

УДК 630.542:631.524.022: 004.413.4

Компьютерное моделирование в экологических задачах нефтегазовой отрасли (ООО «Симмэйкерс»)*

Article Title: Computer Modeling of Environmental Problems in the Oil and Gas Industry



И.А. Гишкелюк, к.т.н.

Анализируется использование методов компьютерного моделирования для решения экологических задач. Рассмотрено создание компьютерной модели и прогнозирование распространения нефтепродуктов в грунтовых водах от экологически опасного объекта при нормальном его функционировании и в аварийной ситуации. Показаны достоинства и недостатки детерминированного и стохастического подходов при моделировании распространения загрязняющих веществ. Приведены результаты расчетов вероятностей загрязнения грунтовых вод с использованием стохастического подхода.



Д.В. Евланов

Ключевые слова: компьютерное моделирование, экологическая безопасность, оценка риска загрязнения, распространение загрязняющих веществ, программное обеспечение.

Keywords: computer simulation, environmental security, contamination risk assessment, contaminants distribution, software.



В.И. Коваленко

/ООО «Симмэйкерс», г. Москва,
тел. +7 (495) 772 54 07, факс +375 17 286 33 17,
info@simmakers.ru www.simmakers.ru

*Статья из сборника докладов Четвертой нефтегазовой конференции «ЭКОБЕЗОПАСНОСТЬ-2013», проведенной ООО «ИНТЕХЭКО» 23 апреля 2013 г. в ГК «ИЗМАЙЛОВО» (г. Москва).
Всю информацию о конференции см. на сайте www.intecheco.ru

Транспортировка, переработка и добыча углеводородов и природного газа связаны с рисками загрязнения окружающей среды нефтепродуктами и химическими реагентами. Для оценки этих рисков, а также контроля и управления факторами, влияющими на них, в нефтегазовой отрасли все более широкое распространение начинают получать методы компьютерного моделирования, которые способны сыграть важную роль в увеличении добычи нефти и газа и повышении эффективности их переработки.

Ведущие зарубежные компании, оказывающие сервисные услуги в нефтегазовой отрасли, – Schlumberger, Paradigm, Geophysical, и непосредственно сами нефтегазовые компании, такие как Total, BP, Royal Dutch Shell, Chevron, ConocoPhillips, Statoil Hydro, China National.

Petroleum и многие другие, в своей деятельности уже на протяжении десятилетий широко используют методы компьютерного моделирования, которые в гораздо меньшей степени распространены среди российских нефтегазовых компаний. В то же время создание компьютерных моделей играет в нефтегазовой отрасли важнейшую роль. Только в экологической сфере компьютерное моделирование позволяет эффективно решать следующие вопросы:

- выполнение экологического обоснования возможности размещения и функционирования объектов, представляющих повышенную экологическую опасность: автозаправочных станций, объектов хранения нефтепродуктов, станций технического обслуживания транспорта, полигонов для складирования промышленных отходов;

- исследование различных сценариев развития аварийных ситуаций, связанных с транспортировкой или хранением нефтепродуктов и природного газа, и оценка риска возникновения таких ситуаций;

- оценка загрязнения почвы, грунтовых и поверхностных вод (рек, озер, морей) при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов;

- оценка негативного влияния на окружающую среду ее теплового загрязнения в результате сжигания нефтепродуктов и природного газа.

При попадании нефтепродуктов на поверхность земли основная экологическая проблема связана с тем, что они просачиваются до поверхности грунтовых вод и начинают образовывать плавающие на воде линзы. Эти линзы могут мигрировать вместе с грунтовыми водами, вызывая загрязнение водозаборов и поверхностных вод. В связи с этим рассмотрим на конкретном примере (рис. 1) использование методов компьютерного моделирования для оценки возможности попадания в водохранилище нефтепродуктов, образующихся в ходе эксплуатации промышленного объекта (автозаправочной станции).

Для решения этой задачи будем использовать программные сред-



Рис. 1. Карта территории размещения промышленного объекта: 1 – площадка для размещения промышленного объекта, 2 – водохранилище, 3 – границы модели

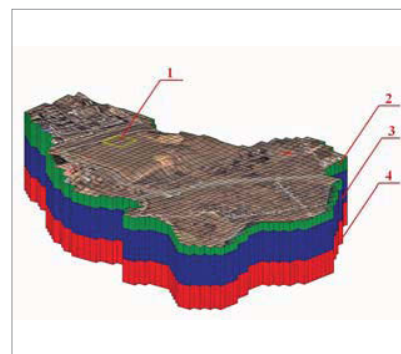


Рис. 2. Гидрологическая модель рассматриваемой области:
 1 – промышленный объект,
 2 – безнапорный слой, образуемый супесью и суглинком с $K_{\phi} = 0.1$ м/д,
 3 – напорный слой, образуемый песком с $K_{\phi} = 7.5$ м/д, 4 – водонепроницаемый слой, образуемый супесью с $K_{\phi} = 0.16$ м/д

ва MODFLOW и MT3DMS. Программа MODFLOW, применяя метод конечных разностей, позволяет моделировать трехмерное движение грунтовых вод. Модель, реализованная в программе, учитывает влияние водозаборных скважин, областей питания и разгрузки рек и других поверхностных водных объектов на движение подземных вод. Программа MT3DMS на основе результатов расчета движения грунтовых вод, полученных с помощью MODFLOW, моделирует трехмерный перенос подземными водами растворенных в них загрязняющих веществ на основании решения уравнения конвективной диффузии.

