

Математическое моделирование при разработке нефтяного месторождения

И. М. Новожилов

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

novozhilovim@list.ru

А. В. Шишкина

Санкт-Петербургский горный университет

N.Shishkina99@yandex.ru

Аннотация. Работа посвящена моделированию процесса разработки нефтяного месторождения. Последние технические достижения способствуют созданию систем управления, позволяющих эффективно управлять процессом разработки. При этом, важную роль при создании таких систем управления играют системы, обладающие пространственной распределенностью, так как они позволяют рассматривать изменение параметров не только с течением времени, но и в пространстве. Для создания системы управления необходимо реализовать математическую модель, которая будет отвечать заданным требованиям. Для решения поставленной задачи были использованы методы математического и компьютерного моделирования. Полученная модель позволяет прогнозировать изменение пластового давления при различных режимах добычи.

Ключевые слова: нефтяное месторождение; распределенная система управления; математическое моделирование

I. ВВЕДЕНИЕ

Математическое моделирование – это способ исследования объекта с использованием моделей, которые в свою очередь сформулированы на языке математики. Такое моделирование позволяет изучать объекты, а также различные системы, над которыми нет возможности проводить натурные эксперименты. Для этого используют математические модели, которые в общем виде представляют систему (совокупность) уравнений, а также иных математических соотношений, которые позволяют отразить ключевые характеристики и явления объекта исследования. В общем случае можно сказать, что такая модель позволяет создать математический аналог исследуемого объекта, явления или процесса. В моделях невозможно передать все свойства изучаемого объекта, поэтому при их построении довольно часто необходимо выдвигать дополнительные предположения, называемые гипотезами. Можно выделять несколько таких гипотез, создать различные модели, а затем с помощью эксперимента сравнить полученные результаты и выбрать наиболее подходящую и адекватную модель.

II. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

A. Нерешенные научные проблемы в области исследований

Мы живем в мире информационных технологий, и многие процессы в нашем мире требуют автоматизации. Нефтяная отрасль не является исключением. Предприятия, основанные на добыче и переработке нефти, представляют собой разветвленную структуру с огромной численностью персонала. Таким предприятиям однозначно необходимо использование нанотехнологий, а также программного обеспечения (ПО). Такие новшества позволят сократить количество работников, увеличить объем и эффективность производства, а также позволят обеспечить достаточный уровень безопасности. Данные аспекты касаются автоматизации персонала, но для данной работы важнее рассмотреть автоматизацию производства. Под автоматизацией производства как правило понимают установку оборудования, занимающегося обслуживанием процессов производства. С помощью таких установок можно добиться непрерывности большинства производственных процессов, ведь нефтегазовый процесс является также непрерывным. Автоматизация производства позволит добиться следующих результатов: минимизация потерь, уменьшение количества вредных выбросов, а также позволит контролировать все (либо выборочные) процессы, искать ошибки и нарушения. В конечном итоге автоматизацию производства необходимо проводить для снижения затрат и обеспечения высокой производительности труда. Но для того, чтобы выполнить поставленную задачу необходима не только модернизация оборудования, но и мощное и современное программное обеспечение, которое будет способно обрабатывать информацию, получать данные от различных датчиков и устройств, отправлять сигналы пользователям, а также предоставлять информацию в удобном и понятном виде.

В наше время выделяются следующие направления, в рамках которых необходимо осуществлять автоматизацию: добыча, транспортировка, переработка, управление оборудованием, учет безопасности. При этом необходимо особое внимание уделять следующим аспектам: выбор систем автоматизации технологических процессов и информационных систем, минимизация затрат на обслуживание системы, перевод большей части

оборудования на автоматическое управление локальными объектами в режиме реального времени. При этом, важно понимать, что автоматизация предприятия приведет не только к повышению эффективности, но и повысит конкурентоспособность предприятия. Поэтому, сейчас вопрос автоматизация является одним из самых актуальных для нефтяных компаний [13].

