

УДК 622.32-52

Б. Г. ИЛЬЯСОВ, А. В. КОМЕЛИН, К. Ф. ТАГИРОВА**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
УСТАНОВКОЙ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА**

Описана структура и алгоритмы работы автоматизированной системы управления установкой электроцентробежного насоса (АСУ УЭЦН), построенной на основе методов искусственного интеллекта. *Нефтедобыча; принятие решения; нейронная сеть*

**1. АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ АСУ
ПРОЦЕССОМ ДОБЫЧИ НЕФТИ УЭЦН**

Современное состояние сырьевой базы нефтяной промышленности характеризуется изменением структуры и качества запасов как на разрабатываемых, так и на вновь открываемых месторождениях. Все большее число месторождений вступает в позднюю и завершающую стадию разработки, характеризующуюся значительным снижением добычи нефти при резком росте обводненности продукции [1].

По мере истощения нефтяной залежи особую актуальность приобретают проблемы повышения эффективности разработки месторождений, увеличения добычи нефти, снижения отбора попутных воды и газа, повышения нефтеотдачи пластов, обоснования и выбора оптимальных управляющих воздействий, оценки технологической эффективности проводимых геолого-технологических мероприятий, продления жизненного цикла разработки месторождений, достижения экономической эффективности и другие [2].

Одной из крупных нерешенных проблем информатизации нефтедобывающего производства является создание информационных систем с функциями мониторинга добычи нефти и поддержки принятия решений по управлению оборудованием нефтедобычи, в частности, установкой электроцентробежного насоса (УЭЦН), непосредственно на скважинах в условиях нефтедобывающего предприятия [3].

Суть проблемы заключается в том, что УЭЦН работает в условиях воздействия разных типов неопределенностей, и существующие методы принятия решений по управлению УЭЦН не учитывают их.

Для учета практически всех типов неопределенностей, действующих на УЭЦН в процессе добычи нефти и принятия решения по управлению установкой на основе совместного анализа статической (история скважины) и динамической (ее текущее состояние) информации с учетом действия внешних факторов предложено применить интеллектуальные методы обработки промысловой информации [4].

**2. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ
К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ
НЕФТИ УЭЦН**

УЭЦН состоит из погружного электродвигателя (ПЭД), гидрозащиты, многоступенчатого насоса и кабельной линии, спускаемых на насосно-компрессорных трубах в скважину, а также наземного оборудования, станции управления и трансформатора. Станция управления осуществляет коммутацию электроцепи, необходимые измерения и защиту.

Технологический процесс добычи нефти УЭЦН сводится к решению двух основных задач: вывести установку на режим, при котором динамический уровень в скважине стабилизируется таким образом, что количество откачиваемой насосом жидкости равно количеству жидкости, притекающей из пласта, т. е. найти точку устойчивой совместной работы системы «скважина – пласт» и поддерживать этот режим в течение продолжительного времени.

Главной проблемой существующего подхода к управлению УЭЦН является отсутствие единой концепции разработки станций управления. На сегодняшний день станция управления любого производителя уникаль-

на по исполнению, хотя выполняет стандартный набор функций.

В процессе управления работой существующих станций не учитываются следующие факторы:

- геологические (газ, вода, отложение солей и парафина, наличие механических примесей в добываемой из пласта жидкости, вязкость), характеризующие условия формирования залежи;
- конструктивные (диаметр эксплуатационных колонн, кривизна скважин, большая глубина подвески, исполнение узлов и деталей УЭЦН);
- характеристики скважины (продуктивность, индикаторная кривая, история работы);
- характеристики насоса (текущая производительность, напор, подача, КПД, рабочий диапазон);
- динамические характеристики (динамический уровень, температура жидкости на забое, забойное давление, вибрация установки, температура ПЭД).

Для качественного управления УЭЦН этой информации недостаточно, поэтому необходимо: изменить конструкцию СУ с целью расширения ее функциональных возможностей; добиться взаимозаменяемости станций и установок; разработать единый интерфейс взаимодействия оператора со станцией управления.

3. ПОСТРОЕНИЕ АСУ УЭЦН НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

3.1. Декомпозиция станции управления

Анализ существующих станций управления, который проводился на базе сервисного предприятия по обслуживанию установок электроцентробежных насосов ЗАО «ЛУКОЙЛ ЭПУ Сервис», показал, что все станции (около 10 типов разных производителей) по своей структуре практически не отличаются и в своём составе имеют стандартный набор устройств: рубильник, блок предохранителей, контактор вакуумный дистанционного управления, блок трансформаторов тока, блок трансформаторов напряжения, датчики тока и напряжения, контроллер, детектор турбинного вращения, блок измерения сопротивления изоляции.

Рассмотрим пример из практики, в котором оператору ставится задача ввести уставки на 4 разных типа (разных производителей) станций управления, а затем переписать с каждой станции историю ее работы. На рис. 1 представлен состав станций управления четырех производителей: «Centrolift» – обозначим как тип **A**, «Электон» – тип **B**, «ИРЗ-200» – тип **C**, «АЛСУ» – тип **D**.

