

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Утарбаев Аскар Сарсенбаевич

utarbayev2000@gmail.com

Магистрант 2 курса образовательной программы

7M01503 – «Математика. Управление образовательным процессом»

Научный руководитель – **Мухамбетжанов С.Т.**

ф.-м.ф.д., профессор

Атырауский университет им.Х.Досмухамедова

г.Атырау, Республика Казахстан

Аннотация. Работа посвящена дальнейшей разработке цифровой технологии для нефтегазовых месторождений. В течение более 30 лет проводятся исследования по созданию цифровой технологии под названием - «ИСАР» (Информационная система анализа разработки нефтегазовых месторождений Республики Казахстан (Information system for analysis of oil and gas field development in the Republic of Kazakhstan)). По структуре состоит из основных трех блоков: геолого - промысловых данных (ГПД), инженерных моделей и математических моделей. В отличие от других цифровых технологий блок математических моделей основан на законы механики сплошной среды. При этом решаются не только прямые задачи, а также обратные задачи для восстановления технологических показателей эффективного пласта. Дело в том, что региональная система управления разработкой нефтегазовых месторождений в значительной степени связана с построением адекватной математической модели жидкости в пористой среде с учётом достоверной информации о детальном строении залежи, с созданием комплекса технических средств, обработки информации об эффективном пласте и оптимального управления процесса его разработки.

Ключевые слова. Информационная система, цифровая технология, ИСАР, ГПД, технологические показатели, поверхностно - активное вещество, обратные задачи.

Введение. Методы математического моделирования сложных фильтрационных процессов в нефтяных пластах развиваются в настоящее время в двух направлениях – создание строгих моделей, наиболее полно учитывающих законы фильтрации многофазных жидкостей в пористых средах, и создание инженерных (полуинженерных) моделей по упрощенным схемам фильтрации. Первое направление приводит к постановкам сложных пространственных

задач многофазной (многокомпонентной) фильтрации в нефтяных пластах, которые затем реализуются численными методами. К этому же направлению следует отнести методы решения модельных задач теории фильтрации применительно к нефтяным пластам. Математические модели указанного направления предназначены, в первую очередь, для детального исследования механизмов вытеснения и очень полезны для теоретического анализа новых технологий. В то же время моделирование реальных процессов разработки с применением строгих постановок математических задач сопряжено со значительными затратами машинного времени и не всегда используются в задачах проектирования и анализа, где требуется выполнение многовариантных расчетов.

В практике проектирования и анализа разработки широко распространены инженерные или полунинженерные модели расчет внутрипластовых процессов, получаемые из тех же математических постановок задач в результате ряда упрощающих предположений и физических допущений. Обладая свойством простой и быстрой реализуемости, инженерные модели описывают процессы в пласте с достаточной для решения практических задач точностью.

В настоящее время на основе теории системного анализа сформулированы условия оптимальности программного управления (задачи анализа), сравнительно полно исследованы условия технологических объектов, описывающих уравнениями в частных производных параболического и гиперболического типов, разработан ряд численных методов их решения.

Основной задачей теории и практики управления является построение математической модели объекта, т.е. формализация закономерностей функционирования объекта, на основе которой определяются структура и параметры системы, закон управления, выбираются технические средства реализации. При этом важное значение имеют математические модели объектов и процессов при создании системы управления, а также при изучении закономерностей изменения физических и химических процессов функционирования объекта. Это связано с повышением роли математического моделирования и проведением вычислительного эксперимента для открытия этих закономерностей и изучения сложных явлений.

В большинстве случаев в динамических процессах являются известными данные, связанные с их конструированием, а также основные качественные зависимости протекания этих процессов. В таких случаях необходимо построить математическую модель объекта управления на основе входных и выходных переменных в условиях их нормального функционирования. Однако многие технологические объекты являются нелинейными и получение адекватных моделей для них весьма затруднительно.

Проблема построения математической модели нелинейного объекта представляет собой довольно трудоемкий процесс, включающий этапы выбора законов изменения состояния системы, разработку методов, построение алгоритмов с учетом возможностей вычислительных средств, первичной обработки результатов измерений, получения оценок характеристик модели, анализа этих оценок, проведение вычислительных экспериментов и проверку степени адекватности модели реальному объекту.

В практических условиях невозможно описать состояние системы в каждой точке пространственной координаты, поэтому проводят аппроксимацию области. При этом многосвязная область аппроксимируется фиктивной областью с границей, составленной из отрезков прямых, параллельных осям координат.