Однако, автоматизации требует не только отрасль нефтедобычи, но и отрасль транспортировки сырья. Цепочки поставок нефти и газа состоят из сегментированных и дискретных центров обработки данных. Прозрачность между подразделениями в цепочке поставок невелика. Даже внутри компаний данные хранятся и обрабатываются различными подразделениями. Решения принимаются на основе разрозненных электронных таблиц без учета полной картины. Соответствующие стратегии оцифровки могли бы помочь в интеграции цепочки поставок и обмене информацией между поставщиками, перевозчиками, складскими помещениями и клиентами. Исследования по оцифровке цепочек поставок сосредоточены на интеграции операционных технологических систем с системами информационных технологий, использующими большие данные. При этом, необходимо понимать, что проекты цифровой трансформации могут потребовать значительных усилий и времени. Также важно учитывать тот факт, что цифровизация в отдельных компаниях влияет на цифровизацию в рамках общей цепочки поставок.

Искусственный интеллект (ИИ) также играет важную роль в цифровизации процесса. В области нефтяного дела ИИ также может найти свое применение. Его можно использовать в таких процессах, как составление прогнозов поднимаемого сырья на поверхность, разработка и усовершенствование плана по разработке нефтяного месторождения, контроль уровня добытой и остаточной нефти, разработка плана, показывающего возможное образование трещин, а также увеличение дебита скважин. В наше время использование искусственного интеллекта в области нефтегазового дела развивается довольно стремительно, так как исследователи начали уделять внимание таким аспектам, как интеллектуальное бурение и производство, интеллектуальный трубопровод и так далее. На данный момент с помощью рассматриваемой технологии можно находить уголки планеты, в которых могут находиться углеводороды, а также строить приблизительные планы и проекты разработки. Сбор данных в режиме реального времени с датчиков, исполнительных механизмов с помощью ИИ позволяет работникам отслеживать операции в верхнем, среднем и нижнем потоках. Получаемые данные затем можно анализировать, так как они поступают в специально отведенное место для дальнейшей обработки. Однако, нефтяные компании и исследователи считают, что это не предел, и поэтому данная проблема все еще актуальна. Помимо этого, данные технологии позволили добиться более безопасного и эффективного метода для проектирования схемы гидроразрыва пласта [15].

В нашей стране также активно используют цифровизацию нефтяных месторождений. Однако,

основными проблемами, препятствующими цифровизации являются нехватка квалифицированного персонала, отсутствие материально-технической базы и рост угроз кибербезопасности. Арктика – это регион, который обладает большим потенциалом для развития мировой нефтегазовой отрасли. Именно поэтому многие исследователи уделяют внимание цифровизации процессов в этом регионе. Можно выделить следующие проблемы, которые могут возникнуть в этой области: недостаток финансирования в сфере НИОКР, несовершенство механизмов взаимодействия между различными отраслями производств, а также наличие административных барьеров на различных уровнях управления.

Еще одной технологией, позволяющей увеличить добычу нефти, является технология «цифровой двойник». Такая технология может способствовать повышению эффективности систем нефтегазовых активов на протяжении всего жизненного цикла нефтяного месторождения, включая проектирование, управление эксплуатацией, оптимизацию и так далее. Однако, такая технология еще не получила широкое применение.

В. Роль математического моделирования в нефтяной отрасли

Математическое моделирование применяется во многих областях и сферах нашей жизнедеятельности [10, 14]. Нефтяная отрасль не является исключением. Рассмотрим использование математических моделей в области разработок более подробно на примере различных исследований.

Математическое моделирование может использоваться не только для формирования логического мышления, а также и для исследования технологических процессов в рассматриваемой области. Дифференциальные уравнения дают возможность анализировать свойства пластов месторождения, изучать процессы добычи полезных ископаемых, моделировать ход перекачки и переработки нефти. Также такие модели могут служить для ознакомления с геологическими и техническими условиями в процессе бурения, для прогнозирования параметров при оценке запасов залежей сырья и т. д. [7, 8]

Полученная математическая модель позволяет изучить физические характеристики и свойства наночастиц, что в последствии поможет проанализировать процесс переноса и взаимодействия жидкостей в коллекторе. Полученные уравнения позволяют определить размер частиц, проницаемость пласта, взаимодействие с внешними полями и иные свойства, которые в дальнейшем могут быть необходимы для разработки системы управления [2].

