

Интеллектуальные технологии в управлении нефтяным месторождением¹

Аннотация. Предметом исследования настоящей работы служит разработка новых подходов и совершенствование управления нефтяными скважинами и месторождением в целом на основе методов искусственного интеллекта. Предложена трехуровневая система интеллектуального управления месторождением, обеспечивающая в целом оптимизацию добычи нефти и режимов работы оборудования; раскрыты особенности применяемых инструментальных средств искусственного интеллекта, необходимые для реализации всех уровней. Концепция и сделанные в настоящей работе предложения могут стать отправной точкой для будущих исследований и построения реальных «интеллектуальных скважин» и «интеллектуальных месторождений».

Ключевые слова: интеллектуальное месторождение, нефть, добыча, искусственный интеллект.

Введение

На крупных нефтяных месторождениях с большим числом скважин каждую минуту происходит множество событий, которые должны быть корректно обработаны для консолидированного оперативного принятия ряда управляющих решений экспертного уровня. При этом качество этих решений, в том числе, зависит от актуальности поступающей информации и от скорости ее обработки. Экономически эффективная добыча нефти в рамках интеллектуального месторождения (ИМ) предусматривает комплексную автоматизацию всех основных технологических этапов. В том числе – построение так называемых «интеллектуальных скважин» (ИС). Признаками интереса к разработке и внедрению ИС служит проведение I-ой Международной научно-практической конференции «Интеллектуальное месторождение: мировой опыт и современные технологии» (ИНМЕСТОР-2012) (10-11 мая 2012 года в РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина), Технической конференции международного общества инженеров нефтегазового дела SPE: Управление Цифровым Месторождением (Санкт-Петербург, 3-5 июня 2013) и науч-

ного диспута «Интеллектуальная скважина» в рамках V Международной специализированной выставки «Нефтедобыча. Нефтепереработка. Химия» (Самара, 20 октября 2011), наличие ряда актуальных проблемных публикаций на эту тему [1-4].

Можно выделить следующие отличительные признаки ИС (определенны В.В. Кульчицким в Обращении к участникам круглого стола на тему «Интеллектуальная скважина»):

- 1) непосредственная связь с внешним миром с использованием информационных каналов связи для извлечения знаний и организации цеплесообразного поведения;
- 2) открытость за счет наличия самонастройки, самоорганизации и самообучения;
- 3) возможность прогнозирования ИС изменений внешней среды и собственного поведения;
- 4) наличие интеллектуальных систем управления для компенсации неточности знаний о модели объекта;
- 5) сохранение автономного функционирования при разрыве связей или потере управляющих воздействий от вышестоящих уровней иерархии ИС [5].

¹Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН №18 «Алгоритмы и математическое обеспечение для вычислительных систем сверхвысокой производительности».

К перечисленным принципам, по нашему мнению, целесообразно добавить следующие характеристики:

6) наличие системы мониторинга, контроля и диагностики за работой скважин и оборудования;

7) развитые средства визуализации, в том числе когнитивной для поддержки принятия решений;

8) наличие развитой математической модели скважины (месторождения), сопряженной с моделью управления вентильным двигателем или погружным насосом и средства имитационного моделирования;

9) высокая степень автономности, способность к устойчивому сохранению или достижению целевых состояний (например, максимальный дебит, максимальный КПД, максимальный КИН) в условиях взаимодействия внешних факторов, нарушающих эти состояния или мешающих их достижению.

Без ограничения общности, можно рассмотреть применение технологий искусственного интеллекта в задачах обработки данных, прогнозирования и оптимизации режима добычи и управления вентильными двигателями и насосами одной скважины. Как показывает анализ научных публикаций мирового уровня [4, 6-21], пока нет научно-обоснованной концепции внедрения методов искусственного интеллекта как в управлении отдельных нефтяных скважин, так и месторождения в целом. Этот факт объясняется отрывом от передовых достижений в области теории построения интеллектуальных динамических систем управления, отсутствием связи разработчиков подобных систем с ведущими учеными в области искусственного интеллекта.

В основу автоматизации нефтяных скважин целесообразно положить отечественные технологии экспертных систем, методы интеллектуальной обработки информации на основе нейросетевых и генетических алгоритмов, байесовские сети, инструментальные программные средства для построения интеллектуальных прикладных систем, накопленные и формализованные знания специалистов в области автоматического управления погружными насосами и двигателями [22-26]. Целесообразно перейти от принципа «дискретного» управления к принципу «непрерывного» контроля, диагностики и управления оборудованием скважин за счет введения высокопроизводительных вы-

числительных средств обработки информации. Следует перейти от идеи локальной оптимизации процессов в рамках «интеллектуальной скважины» к задаче построения «интеллектуального месторождения» – сетевой концепции управления, которая, используя данные о различных процессах, позволяет перейти к глобальной оптимизации. В основу технологии могут быть положены автоматизированные рабочие места управления (АРМ-У) насосными станциями, функционирующие в составе информационно-вычислительной сети обработки информации и управления месторождением.

