

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАПСУЛЫ С СЭНДВИЧ ЭКРАНОМ ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО ОКРАШИВАНИЯ ТОПАЗОВ В РЕАКТОРЕ ВВР-К

Айтқұлов М.Т.*., Сайранбаев Д.С.*, Чихрай Е.В.**., Аханов А.М.*., Киселев К.С.*., Гизатулин Ш.Х.*., Шаймерденов А.А.*., Несіпбай А.Ж.*

* - РГП на ПХВ «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан, ул. Ибрагимова 1, 050032 Алматы, Республика Казахстан

** - Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби 71, 050040, Алматы, Республика Казахстан

ВВЕДЕНИЕ

Радиационное окрашивание полудрагоценных камней в частности топазов является одной из перспективных прикладных задач реализуемой в исследовательском реакторе. Но для успешной реализации данной задачи обычно создаются определенные условия облучения, которые обеспечивают жесткий спектр нейтронов, и соответствующую температуру облучения. В настоящее время, в мире, активно ведутся новые разработки по проектированию конструкций облучательной капсулы для радиационного окрашивания топазов. Такие облучательные устройства позволяют отсекал тепловые и эпитепловые нейтроны, тем самым минимизируют остаточную радиоактивность на топазах, что приводит к сокращению времени отстоя камней.

Однако, точное копирование конструкции облучательной капсулы практически невозможно, так как каждый реактор имеет свои специфические особенности, которые необходимо учесть при разработке капсулы. В связи с этим видится актуальной задачей разработка такой капсулы для реактора ВВР-К. В данной работе приводятся описание одного из вариантов конструкции капсулы и результаты теплофизического анализа.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