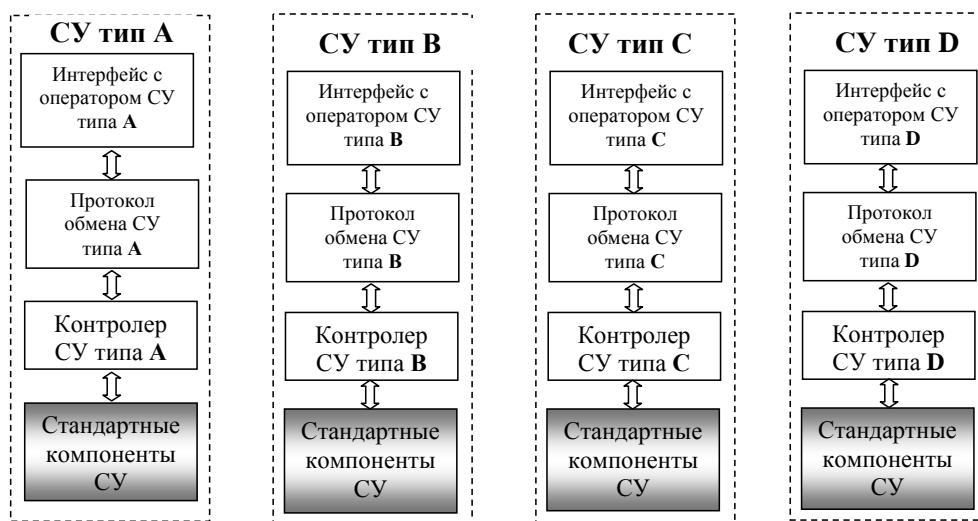


Рис. 1. Существующие станции управления четырех типов

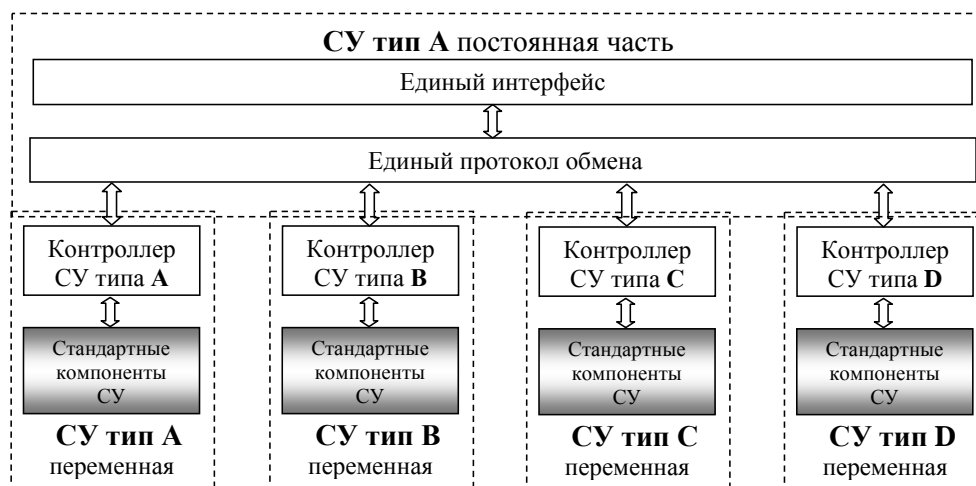


Рис. 2. Декомпозиция станции управления СУ на переменную и постоянную части

Количество уставок, который оператор должен ввести в контроллер каждой станции, доходит до 200. Например, контроллер «Vortex» в СУ «Centrolift» имеет 125 уставок, а контроллер в СтУ «Электон» 156 уставок. Как правило, ввод уставок в контроллер производится в следующем формате: номер уставки — значение. Переход от одного параметра к другому осуществляется нажатием кнопок в сторону увеличения или уменьшения номера уставки. Причем одна и та же уставка в каждом контроллере имеет разный номер. Например, за максимальное значение силы тока фазы А в контроллере «Vortex» отвечает уставка номер 1, а в контроллере СУ «Электон» — 32 уставка.

Таким образом, оператор должен знать меню всех типов используемых на промыслах контроллеров, уметь найти нужную уставку и изменить ее значение. Ввод информации в среднем занимает 30 минут. При этом велика вероятность ошибки оператора. При смене установки ту же самую информацию приходится вводить повторно.

Для того чтобы считать со станции управления историю работы установки каждый производитель разрабатывает свой интерфейс, который включает в себя: физический канал передачи, разъемы, адаптеры, протоколы обмена, программное обеспечение. Например, контроллер «Vortex» имеет разъем DB-9F, т. е. стандартный разъем последовательного порта RS-232, но распайка сигнальных проводов не соответствует стандартной. Поэтому, для того чтобы подключить для считывания информации, например, ноутбук к контроллеру «Vortex», оператор должен иметь соответствующий адаптер.

В станции управления «Электон» используется интерфейс RS-485. По этой причине оператор должен иметь преобразователь интерфейсов RS-232/RS-485. Более того, у оператора на компьютере должно быть установлено программное обеспечение для каждого типа станции управления. И оператор должен знать, как с этим программным обеспечением работать.

Считанная информация сохраняется в компьютере оператора в определенном, уникальном для каждого типа СтУ виде. Посмотреть эту информацию с целью формирования единого по всем СтУ отчета можно только с использованием специальных «программ-просмотрщиков» и вручную создать требуемый отчет. Это довольно трудоемкая операция.

Таким образом, существующий подход производителей к проектированию станций управления имеет множество недостатков, которые усложняют их дальнейшую эксплуатацию на промыслах.

В рамках концепции интеллектуального подхода к построению АСУ УЭЦН предлагается декомпозиция станции управления на постоянную и переменную части. Если добычающие скважины объединены в куст, экономически целесообразно устанавливать одну постоянную часть на несколько переменных частей (рис. 2). За счет этого оператор может считывать информацию одновременно со всех контроллеров. Объединение контроллеров в промышленную сеть позволяет станции управления каждой установкой анализировать работу соседних установок. Как будет показано дальше, эта информация необходима системе управления для принятия решения.

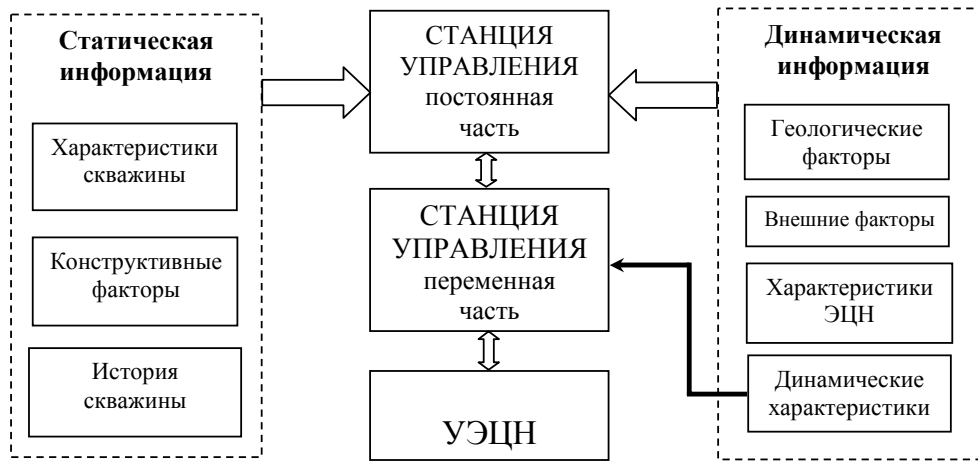


Рис. 3. Увеличение количества источников информации

Разделение станции управления на постоянную и переменную части даст следующие преимущества:

1) Единый интерфейс оператора. Другими словами, на компьютере оператора будет всего одна программа для считывания истории работы установок любого типа. Отсюда единство вида хранения информации и автоматическая генерация отчета, эти функции берет на себя база данных и система управления базой данных.