Система дифференциальных уравнений может служить аналогом модифицированной системы управления объектами промышленной подготовки нефти. Например, модель, предназначенная для характеристики статических и динамических процессов, происходящих в секциях трехфазного сепаратора (установки, необходимой для осуществления первичного этапа переработки нефти). Математические модели можно

программного реализовывать (например, с помощью пакета прикладных программ «MATLAB»). Это необходимо для наглядного представления статических зависимостей в виде переходных характеристик по основным входным параметрам [1, 16].

Математические модели могут не только описывать физические характеристики объекта нефтяной отрасли, но и также и быть полезными в экономическом плане. При разработке аналоговых моделей очень важно учитывать риски, которые в последствии могут влиять на принятие тех или иных проектных решений. Оценки риска при разработке нефтяных месторождений, как правило, подразумевают характеристику разнообразных рисков событий для определения порядка их серьезности. Например, на основе совокупности математических моделей можно проанализировать следующие аспекты: оценку стоимости компании, коэффициент использования производных финансовых инструментов, создание матрицы рисков для оценки безопасности, частоту и последствия рисков [12, 17].

Помимо всего вышеперечисленного, математическое моделирование может быть использовано для моделирования воздействия работ по выводу из эксплуатации нефтегазопроводов. При программной реализации подобной математической модели появляется возможность прогноза движения отложений при выводе оборудования из эксплуатации, что в последующем позволит анализировать влияние на окружающую среду и микроорганизмы. Также следует отметить, что математическое программирование позволяет компании добиться высокой прибыли, особенно на ранних стадиях разработки, ведь появляется возможность строить графики бурения и добычи, с помощью которых в дальнейшем можно определить наиболее оптимальный периода вывода оборудования из эксплуатации. Математические модели могут также использоваться для расчета индекса ремонтпригодности промышленной электроники в нефтегазовом секторе. Появляется возможность использования системы оценок, которая будет учитывать все необходимые факторы. Обобщив все полученные данные, можно увеличить эффективность операций технического обслуживания в рассматриваемой отрасли.

Внедрение различных инновационных разработок в нефтяную сферу является неотъемлемой частью данной сферы. Разработка и использование различных программных средств для автоматизации большинства процессов позволили значительно увеличить показатели добычи в последнее время. Но для внедрения таких продуктов также необходимы различные математические модели, которые будут являться основой для синтеза систем управления. Например, математическая система, где рассматриваемая отрасль играет роль руководящей системы, позволяет существенно снизить время расчетов и упростить процесс определения различных параметров, которые необходимы для осуществления прогнозов внедрения того или иного инновационного процесса в разработку нефтяных месторождений.

Одной из стадий разработки нефтяных месторождений является стадия разведки месторождения, которая подразумевает изучение запасов полезных ископаемых рассматриваемого объекта. Особое внимание на данной стадии разработки уделяется изучаемой среде со сложным внутренним строением. В связи с такой особенностью среды между различными ее элементами нет явно выраженных зависимостей, что в конечном итоге может привести к неточности результатов исследований. С помощью математических моделей появляется возможность доопределить параметризацию среды через ее зависимости и закономерности, что позволит добиться более точных конечных результатов исследования.

Математические системы позволяют изучать различные конструкции, не прибегая при этом к натурному эксперименту. С их использованием появляется возможность определять различные состояния объектов эксплуатации, такие как, прочность, долговечность и т. д. Это может быть полезно при изучении нефтегазовой сферы, когда нет возможности проводить реальные эксперименты.

С. Методологический анализ процесса разработки математической модели

Рассмотрим процесс разработки обобщенной математической модели, которая в дальнейшем позволит синтезировать распределенный высокоточный регулятор. Данная математическая модель будет представлять собой систему дифференциальных уравнений в частных производных. Для начала рассмотрим блок-схему, иллюстрирующую процесс математического моделирования. Данная система представлена на рис. 1.

