

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-3-147-155>

УДК 519.876.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОМИЧЕСКОГО НАГРЕВА ЭЛЕКТРОДА УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ ANSYS

Е. А. Кабдылкаков*, А. С. Сураев, Н. Е. Мухамедов, С. А. Должиков, А. В. Пахниц

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

* E-mail для контактов: kabdyllakov@nnc.kz

В работе представлены результаты моделирования омического нагрева электрода установки для электрошлакового переплава (ЭШП) в программном пакете ANSYS. Приводится описание установки ЭШП, которая предназначена для переплавки металлов с целью их очистки от радионуклидов. Предложен метод моделирования данного процесса, который заключается в проведении междисциплинарного расчета в программных модулях *Electric* и *Transient Thermal* пакета ANSYS. Полученные результаты показывают, что данный метод проведения расчета позволяет рассчитывать энерговыделение и получать соответствующее распределение температуры в электроде. Эти результаты могут быть использованы для подбора электродов различной геометрической формы и материалов, а также для отработки режимов работы установки электрошлакового переплава.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав, электрод, ANSYS, программный пакет, Омический нагрев, моделирование, температура.

ВВЕДЕНИЕ

Вывод из эксплуатации ядерных исследовательских и энергетических установок и очистка загрязненных площадок ведут к образованию радиоактивных отходов, которые требуют специального обращения и, в конечном итоге, захоронения. В этой деятельности используется множество разных методов для минимизации объема радиоактивных отходов, но она все же приводит к накоплению больших количеств радиоактивных отходов (РАО), к которым относятся как жидкие отходы (ЖРО), так и твердые (ТРО). Наибольший вклад в общее количество накопленных ТРО вносят изделия из металлов и сплавов [1]. В современном мире ликвидация радиоактивных отходов осуществляется методом их захоронения, которое варьируется от приповерхностных хранилищ до специально оборудованных инженерных геологических хранилищ. В странах-членах МАГАТЭ существует уже более ста таких захоронений, некоторые из них еще продолжают принимать отходы, а также многие находятся на различных стадиях разработки и строительства [2].

В Казахстане, как и во всем мире, существует проблема, связанная с хранением и обращением металла, имеющего радиоактивное загрязнение, оставшегося после производств по добыче и переработке урановой руды, а также металла, использовавшегося ранее в конструкциях технологического оборудования исследовательских ядерных реакторов НЯЦ РК и реактора БН-350. Поэтому перед специалистами стоит задача переработки данных радиоактивных отходов. Одним из методов переработки металлических радиоактивных отходов является электрошлаковый переплав (ЭШП).

ЭШП сталей и сплавов является активным металлургическим процессом, в результате которого переплавляемый металл в значительной степени

очищается от вредных примесей, газов и неметаллических включений. Сравнительно небольшой объем жидкой металлической ванны и направленная кристаллизация при ЭШП обеспечивают получение плотной и однородной структуры металла. Электрошлаковый переплав значительно улучшает качество сталей и сплавов практически всех групп.

В филиале ИАЭ НЯЦ РК проводятся исследования по применению электрошлакового переплава как метода очистки нержавеющей стали от трансураниевых элементов. Для электрошлакового переплава используется установка ЭШП, которая была создана на базе аппарата электрошлаковой сварки А-550У [3].

Ранее на установке ЭШП были проведены эксперименты, в которых осуществлялся переплав радиоактивных нержавеющей сталей труб. Результаты данных экспериментов качественно подтвердили принципиальную возможность применения электрошлакового переплава для очистки нержавеющей стали от радиационного загрязнения [3–4].

Металлические радиоактивные отходы, которые служат электродом при электрошлаковом переплаве, имеют различную конструкцию, форму и выполнены из разных материалов, что влияет на распределение тока в них, а значит и на энерговыделение. Для проведения исследований по переплаву различных конструкционных сталей установкой ЭШП, необходимо иметь возможность расчетного прогнозирования процесса переплава стали, что позволит оценить время нагрева электрода до точки плавления, определить область начала образования расплава и установить зависимость этих параметров от геометрических особенностей переплавляемых образцов и их материала.

Для проведения прогноза следует использовать специальное программное обеспечение, предназначенное для моделирования электрофизических и

теплофизических процессов. Данным программным обеспечением служит ANSYS – программный пакет для проведения инженерного анализа, который располагает модулями для моделирования электродинамических и теплофизических процессов [5].

Таким образом, целью данной работы является проведение моделирования процесса омического нагрева электрода установки ЭШП в программном пакете ANSYS.

ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА ДЛЯ ОЧИСТКИ РАДИОАКТИВНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Основным узлом любых установок для электрошлакового переплава является электрошлаковая печь. В данной печи происходит переплав радиоактивных металлических элементов, которыми служат электроды, при этом, разогрев и плавление электродов, осуществляется омическим нагревом. Расплавленный металл опускается к бассейну расплава сквозь расплавленный флюс, при этом в ходе процессов электрохимического взаимодействия металла с компонентами флюса происходит выборочное извлечение одних или внесение других элементов в состав металла (рисунок 1).

