

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Неуважаева Георгия Дмитриевича

«Разработка и параметрическое обеспечение расчетных моделей для обоснования долговременной безопасности пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (участок «Енисейский»)), представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»

Актуальность темы

Тема диссертационного исследования Неуважаева Г.Д. «Разработка и параметрическое обеспечение расчетных моделей для обоснования долговременной безопасности пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (участок «Енисейский»))» охватывает весьма серьезную задачу в области обоснования безопасности и экологической приемлемости пункта глубинного захоронения РАО как комплекса ядерного топливного цикла (в соответствии с НП-016-05). Основа такого анализа – выполнение прогнозных модельных расчетов на период потенциальной опасности радиоактивных отходов.

Концептуальная основа создания расчетных моделей для обоснования долговременной безопасности наиболее важна в отношении гидрогеологической составляющей и включает в себя как разработку методических подходов к выбору математических основ описания среды, так и состав учитываемых процессов. Корректность концептуальной гидрогеологической модели и ее параметризация во многом определяют обоснованность результатов выполнения прогнозных модельных расчетов, что было выполнено в ходе диссертационного исследования.

В связи с этим особое значение уделяется корректности концептуальной гидрогеологической модели и ее параметризация, которые во многом определяют обоснованность результатов выполнения прогнозных модельных расчетов в целом и, соответственно, степень доверия к ним, что делает **актуальным** тему диссертационной работы Г.Д. Неуважаева.

Целью диссертационного исследования Г.Д. Неуважаева является разработка и параметрическое обеспечение расчетных моделей обоснования безопасности ПГЗРО в части оценки динамики переноса радионуклидов до зоны разгрузки на примере участка «Енисейский», включающего:

– анализ существующих подходов к моделированию для описания геофильтрационных и геомиграционных процессов в различных типах вмещающих пород;

– оценка влияния элементов геологического строения как части параметрического обеспечения модели на поток подземных вод на основе плановой геофильтрационной модели, реализованной методом аналитических элементов, и на основе профильной модели, выполненной в пределах участка «Енисейский»;

– обработка и интерпретация результатов двух кустовых откачек из несовершенных скважин, разработка трехмерной модели, включающая обоснование таких аспектов параметрического обеспечения, как: пространственная неоднородность фильтрационных свойств; воспроизведение фактического хода откачки и определение фильтрационных параметров по результатам калибровки модели;

– проведение опытно-фильтрационных исследований (ОФР) для определения фильтрационных параметров с использованием современных пневматических пакеров, позволяющих надежно изолировать проницаемые интервалы глубин от 200 до 700 м;

– разработка вариантов трехмерной геофильтрационной-геомиграционной модели на основе различных подходов: с использованием блоковой структуры массива и дискретных элементов, а также сопоставление полученных в различных вариантах геофильтрационных параметров.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности

Диссертационная работа содержит 127 страницы, включая 76 рисунков, 17 таблицы и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованных литературных и фондовых отчетных материалов, который содержит 70 библиографических наименований.

В первой главе приведен обзор используемых в настоящее время подходов к моделированию для геофильтрационных и геомиграционных процессов в различных типах вмещающих пород, выполнен анализ способов их параметрического обеспечения. Автор сделал вывод об имеющихся проблемах в методах параметрического обеспечения геофильтрационных моделей, используемых при обосновании безопасности ПЗРО.

Во второй главе с использованием разработанного метода параметризации фильтрационной модели с использованием аналитических элементов и с помощью расчетного кода GeRa/V1 была реализована модель в профильной постановке, где выполнена оценка влияния геологических структурных элементов на поток подземных вод в пределах участка

«Енисейский». Приводятся основные результаты моделирования переноса радионуклидов на профильной модели в дальней зоне.

В третьей главе рассматриваются методы параметрического обеспечения фильтрационной модели. Один основан на определении параметров, характеризующих фильтрацию на основе аналитической обработке по схеме Тейса и интерпретации кустовых откачек из несовершенных скважин. Другой подход к определению фильтрационных параметров основан на калибровке трехмерной фильтрационной модели для области в пределах двух кустов скважин 2Ц – Р-2 – 2-2 и 7Ц – Р-7 – 7-2.

В четвертой главе приведена методика проведения и результаты пакерных полевых исследований, направленных на получение информации, призванной улучшить качество параметризации фильтрационной модели.

Важно отметить, что автор принимал личное участие в данных исследованиях и занимался анализом (отбраковкой и интерпретацией) полученных результатов, которые, в целом, позволяют иначе посмотреть на фильтрационные характеристики участка «Енисейский».

В пятой главе представлено описание моделирования процессов геофильтрации и геомиграции для участка «Енисейский». Приводится описание моделей и показаны результаты трехмерного моделирования на основе концепции сплошной среды (EPM – equivalent porous medium) и дискретных элементов выполненные на специально разработанных моделях. Приводятся результаты сопоставления и обоснование выбора подхода для последующих долговременных прогнозов.

В Заключении диссертационного исследования сформулированы основные результаты работы.

В ходе выполнения диссертационной работы Г.Д. Неуважаевым были получены новые научные результаты (**научная новизна работы**), среди которых можно отметить следующие:

– впервые при разработке геофильтрационной модели использована детальная геологическая модель с использованием элементов геологического строения, установленных на основании анализа результатов бурения скважин на участке «Енисейский». По результатам калибровки модели определены фильтрационные параметры основных элементов геологического строения.