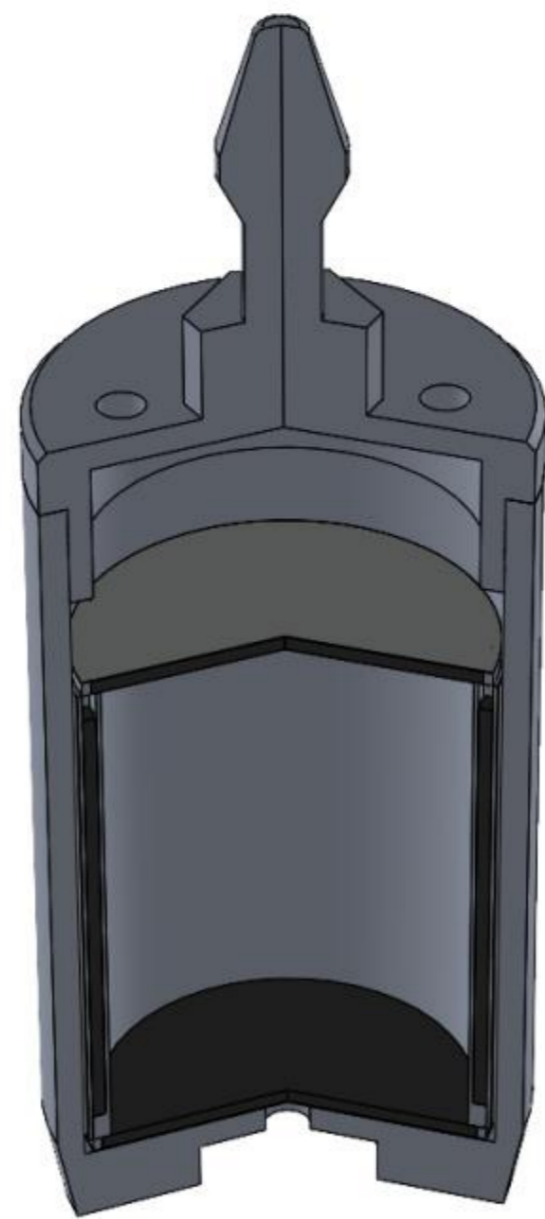


Рисунок 1- трехмерный вид облучательной капсулы

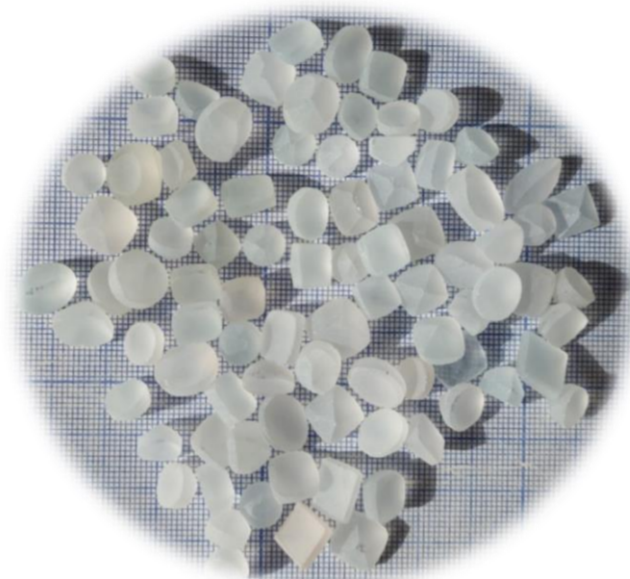


Рисунок 2- внешний вид необлученных топазов

Теплофизические расчеты капсулы проведены комплексом COMSOL Multiphysics, предназначенного для моделирования комплексных физических задач. Для расчета применялась осесимметричная геометрия упрощенно, но физически адекватно, отображающая строение и размеры капсулы с образцами облучаемого топаза и радиационным экраном и окружающую его часть облучательного канала (области воды сверху и снизу пенала, стенку канала ВВР-К из алюминиевого сплава и 1-мм водяной зазор между стенкой канала и пеналом). Нейтронно-физические расчеты проводились методом Монте-Карло с применением транспортного кода MCNP6. В расчетах использовалась библиотека ядерных констант ENDF/B-VII.1.

Облучательное устройство представляет собой капсулу с топазами и радиационным сэндвич экраном, модифицирующими плотность и спектр нейтронов, облучающих топазы, и образующие источник тепла под действием реакторного излучения. Капсула погружается в водяной облучательный канал реактора так, что середина высоты пенала находится на уровне центра активной зоны реактора. Главным элементом капсулы является радиационный экран, который состоит из двух материалов: тантала и карбида бора. Температура воды в канале и начальная температура устройства равна 40°C. Трехмерный вид капсулы и внешний вид топазов показаны на рисунках 1 и 2.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты расчетного моделирования теплового поля в облучательной капсуле с топазами показаны на рисунках 3 и 4. Исходными условиями для задачи считалось температура всех материалов модели равная 40°C. Давление равно атмосферному с учетом гидростатической добавки на высоту водяного столба. Тепловые контакты идеальны и не нарушаются в ходе нагрева. Фазовые изменения свойств воды других материалов в ходе нагрева не учитываются. Рассмотрены два режима охлаждения: принудительное и естественная конвекция. Скорость подачи воды на верхней границе модели при принудительном охлаждении составило $V_{in}=0.3$ м/с.