1. Интеллектуальная компонента месторождения

Динамическая составляющая интеллектуального месторождения в составе единого научно-технологического пространства реализовывается на основе технологий обнаружения, приобретения, хранения и обработки знаний с помощью инструментальных средств. Она может использовать технологии интеллектуальных агентов, нейронных сетей, генетических алгоритмов, обзарного анализа данных и других современных достижений искусственного интеллекта. Интеллектуальная компонента должна реализовывать средства съема данных, средства анализа данных, базу данных и базу знаний. Модули интеллектуальной компоненты системы должны быть: адаптивными – способными оптимизировать выполнение своих функций; обучаемыми – способными воспринимать дополнительную информацию, накапливать полезные «знания» в целях более точного выполнения задач в рамках своей функции; коммуникативными – способными взаимодействовать с другими модулями и тем самым, при необходимости, в ходе решения своей задачи выполнять действия вне рамок собственных функций.

Общая схема управления интеллектуальным месторождением показана на Рис. 1. Она включает следующие основные модули:

1) систему мониторинга в реальном времени элементов и процессов;

2) систему моделирования, распознавания и анализа глобальной текущей ситуации и поддержки руководителя работ в нештатных ситуациях (НШС) и нормальных режимах;

3) систему прогнозирования в реальном времени развития нарушений во времени и

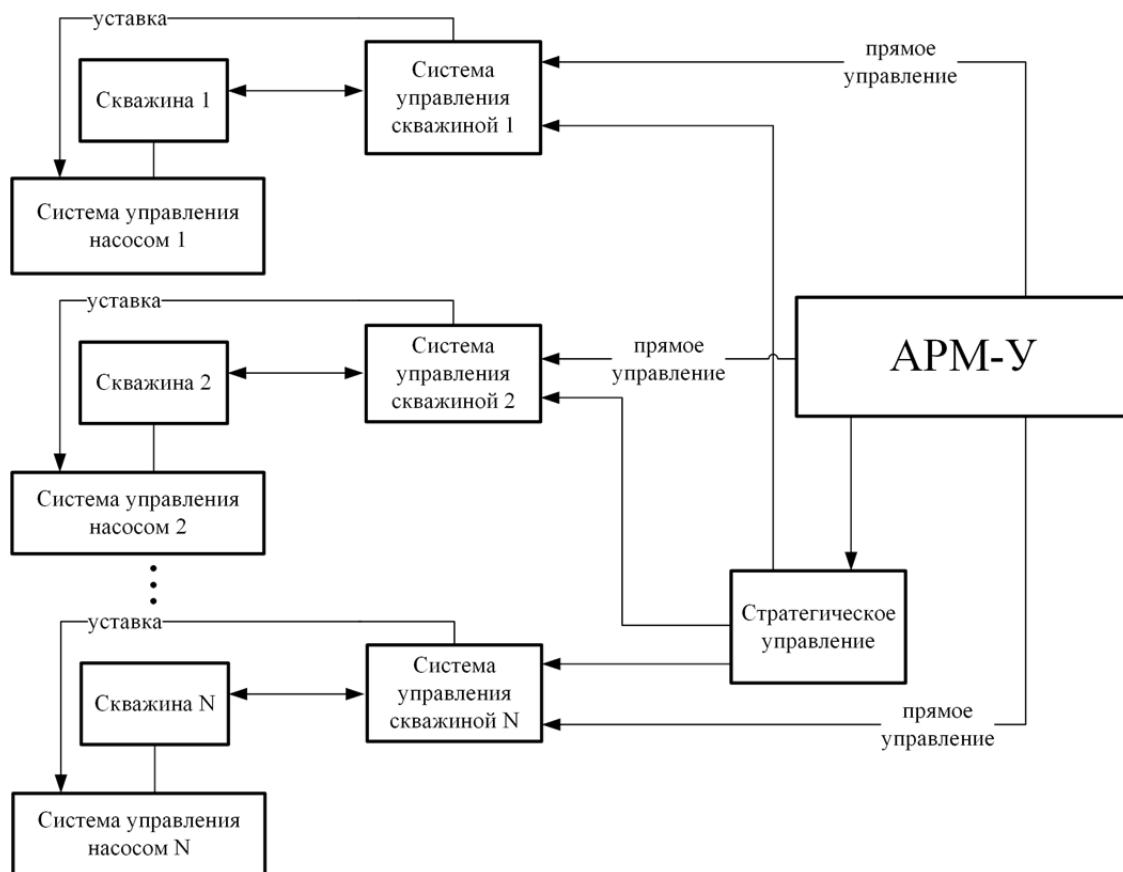


Рис. 1. Общая схема управления интеллектуальным месторождением

распространения нарушений по взаимодействующим подсистемам;