2) В постоянной части можно хранить уставки всех типов используемых на данном месторождении установок электроцентробежных насосов. Оператору при запуске необходимо только выбрать нужный тип установки, а уставки запишутся в контроллер автоматически. Более того, появляется возможность редактировать уставки не на контроллере, что занимает много времени, а на компьютере оператора. Исключается ввод некорректного значения уставки (ошибка оператора).

3) Постоянная часть всегда остается на месторождении и может использоваться для других целей: подключение приборов геофизики, уровнемеров, устройств для проведения ремонтных работ и т. д.

4) Появляется возможность третьим фирмам производить свои постоянные части СУ, не задумываясь об аппаратной и программной совместимости частей.

5) В пределах куста (группы скважин) одна постоянная часть может обслуживать несколько переменных частей станции управления.

Таким образом, декомпозиция станции управления на постоянную и переменную части позволяет решить проблемы ввода мно-

жества уставок, считывания истории работы установок, унифицировать интерфейс взаимодействия оператора и станции, объединить переменные части в промышленную сеть передачи данных, что существенно упрощает их промышленную эксплуатацию.

3.2. Универсальность постоянной части СУ

Разделение станции управления на части определило новое важное свойство — универсальность. Это свойство станции управления существенно расширяет ее функциональные возможности.

Универсальность постоянной части заключается в том, что, во-первых, с ней могут работать любые устройства, поддерживающие единый протокол обмена, а во-вторых, она является интегратором различных источников динамической и статической информации (рис. 3).

На рис. 3 сплошной черной стрелкой показано, какая информация используется для управления существующей СУ, т. е. станция управления использовала только динамические характеристики, а именно: фазные токи и напряжения погружного электродвигателя, дисбаланс токов и напряжений, сопротивление изоляции, потребляемую мощность, давление на приеме насоса, температуру и вибрацию ПЭД (при наличии погружного блока телеметрии). Теперь появляется возможность учитывать геологические, конструктивные, внешние, а также характеристики скважины и ЭЦН, существенно влияющие на процесс добычи нефти.

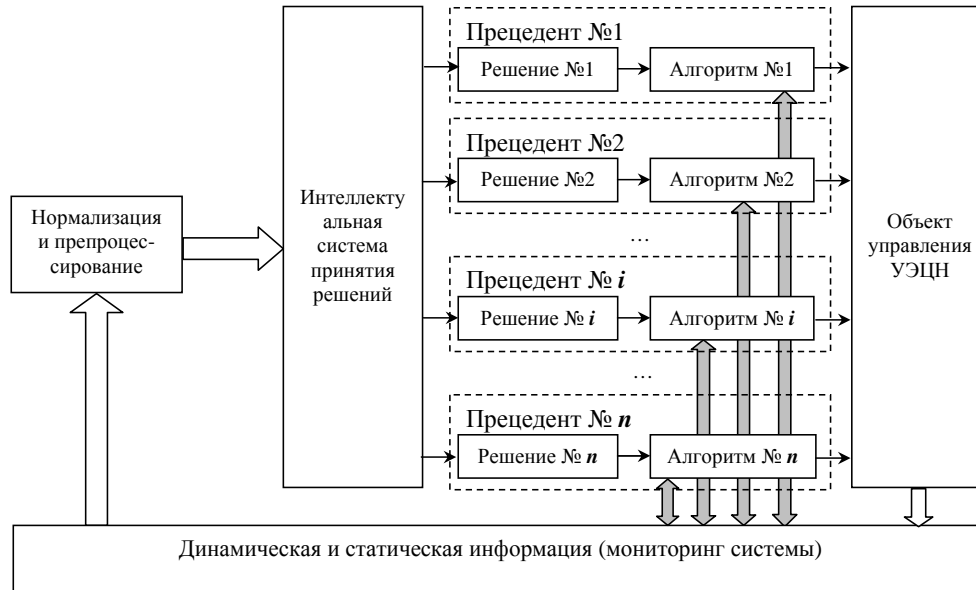


Рис. 4. Функциональная схема интеллектуальной АСУ УЭЦН

4. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АСУ УЭЦН

4.1. Функциональная схема интеллектуальной АСУ УЭЦН

Согласно предлагаемой концепции интеллектуального подхода к управлению установкой электроцентробежного насоса, переменная часть станции управления должна самостоятельно принимать решения по управлению. Другими словами, в состав АСУ УЭЦН должна входить система принятия решений, построенная на принципах использования интеллектуальных технологий. Функциональная схема интеллектуальной АСУ УЭЦН показана на рис. 4.

Автоматизированная система из всего множества предоставленной информации часть параметров использует для управления, а часть для реализации выбранного алгоритма работы (принятого решения). Именно поэтому к информационному блоку (рис. 4) подходят двунаправленные стрелки, которые показывают, что для реализации алгоритма система берет необходимую информацию, а после реализации алгоритма возвращает новые рассчитанные значения параметров.

Если при реализации алгоритма изменяются параметры, которые входят в управляющую группу параметров, то система в связи с этим может принять другое решение.

К группе управляющих параметров относятся параметры, одновременное изменение которых в процессе управления однозначно определяет ту или иную ситуацию. Система принятия решений ищет в базе прецен-

тов ситуацию наиболее близкую к ситуации, которая возникла на объекте управления. В табл. 1 перечислен список параметров управляющей группы.

Таблица 1

Группа управляющих параметров

Параметр	Название
$Q_{ж}$	Дебит установки по жидкости (производительность)
$H_{д}$	Динамический уровень в скважине
$P_{пэд}$	Давление масла в ПЭД
$P_{уст}$	Устьевое затрубное давление
I	Ток двигателя
U	Напряжение двигателя
t	Температура двигателя
η	Коэффициент продуктивности скважины
R	Сопротивление изоляции
G	Гарантийный срок работы установки
$R_{уп}$	Признак работы установки

Значения управляющих параметров являются основой для принятия решения системой. Поэтому их необходимо проверять на противоречивость и допустимость значений. Этой функцией занимается блок преобразования и нормализации сигналов.