Процесс электрошлакового переплава сопровождается следующими физическими процессами:

- 1) протекание электрического тока через стальной электрод установки;
- 2) нагрев электрода за счет выделения тепла по закону Джоуля-Ленца;
- 3) процесс плавления электрода;
- 4) нагрев кристаллизатора и поддона;
- 5) охлаждение кристаллизатора, поддона и расплава за счет подачи воды.

При начале процесса электрошлакового переплава в кристаллизаторе происходит плавление флюса и нижнего торца электрода, тем самым образуя ванну расплава. Далее электрод непрерывно подается в ванну расплавленного флюса, где электрическое сопротивление флюса выше, за счет выделяемого во флюсе тепла заготовка оплавляється и капли металла стекают вниз, образуя слиток.

Сама установка ЭШП филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК состоит из следующих элементов (рисунок 2):

- 1) лабораторная электрошлаковая печь;
- 2) кристаллизатор,
- 3) поддон;
- 4) трансформатор ТШС-3000;
- 5) система водяного охлаждения и сбора сточных вод;
- 6) система автономной вентиляции.

Кристаллизатор и поддон установки предназначены для формирования и получения застывших цилиндрических слитков очищенного металла, полученных в процессе электрошлакового переплава. В кристаллизаторе происходит плавление электродного металла, рабочего флюса и формирование слитка в процессе принудительного охлаждения жидкого металла.

Кристаллизатор состоит из двух основных деталей – наружного кожуха и кокиля. Кожух кристаллизатора представляет собой отрезок трубы, к которой приварены нижний и верхний фланцы. В боковой поверхности трубы устроены отверстия, снабженные подводными и сливными патрубками. На кожухе устанавливают кронштейны для крепления кристаллизатора к поддону. Крепление кожуха кристаллизатора к кокилю осуществляется с помощью фланцевых соединений (рисунок 3 а, б).

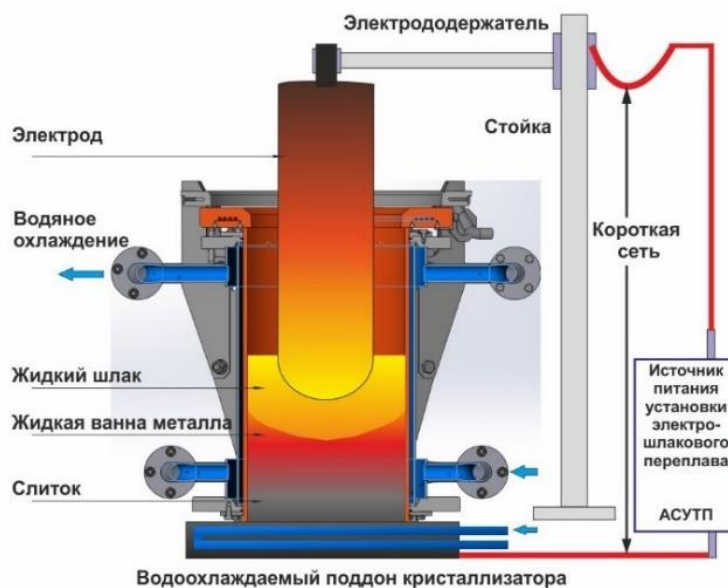


Рисунок 1. Схема электрошлакового переплава



1 – электрошлаковая печь; 2 – кристаллизатор; 3 – поддон; 4 – трансформатор; 5 – система водяного охлаждения и сбора сточных вод; 6 – система автономной вентиляции

Рисунок 2. Внешний вид установки ЭШП



а) кристаллизатор и поддон



б) медный кокиль

Рисунок 3. Кристаллизатор на поддоне и медный кокиль

Кристаллизатор и поддон установки охлаждается водой. Система автономной вентиляции обеспечивает безопасность проведения работ, удаляя радиоактивно опасные элементы из окружающего пространства.

На установке проведены эксперименты для обоснования возможности применения метода электрошлакового переплава для очистки от радиоактивных металлов, применяющихся в составе технологического оборудования исследовательских реакторов РГП НЯЦ РК, от изотопов урана (рисунок 3 а). Объектом переплава служили радиоактивно загрязненные стальные трубы, которые применялись в высокотемпературном газоохлаждаемом реакторе (ныне реактор ИВГ.1М).

Стальные трубы для очистки выполняли роль электродов и были сплюснены (рисунок 4 б). К сплюсненным жаровым трубам приваривался наконечник – инвентарная головка, предназначенная для крепления электрода в держателе электрошлаковой печи (рисунок 4 в).