4) планировщик реального времени для корректировки плана работ при возникновении НШС; оптимизация решений на основе аппаратов планирования и ИНС;

5) интерфейс для выдачи рекомендаций операторам для стабилизации технологического процесса;

6) решатель реального времени для выдачи оперативному персоналу рекомендаций по предотвращению неправильных воздействий на объект: (выдача рекомендаций по парированию возникших НШС; выдача заключения о возможности (правильности) применения управляющих воздействий в данной текущей ситуации);

7) подсистему отображения текущей ситуации;
8) интерфейсы пользователей.

В настоящее время разработаны отечественные подходы к задаче интеллектуального динамического управления. Метод управления включает: правила замыкания, вычислительные функции, правила переходов, правила управления, подцели и зоны управления. Правила

управления осуществляют выбор управлений из множества допустимых управлений в соответствии с текущей целью. По сути, правила определяются и отождествляются на данном этапе с системой команд интеллектуального управления.

Характер управляемых объектов имеет ряд существенных особенностей, связанных с тем, что параметры их состояния могут описываться переменными различной природы – например, количественными, логическими и лингвистическими, причем состояния не имеют исчерпывающего априорного описания. Законы поведения таких систем либо не имеют исчерпывающего аналитического описания, либо не имеют аналитического описания вообще, но могут быть описаны некоторой совокупностью экспертных или эмпирических знаний. По текущим данным формируется вектор состояния объекта управления и с учетом априорных сведений о ситуации намечаются допустимые альтернативы ее разрешения.

Вывод рационального решения обеспечивается применением трех типов механизмов. Первый тип – механизм, основанный на прави-

лах. В нем каждому конкретному вектору, описывающему текущее состояние проблемы, ставится в соответствие рациональный способ ее разрешения. Эти механизмы реализуются в форме правил «если..., то..., иначе...», полнота и непротиворечивость которых достигается на системах имитационного моделирования совместно с экспертами. Второй тип – механизмы, построенные на базе алгоритмов многокритериального выбора. При этом задаются множество альтернативных способов разрешения и множество критериев оценки результата применения каждой альтернативы (критерии предпочтения). Третий тип – механизмы предъявления удачного precedента, подходящего для сложившейся ситуации. Наиболее адекватным механизмом для таких случаев является механизм, использующий матрицу знаний и вектор описания ситуации, координатами которого являются лингвистические переменные.

Вычислительный механизм системы состоит из множества правил, базы данных и некоторой стратегии выбора правил. Под выполнением правил понимается выполнение соответствующих процедур замыкания, целеуказания, выбора управления и перехода. Реализация механизма интеллектуального управления в виде процесса, описанного в работах [27-28].

2. Организация автоматизированных рабочих мест

Современное состояние разработки месторождений повышает требования к автоматизированным рабочим местам управления геологотехнологических служб, расширению функциональных возможностей в области интеллектуальной обработки информации, что стимулирует рост «насыщенности» подразделений компаний высокопроизводительной вычислительной техникой и современным программным обеспечением. Большое внимание уделяется средствам подключения к глобальной информационно-вычислительной сети, системе обработки информации и измерительным комплексам.

Аппаратные средства АРМ-У должны обеспечивать эффективную реализацию всех функций ПО системы. В качестве такой аппаратной платформы может быть использован вариант применения многопроцессорных вычислительных систем в виде кластерной установки с ускорителями вычислений на графических

процессорах. Особую важность приобретает вопрос оснащения скважин датчиками и приборами мониторинга, обеспечивающими сбор технологической информации непосредственно на месторождениях. Собранные данные подвергаются обработке и анализу с целью подготовки технико-экономических решений по различным аспектам производственного цикла. Дальнейшее развитие этих систем позволит обеспечить удаленный доступ в режиме реального времени к информации о технологических процессах в скважинах, что в свою очередь даст возможность оптимально выбирать режим эксплуатации куста и каждой скважины по технологической схеме. Предлагается использовать структуру интеллектуальной компоненты модульного АРМ-У [21]. Инstrumentальные программные средства, реализованные на основе описанного подхода были использованы для построения ряда прикладных систем [13, 14].