Диапазоны изменения и единицы измерения управляющих параметров разные и отличаются в несколько десятков раз. Поэтому перед подачей их на вход системы принятия решений необходимо провести нормализацию.

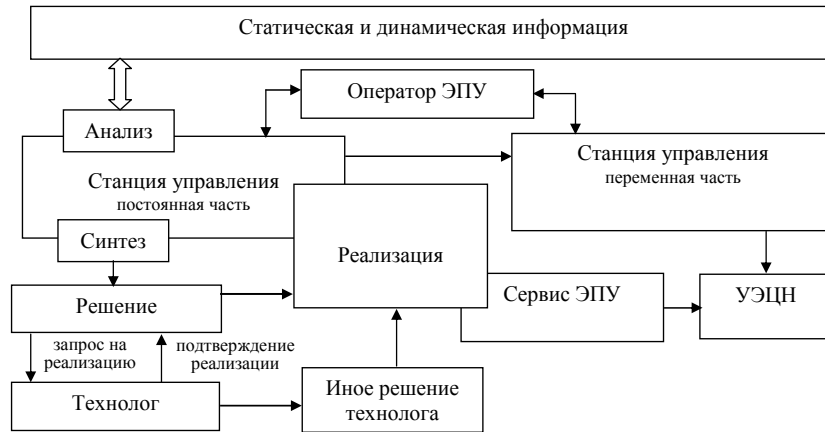


Рис. 5. Информационная модель процесса интеллектуального управления УЭЦН

4.2. Информационная модель АСУ УЭЦН

Существующие станции управления не управляют работой УЭЦН, а являются лишь средством защиты ПЭД от электрических и механических воздействий.

При использовании интеллектуального подхода к управлению УЭЦН принятие решений будет производиться в постоянной части станции управления (рис. 5).

Постоянная часть станции управления имеет доступ к статической и динамической информации. Анализируя группу управляющих параметров (табл. 1), система принимает решение и генерирует запрос к технологу на его реализацию. Если технолог подтверждает принятое системой решение, то система реализует соответствующий алгоритм. Если технолог не согласен с системой, то он принимает свое решение и реализует его. Для реализации принятых решений постоянная часть станции управления должна иметь информационное обеспечение с рядом подсистем, которые предоставляют конечным пользователям удобные инструменты работы с большим объемом информации и средства для хранения, обработки и визуализации данных.

Таким образом, интеллектуальный подход к управлению УЭЦН делает постоянную часть станции управления активным участником процесса, способным самостоятельно принимать решения, используя при этом информационную модель, основанную на различных подсистемах работы с информацией.

4.3. Система принятия решения по управлению УЭЦН на основе синтеза технологии нейросетей и прецедентов

Любой процесс принятия решения включает интеллектуальный анализ данных [5, 6].

При этом решаются задачи преобразования данных (т. е. структурированных наборов чисел и символов) в информацию (т. е. описание обнаруженных закономерностей), информации в знания (значимые для пользователя закономерности), знаний в решения (алгоритмы, последовательность шагов) [7, 8].

Структура системы принятия решений показана на рис. 6.

Множество входных векторов есть множество ситуаций, которые могут возникнуть в процессе управления УЭЦН. Весовые коэффициенты нейронов представляют собой базу знаний о возникающих ситуациях. Решается задача разработки структуры базы знаний, а также системы управления базой знаний. Наиболее близкий к возникшей ситуации прецедент определяется с помощью простой евклидовой меры.

Целью обучения сети с самоорганизацией на основе конкуренции нейронов является такое упорядочение нейронов (подбор значений их весов), которое минимизирует значение ожидаемого искажения, оцениваемого погрешностью аппроксимации входного вектора \mathbf{x} , значениями весов нейрона-победителя в конкурентной борьбе [9]. При p входных векторах \mathbf{x} и применении евклидовой метрики эта погрешность, называемая также погрешностью квантования, может быть выражена в виде

$$E_q = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \|x_i - w_{w(i)}\|^2 ,$$

где $w_{w(i)}$ — это вес нейрона-победителя при предъявлении вектора \mathbf{x}_i .

При обучении сети используется алгоритм WTA (англ.: Winner Takes All — победитель получает все).