– разработан алгоритм, предусматривающий оценку влияния структуры разрывных нарушений на направление потока подземных вод.

– предложена новая методика по определению геофильтрационных параметров с помощью численного моделирования, которая позволяет улучшить качество и достоверность получаемых результатов.

– впервые проведен анализ поинтервальных исследований, по результатам которых определены фильтрационные характеристики, в том числе для каждого интервала, выделенные на основании анализа результатов геофизических исследований.

– впервые выполнены расчеты долговременной миграции радионуклидов в пределах участка «Енисейский» с учетом различных вариантов размещения разрывных нарушений, позволившие оценить влияние их местоположения на безопасность ПГЗРО. При выполнении расчетов использовались 3D модели на основе различных концепции описания геологической среды: дискретных элементов и пористой среды (EPM – Equivalent Porous Medium).

Достоверность полученных Г.Д. Неуважаевым результатов подтверждается применением стандартных современных методов расчета для геофильтрационных и геомиграционных задач, а также общепризнанных международных программных средств при создании гидрогеологических моделей (Groundwater Modeling System, Modflow 6). В своей диссертационной работе, автор при проведении миграционного моделирования использовал расчетное средство GeRa/V1, которое успешно прошло процедуру аттестации для использования при обосновании безопасности ОИАЭ. Также был проведен анализа чувствительности разрабатываемых моделей к их параметрам.

Результаты работы опубликовывались в реферируемых изданиях и рассмотрением на российских и международных научных конференциях;

Практическая значимость диссертационной работы Неуважаева Г.Д. заключается в том, что:

– в рамках диссертационного исследования разработаны и обоснованы расчетными, аналитическим и экспериментальными методами трехмерные модели, обеспечивающие возможность дальнейшего развития обоснования долговременной безопасности первого в России пункта глубинного захоронения РАО на примере участка «Енисейский».

– разработана методика по определению геофильтрационных параметров массива горных пород, позволяющая повысить степень их обоснованности при решении задач оценки безопасности ПГЗРО.

– результаты, полученные на специально разработанных моделях, уже используются для текущих версий оценки долговременной безопасности (ОДБ) ПГЗРО на участке «Енисейский».

Отдельно хотелось бы отметить личный вклад Г.Д. Неуважаева, который участвовал в планировании и отладке оборудования, поиску корректных эксплуатационных режимов пакерной установки, поддающихся корректному

анализу, выполненным на участке «Енисейский» и анализу, отбраковке и коррекции полученных результатов, а также в разработке трехмерной геофильтрационной модели использующей дискретные элементы.

Несмотря на многочисленные достоинства диссертационной работы, есть несколько замечаний непринципиального характера:

1. В диссертационной работе автор дает определение таким понятиям как ближняя и дальняя зоны. Хорошо бы дать более четкое пояснение, т.к. не ясно, какие именно пространственные характеристики имеют эти две области.
2. На странице 35 автор пишет о росте напоров с глубиной в скважинах Р-6 и Р-9. Однако, не говорится о плотности флюидов и в случае, если минерализация высокая, то рассуждения автора о росте напора с глубиной могут быть неверны.
3. Рисунки 2.3.7 и 3.1.2 плохо оформлены, сложно разглядеть точки на графиках.
4. Хотелось бы предложить автору для прогнозных расчётов использовать несколько кодов одновременно. Как выяснилось автор владеет в совершенстве многими кодами. В том числе GeRa, GMS (Modflow) и GFlow. Интересно было бы сравнить GeRa и Feflow, которая использовалась как эталон, при разработке GeRa. Также интересно было бы посмотреть совместное использование кодов GMS и GeRa для сравнения результатов и в качестве взаимной верификации. Также
5. На странице 69 автор делает детализацию вблизи скважин размерами $1.8 \times 10 \times 10$ м, чем это объясняется и для чего это необходимо?
6. На странице 72 автор приводит рисунок временной зависимости напора подземных вод центральной скважины в ходе откачки при разных значениях коэффициента фильтрации прискваженной зоны. Однако, не ясно какие особенности центральных скважин таким образом обыгрываются?
7. На рисунках 4.2.4 и 4.2.5 приведены графики из программы SLUG, отсутствует ссылка на автора программы.
8. На рисунке 5.2.15 приведена гистограмма, не ясно, что подразумевается под подписью на оси абсцисс «карман».
9. На рисунке 5.3.1 автор приводит результаты анализа чувствительности, полученные методом Соболя для трехмерной модели. Хорошо бы дать пояснение, что они означают для данной работы. Хорошо бы сослаться на коллег, которые это использовали. Диссертация Е.В. Волковой (2009 г).

10. На странице 43 в формуле 2.3 при условии, если $h=t$ уравнение теряет смысл.

Несмотря на отмеченные замечания, диссертационная работа Неуважаева Г.Д. выполнена на высоком научном уровне и заслуживает высокой оценки.

Заключение

Диссертационная работа Неуважаева Георгия Дмитриевича является завершенной научно-квалификационной работой, которая по критериям актуальности, научной новизны, обоснованности и достоверности полученных результатов соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 и паспорту специальности 05.14.03– «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Старший научный сотрудник
НИЦ «Курчатовский институт»,
кандидат физико-математических наук



И.А. Расторгуев

Подпись И.А. Расторгуева подтверждаю

Главный ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт»



К.А. Сергунова

29.08.2022г.