3. Конкретизация требующих решения научно-технических задач и некоторые предложения

Следует отметить следующие научно-технические задачи, требующие решения в рамках построения «интеллектуального месторождения».

3.1. Разработка блока стратегий управления и целеполагания

Пусть «траектория» вывода динамического объекта – насосной станции на заданный уровень отбора нефти задается последовательностью расчетных фазовых состояний. Предлагается использование динамической системы, основанной на правилах, в рамках которой могут быть введены некоторые стратегии управления, связанные с отрабатываемыми глобальными целями. В том числе:

– стратегия движения по точкам, приемлемая, например, для управления и стабилизации работы (заданной частоты вращения) электродвигателя погружного насоса;

– стратегия достижения максимального (или минимального) значения целевого критерия (КПД, уровня давления и т.д.), приемлемая для управления работой отдельных насосных станций в целом и опирающаяся на знание модели среды (скважины);

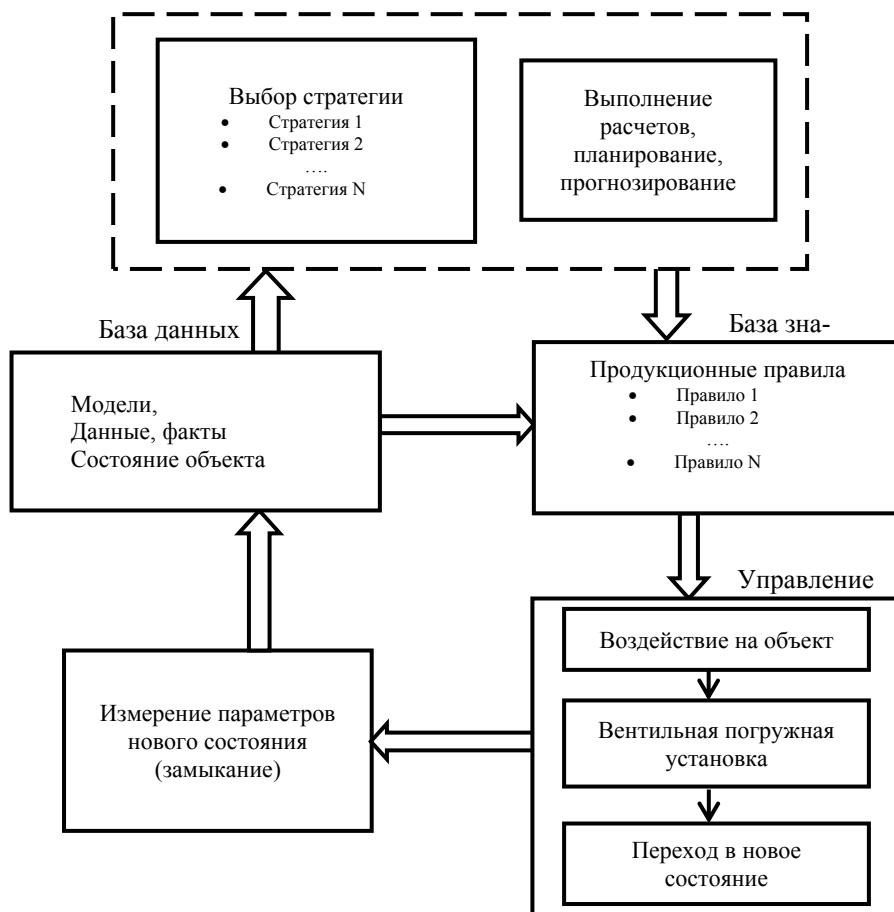


Рис. 2. Схема интеллектуального анализа и управления

– другие стратегии, число которых определяется количеством целей, также основываются на принципах отработки соответствующих конкретных траекторий.

Система целеполагания, применительно к работе насосной станции, содержит действия:

- 1) включение установки (режим «Работа»);
- 2) отключение и запрещение включения установки (режимы «Ожидание», «Авария», «Запрет работы») по неисправности или по отклонению контролируемых параметров;
- 3) регулирование и поддержание частоты вращения электродвигателя;
- 4) прогнозирование состояния среды и составить план расчетных управлений;
- 5) поддержание максимального значения КПД;
- 6) поддержание максимального дебита скважины (заданного уровня давления на приеме насоса);
- 7) выбор режима эксплуатации куста и каждой скважины по технологической схеме;
- 8) переход к системе выбора и смены правил;
- 9) переход к системе контролирования и диагностирования состояния системы.