а) жаровая труба в исходном состоянии



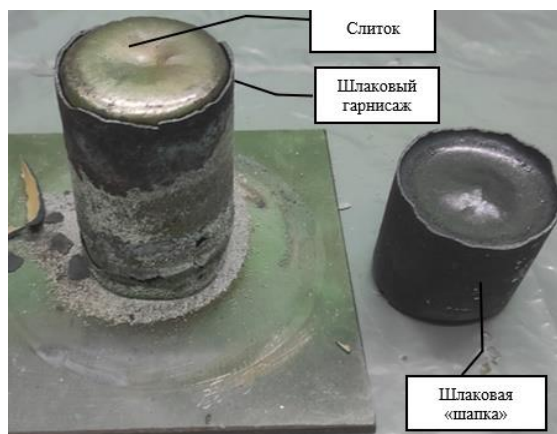
б) жаровая труба после сплющивания



в) жаровые трубы с приваренными инвентарными головками (слева)

Рисунок 4. Этапы изготовления электродов из жаровых труб

Всего проведено 2 эксперимента по переплаву жаровых труб. В результате эксперимента получены слитки жаровых труб (рисунок 5) и установлено снижение количества U-235 в металле до значений минимально детектируемой активности и значительное снижение Cs-137. Обнаружено наличие U-235 и Cs-137 в шлаке и фильтрующих элементах системы автономной вентиляции.



а) слиток после переплава электрода



б) результат разделки слитка

Рисунок 5. Слиток, полученный в результате переплава стальных труб

Эксперименты по очистке радиоактивных жаровых труб проводились без контроля температуры электрода, поэтому результаты расчетного моделирования необходимы для оценки распределения температурного поля электрода.

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ОМИЧЕСКОГО НАГРЕВА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ ANSYS

Программный пакет ANSYS предоставляет возможность проведения междисциплинарных расчетов за счет взаимодействия различных модулей через платформу ANSYS Workbench.

В работе [6] в программном пакете ANSYS проведены междисциплинарные расчеты по моделированию термомеханических напряжений в реакторном экспериментальном устройстве. В данной работе проводится расчет теплового состояния экспериментального устройства в программе ANSYS FLUENT, далее результаты расчета передаются в программный модуль Static Structural, где происходит расчет механических напряжений (рисунок 5).

ANSYS Workbench – это интегрированная платформа для численного моделирования, разработанная компанией ANSYS, Inc. Данная платформа представляет единое рабочее пространство для проведения анализа через различные программные продукты и модули. Данная программа объединяет все этапы моделирования в едином интерфейсе, включая создание геометрии, построение сетки, настройку физических параметров, проведение расчетов и обработку результатов. Модульный подход позволяет пользователям легко переключаться между различными этапами анализа и каждый модуль отвечает за определенный этап моделирования.

При работе в среде ANSYS Workbench различные модули составляют схему проекта (Project Schematic). Схема проекта позволяет пользователям настраивать свои процессы моделирования, оптимизировать исследование с помощью параметрического управления. Связь между различными модулями устанавливается с помощью курсора мыши и визуально отражается линией между ними (рисунок 6).

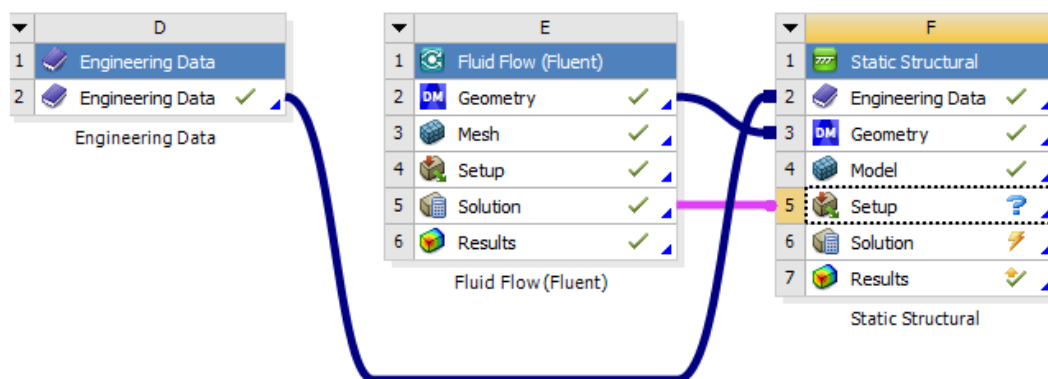


Рисунок 6. Пример взаимодействия различных программных модулей пакета ANSYS через платформу ANSYS Workbench [6]