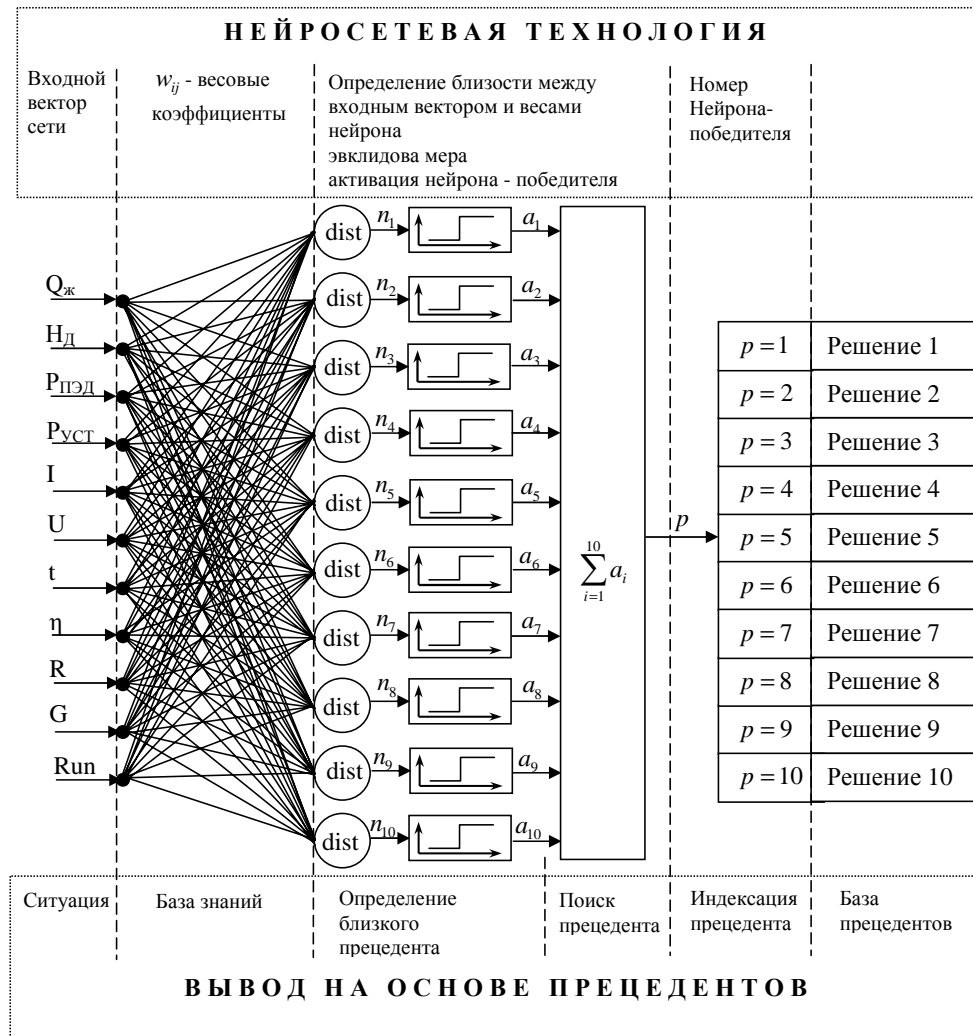


Рис. 6. Структура системы принятия решений

При предъявлении вектора x рассчитывается активность каждого нейрона. Победителем признается нейрон с самым сильным выходным сигналом, и он получает право уточнить свои веса в направлении вектора x согласно правилу Кохонена.

Таким образом, вектор веса, наиболее близкий к вектору входа, модифицируется так, чтобы расстояние между ними стало еще меньше. Результат такого обучения заключается в том, что победивший нейрон, вероятно, выиграет конкуренцию и в том случае, когда будет представлен новый входной вектор, близкий к предыдущему, и его победа менее вероятна, когда будет представлен вектор, существенно отличающийся от предыдущего. Когда на вход сети поступает все большее и большее число векторов, нейрон, являющийся ближайшим, снова корректирует свой весовой вектор [10, 11].

Создание сети, обучение и моделирование проводилось в среде программы МАТ-

ЛАВ 6.5 [12, 13]. Вектора подавались на вход сети в произвольном порядке. Распределение векторов по 10 решениям приведено в табл. 2.

Таблица 2

Распределение векторов по решениям

Номер	Решения									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вектор	10	10	10	7	23	60	53	20	2	5

Анализ результатов обучения показывает, что система принимает правильные решения. Например, количество демонтажей (решение 2) равно количеству поданных заявок (решение 3). Количество отключений (решение 6) примерно соответствует количеству запусков (решение 7). Ошибка квантования составила 0,13. Это достаточно хороший результат для прекращения обучения сети.

В рассматриваемой системе, чем меньше будет принято решений, т. е. чем меньше будет изменяться входной вектор, тем лучше.

Если установка в течение года работает без проблем, то идеальное сочетание решений по ней такое: вывод на режим, оптимальная работа.

Согласно регламенту «Виды исследования скважин и периодичность их замеров» [14], периодичность замера дебита жидкости не менее 3-х раз в неделю; обводненности — 1 раз в неделю; динамического уровня — 1 раз в месяц; замер устьевых давлений — 1 раз в неделю. Электрические характеристики ПЭД снижаются в реальном масштабе времени.

Для введения нового решения требуется ввести еще один нейрон и переобучить сеть. Каждому решению системы соответствует свой алгоритм, который при подтверждении технолога реализуется постоянной частью станции управления. Номер алгоритма совпадает с номером решения (рис. 6).

Таким образом, использование интеллектуальной системы принятия решений, основанной на технологиях нейросетей и прецедентов, позволяет переложить ряд управляющих функций с технолога на постоянную часть станции управления.

5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ АСУ УЭЦН

5.1. Автоматизированная система имитационного моделирования

Имитационное моделирование реализуется в форме автоматизированной системы имитационного моделирования (АСИМ), основанной на динамической модели системы принятия решений, ориентированной на универсальный (VBA — Visual Basic for Applications) и специальный (GENESIS32) языки программирования и представляемой в виде пакета прикладных программ [15].

Структура программного обеспечения АСИМ показана на рис. 7.

Оператор может непосредственно вручную вводить информацию для моделирования в форму ввода (рис. 8), используя связь 2 (рис. 7).

Однако форма ввода позволяет оператору загрузить информацию из базы данных (связь 3). Для хранения информации используется база данных Access, так что оператор может предварительно создать таблицы ин-

формации и входных параметров до начала процесса моделирования (связь 1).

По связи 4 оператор переходит на форму моделирования (рис. 9).

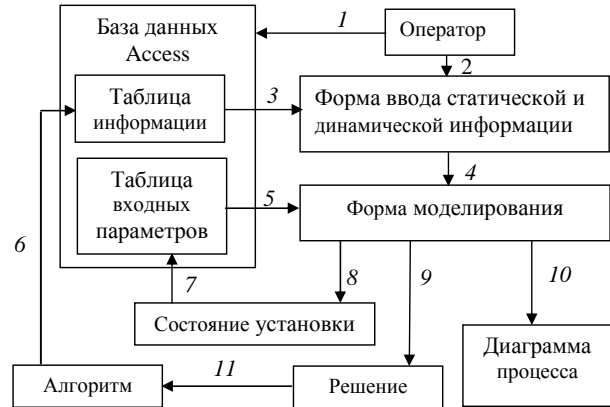


Рис. 7. Структура программного обеспечения АСИМ

Геологические факторы		Характеристики УЭЦН и скважины	
Обводненность, %	<input type="text" value="0"/>	Напор ЭЦН, м	<input type="text" value="0"/>
Газовый фактор, %	<input type="text" value="0"/>	Подача, м ³ /сут	<input type="text" value="0"/>
Мехпримеси, мг/л	<input type="text" value="0"/>	Мощность ПЭД, кВт	<input type="text" value="0"/>
		Продуктивность	<input type="text" value="0"/>
		Статический уровень, м	<input type="text" value="0"/>
		Динамический ур-нь, м	<input type="text" value="0"/>
Конструктивные факторы		Внешние факторы	
Глубина забоя, м	<input type="text" value="0"/>	Темп. возд, град	<input type="text" value="0"/>
Глубина скважины, м	<input type="text" value="0"/>	Цена барреля, \$	<input type="text" value="0"/>
Перфорация, м	<input type="text" value="0"/>	Состояние соседей	<input type="text" value="0"/>
Диаметр ОК, мм	<input type="text" value="0"/>		
Тип ЭЦН	<input type="text" value="0"/>		
Тип ПЭД	<input type="text" value="0"/>		
Тип ГЗ	<input type="text" value="0"/>		