9) переход к системе контролирования и диагностирования состояния системы.

3.2. Разработка системы правил интеллектуального управления

Предлагаемая общая схема интеллектуального управления насосной станцией как сложного динамического объекта (Рис. 2) имеет два контура интеллектуального управления, один из которых (внутренний) осуществляет управление оборотами (стабилизацией) вентильного двигателя погружного насоса (и его реверсом). Другой (внешний) контур, в соответствии со стратегией управления реализует общее управление станцией в соответствии с состоянием среды, в которую погружен насос. Существенную роль играет блок целеполагания, который задает глобальные цели управления станции и решает стратегические задачи выбора режима управления.

Блок планирования прогнозирует течение событий и параметры состояния модели на за-

данное число шагов вперед. Для функционирования модели нужна интегрированная база данных, содержащая данные телеметрии, необходимые факты и текущие параметры модели. Для представления знаний используются фреймы, правила и семантические сети, которые поддерживают представление объектов, их атрибутов, структуру и процедуры поведения.

В нашем случае в базе знаний хранятся производственные правила, задающие условия, при которых вырабатываются конкретные управления насосной станцией в соответствии с текущими целями и выработанным планом. Блок управления осуществляет изменение положения рычагов системы в принятой системе ограничений, в результате чего система переходит в новое состояние. Работа интеллектуальных систем в условиях динамичной внешней среды подразумевает своевременную реакцию на изменение параметров среды и учитывает наличие переходных процессов между состояниями. Это накладывает ограничения и на время функционирования механизмов анализа и измерения текущих параметров для своевременного обновления базы данных (замыкания) [11, 12].

Реализация механизма непрерывного управления основана на выполнении следующих функций:

- 1) внешний запрос и установка целей (целе-полагание), критериев и стратегий управления;
- 2) обращение к базе знаний и сопряженной с ней базе данных;
- 3) чтение текущих параметров из базы знаний и базы данных;
- 4) выдача запроса на формирование плана (последовательности правил выбора управления);
- 5) получение плана (выполнение расчетов целевых функций, прогнозирование, планирование);
- 6) отработка плана: подача расчетных и экспериментальных данных, сравнение текущей глобальной ситуации с расчетной, выдача запроса на поиск применимых правил и отношений (применимые правила – правила, условия которых выполнимы на текущем состоянии);
- 7) сравнение текущей глобальной ситуации с расчетной;
- 8) передача выбранного производственного правила на выполнение в систему;
- 9) синхронизация внутренних тактов системы с реальным временем;

10) измерение параметров нового состояния (замыкание) и их запись в базу данных.

Алгоритм выполняется непрерывно, достигая и поддерживая глобальное целевое состояние. Процедура управления, основанная на применении системы правил, являющихся основным способом синтеза и представления планов при использовании.

3.3. Разработка блока математического моделирования системы управления вентильным двигателем

Для моделирования системы управления и стабилизации работы двигателя предлагается использовать структурную схему, описанную в работе [29]. Описанные решения позволяют удовлетворить возросшие требования к системе управления вентильным двигателем: коррекция и самокалибровка датчиков положения, программное управление и коррекция возмущений привода. В результате улучшается динамика процессов позиционирования и стабильность скорости. Разработанные процедуры настройки и идентификации параметров облегчают использование дополнительных возможностей блока управления.

Использование пропорционально-интегрально-дифференциального-регулятора (ПИД-регулятора) в качестве цифрового регулятора частоты вращения ставит задачу поиска оптимальных настроек регулятора. Предлагается использовать один из вариантов применения методов искусственного интеллекта – настройку ПИД-регулятора для цифрового регулирования частоты погружного двигателя с помощью градиентного спуска и генетическим способом. В качестве комплексной оценки переходного процесса можно выбрать сумму ряда нечетких функций принадлежности. Отличительной особенностью предлагаемого метода является использование зависимостей между параметрами ПИД-регулятора и оценками качества переходного процесса в замкнутом контуре управления, выраженных отношениями. Этот подход подкрепляется тем, что опытные инженеры способны достаточно точно осуществлять настройку параметров регулятора, основываясь на своем опыте работы и соответствующих знаниях [30].

3.4. Разработка модуля расчета основных показателей и прогнозирования

- В модуле будет осуществляться расчет
- 1) КПД насоса с учетом влияния вязкости, свободного газа и режима работы;
 - 2) расчет напора насоса на воде при оптимальном режиме;
 - 3) вычисление мощности насоса и погружного двигателя;
 - 4) интерполяция на основе параметрического кубического сплайна.