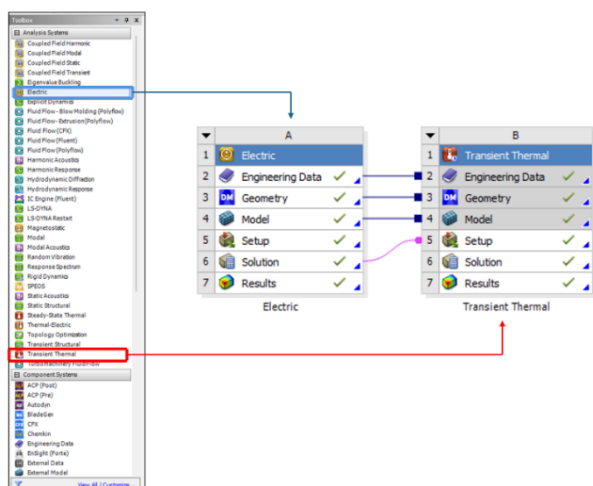


Рисунок 7. Проектная схема взаимодействия модулей *Electric* и *Transient Thermal* для расчета омического нагрева

Для моделирования процесса омического нагрева необходимо использовать программные модули, которые позволяют моделировать электрофизические и теплофизические процессы. Также, данные программные модули должны иметь возможность взаимодействовать между собой и передавать результаты расчета электрофизических процессов в программу для расчета теплофизического состояния объекта исследования. Вышеперечисленным требованиям удовлетворяют программы *Electric* и *Transient Thermal* (рисунок 7).

Модуль *Electric* позволяет выполнять моделирование стационарных электрических полей с возможностью задания тока и электрического напряжения. Он используется для определения распределения плотности тока, электрического поля и выделения Джоулева тепла.

Модуль *Thermal Transient* позволяет проводить нестационарные расчеты теплового состояния. В данном программном модуле имеется возможность задавать на объект исследования температуру, внутреннее энерговыделение, внешнюю подачу и отдачу тепла, конвективную теплопередачу, загружать результаты расчетов из других программных модулей пакета ANSYS.

На рисунке 8 показано дерево проекта по расчету омического нагрева через модули *Electric* и *Transient Thermal*. При передаче результатов расчетов из программы *Electric* в программу *Transient Thermal* осуществляется автоматическое построение единого дерева проекта для междисциплинарного расчета.

Для проведения инженерно-физического моделирования в программном пакете ANSYS необходимо осуществить построения геометрии исследуемого объекта и конечно-элементной сетки с использованием программ *Design Modeler*, *Space Claim* и модуля *Meshing*.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Электрод установки ЭШП представляет собой сварную конструкцию из наконечника – стального прутка диаметром 60 мм и длиной 400 мм, к которому приваривается переплавляемая стальная труба. Перед началом переплава наконечник крепится в электродержатель установки ЭШП, клеммы которого подключаются к трансформатору ТШС.