Системой разработки нефтяных и газовых месторождений принято называть совокупность компонентов, характеризующих конструктивные и иные параметры, составляющие поверхность. В процессе проектирования данной системы применяется обратная связь – связь входного и выходного сигналов, при которой изменение сигнала на выходе вызывает и отклонение сигнала на входе. Основной составляющей является математическая модель, которая выполняется на вычислительной машине. Остальные же части реализуются человеком. Во-первых, в систему дифференциальных уравнений необходимо внести начальные данные (это могут быть, например, химические и конструктивные параметры объекта исследования). Затем данные подставляются в систему и происходит выполнение всех математических операций. С помощью заданной модели выводятся искомые данные, которые в свою очередь подлежат оценке и анализу. В конечном итоге, если модель не удовлетворяет заданным требованиям, можно провести коррекцию входных параметров, либо дифференциальных уравнений, а затем повторить описанные шаги до тех пор, пока модель не будет адекватной.



Рис. 1. Блок-схема, иллюстрирующая процесс создания математической модели

D. Характеристика объекта исследования

Системой разработки нефтяных и газовых месторождений принято называть совокупность компонентов, характеризующих конструктивные и иные параметры, составляющие поверхность. В процессе проектирования данной системы применяется обратная связь – связь входного и выходного сигналов, при которой изменение сигнала на выходе вызывает и отклонение сигнала на входе. Основной составляющей является математическая модель, которая выполняется на вычислительной машине. Остальные же части реализуются человеком.

Во-первых, в систему дифференциальных уравнений необходимо внести начальные данные (это могут быть, например, химические и конструктивные параметры объекта исследования). Затем данные подставляются в систему и происходит выполнение всех математических операций. С помощью заданной модели выводят искомые данные, которые в свою очередь подлежат оценке и анализу. В конечном итоге, если модель не удовлетворяет заданным требованиям, можно провести коррекцию входных параметров, либо дифференциальных уравнений, а затем повторить описанные шаги до тех пор, пока модель не будет адекватной.

Для моделирования переходных процессов замкнутой системы автоматического управления процессами нефтедобычи с учетом пространственной распределенности рассматриваемого объекта необходимо разработать математическую модель данного объекта. Математической моделью называют систему уравнений, описывающих характер объекта с физической точки зрения. При проектировании процессов разработки месторождений нефти и газа рассматриваемая система уравнений описывается в дифференциальных уравнениях в частных производных [18].

Такую математическую модель необходимо разработать для нефтяного месторождения классического типа. Для синтеза системы управления необходимо проиллюстрировать переходные процессы для заданных добывающих скважин. Для этого необходимо:

- определить конструктивные параметры объекта исследования (задать длину и ширину моделируемой области, а также определить толщину пласта);
- необходимо учесть, что изменения в пластах происходят с небольшой интенсивностью, и, в связи с этим, скважины должны располагаться на небольшом расстоянии между собой, так как при

нерациональном расположении дебиты добывающих и нагнетательных скважин будут очень малы, что является нерациональным;

- ограничить размеры месторождения, так как моделирование процессов можно анализировать на участке пласта.

Учитывая вышеописанные условия, для построения математической модели месторождения были определены начальные параметры, взятые из открытых источников.

E. Нефтяное месторождение как система с распределенными параметрами

С каждым годом темп развития месторождений нефти и газа только увеличивается. На любом таком объекте расположено огромное количество скважин, которые должны работать только на заранее определенном режиме работе. В связи с этим возникает необходимость прослеживания изменения давления в горизонте и уровня добываемого сырья.

Необходимо учитывать, что во время ввода оборудования в эксплуатацию, пластовое давление снижается неравномерно. Это обусловлено тем, что различные скважины на равной глубине добывают не только нефть, но также и иные попутные компоненты. Также скважины засоряются, что в последствии снижает конечное значение дебита.

В связи с этим возникает необходимость контролировать не только установленный режим разработки, но и иные параметры, которые могут быть уникальными для каждой скважины, расположенной на месторождении. Задача сводится к формированию пьезометрической поверхности, где давление между скважинами будет равномерным, и появляется возможность представить рассматриваемый объект управления как систему с распределенными параметрами.

F. Математическая модель нефтяного месторождения

Основой для математической модели пласта станет уравнение:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{\eta} \left(f_x \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + f_y \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + f_z \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} \right) + V(t) \cdot \delta(x, y, z),$$

где H – напор в заданной скважине, t – время, η – коэффициент, характеризующий упругость пласта, x, y, z – пространственные координаты, f_x, f_y, f_z – коэффициенты фильтрации по соответствующим пространственным координатам, dt – шаг дискретизации по времени, $V(t)$ – изменение напора, $\delta(x, y, z)$ – единичная функция, равная 0 или 1, зависящая от расположения добывающей скважины. Аналогичным уравнением могут быть описаны процессы фильтрации гидроминерального сырья в водоносном пласте, процессы распространения тепла при сушке биодизельного топлива, а также иные технологические процессы в различных областях.

