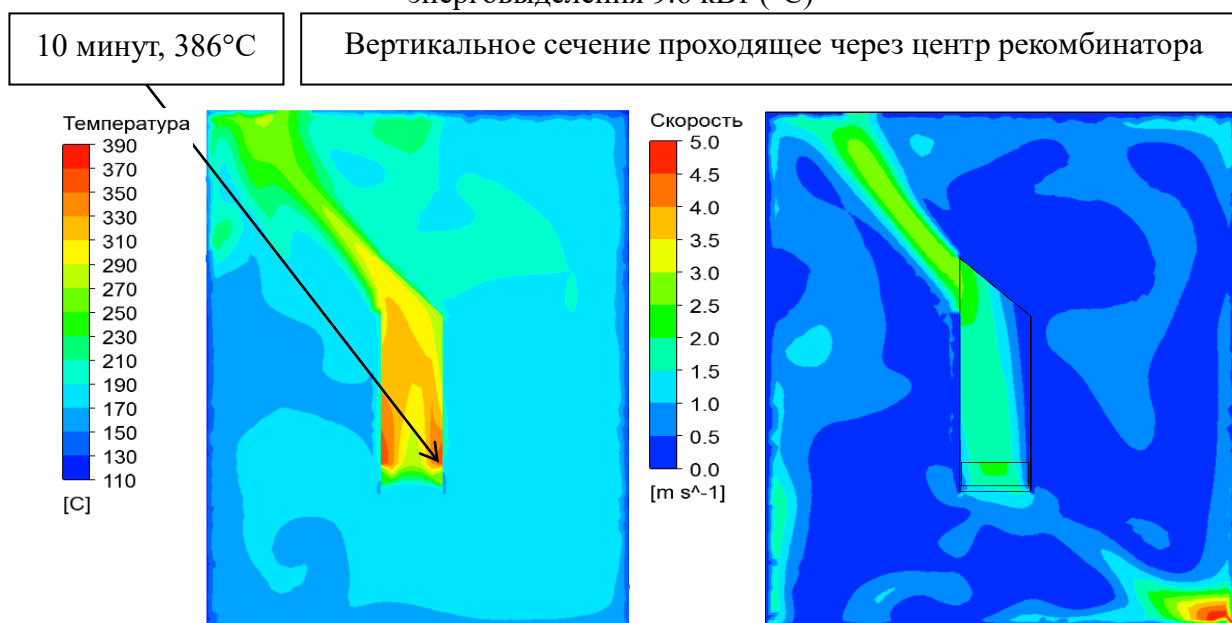


Рисунок 11-Температурное поле и камеры БМ-ЛР и рекомбинатора и поле скоростей воздуха при режиме энерговыделения 24 кВт (°C)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены результаты расчетных исследований температурных полей камер БМ-ЛР и БМ-П при различных режимах работы рекомбинатора. Определены максимальные значения температуры, и поля скоростей газовой смеси, движущейся в камерах при работе рекомбинатора.

При режиме энергоснабжения в катализаторе 9.6 кВт максимальная температура катализатора составляет 245°C на момент времени 12 минут, максимальная температура воздуха 240°C. Металлические стенки камеры нагреваются до 161°C, стенка из поликарбоната не достигает температуры плавления.

При режиме энергоснабжения в катализаторе 24 кВт максимальная температура катализатора составляет 386°C, значение температуры воздуха 383°C. Температура плавления 150°C на поликарбонатной стенке достигается через 3 минуты.

Литература:

1. Расчетные исследования теплового состояния испытательных стендов БМ-П и БМ-ЛР / А.А. Рякин, Е.С. Горбачева, О.В. Койнов, М.В. Никульшин, О.С. Путилин.-2017.-1 с, 19 с.-(Тезисы доклада, презентация на VI Всероссийской научно-практической конференции «Научная сессия НИЯУ МИФИ», декабрь 2017, Снежинск)
2. Экспериментальное исследование стратификации и горения ВПГС / И. В. Лавренюк, В. А. Симоненко, Е. В. Безгодов. - 2016. - 1 с., 8 с. - (Тезисы доклада, презентация доклада на Международную конференцию "XIII Забабахинские Научные Чтения", март 2017, Снежинск)