Разработанная сравнительно недавно структурная теория распределенных систем дает возможность изучить поведение объектов по их математическим моделям [1]. В этой связи возникает необходимость разработки эффективных методов построения этих моделей и, в первую очередь, методов идентификации, т.е. построение моделей объектов путем обработки входных и выходных данных.

В последние годы широко распространены статистические методы математического моделирования производственных процессов по данным нормального функционирования объектов. Эти методы разработаны главным образом для одно- и многомерных объектов с

сосредоточенными параметрами. В некоторых работах рассмотрены вопросы статистической динамики случайных полей. Однако в целом статистические методы математического моделирования систем с распределенными параметрами разработаны недостаточно, хотя статистический подход к этим системам, по крайней мере в стадии моделирования, является более обоснованным и более целесообразным, чем к системам с сосредоточенными параметрами.

При статистическом подходе конкретные гидродинамические процессы, протекающие в объекте, рассматриваются как взаимодействие случайных процессов и полей. При небольших возмущениях, характерных для нормального функционирования, многие объекты можно рассматривать как стационарные и линейные.

Некоторыми авторами рассматриваются статистические методы математического описания по данным нормального функционирования объектов. Выводятся соотношения, определяющие оценки операторов объекта, оптимальные в смысле критерия минимума среднего квадрата ошибки приближения и формулы для этой ошибки. Вводится функция множественной корреляции случайных процессов и полей.

На самом деле на основе методов обобщенных стохастических характеристик строится стохастическая модель широкого класса систем, в которых определяющую роль играют фильтрационные и диффузионные процессы. Доказывается эквивалентность стохастической модели соответствующим уравнениям в частных производных.

В последнее время вопросы анализа функционирования и управления технологических систем, каковыми являются месторождения нефти и газа, интересуют специалистов как по механике и физике сплошных сред, так и по теории автоматического управления.

Эти задачи имеют большое научное и практическое значение в связи с возможностью контроля критических параметров, характеризующих устойчивость, и тем самым позволяют повысить эффективность управления рассматриваемым технологическим процессом автоматизации расчетов показателей системы добычи нефти и газа.

Нефтегазодобывающее предприятие является предприятием с непрерывным технологическим процессом и как объект проектирования и управления относится к классу больших систем. Оно характеризуется технико-экономической, технологической и геолого-промысловой общностью и следующими специфическими особенностями:

- скважины как источники добычи нефти и газа расположены на больших расстояниях от объектов сбора, подготовки и транспорта нефти и газа;

- технологические объекты "пласт – скважина – промысловое оборудование – нефтегазопровод – потребитель" – единая неразрывная система;

- газовые и нефтяные пласты характеризуются изменяющейся производительностью (нарастающая, постоянная и падающая добычи);

- в процессе эксплуатации объект добычи и транспорта газа постоянно меняет свое состояние;

- технологические режимы для определения возможностей объекта добычи изменяются во времени;

- разработка и анализ объекта добычи нефти и газа предопределяются как первоначальной, так и текущей геолого - промысловой технологической и технико-экономической информацией.

В подсистему разработки нефтяного и газового месторождений включается следующая часть общего процесса добычи – последовательность физических процессов фильтрации газа, конденсата, воды в пористом проницаемом пласте и движение этих компонентов по скважинам.

Разработку месторождения нефти и газа можно рассматривать как динамическую систему, в которой под действием входных переменных (технологические режимы работы скважин) происходят изменения выходных переменных (запасов газа, нефти в продуктивных пластах, пластового давления, производительности и мощности оборудования, температуры и давления нефти и газа).

Нефтяные и газовые месторождения как объекты моделирования и оптимизации характеризуются значительным количеством взаимосвязанных между собой гидродинамических, технологических и экономических параметров, изменяющихся в процессе управления системой.