Для достижения максимальной точности необходимо разрабатывать трехмерную модель месторождения.

В части пласта, заполненного водой, фильтрация воды будет постоянной, следовательно, давление в этой части пласта можно представить, как:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0.$$

В момент ввода объекта управления в эксплуатацию момент времени равен 0, а напор по всей поверхности пласта будет одинаков. Тогда:

$$H(x, y, z, 0) = H_0,$$

где H_0 – начальное пластовое давление.

Скорость фильтрации нефти по осям:

$$u_x = -\frac{f}{\mu_1} \frac{\partial H}{\partial x}, u_y = -\frac{f}{\mu_1} \frac{\partial H}{\partial y}, u_z = -\frac{f}{\mu_1} \frac{\partial H}{\partial z},$$

где u, v, w – компоненты вектора скорости фильтрации по координатным осям, μ_1 – абсолютная вязкость нефти.

Скорость фильтрации воды по осям:

$$v_x = -\frac{f}{\mu_2} \frac{\partial H}{\partial x}, v_y = -\frac{f}{\mu_2} \frac{\partial H}{\partial y}, v_z = -\frac{f}{\mu_2} \frac{\partial H}{\partial z},$$

где μ_2 – абсолютная вязкость воды.

Дебит скважины определяется из соотношения:

$$Q(r, z, i) = \frac{fgS}{\mu_1} \frac{\partial H}{\partial z_{s,i}} + \frac{fg}{\mu_1} \int_{z_{b,i}}^{z_{a,i}} \frac{\partial H}{\partial r} ds dz,$$

где S – площадь сечения скважины $z_{a,i}, z_{b,i}$ – координаты ствола скважины в залежи, r – радиус вектор, проведенный из центра скважины, ds – элемент окружности.

Входное воздействие задается с помощью ограничения давления в скважинах:

$$P_{a,i}(x, y, z, 0) = H_{a0},$$

$$P_{a,i}(x, y, z, t) = f(U, t),$$

$$x_{a,i} < x < x_{b,i}, y_{a,i} < y < y_{b,i}, z_{a,i} < z < z_{b,i},$$

$$U = U(x, y, t).$$

Процессы на месторождении можно описать следующим дифференциальным уравнением в частных производных:

$$\frac{\partial H(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{\partial^2 H(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H(x, y, z, \tau)}{\partial z^2} \right) + V(t) \cdot \delta(x, y, z),$$

Рассмотрим метод конечных разностей для оси x .

Для некоторого момента $t = \tau\Delta t$ аналог частной производной $\frac{\Delta H}{\Delta x}$ имеет два значения: левое и правое:

$$\left(\frac{\Delta H}{\Delta x} \right)_- = \frac{H_{i,j,k,\tau-1} - H_{i-1,j,k,\tau-1}}{\Delta x}.$$

$$\left(\frac{\Delta H}{\Delta x} \right)_+ = \frac{H_{i+1,j,k,\tau-1} - H_{i,j,k,\tau-1}}{\Delta x}.$$

Тогда аналог второй частной производной для x :

$$\frac{\Delta^2 H}{\Delta x^2} = \frac{1}{\Delta x} \left(\left(\frac{\Delta H}{\Delta x} \right)_- + \left(\frac{\Delta H}{\Delta x} \right)_+ \right) = \frac{H_{i-1,j,k,\tau-1} - 2H_{i,j,k,\tau-1} + H_{i+1,j,k,\tau-1}}{\Delta x^2}.$$

Аналогично получим аналог второй частной производной для y :

$$\frac{\Delta^2 H}{\Delta y^2} = \frac{1}{\Delta y} \left(\left(\frac{\Delta H}{\Delta y} \right)_- + \left(\frac{\Delta H}{\Delta y} \right)_+ \right) = \frac{H_{i,j-1,k,\tau-1} - 2H_{i,j,k,\tau-1} + H_{i,j+1,k,\tau-1}}{\Delta y^2}.$$