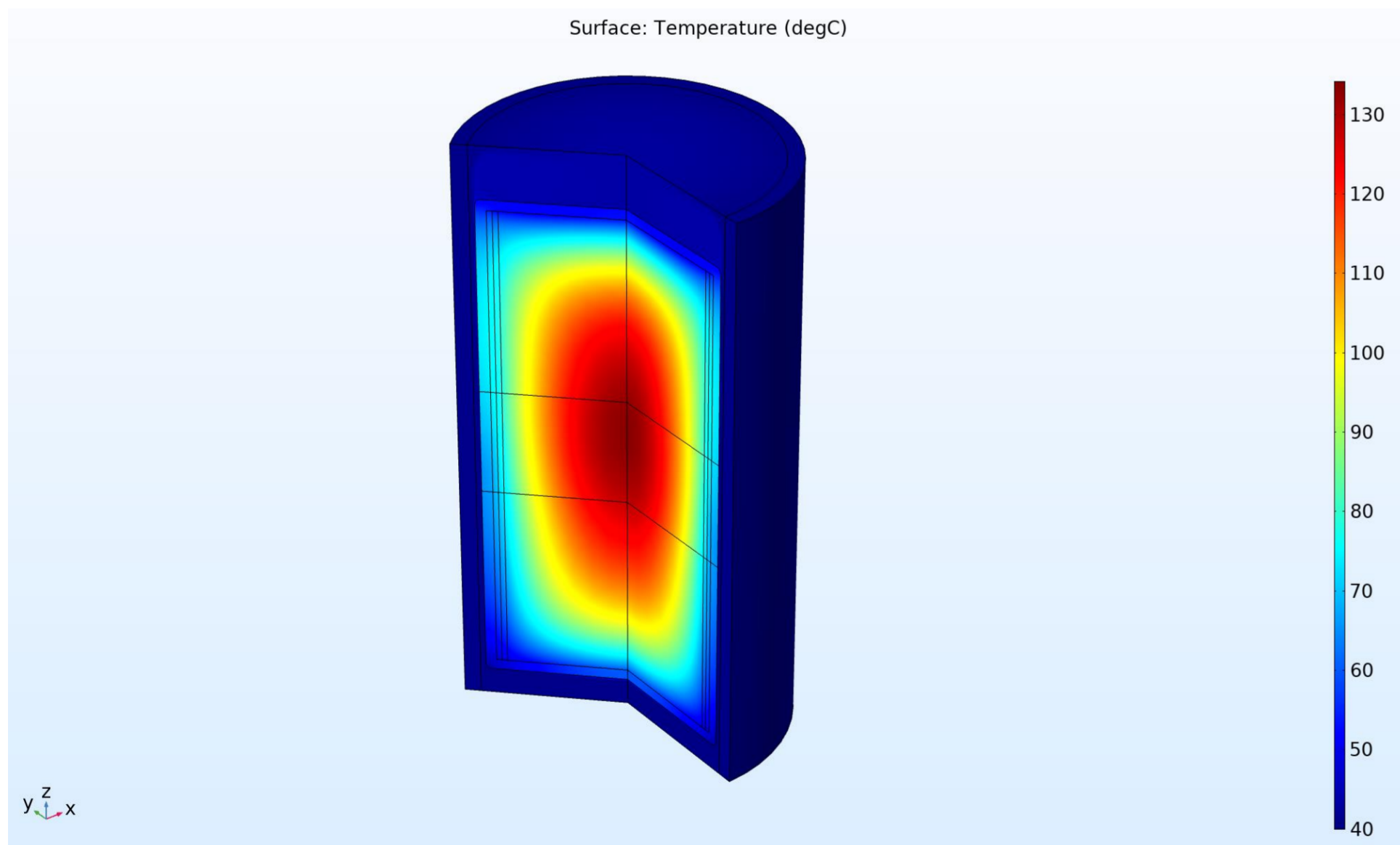


Рисунок 3 - Трехмерная реконструкция стационарного поля температур по области моделирования при принудительном охлаждении капсулы