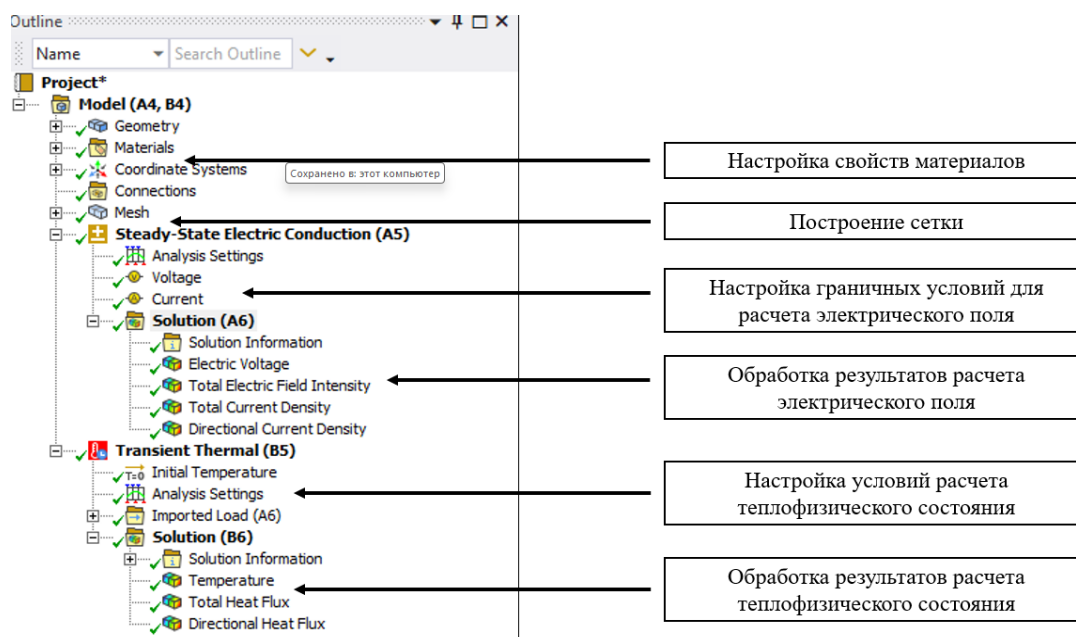


Рисунок 8. Дерево проекта по расчету омического нагрева

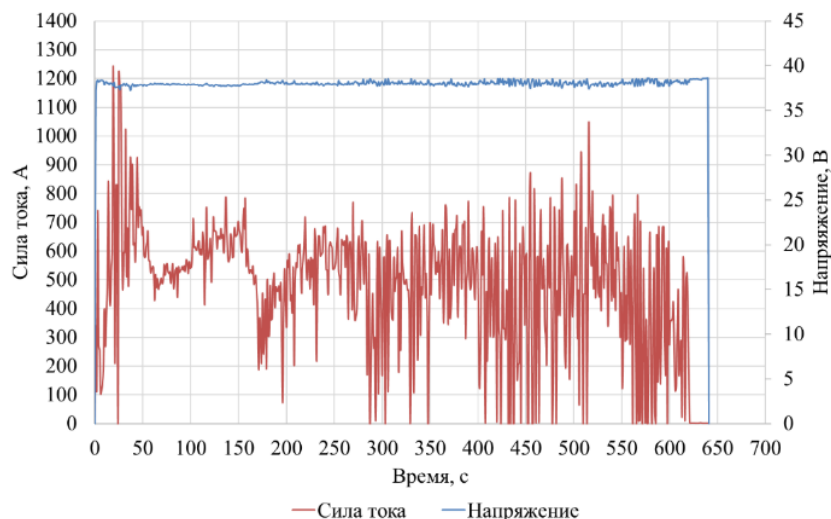


Рисунок 9. Диаграмма изменения напряжения и силы тока, зарегистрированные в эксперименте по электрошлаковому переплаву при напряжении 38 В

Переplав электродов выполнялся по методу «холодного» старта с использованием затравки (металлической пластины толщиной 8–10 мм) и «жучка» (плотного пучка металлической стружки диаметром около 40 мм, установленного между электродом и затравкой), необходимых для обеспечения начала плавления флюса и электрода.

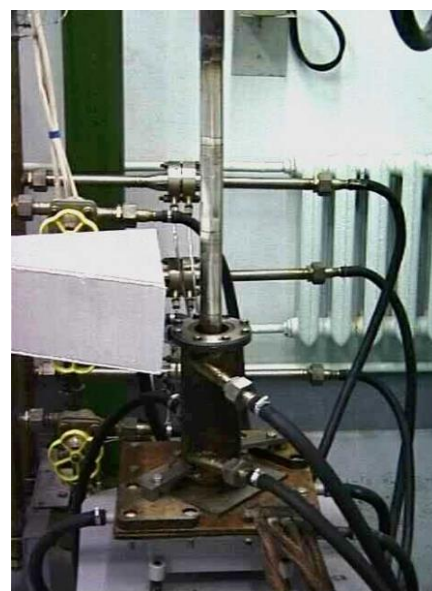
Эксперименты по переplаву жаровых труб проводились при напряжениях 32 В и 38 В. При этом сила тока во время экспериментов достигала максимального значения 1240 А (рисунок 9).

Для проведения расчетов необходимо построить расчетную модель переplавляемого электрода и задать граничные условия аналогичные эксперименту по переplаву. Моделируемый процесс омического нагрева и функциональные возможности программных модулей *Electric* и *Transient Thermal* не позволяют моделировать процесс образования расплава. Поэтому, задавая граничные условия аналогичные эксперименту, необходимо смоделировать распределение поля температуры в электроде при омическом нагреве.

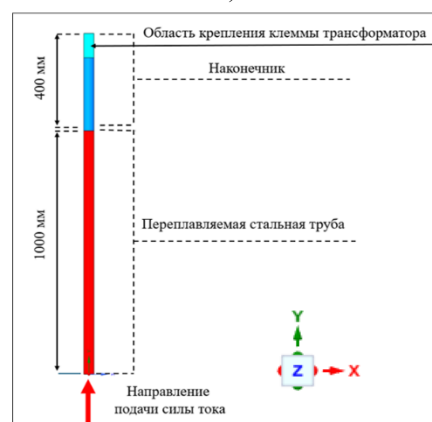
При моделировании «холодного» старта процесса электрошлакового переplавки учитывается наличие в кристаллизаторе расплавленного флюса в количестве 500 грамм, которое обеспечивает начало плавления электрода. Поэтому нижний торец электрода в самом начале расчета имеет значение температуры выше точки фазового перехода стали 1400 °С (1673 К).

ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОДА УСТАНОВКИ ЭШП

Для моделирования омического нагрева построена геометрическая модель стального электрода, который состоит из наконечника и стальной трубы длиной 400 мм и 1000 мм соответственно. Диаметр электрода равен 40 мм (рисунок 10).