Аналогично получим аналог второй частной производной для z :

$$\frac{\Delta^2 H}{\Delta z^2} = \frac{1}{\Delta z} \left(\left(\frac{\Delta H}{\Delta z} \right)_- + \left(\frac{\Delta H}{\Delta z} \right)_+ \right) = \frac{H_{i,j,k-1,\tau-1} - 2H_{i,j,k,\tau-1} + H_{i,j,k+1,\tau-1}}{\Delta z^2}.$$

Аналог производной $\frac{\partial H}{\partial t}$:

$$\frac{\Delta H}{\Delta t} = \frac{H_{i,j,k,\tau} - H_{i,j,k,\tau-1}}{\Delta t}.$$

Тогда:

$$\frac{H_{i,j,k,\tau} - H_{i,j,k,\tau-1}}{\Delta t} = \frac{1}{\eta} \left(\frac{H_{i-1,j,k,\tau-1} - 2H_{i,j,k,\tau-1} + H_{i+1,j,k,\tau-1}}{\Delta x^2} + \frac{H_{i,j-1,k,\tau-1} - 2H_{i,j,k,\tau-1} + H_{i,j+1,k,\tau-1}}{\Delta y^2} + \frac{H_{i,j,k-1,\tau-1} - 2H_{i,j,k,\tau-1} + H_{i,j,k+1,\tau-1}}{\Delta z^2} \right)$$

Тогда изменение напора в заданной точке залежи с течением времени можно описать следующим уравнением (уравнение представлено в дискретном виде):

$$H_{i,j,k,\tau} = \frac{1}{\eta} dt \left(f_x \frac{H_{i-1,j,k,\tau-1} - 2H_{i,j,k,\tau-1} + H_{i+1,j,k,\tau-1}}{\Delta x^2} + f_y \frac{H_{i,j-1,k,\tau-1} - 2H_{i,j,k,\tau-1} + H_{i,j+1,k,\tau-1}}{\Delta y^2} + f_z \frac{H_{i,j,k-1,\tau-1} - 2H_{i,j,k,\tau-1} + H_{i,j,k+1,\tau-1}}{\Delta z^2} \right) + H_{i,j,k,\tau-1} + P_j \cdot \delta(x, y, z),$$

где P_j – дебит скважины, где j – номер скважины, i, j, k – координаты точки в пространстве, для которой ведется расчет.

Также для построения графика переходного процесса необходимо описать поведение объекта на границах в дискретном виде:

$$H_{0,j,k} = 0, H_{x,j,k} = 0, H_{i,0,k} = 0, H_{i,y,k} = 0, H_{i,j,0} = 0, H_{i,j,z,\tau} = H_{i,j,z-1,\tau}.$$

Г. Анализ результатов

Данную математическую модель можно реализовать на современном языке программирования, например, на Python. Используя исходные данные, а также уравнения 1 и 2, можно построить графики переходных процессов, которые будут иллюстрировать изменения напора в различных точках пьезометрической поверхности (рис. 2).

Также можно построить графики переходных процессов, изменив уровень добычи в 2 раза, то есть, установив его равным 11,3 метра (рис. 3).

Проанализировав полученные графики, можно сделать вывод о том, что разработанная математическая модель позволяет продемонстрировать изменения напоров в заданных точках.

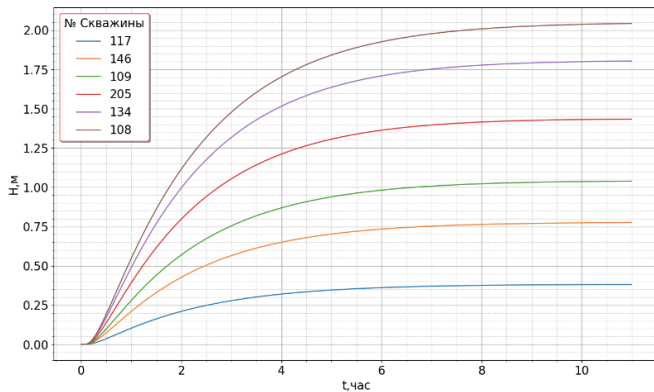


Рис. 2. Графики переходных процессов, характеризующие изменения напоров при текущих режимах эксплуатации