Процесс компьютерного моделирования распространения нефтепродуктов с использованием данных программных средств заключается в следующем. На территории, примыкающей к автозаправочной станции, выбираются границы моделируемой области. При этом для того, чтобы можно было корректно сформулировать граничные условия к уравнению движения грунтовых вод, границы этой области необходимо выбрать по линиям водораздела (так как поток воды через них равен нулю) или по линиям рек и озер (так как на них известен уровень грунтовых вод). Далее в программе MODFLOW создается гидрогеологическая модель рассматрива-

емой территории, в которой каждому грунтовому слою ставятся в соответствие свои гидрологические свойства (рис. 2).

В результате компьютерного моделирования получается распределение гидравлических напоров грунтовых вод, которые определяют значение и направление скорости их движения (рис. 3).

Для моделирования переноса подземными водами растворенных в них нефтепродуктов в программе MT3DMS, как и во многих других, необходимо в качестве граничных условий задать значение потока нефтепродуктов на границе грунтовых вод с зоной аэрации (верхняя зона земной коры между ее поверхностью и зеркалом грунтовых вод). В то же время при решении большинства практических задач известна только концентрация нефтепродуктов на поверхности земли. Здесь следует отметить, что при использовании существующего коммерческого программного обеспечения зачастую применяемый программный продукт учитывает не все необходимые факторы или требует задания параметров, информация о которых отсутствует у пользователя. В связи с этим в большинстве случаев необходимо дорабатывать существующие или разрабатывать новые математические модели и пользовательский интерфейс непосредственно под зада-

чи пользователя и имеющиеся у него исходные данные.

В рассматриваемой задаче проблема практического применения программных средств MODFLOW и MT3DMS решалась с помощью разработанной авторами программы Esoviev, в которой рассчитывалась интенсивность поступления нефтепродуктов в грунтовые воды. Программа Esoviev разработана на базе программной платформы Simmakers CAE Platform®, предназначенной для создания программных комплексов, осуществляющих численное моделирование физических и технологических процессов и трехмерную визуализацию результатов моделирования. Таким образом, в Esoviev рассчитывался поток нефтепродуктов с поверхности почвы в грунтовые воды в предположении, что поверхностный слой почвы в результате функционирования автозаправочной станции загрязнен нефтепродуктами в определенной концентрации C_0 . Далее программой MT3DMS моделировалось распространение нефтепродуктов в грунтовых водах. Из результатов моделирования (рис. 4) видно, что в течение планируемого срока эксплуатации автозаправочной станции (30 лет) отсутствует возможность попадания нефтепродуктов в водохранилище.

Таким образом, компьютерное моделирование играет важную роль в процессе принятия решения при выборе места размещения экологически опасных объектов с учетом их влияния на окружающую среду.

Отметим, что рассмотренный выше прогноз основывался на использовании математической модели, базирующейся на уравнениях Дарси (описывает движение грунтовых вод) и конвективной диффузии. Однако некоторые параметры данной модели, такие как коэффициент фильтрации, дисперсия, коэффициент распределения, не могут быть определены точно и вследствие этого имеют некоторую неопределенность. Кроме того, геологическая среда, в которой прогнозируются движение грунтовых вод и перенос

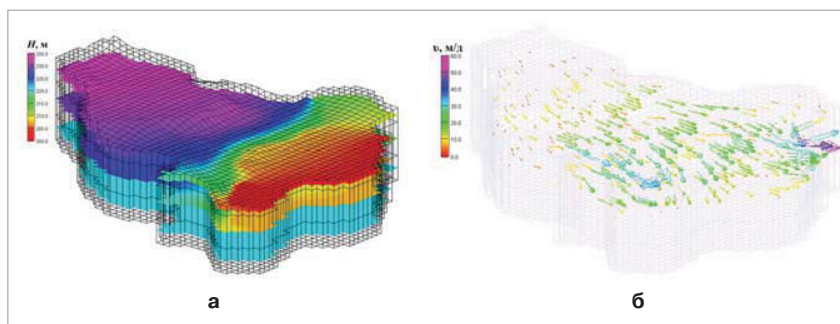


Рис. 3. Результаты моделирования распределения напоров (а) и скоростей грунтовых вод (б)