Загрузить информацию с БД

Рис. 8. Форма ввода статической и динамической информации

Параметры входного вектора, значения которых изменились при смене векторов, закрашиваются в темный цвет (на рис. 10 увеличился ток, понизилось напряжение и уменьшилось сопротивление изоляции). Система отреагировала на изменение ситуации, приняв решение номер 6.

Моделирование производится до тех пор, пока вектор с наибольшим временем его активации не поступит на вход системы. Масштаб времени, или шаг моделирования, выбирается оператором.

Составляя таблицу входных векторов, можно имитировать любую ситуацию, в которой находится УЭЦН: завязать ток или напряжение двигателя, уменьшить дебит по жидкости, увеличить температуру двигателя и т. д. Другими словами, АСИМ предоставляет оператору множество средств изменять параметры процесса при моделировании и оценивать реакцию системы.

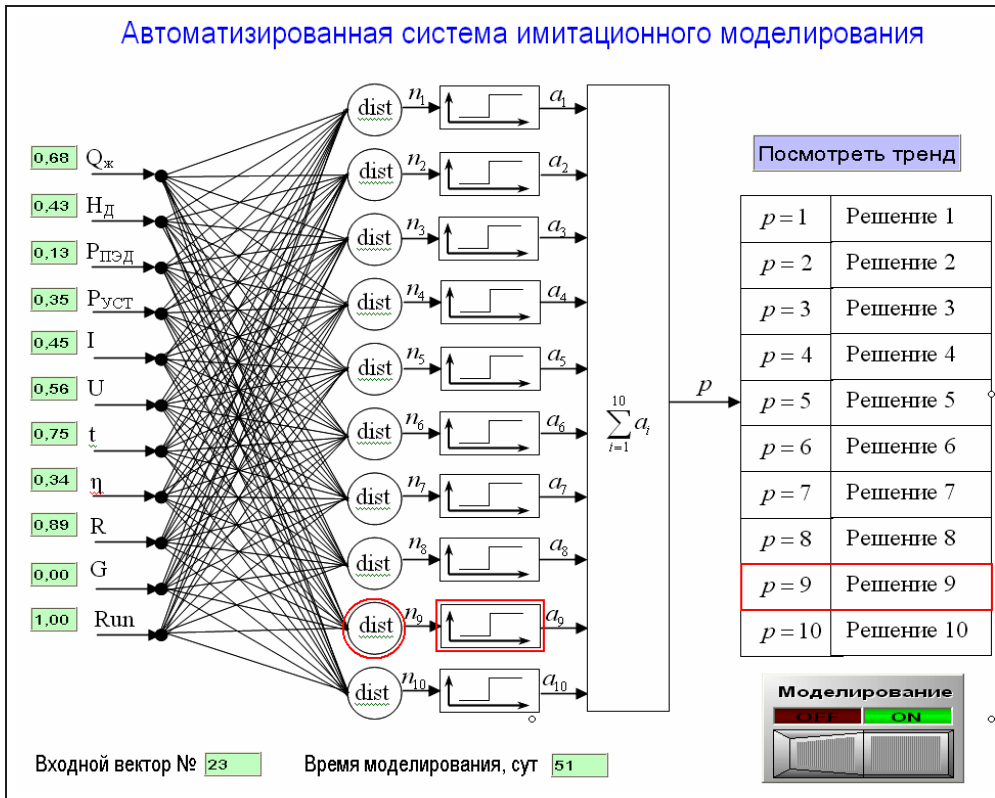


Рис. 9. Форма моделирования

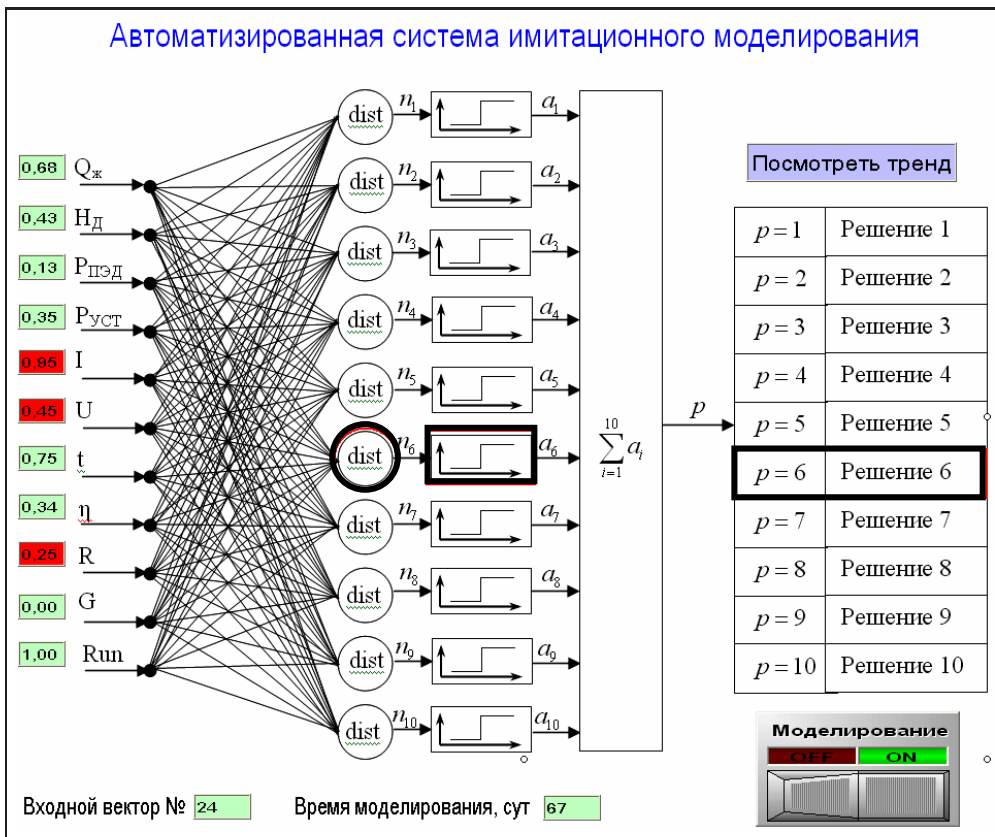


Рис. 10. Состояние системы на 67 сутки моделирования

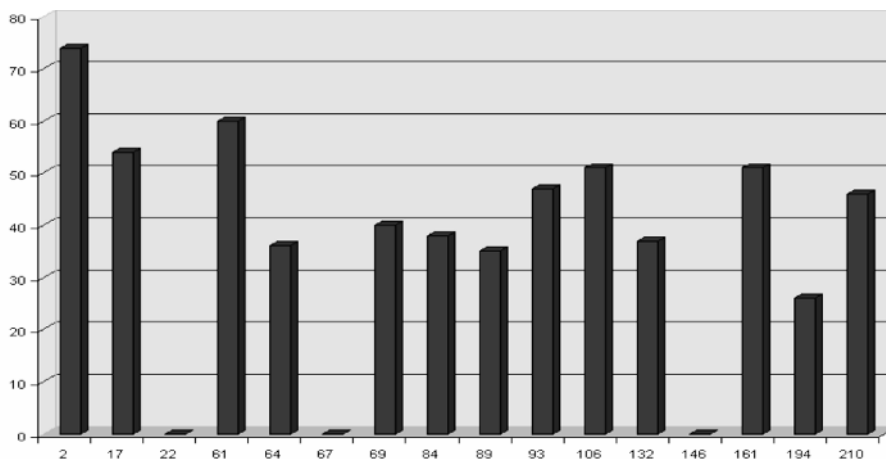


Рис. 11. Результаты моделирования

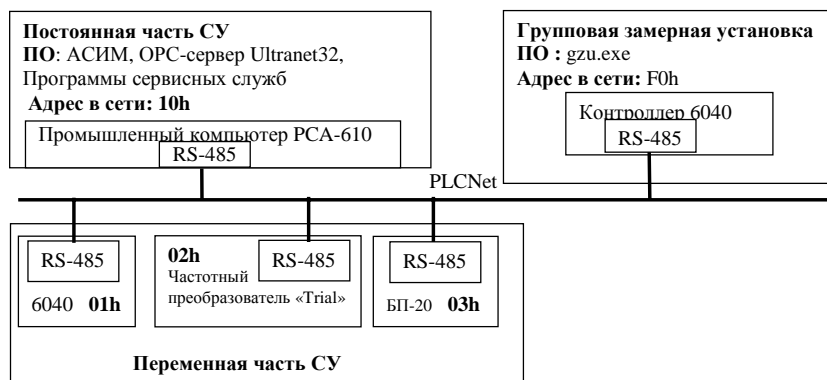


Рис. 12. Структура программно-аппаратной реализации АСУ УЭЦН

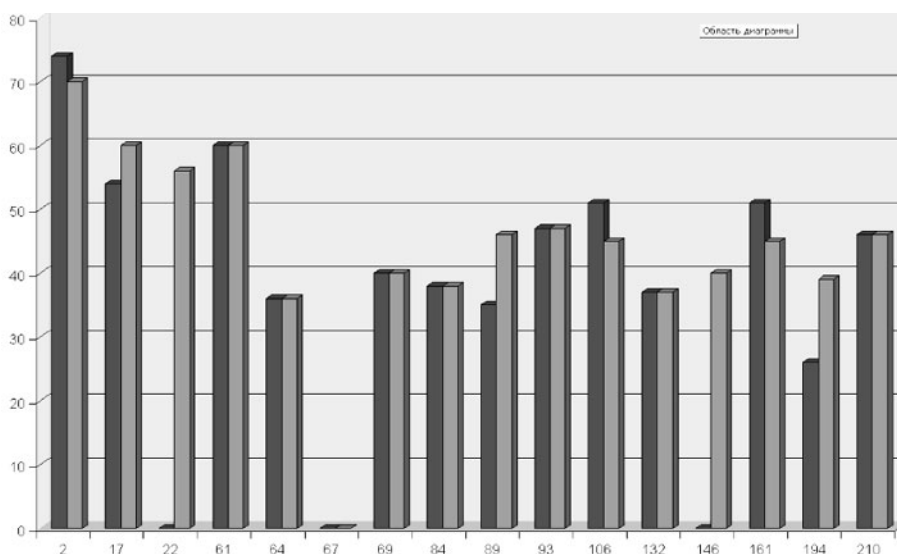


Рис. 13. Результаты работы реальной скважины (темные столбики) и моделирование ее работы в АСИМ (светлые столбики)

Результаты моделирования представлены на диаграмме процесса (рис. 11), переход на которую обеспечивает связь 10.

Каждая строка таблицы входных параметров имеет ячейку, в которой записывается время поступления этого вектора на вход системы принятия решений в процессе моделирования. Как только оператор запускает процесс моделирования, включается таймер времени моделирования t_m . При выполнении равенства $t_m = t_i$, где t_i — время наступления ситуации i (момент поступления вектора i на вход системы принятия решений), этот вектор поступает в систему моделирования, используя связь 5 (рис. 7). На рис. 9 изображена ситуация, при которой входной вектор с № 23 поступил на вход системы моделирования на 51 сутки. Система приняла решение № 9.

На 67 сутки моделирования на вход системы поступил вектор с номером 24 (рис. 10).

Из диаграммы видно, что моделирование проводилось в течение 210 суток. Установка с номинальной производительностью $60 \text{ м}^3/\text{сут.}$ проработала 17 суток, после чего было принято решение произвести демонтаж, по причине: сопротивление изоляции равно нулю. В течение 5 дней скважина простаивала, так как производились ремонтные работы.