а)



б)

Рисунок 10. Электрод установки ЭШП, установленный в кристаллизатор (а) и его геометрическая модель (б)

Данная модель была загружена в программу *Electric*, где построена конечно-элементная сетка и заданы начальные и граничные условия расчета электрического поля. При расчете протекания электрического тока через электрод заданы следующие начальные условия:

- постоянная температура нижнего торца электрода, К..... 1800
- начальная температура электрода, К..... 295
- заданное напряжение, В..... 38
- сила тока, А..... 800
- коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К) 5
- излучательная способность стали 0,5

Электрофизические и теплофизические свойства материалов заданы согласно справочной литературе [6–8].

Стационарный расчет электрического поля в программном модуле *Electric* проводится при постоянных значениях напряжения и силы тока. Поскольку в экспериментах сила тока изменяется в процесс переплава, необходимо провести серию расчетов с несколькими значениями силы тока, при этом напряжение является постоянным.

Далее, после проведения расчета в программе *Electric*, результаты расчета загружаются в программу *Transient Thermal*, где выполняется нестационарный расчет теплового состояния с учетом конвективного и лучистого теплообмена. Расчет теплового состояния проводится в течение 640 с, что соответствует длительности эксперимента по переплаву жаровых труб.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Модуль *Electric* позволяет проводить оценку выделенного Джоулевого тепла (рисунок 11).

Максимальное значение выделенного Джоулевого тепла в переплавляемой стальной трубе составляет 8,55 МВт/м². В наконечнике электрода значение Джоулевого тепла в максимуме составляет 0,3 МВт/м².

По результатам расчета получены распределения температуры электрода для различных значений времени (рисунок 12). Полученные распределения

показывают динамическую картину изменения температуры в электроде.

Согласно полученным распределениям, температура электрода начинает увеличиваться в торцевой части электрода со стороны расположения флюса и направления приложения силы тока. По мере увеличения времени приложения напряжения температура переплавляемой стальной трубы увеличивается. Температура электрода в области наконечника электрода ниже относительно области стальной трубы и не превышает значения 400 К в течение всего расчета. Средняя температура в области стальной трубы при расчетном времени 600 с составляет 820 К.

На рисунке 13 представлены распределения температуры электрода при различных значениях силы тока при времени расчета 600 с и напряжении 38 В.

Результаты расчетов, представленные на рисунках 12–13 показывают, что температура стальной трубы под действием электрического тока не превышает точку фазового перехода, т. е. плавление электрода происходит в ванне расплава за счет его более высокого электрического сопротивления. В таблице 1 представлены средние значения температуры в области переплавляемой части электрода в зависимости от приведенной силы тока на 600-й секунде.

Таблица 1. Среднее значение температуры электрода в зависимости от силы тока на 600-й секунде

Сила тока, А	Температура, К
600	674
700	752
800	820
900	881
1000	936
1100	987
1200	1034

Согласно рисунку 13 и таблице 1, с увеличением силы тока увеличивается температура в области переплавляемой стальной трубы, что связано с общим увеличением энергонапряжения.

