

# ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕМОНТАЖА ГРАФИТОВОЙ КЛАДКИ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.Э. Риф<sup>1</sup>, В.Е. Губин<sup>2</sup>

Томский политехнический университет<sup>1</sup>

ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5071<sup>1</sup>

Севастопольский государственный университет, доцент<sup>2</sup>

Россия вступила в новую эру в области ядерной энергетики. Этот этап, с одной стороны, связан с проектированием и строительством новых типов атомных электростанций, таких как станции с реактором на быстрых нейтронах (БРЕСТ-ОД-300), наземные атомные станции малой мощности на базе реакторной установки РИТМ-200 и многие другие проекты, реализуемые ГК «Росатом». С другой стороны, существует тенденция к выводу из эксплуатации энергоблоков, которые отработали свой проектный ресурс или их эксплуатация становится нецелесообразной с точки зрения экономики, экологии или политики. Вывод из эксплуатации сопровождается рядом вопросов, связанных с безопасным демонтажем, дезактивацией, утилизацией и хранением радиоактивных материалов. Наиболее тщательного подхода требует демонтаж графитовой кладки при выводе из эксплуатации уран-графитовых реакторов (УГР) [1].

В мире на данный момент существует более 100 разных типов УГР – энергетических, промышленных и исследовательских. Вывод из эксплуатации реакторов с графитовым замедлителем неизменно связан с большим количеством радиоактивных отходов в виде фрагментов графитовой кладки. Во всем мире существует более 250 000 тонн материала, включая графитовые замедлители и отражатели, поэтому графит становится основным потоком отходов, с которым необходимо бороться. После долгого облучения в реакторе графит не приобретает таких свойств, которые могли бы создать ему область полезного применения, поэтому он относится к категории твердых радиоактивных отходов среднего или высокого уровня активности. Основные проблемы, связанные с графитом, возникают из-за больших объемов, требующих утилизации, длительного периода полураспада основных радионуклидов и специфических свойств графита, таких как накопление энергии Вигнера, взрывоопасность графитовой пыли и потенциальный выброс радиоактивных газов [2].

В настоящее время существуют разные подходы к демонтажу уран-графитовых реакторов, однако нет реализованных или утвержденных проектов. Проект по демонтажу латиноамериканской атомной электростанции наиболее сформирован, однако при предлагаемом извлечении графитовых блоков таким образом, создаются большие напряжения внутри каналов, что может привести к разрушению графитового блока [2]. Необходимо разработать такую концепцию устройства, чтобы напряжения в материале были минимальными, а блоки извлекались наиболее целостными с уменьшением возможного образования графитовой пыли. Также процесс демонтажа реакторной установки сопряжен с дозовыми нагрузками порядка 2-50 Зв/ч. Поэтому комплекс по демонтажу оборудования должен позволить исключить присутствие персонала при проведении работ.

В настоящей работе предлагает робототехнический комплекс для захвата графитовых блоков из кладки, который позволит проводить работы без непосредственного контакта персонала с оборудованием. Кроме того, данная технология должна сократить негативное разрушающее воздействие на блоки, что позволит минимизировать выход радиоактивной пыли. Для анализа риска разрушения блоков проведено имитационное 3D-моделирование, которое позволило оценить разрушающее воздействие на графитовые блоки.

На данном этапе создана 3D-модель устройства захвата графитового блока, анимированы процессы захвата и поднятия блока, проведен анализ напряжений в самом графитовом блоке и в устройстве.

Устройство захвата состоит головки 1, которая содержит полый внутренний вал 2 с пазами. В нижнюю часть внутреннего вала 2 вставлена полая втулка 3. Втулка 3 прижимает к

торцу внутреннего вала 2 закругленные концы кулачков 4, расположенных по окружности под углом 90 градусов относительно друг друга. Пазы внутреннего вала 2 и головки 1 образуют направляющие кулачков 4. В исходном положении все кулачки 4 находятся в пазах внутреннего вала 2 и головки 1. Форма втулки 3 обеспечивает возможность отклонения кулачков 4 по направляющим пазам, что обеспечивает выход концов кулачков 4 из головки 1. При движении вниз внутреннего вала 2 кулачки 4 скользят по направляющим пазам головки 1. Происходит захват выбранного графитового блока снизу без нажима на внутреннюю поверхность отверстия в блоке. Жесткая фиксация в раздвижном положении обеспечивается прижимной гайкой 5. Такой вариант захвата графитового блока позволяет исключить образование продольных трещин и разрушение графитового блока при его перемещении (рисунок 1).

На рисунке 2 приведены напряжения в графитовом блоке. Как можно заметить, максимальные напряжения составляют 1,9 МПа, что относительно немного, и не приведет к разрушению графита.



Рис. 1. Устройство захвата графитовых блоков

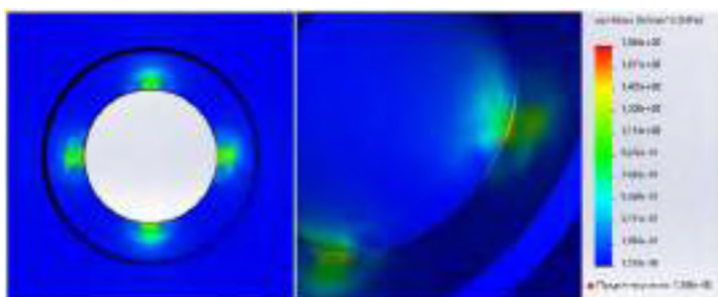


Рис. 2. Симуляция напряжений в графитовом блоке

На рисунке 3 представлены напряжения в кулачках устройства. Максимальные напряжения составляют 17,4 МПа, что не приведет к разрушению и деформации устройства захвата.