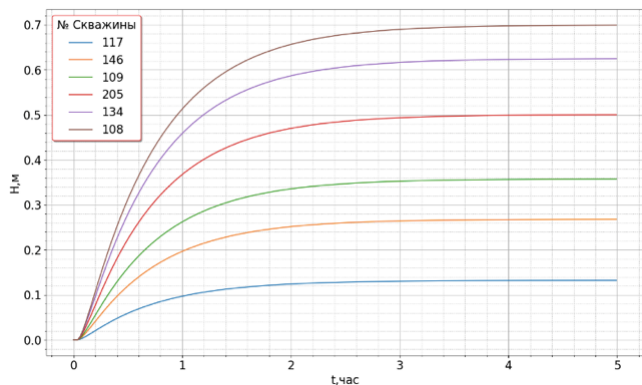


Рис. 3. Графики переходных процессов, характеризующие изменения напоров на глубине 11,3 метра

Н. Дальнейшие перспективы исследования

Для того, чтобы синтезировать распределенную систему управления процессом разработки нефтяного месторождения, необходимо проанализировать объект управления – рассматриваемый участок пласта месторождения. Для анализа и синтеза системы управления будет использован частотный метод, хорошо зарекомендовавший себя в решении задач управления пространственно-распределенными объектами, в том числе гидрогеологическими процессами [4, 5], процессами нагрева металлических заготовок, биологическими объектами. Автоматизированные системы управления могут использоваться во многих областях, например, для регулирования температуры объекта, для контроля выбросов различных веществ, для управления различными технологическими процессами. Следует отметить, что исполнительным механизмом (управляющим органом) будут выступать нагнетательные скважины, функцией выхода (управляемой величиной) будет напор в заданных точках (функция выхода будет распределенной), измерительные элементы – датчики давления, а управляющим устройством будет распределенный высокоточный регулятор.

Для синтеза замкнутой системы управления обратной связи необходимо проанализировать полученную математическую модель. В дальнейшем, необходимо синтезировать регулятор, который способен, управляя вектором входного воздействия, перевести вектор функции выхода в необходимо состояние, которое будет задано.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с тем, что объемы добываемого сырья с каждым годом увеличиваются, запасы сырья в недрах сокращаются [2, 11]. Возникает необходимость создания автоматической системы управления, которая позволит регулировать процессы добычи на нефтяном месторождении. Для этого необходимо синтезировать распределенный высокоточный регулятор, который позволит, управляя вектором входного воздействия перевести вектор функции выхода в заданное состояние [9].

По результатам исследования в данной статье были достигнуты следующие результаты:

- на основе литературных источников оценена роль математического моделирования в нефтяной отрасли;
- определены начальные и граничные условия, необходимые для построения математической модели;
- выбраны начальные параметры нефтяного месторождения;
- построена математическая модель месторождения классического типа;
- полученная математическая модель реализована на современном языке программирования;
- построены графики переходных процессов.

Можно сделать вывод, что научный интерес данного исследования заключается в создании математической модели типового месторождения, которая в дальнейшем позволит прогнозировать изменения динамических характеристик пластового давления. В дальнейшем данные результаты будут полезны для графоаналитической идентификации объекта по заданным модам, определения передаточных функций по этим модам, а также для синтеза регулятора [3, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Asadulagi M.-A.M., Pershin I.M., Tsapleva V.V. Research on Hydrolithospheric Processes Using the Results of Groundwater Inflow Testing. Water 2024, 16, 487. <https://doi.org/10.3390/w16030487>
- [2] Afanaseva O., Neyrus S., Navatskaya V., Perezhogina A. (2023). Risk Assessment of Investment Projects Using the Simulation Decomposition Method. In: Zokirjon ugli K.S., Muratov A., Ignateva S. (eds) Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022). AFE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 706. Springer, Cham. P.776-785. DOI: 10.1007/978-3-031-36960-5_88
- [3] Yury I., Martirosyan A. The development of the soderberg electrolyzer electromagnetic field's state monitoring system. Sci Rep 14, 3501 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52002-w>
- [4] Golovina E.I., Tselmeg B. Cost estimate as a tool for managing fresh groundwater resources in the Russian Federation. // Geology and

