

УДК 621.039

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ НАТРИЯ ЧЕРЕЗ НАСЫПНОЙ СЛОЙ ГРАФИТА

И. А. Бессонов¹, С. В. Чалпанов², О. Л. Ташлыков³, В. А. Климова⁴

^{1,2,3,4} Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ ilja.bessonov2014@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена постановка задачи моделирования течения натрия через насыпной слой графита ловушки для удаления радионуклидов цезия из теплоносителя реактора на быстрых нейтронах. Построена твердотельная модель ловушки. Произведен оценочный расчет движения жидкого натрия через ловушку.

Ключевые слова: натриевый теплоноситель, ловушка цезия, реактор на быстрых нейтронах, компьютерное моделирование, вычислительная гидродинамика

THE PROBLEM STATEMENT OF THE SIMULATION OF SODIUM FLOW THROUGH A GRAPHITE FILTER BED

I. A. Bessonov¹, S. V. Chalpanov², O. L. Tashlykov³, V. A. Klimova⁴

^{1,2,3,4} Ural Federal University named after the First
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

¹ ilja.bessonov2014@yandex.ru

Реакторы на быстрых нейтронах имеют ряд преимуществ по сравнению с реакторами на тепловых нейтронах, основным из которых является возможность расширенного воспроизводства ядерного топлива. Ядерно-энергетические системы на основе быстрых реакторов являются одним из приоритетных направлений развития атомной

энергетики. В России технология быстрых реакторов с натриевым охлаждением является наиболее развитой: в настоящее время эксплуатируются два энергоблока Белоярской атомной электростанции (АЭС) с реакторами БН-600 и БН-800.

При расширении парка быстрых натриевых реакторов неизбежно возникнет проблема вывода таких энергоблоков из эксплуатации. В настоящее время окончательно остановлен энергоблок АЭС с реактором БН-350 (г. Актау, Казахстан).

Важной задачей при выводе АЭС с реакторами на быстрых нейтронах из эксплуатации является очистка натрия от изотопов цезия ^{134}Cs и ^{137}Cs , определяющих радиационную обстановку в первом контуре при работе реактора с негерметичными тепловыделяющими элементами (ТВЭлами). Эффективность улавливания цезия обычными холодными фильтр-ловушками мала. Для очистки натриевого теплоносителя от цезия используют специальные ловушки с графитовым материалом. Графиты образуют с цезием устойчивые химические соединения — графитиды, поэтому эффективно улавливают цезий из натриевого теплоносителя. Локализация цезия в ловушке приводит к его десорбции и снижению поверхностного загрязнения контура циркуляции [1; 2]. Использование таких ловушек позволит существенно улучшить радиационную обстановку, снизить дозы облучения персонала, длительность, стоимость ремонта и демонтажа.

На рис. 1, а показано устройство цезиевой ловушки. Поток натрия входит в ловушку через центральный входной трубопровод 8 под давлением 0,4 МПа. После смены направления потока и уменьшения его скорости натрий проходит через слой стеклоуглеродного сорбента 5. Стеклоуглеродный сорбент в виде набранного пакета цилиндрических дисков устанавливается внутри обечайки из нержавеющей стали 2 и удерживается на месте с помощью сеток в виде перфорированных пластин 3, установленных сверху и снизу сорбента. После прохождения через сорбент очищенный натрий проходит через сетчатый фильтр 4 из нержавеющей стали, предназначенный для задержки мелких частиц стеклоуглерода, которые могут быть захвачены потоком натрия. После фильтра натрий выходит из ловушки и течет через экономайзер обратно в первый контур реактора. Каждая ловушка имеет электронагреватели для поддержания цезия в расплавленном состоянии в случае остановки и охлаждения системы. Снаружи нагреватели покрыты термоизоляцией и проволочной сеткой, приваренной к корпусу

ловушки для удержания электропроводки внутри защитной оболочки ловушки.