На рисунке 4 представлены 2 этапа взаимодействия устройства и графитового блока (слева – кулачки в сжатом состоянии внутри корпуса устройства, справа – произведен захват кулачками графитового блока)

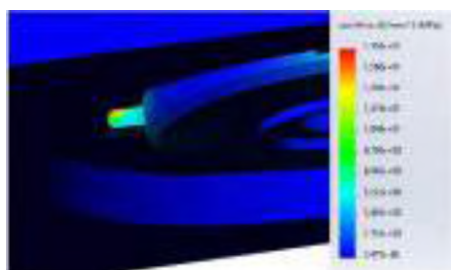


Рис. 3. Симуляция напряжений в кулачках устройства



Рис. 4. Этапы взаимодействия устройства и графитового блока (слева – кулачки в сжатом состоянии внутри корпуса устройства, справа – произведен захват кулачками графитового блока)

Таким образом, по результатам 3D-моделирования и симуляции процессов можно отметить, что данное решение, во-первых, позволяет исключить присутствие персонала при проведении демонтажа (дистанционное управление устройством), во-вторых, минимизирует риски разрушения графита и выхода графитовой пыли, что является актуальным требованием при процессах вывода из эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Бодров О.В., Кузнецов В.Н., Муратов О.Э., Талевлин А.А. Обращение с графитом при выводе из эксплуатации реакторов РБМК// [http://decommission.ru/wp-content/uploads/2020/03/Grafit\\_16.03.2020\\_рус.pdf](http://decommission.ru/wp-content/uploads/2020/03/Grafit_16.03.2020_рус.pdf)
2. Giuseppe Canzone, Rosa Lo Frano, Marco Sumini, Francesco Troiani. Dismantling of the graphite pile of Latina NPP: Characterization and handling/removal equipment for single brick or multi-bricks//Progress in Nuclear Energy. 2016. 93, 146-154

Научный руководитель: доцент, к.т.н. В.Е. Губин, зав.каф. ПТУ, СевГУ.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ НА РАБОТУ ЗАМКНУТОЙ ГТУ С ВОДОРОДНЫМ КОМПЛЕКСОМ

Н.В. Стецов

Томский политехнический университет  
ИШЭ, НОЦ И.Н.Бутакова, группа 5091

Энергоблоки с высокотемпературными гелийохлаждаемыми реакторами имеют большую перспективу в силу ряда достоинств, в том числе – возможности работы совместно с установкой, генерирующей водород по наиболее эффективной в настоящее время технологии высокотемпературного электролиза.

Данный метод производства водорода обладает многими преимуществами: отсутствие необходимости очищать водород после выработки («зелёный» водород), получение большого количества водорода примерно 1,5 кг  $H_2$  из 17 кг пара. Тенденция к потреблению и производству водорода в настоящее время сильно растут (рисунок 1). Цели данного сектора энергетики зафиксированы в ключевом отраслевом документе стратегического планирования – актуализированной Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года [1].

Нами выбрана наиболее привлекательная одноконтурная схема энергоблока (рисунок 2), Гелий на выходе из активной зоны реактора поступает в парогенератор, где отдает часть теплоты на генерацию высокоперегретого пара для электролизной установки. Далее гелий работает в замкнутом газотурбинном цикле с регенерацией теплоты.

Целью работы является исследование влияния управляемых при проектировании параметров (степени повышения давления в компрессоре, степени регенерации) на тепловую эффективность энергоблока и его основные характеристики. Особый интерес представляют зависимости КПД, расходов и количества производимого пара для установки.

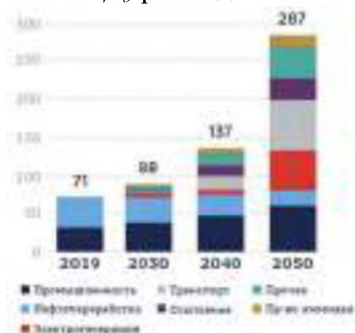


Рис. 1. Прогноз потребления водорода по сегментам экономики в мире, млн т/г

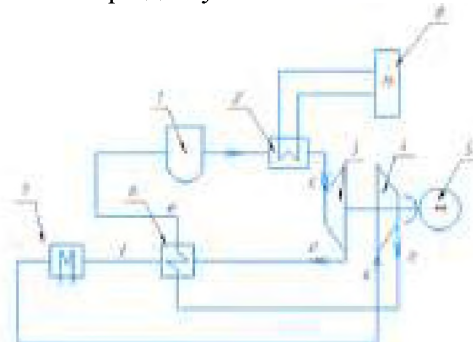


Рис. 2. Схема ГТУ с водородным комплексом и регенерацией теплоты:

1 – реактор, 2 – парогенератор, 3 – турбина,  
4 – компрессор, 5 – генератор, 6 – регенеративный  
подогреватель, 7 – охладитель, 8 – электролизёр