Сплайны позволяют на единой методологической основе разрабатывать математическое обеспечение, проводить моделирование поверхностей сложной формы. Применение сплайнов, например параметрических сплайнов Эрмита, позволяет хранить геометрическую информацию в числовой форме и с любой точностью, что используется в системах передачи и восстановления информации, при этом существенно упрощаются аппаратурные решения.

3.5. Разработка блока прогнозирования

Блок выполняет прогнозирование состояния технических подсистем с помощью искусственной нейронной сети (ИНС) прямого распространения с сигмоидальной функцией активации. Число входов первого слоя равно $k \cdot n$ и соответствует k векторам координат цели (k -мерном пространстве, охватываемых окном шириной n). Число нейронов первого и второго слоя подбирается экспериментально. Третий слой содержит k нейронов, выходы каждого из них служат для прогнозирования координаты следующей точки (прогноза). Метод обучения ИНС (настройки) заключается в следующем. Будем сканировать имеющийся временной ряд скользящим окном. Охватывая скользящим окном n значений временного ряда, добиваемся получения на выходе его $(n+1)$ -го значения (Рис. 3). Для дальнесрочного прогнозирования полученный прогноз дописывается в конец имеющейся последовательности точек.

3.6. Разработка блока контроля и диагностики

Под контролем и диагностикой понимается процесс обнаружения отклонения и поиска неисправности подсистемы, который формализуется как задача распознавания (классификации)

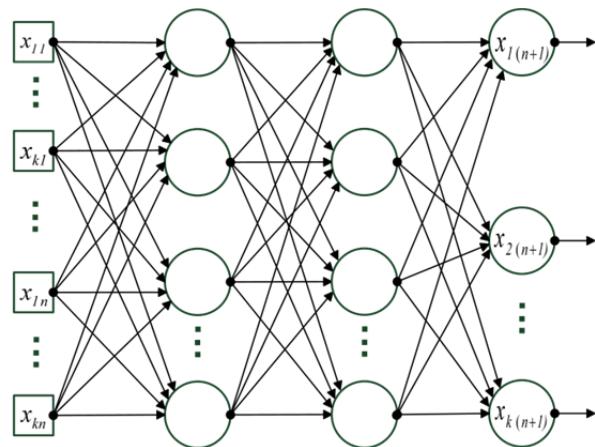


Рис. 3. Архитектура прогнозирующей нейронной сети

ситуации на основе измерения и интеллектуального анализа данных. Текущий контроль сбоев датчиков строится также на корреляционном анализе данных. Для распознавания решения задачи обнаружения нештатных ситуаций предлагается использовать вероятностную нейронную сеть (PNN – Probabilistic Neural Network). Вероятностная сеть учится оценивать функцию плотности вероятности, ее выход рассматривается как ожидаемое значение модели в данной точке пространства входов. Для вероятностной сети не требуется обучения, так как все параметры сети определяются непосредственно учебными данными. Для того, чтобы минимизировать ошибку, на последнем слое выбирается выход с наибольшей плотностью вероятности. Если имеется достаточное количество обучающих примеров, такой метод дает хорошие приближения к истинной плотности вероятности. Альтернативой служит двухслойная полно связная ИНС прямого распространения (двухслойный персептрон). Настройка сети осуществляется по известному методу Видроу-Хоффа. Также возможно построение разделяющей функции методом группового учета аргументов (МГУА). МГУА позволяет восстанавливать зависимости между входными и выходной переменными по выборкам наблюдений. В данном случае он будет использоваться для классификации входных векторов.

Заключение

Разрабатываемое направление предполагает внедрение интеллектуальных технологий в рам-

ках создания единого научно-технологического пространства нефтяного месторождения. К ним относятся методы оптимизации режимов работы сложных технических систем; системы поддержки принятия решений, основанные на экспертных знаниях; унифицированные требования к интерфейсам и модулям интеллектуальных систем, средствам представления и хранения знаний, в том числе к архитектурам распределенных баз знаний; математическое и программное обеспечение.