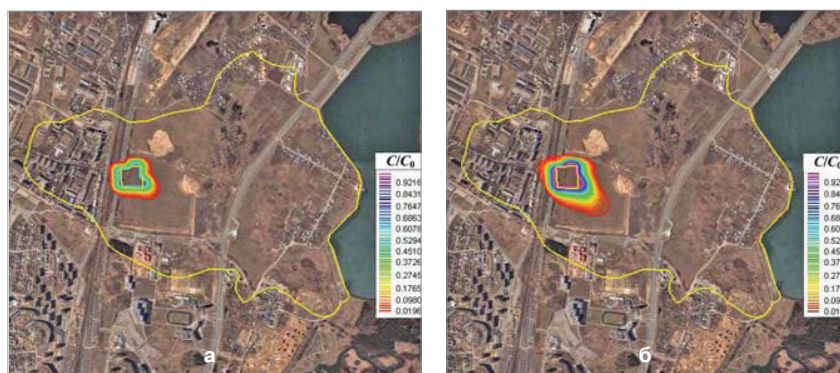


Рис. 4. Результаты моделирования распространения загрязняющих веществ в грунтовых водах через 10 лет (а) и 30 лет (б)

загрязняющих веществ, состоит из переслаивающихся пород с различными физико-химическими свойствами, и поэтому создать абсолютно точную геологическую модель с учетом всех неоднородностей не представляется возможным. Все это увеличивает уровень неопределенности результатов прогнозирования.

Один из способов решения данной проблемы заключается в использовании стохастического подхода при компьютерном моделировании. В отличие от детерминированного подхода, где для прогнозирования применяют одну модель, обеспечивающую наилучшее приближение к реальной системе, при стохастическом подходе создается ряд моделей. Каждая из них с некоторой вероятностью описывает моделируемую систему и используется для прогнозирования в соответствии с заданным имитационным сценарием. Далее полученные результаты применяются для оценки вероятности осуществления прогноза.

Рассмотрим применение стохастического подхода для приведенной ранее задачи. При прогнозировании переноса нефтепродуктов в грунтовых водах использовалось уравнение конвективной диффузии с учетом сорбции, в котором для коэффициентов распределения и дисперсии строилась эмпирическая функция плотности вероятности на основании данных о значениях этих коэффициентов для различных геологических сред. Каждая функция плотности вероятности, полученная для рассматриваемых параметров, разбивалась на пять сегментов и для каждого сочетания параметров вычислялось распределение нефтепродуктов с использованием уравнения конвективной диффузии. На основании полученных результатов моделирования строилась вероятностная карта распространения загрязняющего вещества (рис. 5). Использование в рассматриваемой области стохастического подхода позволило по-

лучить несколько прогнозов распространения нефтепродуктов от автозаправочной станции и вероятность их осуществления.

Таким образом, компьютерное моделирование является эффективным инструментом для оценки рисков загрязнения окружающей среды, контроля и управления факторами, влияющими на них, а также облегчает принятие управленческих решений в других задачах нефтегазовой отрасли. Однако, как показывает практика применения компьютерного моделирования для решения конкретной экологической задачи, в большинстве случаев невозможно найти коммерческое программное обеспечение, которое позволяет решить задачу в требуемой постановке. Для решения этой проблемы в крупных западных компаниях имеются специализированные отделы, которые, используя передовые достижения в фундаментальных научных исследованиях и

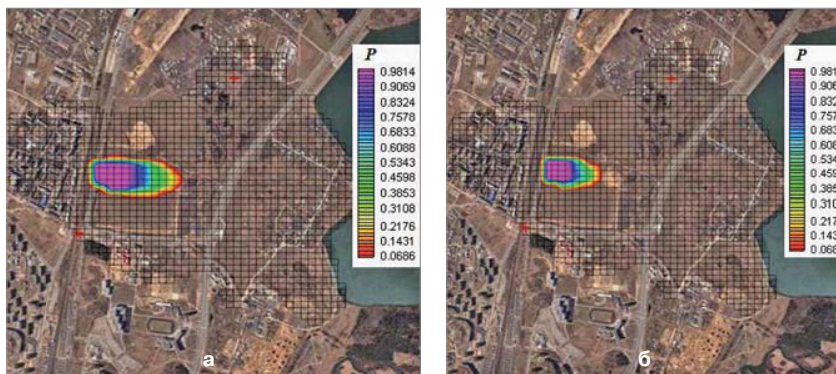


Рис. 5. Распределение вероятностей превышения концентрации нефтепродуктов более 5 % (а) и более 10 % (б) от предельно допустимой концентрации через 30 лет функционирования АЗС

программировании, разрабатывают собственное программное обеспечение для компьютерного моделирования. Многие компании не могут позволить себе содержать целые отделы для разработки специализированного программного обеспечения и отдают эту работу для исполнения компаниям, специализирующимся в разработке наукоемкого программ-

ного обеспечения. Это позволяет получать уникальные инструменты для решения специализированных задач с учетом наиболее существенных факторов рассматриваемого процесса, задавая исходные данные в том виде, в котором они имеются на предприятии, и визуализировать результаты моделирования в удобной форме.