Анализ работ позволяет сделать вывод о том, что, несмотря на определенные достигнутые успехи по разработке, множество математических моделей, методов, алгоритмов и программных средств по мере их подготовленности вошли в различные математические и информационные обеспечения АСУ, АСУ ТП и САПР разработки нефтяных и газовых месторождений. Однако эти системы не привели к радикальному повышению эффективности прогнозирования, регулирования и управлению объектами добычи нефти и газа, несмотря на то, что нефтегазовая промышленность – одна из самых оснащенных вычислительной техникой отраслей, которая имеет все условия для полной автоматизации проектирования и управления технологическими процессами, в частности процессом разработки нефтегазовых месторождений. Основная причина заключается в том, что разработанные системы в основном строились не по принципу охвата всей процедуры принятия решений по управлению всеми этапами жизненного цикла объекта, а фрагментально – по принципу использования известных математических моделей и методов без учета ряда факторов, присущих реальному объекту, которые приводят к существенным изменениям на различных стадиях принятия решений. С другой стороны, по мере накопления опыта и открытия новых месторождений возникли новые задачи, связанные с решениями многомерных нелинейных уравнений, описывающих движение многофазных многокомпонентных фильтраций жидкости и газа в пористых средах, которые являются основой для принятия решений по анализу и прогнозированию разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений. Поэтому, основываясь на достигнутых результатах в этой области, рассмотрим основные вопросы, касающиеся разработки математических моделей, методов, вычислительных алгоритмов решения задачи многофазной фильтрации в целях создания программного обеспечения для автоматизированной системы анализа и контроля нефтегазовых месторождений.

Как было отмечено выше более 30 – лет проводятся исследования по созданию автоматизированных систем разработки нефтегазовых месторождений, которые рассчитаны для специалистов нефтяной отрасли Республики Казахстан. На начальном этапе были изучены структурные особенности аналогичных автоматизированных систем ведущих в технологическом плане стран мира (В частности «Тайгресс», «Продакшен аналит», «СКАД», «САПР» и т.д.). Исходя из функциональных возможностей специалистов нефтегазодобывающей промышленности были созданы отдельные автоматизированные рабочие места (АРМ-ы). В частности, АРМ – 1 – разработчика; АРМ – 2 – диспетчера; АРМ – 3 – геолога; АРМ – 4 – технолога и т.д. Причем каждый АРМ образует подсистему целой автоматизированной системы. Сама система первоначально называлась «ИСАР» - информационная система анализа, контроля и прогноза нефтегазовых месторождений (аббревиатура введена академиком РАН, проф. В.Н. Монаховым). ИСАР состоит из основных трех блоков: блок – 1 – геолого – промысловые данные (ГПД); блок – 2 – инженерных моделей; блок – 3 – математических моделей. Основной целью ИСАР является оценка эффективности реализуемой на данном объекте технологии, которая проводится путем изучения технологических и технико – экономических показателей разработки на основе многовариантных математических расчетов. ИСАР представляет собой открытую систему, построенная по модульному принципу имеет возможность проводить расчетные процедуры с выдачей графической, табличной и текстовой документации, а также позволяет производить автономный расчет любого элемента или группы элементов. Основу ИСАР составляет блок – 3, где содержатся методы математического моделирования сложных фильтрационных процессов в нефтяных пластах.

В настоящее время указанные блоки развиваются в двух направлениях – создание строгих моделей, наиболее полно учитывающих законы фильтрации многофазных жидкостей в пористых средах, и создание инженерных моделей по упрощенным схемам фильтрации.

Первое направление приводит к постановкам сложных пространственных задач многофазной (многокомпонентной) фильтрации в нефтяных пластах, которые затем реализуются численными методами. Математические модели указанного направления предназначены, в первую очередь, для детального исследования механизмов вытеснения и очень полезны для теоретического анализа новых технологий. В то же время моделирование реальных процессов разработки с применением строгих постановок задач сопряжено со значительными затратами машинного времени и пока ещё не всегда используется в задачах проектирования и анализа, где требуется выполнение многовариантных расчетов. Поэтому группой сотрудников института механики и математики Казахского национального университета имени аль-Фараби (НИИ ММ при КазНУ им. аль-Фараби) анализируется ряд известных математических моделей фильтрации однородных и неоднородных жидкостей в пористых средах и предлагается новых моделей. Основные направления исследований НИИ ММ при КазНУ им. аль-Фараби в области нефтепромысловой тематики (повышения нефтеотдачи пластов):

- математическое моделирование и численный прогноз процессов вытеснения нефти и газа водой с учетом тепловых и физико – химических эффектов в прискважинной зоне пласта;
- компьютерное моделирование геофизических исследований;
- задачи формирования соленых куполов и оптимальный прогноз нефтедобычи и т.д.