- Mineral Resources of Siberia, 2023, №4 a, 81–91 <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2023-4a-81-91>
- [5] Golovina E.I., Karennik K.S. Modern trends in the field of solving transboundary problems in groundwater extraction, Resources, 2021, 10(10), 107 p. <https://doi.org/10.3390/resources10100107>
- [6] Ignatenko A., Afanaseva O. Application of system analysis methods for the research of mining enterprise activity. 2023 Sixth International Conference of Women in Data Science at Prince Sultan University (WiDS PSU), Riyadh, Saudi Arabia, 2023, pp. 180-184, doi: 10.1109/WiDS-PSU57071.2023.00045.
- [7] Ilyushin Y.V., Kapostey E.I. Developing a Comprehensive Mathematical Model for Aluminium Production in a Soderberg Electrolyser. Energies 2023, 16, 6313. <https://doi.org/10.3390/en16176313>
- [8] Katysheva E. Analysis of the Interconnected Development Potential of the Oil, Gas and Transport Industries in the Russian Arctic. Energies 2023, 16, 3124. <https://doi.org/10.3390/en16073124>
- [9] Katysheva E.G. Application of BigData technology to improve the efficiency of Arctic shelf fields development // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 937 (2021). – article 042080. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/4/042080>
- [10] Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Sidorenko S.A., Ivanov V.V., Mischo H. High productive longwall mining of multiple gassy seams: best practice and recommendations // Acta Montanistica Slovaca. 2022. №27. pp. 152-162. <https://doi.org/10.46544/AMS.v27i1.11>
- [11] Marinina, O., Nechitailo A., Stroykov G., Tsvetkova A., Reshneva E., Turovskaya L. Technical and Economic Assessment of Energy Efficiency of Electrification of Hydrocarbon Production Facilities in Underdeveloped Areas. Sustainability 2023, 15, 9614. <https://doi.org/10.3390/su15129614>
- [12] Martirosyan A.V., Martirosyan K.V., Mir-Amal A.M., Chernyshev A.B. Assessment of a Hydrogeological Object's Distributed Control System Stability. // Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2022, 2022, pp. 768–771 <https://doi.org/10.1109/EIConRus54750.2022.9755601>
- [13] Martirosyan K.V., Chenyshev A.B., Martirosyan A.V. Application of Bayes Networks in the Design of the Information System “Mineral Water Deposit”. // In Proceedings of the 2023 XXVI International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), Saint Petersburg, 24–26 May 2023; pp. 236–239. <https://doi.org/10.1109/SCM58628.2023.10159085>
- [14] Martynov S.A., Pervukhin D.A. Algorithm for calculating of the carbon-graphite electrode consumption in an ore-thermal furnace and its position at different stages of smelting (2023) // Chernye Metally, 2023 (5), pp. 8-15. <https://doi.org/10.17580/chm.2023.05.02>
- [15] Nechitailo A.R., Marinina O.A. Analysis of technological directions of electrification of hydrocarbon production facilities in poorly developed territories. // The North and the Market: Forming the Economic Order, 2022, no. 2, pp. 45–57. <https://doi.org/10.37614/2220-802X.2.2022.76.004>
- [16] Plotnikov A.V., Trushnikov V.E., Pervukhin D.A., Shestopalov, M.Y. Mathematical Simulation of the Formation Pressure Monitoring System in the Water-Drive Gas Reservoir (2023) // Proceedings of 2023 26th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2023, pp. 77-81. <https://doi.org/10.1109/SCM58628.2023.10159117>
- [17] Sidorenko A.A., Sidorenko S.A., Ivanov V.V. Numerical modelling of multiple-seam coal mining at the Taldinskaya-Zapadnaya-2 mine // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2021. №5. pp. 568-574. http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2021/jeas_0321_8524.pdf
- [18] Kukharova T.V., Ilyukhina Y.A., Shestopalov M.Y. Development of a Methodology for Controlling the Process of Heating Metal Blanks in a Methodical Furnace. // Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2022, 2022, pp. 718–721. <https://doi.org/10.1109/EIConRus54750.2022.9755574>.