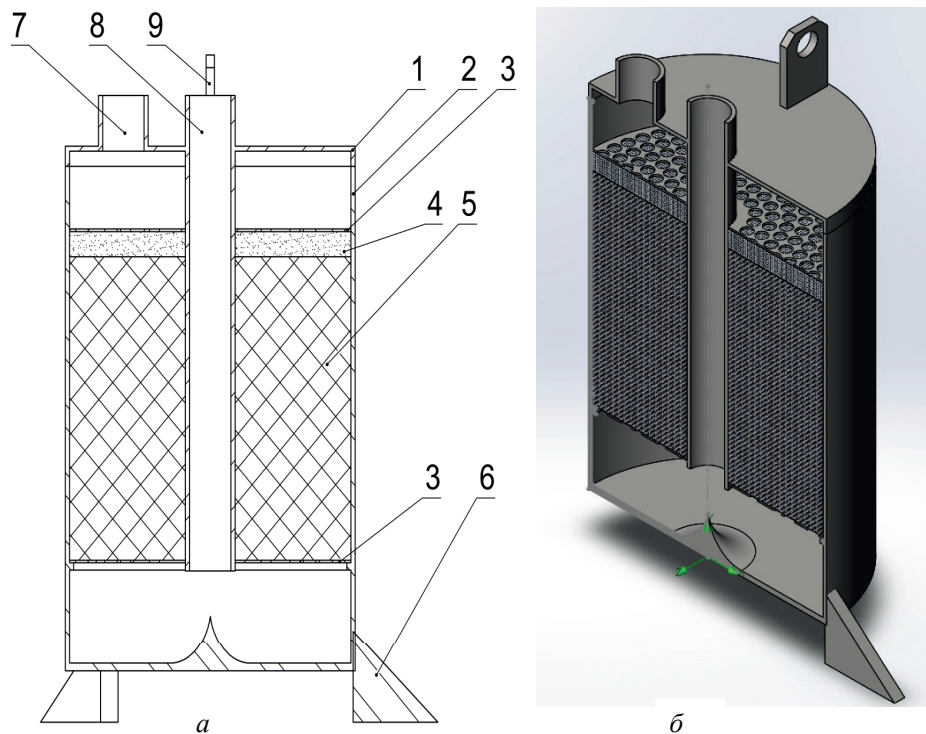


Рис. 1. Цезиевая ловушка (а) и ее модель (б):

- 1 — крышка; 2 — корпус; 3 — перфорированная пластина; 4 — фильтр;
 5 — углерод; 6 — опорные ножки; 7 — выходной патрубок;
 8 — входной патрубок; 9 — кронштейн — держатель кабелепровода

Целью настоящей работы является компьютерное моделирование гидродинамики и теплообмена в цезиевой ловушке. Анализ результатов моделирования позволит выяснить, какие гидродинамические процессы влияют на эффективность ловушки, и оптимизировать ее конструкцию. Для решения поставленной задачи был выбран пакет моделирования SOLIDWORKS Flow Simulation, который позволяет моделировать движение и теплообмен потока жидкости в пористой среде [3]. Была создана твердотельная модель ловушки (рис. 1, б).

Проведено моделирование течения натрия в ловушке через пористую поверхность сорбента и через металлический фильтр. В первом

приближении в качестве пористого материала сорбента было выбрано пористое тело из инженерной базы данных Flow Simulation, обладающее похожими характеристиками. Также в расчете не рассматривался теплообмен натрия с окружающей средой.

В результате расчета были получены поля температур, давлений и скоростей в центральной плоскости ловушки и данные по сопротивлению течению. Моделирование показало принципиальную возможность использовать Flow Simulation для решения поставленной задачи, однако для верификации модели необходимы экспериментально определенные характеристики пористых материалов фильтров.

В перспективе планируется разработка нескольких вариантов ловушки. Предусматривается проверка их на способность проводить поток оптимальным образом, т. е. добиться максимального снижения потерь энергии потока при прохождении через ловушку.

Список источников

1. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем : в 2 ч. / А. И. Бельтюков [и др.] ; под общ. ред. С. Е. Щеклеина, О. Л. Ташлыкова. Екатеринбург : УрФУ, 2013. Ч. 1. 548 с.
2. Обращение с натриевым теплоносителем реактора на быстрых нейтронах / И. Таджибаева [и др.]. Алматы : НТЦ БЯТ, 2010.
3. Solidworks Flow Simulation, 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-flow-simulation> (дата обращения: 10.12.2020).