В связи с широким применением ЭВМ сложилась вполне определенная технологическая цепочка расчета конкретных задач механики сплошной среды, в том числе и задач фильтрации многофазных жидкостей. Схематически эта цепочка выглядит следующим образом: от изучаемого объекта или явления к его математической модели, далее, к численному алгоритму, программе, реализующий этот алгоритм на ЭВМ и, наконец, к анализу полученных результатов. Все звенья этой цепочки не являются изолированными, а взаимосвязаны, в том числе и обратными связями. Научными руководителями отдельных научных проектов сформулированы ряд основных требований к феноменологическим моделям фильтрации:

1. Экспериментальная замкнутость модели, т.е. возможность экспериментального определения всех входящих в нее параметров без привлечения дополнительных теорий. Устойчивая воспроизводимость экспериментов.
2. Четкое выделение гипотез, положенных в основание модели и определение границ изменчивости этой модели как качественных (какие физические эффекты могут быть описаны), так и количественных.
3. Вложимость в модели более высокого уровня, учитывающие новые физические факторы.
4. Математическая доступность и корректность модели.
5. Адаптируемость математических моделей для конкретных месторождений.

Ряд полученных результатов по созданию ИСАР внедряются на нефтяных месторождениях Каражанбас и Кумколь-Лукойл. Кроме того, апробации научных результатов проведены через Российско – казахстанские научные конференции.

В настоящей работе при составлении математических моделей на основе законов сохранения механики сплошной среды добавляются кинетические соотношения, которые учитывают изменения агрегатного состояния вещества. Корректность таких моделей нашли в работах С.Т. Мухамбетжанова и его учениками. Кроме того, были изучены качественные свойства решений, т.е. асимптотическое поведение решения при неограниченном возрастании времени, периодические по времени решения, свойства конечно - разностных схем и т.д. Следует отметить, что производных дробного порядка относительно искомым решений позволяет учесть другие физические свойства решений.

Список использованной литературы:

1. Kaliev I.A., Mukhambetzhonov S.T., Sabitova G.S. Numerical modeling of the non-equilibrium sorption process // Ufa Mathematical Journal. –2016. – Vol. 8 (2). – P. 39-43.

2. Kaliev I.A., Rasinkov E.N. About the Stefan problem with phase relaxation // Collection of scientific papers DCC, Edition. 91, 1989, p. 21-36
3. Lapidus L., Amundson W.R. Mathematics of adsorption in beds. VI. The effect of longitudinal diffusion in ion exchange and chromatographic columns // J.Phys. Chem. 1952. V.56. P. 984-988.
4. Kaliev I.A., Sabitova G.S. On a problem of nonequilibrium sorption // Journal of Applied and Industrial Mathematics. 2003. Vol. VI, №1 (13). P. 35-39
5. Kaliev I.A., Mukhambetzhano S.T., Rasinkov E.N. The correctness of the mathematical model of nonequilibrium phase transitions of water in porous media // Collection Dynamics of a continuous medium. Institute of Hydrodynamics named after MA Lavrentyev, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. – Novosibirsk. Edition №93,94,1989г., p.46-59.
6. Ahmed-Zaki D.Zh., Mukhambetzhano S.T., Imankulov T.S. Design of i-fields system component: Computer model of oil-recovery by polymer flooding // Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), 12th International Conference. – 2015. - Vol. 2. – P. 510-516.
7. Meirmanov A.M., Mukhambetzhano S.T., Nurtas, M. Seismic in composite media: Elastic and poroelastic components// Siberian Electronic Mathematical Reports. – 2016.
8. Kenzhebayev T.S., Mukhambetzhano S.T. Numerical Solution Of The Inverse Problem Of Filtration Theory By Modulating Functions// Far East Journal of Mathematical Sciences. – 2016. – Vol. 99 (12). – P. 1779
9. Meirmanov A.M. Stefan problem. – Novosibirsk.: Science, 1986. -239c.
10. Coats K.H., Smith B.D. Dead and pore volume and dispersion in porous media // Soc. Petrol. Eng. J. 1964. V. 4, N 1. P. 73-84
11. Meirmanov A.M., Mukhambetzhano S.T., Nurtas, M. Seismic in composite media: Elastic and poroelastic components// Siberian Electronic Mathematical Reports. – 2016.
12. Kenzhebayev T.S., Mukhambetzhano S.T. Numerical Solution Of The Inverse Problem Of Filtration Theory By Modulating Functions// Far East Journal of Mathematical Sciences. – 2016. – Vol. 99 (12). – P. 1779