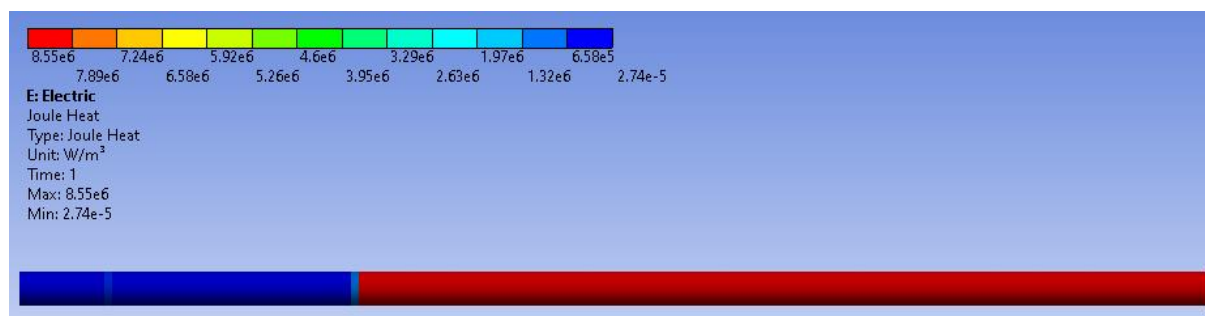


Рисунок 11. Распределение Джоулевого тепла в электроде

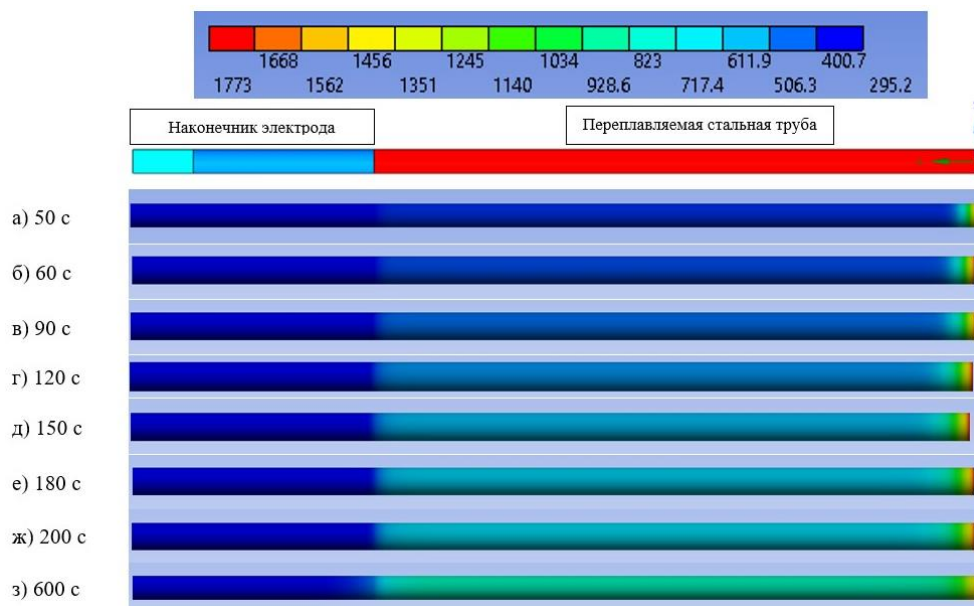


Рисунок 12. Распределение температуры в электроде при силе тока 800 А

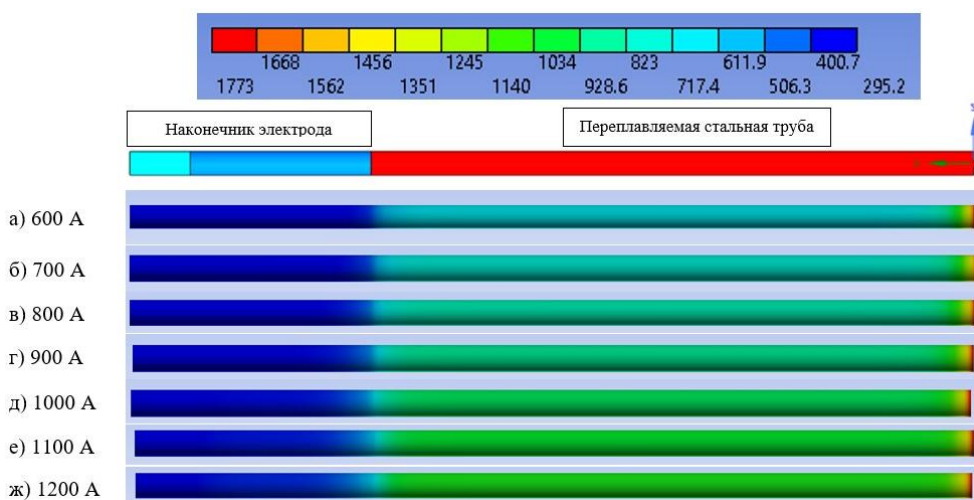


Рисунок 13. Распределения температуры электрода при различных значениях силы тока и времени 600 с

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты моделирования показывают, что программный пакет ANSYS позволяет проводить оценку теплового состояния переплавляемого электрода установки для электрошлакового переплава. Метод проведения междисциплинарных расчетов омического нагрева заключается в использовании связанных программных модулей *Electric* и *Thermal Transient*. Результаты проведенных расчетов позволяют определить распределение температуры в электроде на протяжении всего процесса переплава и при различных значениях силы тока, оценивать область наибольшего выделения Джоулевого тепла в электроде. Этот расчетный метод может быть использован при выборе и обосновании режимов электрошлакового переплава.

Работа выполнена в рамках проекта программно-целевого финансирования BR24993118-ОТ-24 «НИИР по обоснованию выбора и реализации технологии переработки твердых радиоактивных отходов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Что такое радиоактивные отходы? / Юкия Аmano [и др.] // Журн. IAEA Bulletin. – 2014. – № 55/3. – С. 3-4.
2. Радиационная безопасность и безопасность отходов: укрепление национального потенциала / Пауло Барретто, Джеффри Уэбб, Хаммар Мрабит // Журн. IAEA Bulletin. – 1997. – No. 1. – 29 с.
3. Вурим А.Д., Алейников Ю.В., Жданов В.С., Логачев Ю.В., Пахниц А.В., Трухачев А.Г., Ишанов Е.О., Носов С.Ю. Очистка стали от радиоактивного загрязнения методом электрошлакового переплава // Вестник НЯЦ РК. – 2002. – № 1. – С. 34–39.