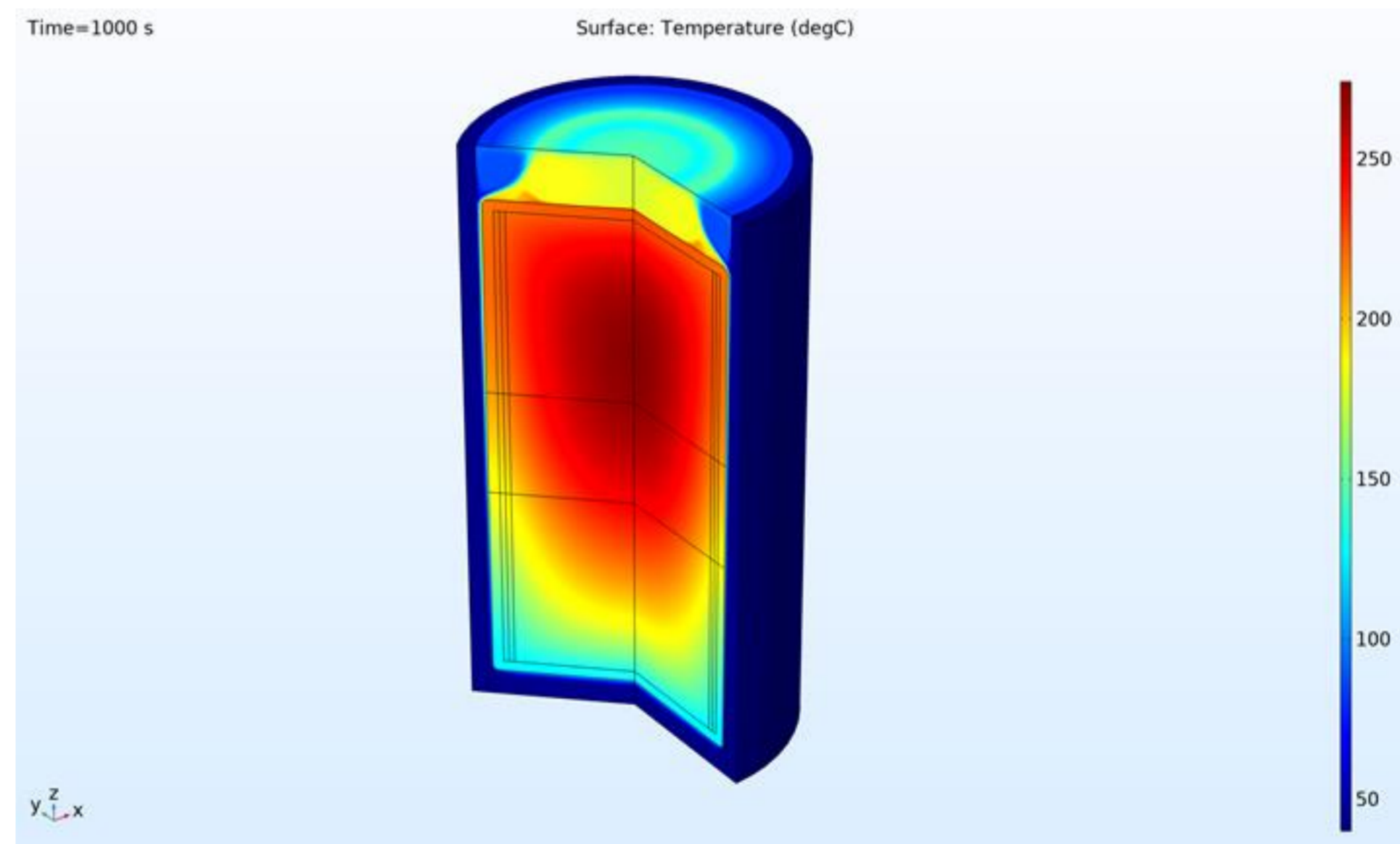


Рисунок 4 - Трехмерная реконструкция стационарного поля температур (на момент времени t=1000 секунд) по области моделирования при отсутствии принудительного охлаждения капсулы

В таблице 1 приведены значения радиационного энерговыделения конструкционных материалов капсулы и топазов.

Материал	Радиационное тепловыделение, Вт/г	Радиационное тепловыделение, Вт/см ³
Алюминий	2.64	7.13
Кадмий	16.00	138.4
Карбид бора	21.11	53.2
Топазы	2.83	10.07

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, в рамках программы №BR10965174.

ВЫВОДЫ

При принудительном охлаждении капсулы водой с температурой 40°C и скоростью прокачки 0.3 м/с, температура корпуса капсулы не превысит 70°C.

Температура топазов при штатной эксплуатации достигнет 134°C. При прекращении подачи воды (в режиме конвекционного охлаждения) температура поверхности пенала достигнет 100°C в течение 20-40 секунд с момента отключения потока и вода на верхней крышке начнет кипеть, еще более снижая охлаждение пенала. Через 300-500 секунд пенал достигнет равновесных температур. Максимальная расчетная температура будет в центральной области расположения топазов и достигнет 274°C.