

**А. И. Филиппов, П. Н. Михайлов, Д. А. Гюнтер** (Стерлитамак, СФ АН РБ). **Расчет взаимосвязанных полей концентрации и температуры растворов радиоактивных веществ при закачке в пористый пласт.**

Наиболее распространенным видом утилизации радиоактивных отходов предприятий атомной промышленности и химических производств является закачка их в виде жидких растворов в глубокозалегающие подземные пласты. Прогнозирование и контроль поведения зон, охваченных воздействием вредных примесей, особенно с учетом того, что глубокозалегающие пласты обычно имеют выходы на поверхность, является важной экологической задачей. Указанный прогноз осуществляется, в основном, расчетным путем, так как возможности экспериментального определения размеров глубоко залегающих зон загрязнения весьма ограничены. Интерес к рассматриваемой проблеме обусловлен также тем, что в настоящее время рассматриваются проекты добычи газа из газовых гидратов путем закачки радиоактивных отходов под залежь и их последующего разложения за счет теплового эффекта реакции распада.

При закачке растворов радиоактивных веществ нарушается естественное температурное поле. Это вызвано различием температур закачиваемой жидкости и пластовой, а также выделением тепла за счет радиоактивного распада. При этом поля концентраций примесей и температуры являются взаимосвязанными, поэтому на основе измерений температуры в контрольных скважинах, проведенных в зоне влияния закачки отходов, можно создать методы контроля над зоной заражения.

Математическая постановка задачи теплопереноса включает уравнение теплопроводности с учетом радиоактивного распада в покрывающем и подстилающем пластах, а также уравнение конвективного переноса с учетом радиоактивного распада в пористом пласте. Условия сопряжения включают в себя равенство температур и потоков тепла на границах раздела пластов. Плотность радиоактивного нуклида в каждой точке пространства определяется суммой плотностей в носителе и в скелете, которая получена как решение соответствующей задачи конвективной диффузии. Задача решается асимптотическим методом. Показано, что нулевое приближение есть решение осредненной по ширине пласта задачи.

Анализ построенного решения позволяет осуществить оценку вклада диффузии и радиоактивного распада. Учет радиоактивного распада является приоритетным по сравнению с учетом массообмена пласта с окружающими породами за счет диффузии, вклад же диффузии существенен в зоне фронта радиоактивного заражения, где он сопоставим с величиной плотности вещества в растворе. Нулевое приближение позволяет определить размеры зоны заражения. Определено критическое значение коэффициента Генри. Исследование зависимости температурного поля от параметров пласта позволяет выделить различные области. Первая зона от  $r = 0$  до  $r = R_p$  — радионуклидная зона, в которой температура возрастает с увеличением расстояния до оси скважины и определяется радиоактивным распадом загрязнителя. В интервале от  $r = R_p$  до  $r = R_T$  расположена зона температурных возмущений свободная от радиоактивных примесей, в которой температура обусловлена главным образом конвективным выносом тепла из радионуклидной области. Рассматриваемый случай реализуется на практике при значениях коэффициента Генри, меньших критического. При больших значениях коэффициента Генри температурный фронт опережает радионуклидный. В этом случае зона температурных возмущений меньше радионуклидной зоны. Во второй зоне от  $r = R_T$  до  $r = R_p$  температурное поле обусловлено только радиоактивным распадом нуклида, температурные возмущения за счет конвективного переноса возмущений температуры из скважины локализованы только в первой зоне. Температурные возмущения во втором случае оказываются почти в пять раз больше, чем в первом. Что объясняется преобладающим локализованным выделением тепла вблизи температурного фронта.

При использовании для закачки горизонтов с высокими значениями постоянной равновесия Генри уменьшаются размеры зараженной зоны, поскольку увеличивают-

ся размеры кольцевой зоны с очищенной водой. Такие горизонты могут служить естественными фильтрами радиоактивных и химических примесей.