Создаваемые передовые интеллектуальные технологии и инструментальные средства на их основе могут быть использованы для моделирования процессов достижения целей, распознавания глобальной ситуации, диагностики неисправностей и корректировки технологических процессов с целью достижения наиболее эффективного результата работы нефтяного месторождения. Внедрение интегрированной системы мониторинга, анализа и управления добычей в реальном времени могло бы помочь в устраниении существующих технологических пробелов, повысить прибыльность и продлить жизнь месторождения. Таким образом, можно говорить о том, что задача внедрения интеллектуальных технологий в рамках создания единого научно-технологического пространства нефтяного месторождения является актуальной, а ее решение представляется стратегически важной научно-технической проблемой. Выработанные в настоящей работе предложения могут стать отправной точкой для будущих исследований в области построения «интеллектуальных месторождений».

Литература

1. Oilconf 2013. URL: <http://www.oilconference.ru/#!news-and-publications/c17jc> (дата обращения: 07.04.2014).
2. Московская секция международного общества инженеров нефтяников SPE – SPE MOSCOW SECTION. URL: <http://www.spe-moscow.org/ru/news/index.php?id=217> (дата обращения: 07.04.2014).
3. «Нефтедобыча, Нефтепереработка, Химия» – V Международная специализированная выставка в Самаре. URL: http://packer-service.ru/news_2011-10_gasoil-expo_2011_samara.html (дата обращения: 07.04.2014).
4. «Интеллектуальная скважина» – что это? – Нефть. Газ. Новации, №11, 2011. URL: <http://neft-gaz-novacii.ru/component/content/article/674-1-г-> (дата обращения: 07.04.2014).
5. Кульчицкий В.В. Обращение к участникам круглого стола на тему «Интеллектуальная скважина». URL: http://www.weatherford.ru/assets/files/pdf/NG_N_11_discussion_article.pdf (дата обращения: 07.04.2014).
6. Pchelnikov R.L., Mironov D.V. et al. Smart Alarms Tool Development Approach for Oil Production Monitoring System (SPE 166378) // SPE: Управление Цифровым Месторождением, 2013.
7. Шевченко С.Д., Миронов Д.В. и др. Самотлор: Оптимизация добычи в режиме реального времени для крупнейшего месторождения в России (SPE 149615) // SPE: Управление Цифровым Месторождением, 2013.
8. Игнатьев В. Интеллектуальные системы управления. = Нефтегазовая Вертикаль, #21/2011, с.24-32. URL: <http://ngv.ru/upload/iblock/78f/78fe66c2e4d54c4d41fa0f510fc01a03.pdf> (дата обращения: 07.04.2014).
9. Оптимизация добычи и интеллектуальные скважины. URL: <http://www.weatherford.ru/ru/service/production/53> (дата обращения: 07.04.2014).
10. Цифровые интеллектуальные системы управления нефтяными полями. URL: http://l-start.ru/products/resheniya_dlya_neftyanoy_promyshlennosti/intellektualnye_sistemy_upravleniya_neftyanymi_polyami/ (дата обращения: 07.04.2014).
11. Контроллер интеллектуального управления и симуляции скважины. URL: <http://naftamatika.com/wp-content/uploads/2011/05/BrochureRussia.pdf> (дата обращения: 07.04.2014).
12. Интеллектуальная скважина. Оптимизация энергопотребления процесса нефтедобычи через интеллектуальное управление погружным насосом. – Реестр инновационных продуктов, технологий и услуг, рекомендованных к использованию в Российской Федерации. URL: <http://innoprod.startbase.ru/products/23938/> (дата обращения: 07.04.2014).
13. Лепехин В.И. Видякин Н.Г. Валеев А.С. Кан А.Г. ЗАО ЭЛЕКТОН: наши идеи и перспективы. – Нефтяное Хозяйство, №5, 2004. URL: <http://www.elektkon.ru/article1.shtml> (дата обращения: 07.04.2014).
14. Голубятников М.Б., Ганеев А.Р. Интеллектуальная станция управления скважинной штанговой насосной установкой. URL: <http://knowledge.allbest.ru/geology/d-3c0b65635b2bd78a5c43a89421316d27.html> (дата обращения: 07.04.2014).
15. Бизнес-план проекта «Интеллектуальные скважины» (разработки интеллектуальной скважинной системы на основе эффекта памяти формы для одновременно-раздельной и поочередной добычи углеводородов). URL: <http://www.pandia.ru/text/77/178/27887.php> (дата обращения: 07.04.2014).
16. Использование интеллектуальных задвижек в тяжелых условиях, 2006. URL: <http://controlengrussia.com/artykul/article/ispolzovanie-intellektualnykh-zadvizhek-v-tjazhelykh-us/>, <http://controlengrussia.com/verkhnee-menju/na-glavnuju/> (дата обращения: 07.04.2014).
17. Кравцов М. Интеллектуальное месторождение: новые возможности и новые решения. URL: http://ozna.ru/presscenter/articles/detail.php?SECTION_ID=&ELEMENT_ID=1414 (дата обращения: 07.04.2014).
18. Кабаев М.В. Интеллектуальное управление добычей в ЦДНГ-4(Т) Тевлино-русскинского месторождения – Инженерная практика, №10/2011. URL:

- http://www.glavteh.ru/files/IP-10_Kabaev.pdf (дата обращения: 07.04.2014).
19. Адаптивная система забойного контроля и управления для оптимизации работы скважины (Интеллектуальная скважина). URL: http://www.tc-irz.ru/tek?Id=76&Pic=1 (дата обращения: 07.04.2014).
20. Ивановский В.Н., Сабиров А.А. К вопросу об интеллектуализации добычи нефти. URL: http://neftegas.info/territoriya-neftegaz/3216-k-voprosu-ob-intellektualizacii-dobychi-nefti.html (дата обращения: 07.04.2014).
21. Осипов Г.С. Динамические модели и инструментальные средства, использующие эмпирические и экспериментальные знания. – Труды 3-го расширенного семинара «Использование методов искусственного интеллекта и высокопроизводительных вычислений в аэрокосмических исследованиях». Переславль-Залесский: Изд.-во «Феникс», 2003, с.17-27.
22. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. – М.: Физматлит, 2011. – 296 с.
23. Осипов Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами: Основы теории и технологии. – М.: Физматлит, 1997. – 112 с.
24. Соловьев И.Г. Контроль и управление гидродинамикой скважинной системы в нестационарных средах. URL: http://www.ipdn.ru/rics/pdf/543.pdf (дата обращения: 07.04.2014).
25. Соловьев И.Г., Фомин В.В. Математическая модель процесса освоения скважины с УЭНЦ после глущения.
- URL: http://www.ipdn.ru/rics/doc0/DB/b4/1-sol-f.htm (дата обращения: 07.04.2014).
26. Жукова С.В., Золотухин Ю.Н., Рахманова Л.А. Генетический подход и нечеткие оценки в оптимизации ПИД-регулятора. // В кн.: РОИ-98. Распределенная обработка информации. Труды шестого международного семинара, 23-25 июня 1998, Новосибирск, Россия. Новосибирск, Сибирское отделение РАН, 1998, с.313-317.
27. Виноградов А.Н., Жилякова Л.Ю., Осипов Г.С. Динамические интеллектуальные системы. I. Представление знаний и основные алгоритмы // Известия Академии Наук. Теория и системы управления, М: Наука, 2002, №6, с.119-127.
28. Виноградов А.Н., Жилякова Л.Ю., Осипов Г.С. Динамические интеллектуальные системы. II. Моделирование целенаправленного поведения // Известия Академии Наук. Теория и системы управления, М: Наука, 2003, №1, с.87-94.
29. Балкова А. Прецизионный электропривод с вентильным двигателем. – Электронные компоненты №11, 2008, с.32-43. URL: http://www.russianelectronics.ru/leader/r/review/40498/doc/44462/ (дата обращения: 07.04.2014).
30. Макаров Д.А. Метод настройки ПИД-регулятора на основе экспертных знаний // Теория и практика системного анализа: Труды I Всероссийской научной конференции молодых ученых, Т. И. Рыбинск: РГАТА имени П.А. Соловьева, 2010, с.67-73.

Заднепровский Вадим Федорович. Генеральный директор компании «РСК СКИФ», зам. директора ИПС им А.К. Айламазяна РАН. Окончил Московский лесотехнический институт в 1967 году. Автор более 20 печатных работ. Область научных интересов: информационные и космические технологии. E-mail: vfz@pereslavl.ru

Фраленко Виталий Петрович. Старший научный сотрудник Исследовательского центра мультипроцессорных систем ИПС им. А.К. Айламазяна РАН. Окончил Институт программных систем – «Университет города Переславля» в 2007 году. Кандидат технических наук. Автор более 60 печатных работ. Область научных интересов: искусственный интеллект, нейронные сети, шифрование, сжатие, параллельные вычисления, сетевая безопасность, диагностика сложных технических систем, системы принятия решений. E-mail: alarmod@pereslavl.ru

Хачумов Михаил Вячеславович. Научный сотрудник Института системного анализа РАН. Окончил Российский университет дружбы народов (РУДН) в 2009 году. Кандидат физико-математических наук. Автор более 20 печатных работ. Область научных интересов: классификация, кластеризация, метрика, кластерный анализ, слабоструктурированные данные. E-mail: khmike@inbox.ru