4. Должиков С.А., Мухамедов Н.Е., Пахниц А.В., Попов Ю.А. Применение электрошлакового переплава для очистки радиоактивно-загрязненного металла. X Международная конференция. Семипалатинский испытательный полигон: наследие и перспективы развития научно-технического потенциала г. Курчатова, Республика Казахстан, 12–14 сентября 2023.
5. ANSYS, Inc. Products Release 2021 R1. Academic research Mechanical and CFD.
6. Кабдылкаков Е.А., Сураев А.С. Моделирование тепло-прочностного взаимодействия топливных и конструкционных материалов облучательного устройства в программе ANSYS // Вестник НЯЦ РК. – 2023. № 3. – С. 63–71. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-3-63-71>
- Dzheffri Uebb, Khammar Mrabit // IAEA Bulletin. – mart 1997. – No. 1. – 29 p.
3. Vurim A.D., Aleynikov Yu.V., Zhdanov V.S., Logachev Yu.V., Pahnits A.V., Truhachev A.G., Ishanov E.O., Nosov S.Yu. Decontamination of radioactive steel by the method of electros slag remelting // NNC RK Bulletin. – 2002. – No. 1. – P. 34–39. (In Russ.)
4. Dolzhikov S.A., Mukhamedov N.E., Pakhnits A.V., Popov Yu.A. Primenenie elektroshtakovogo pereplava dlya ochistki radioaktivno-zagryaznennogo metalla. X Mezhdunarodnaya konferentsiya. Semipalatinskiy ispyatel'nyy poligon: nasledie i perspektivy razvitiya nauchno-tehnicheskogo potentsiala g. Kurchatov, Respublika Kazakhstan, 12–14 sentyabrya 2023.
5. ANSYS, Inc. Products Release 2021 R1. Academic research Mechanical and CFD.
6. Kabdylkakov Y.A., Surayev A.S. Modeling of heat-strength interaction of fuel and structural materials of an irradiating device in the ANSYS software // NNC RK Bulletin. – 2023. – No. 3. – P. 63–71. (In Russ.) <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-3-63-71>

REFERENCES

ANSYS БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ПАКЕТІНДЕ ЭЛЕКТРОШЛАКТЫҚ ҚАЙТА БАЛҚЫТУ ҚОНДЫРҒЫСЫ ЭЛЕКТРОДЫҢ ОМДЫҚ ҚЫЗУЫН МОДЕЛЬДЕУ

Е. А. Кабдылкаков*, А. С. Сураев, Н. Е. Мухамедов, С. А. Должиков, А. В. Пахниц

ҚР ҰАО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатова, Қазақстан

** Байланыс үшін E-mail: kabdylkakov@nnc.kz*

Бұл жұмыста ANSYS бағдарламалық кешенінде электрошлақтық қайта балқыту (ЭШП) қондырғысы электродының омдық қызуын модельдеу нәтижелері ұсынылған. Радионуклидтерден тазарту мақсатында металдарды қайта балқытуға арналған ЭШП қондырғысының сипаттамасы берілген. Процесті модельдеу әдісі ұсынылып, ол ANSYS бағдарламасының Electric және Transient Thermal модульдерінде пәнаралық есептеулер жүргізуге негізделген. Алынған нәтижелер бұл әдістің энергия бөлуін есептеуге және электродтағы температураның таралуын анықтауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Бұл нәтижелер әртүрлі геометриялық пішіндер мен материалдардан жасалған электродтарды таңдау үшін, сондай-ақ электрошлақтық қайта балқыту қондырғысының жұмыс режимдерін пысықтау үшін қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: электрошлақтық қайта балқыту, электрод, ANSYS, бағдарламалық пакет, омдық қызу, модельдеу, температура.

SIMULATION OF OHMIC HEATING OF THE ELECTRODE IN AN ELECTROSLAG REMELTING SYSTEM USING THE ANSYS SOFTWARE PACKAGE

Ye. A. Kabdylkakov*, A. S. Surayev, N. E. Mukhamedov, S. A. Dolzhikov, A. V. Pakhnits

Branch “Institute of Atomic Energy” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

** E-mail for contacts: kabdylkakov@nnc.kz*

This paper presents the results of modeling the ohmic heating of the electrode in an electros slag remelting system using the ANSYS software package. A description of the electros slag remelting installation designed for remelting metals to remove radionuclides is provided. A modeling method is proposed that involves an interdisciplinary simulation using the Electric and Transient Thermal modules of ANSYS. The results demonstrate that this approach enables the calculation of energy release and the corresponding temperature distribution within the electrode. These findings can be used for selecting electrodes of various geometries and materials, as well as for optimizing the operating modes of the electros slag remelting system

Keywords: electros slag remelting, electrode, ANSYS, software package, ohmic heating, modeling, temperature.