Тип установки не изменился, и на 22 сутки ее запустили. Второе отключение произошло на 64 сутки работы, по решению смены типа установки на номинальную производительность $40 \text{ м}^3/\text{сут.}$

За весь цикл моделирования, равный 210 суток, скважина была в работе 188 суток и 22 суток простаивала. Таблица векторов в этом примере была составлена по истории работы реальной скважины № 8013 в период с 13.02.06 по 13.08.06, расположенной на кусте № 74 Тевлино-Русскинского месторождения.

Разработанная АСИМ, благодаря использованию OPC-технологии в качестве базовой технологии информационного обмена, способна из системы имитации превратиться в реально работающую систему управления УЭЦН. Это осуществляется простым переключением источников сигналов (тегов сервера) о текущем состоянии установки с базы данных (имитационные сигналы) на реальное физическое устройство — переменную часть станции управления. АСИМ, таким образом, становится программным обеспечением постоянной части станции управления.

Таким образом, автоматизированная система имитационного моделирования позволяет: воспроизводить процессы управления

реальных скважин, используя истории их работ; благодаря OPC-технологии выступать в качестве постоянной части станции управления и управлять реальным технологическим процессом; имитировать любые ситуации путем составления таблицы входных векторов.

5.2. Программно-аппаратная реализация АСУ УЭЦН

Структура программно-аппаратной реализации автоматизированной системы управления установкой электроцентробежного насоса показана на рис. 12.

Согласно предлагаемой концепции интеллектуального подхода к управлению, все устройства должны иметь единый протокол обмена информации на базе промышленной сети PLCNet. Для этого доработаны драйверы частотного регулятора фирмы «Trial» и блока преобразования сигналов телеметрии БП-20. С этой же целью пришлось установить на ГЗУ свой контроллер 6040, работающий параллельно с «родным контроллером» в режиме считывания.

Каждый участник сети имеет свой сетевой адрес (рис. 12): адрес OPC-сервера Ultranet32 [16], работающего на компьютере постоянной части СУ, равен 10h; адрес контроллера ГЗУ — F0h; контроллера переменной части управления — 01h; частотного преобразователя — 02h; блока преобразования телеметрии — 03h. Максимальное число участников в сети PLCNet равно 256. Таким образом, минимальное число сетевых адресов, которые занимает переменная часть станции управления, равно 3. Однако разработчики станций могут включать в ее состав и большее количество устройств, поддерживающих данный протокол обмена.

В OPC-технологии существует правило формирования имени тега (сетевой переменной):

`Имя_контроллера.Адрес_контроллера.Имя_переменной.`

Таким образом, теги, составляющие таблицу входных векторов, в сервере Ultranet32 будут выглядеть так, как показано в табл. 3.

Формирование входного вектора идет с разных узлов сети, поэтому важным фактором является бесперебойная работа сети. Если на кусте с одной постоянной частью работают несколько переменных частей СУ, то компьютер постоянной части необходимо резервировать. Если связь между переменной и постоянной частями пропадет, то контрол-

лер переменной части продолжит управление двигателем, так, как это делалось при существующем подходе, т. е. по его электрическим параметрам.

Таблица 3

Имена переменных в ОРС-технологии

Параметр	Имя тега
$Q_{ж}$	PLC_GZU.F0.Q01
H_d	UltraNet32.10.H
$P_{пэд}$	PTM.03.Pdriver
$P_{уст}$	UltraNet32.10.P
I	PLC_VAR.01.I
U	PLC_VAR.01.U
t	PTM.03.Temp
η	UltraNet32.10.Prod
R	PLC_VAR.01.R
G	UltraNet32.10.G
Run	PLC_VAR.01.Run

В результате проведенного функционального анализа современных промышленных контроллеров для программно-аппаратной реализации выбраны контроллер 6040 и промышленный компьютер PCA-610 американской фирмы «Octagon Systems». Использование ОРС-технологии позволяет учитывать при управлении информацию, источники которой находятся на разных узлах сети.

5.3. Оценка эффективности АСУ УЭЦН

Интеллектуальное управление. Результаты моделирования работы установок на скважине № 8013 в период с 13.02.06 по 13.08.06, расположенной на кусте № 74 Тевлино-Русскинского месторождения, показаны на рис. 13. «Левые» столбики диаграммы составлены по истории работы скважины с существующей системой управления. «Правые» столбики показывают результат моделирования работы этой же скважины, но под управлением интеллектуальной системы.

Скважина под управлением существующей системы из 210 суток находилась в работе 188 суток и при этом добыла 8 403 м³ пластовой жидкости. Учитывая 80-процентную обводненность, дебит скважины составил 1 680 м³. Другими словами, скважина дает примерно 8,9 м³/сут. Аналогичные расчеты при управлении интеллектуальной системы дали результат 9,3 м³/сут. На первый взгляд, прирост от смены системы управления небольшой — всего 0,4 м³/сут., однако если учесть, что установка при интеллектуальном управлении проработала на 19 суток больше, то это составляет примерно 177 м³.

Таким образом, за одно и то же время эксплуатации скважины 210 суток увеличение добычи нефти при интеллектуальной системе управления составило 177 м³ или 1113 баррелей. Даже при цене за баррель нефти, равной 40 долларов, дополнительная прибыль от реализации составит 44,5 тыс. долларов или 1200 тыс. руб.

Эффективность разработанной интеллектуальной автоматизированной системы управления УЭЦН составит

$$\Theta = \left(\frac{1928}{1680} - 1 \right) \cdot 100 = 14,7\%.$$

Введение единого протокола обмена.

Средняя стоимость существующих станций управления составляет 5 тыс. долл. Стоимость сервисного программно-аппаратного обеспечения, необходимого для программирования уставок и снятия истории работы установки, составляет 20% от стоимости станции.

В настоящее время существует около 20 типов станций управления. Таким образом, сервисное предприятие тратит 20 тыс. дол. на программно-аппаратное обеспечение каждого типа станций управления.

С введением единого протокола обмена для всех типов СУ можно будет использовать один тип программно-аппаратного обеспечения. Экономический эффект при этом составит 19 тыс. дол.

Таким образом, разработка и внедрение интеллектуальной АСУ УЭЦН экономически выгодно для нефтедобывающих предприятий и позволяет увеличить продолжительность работы скважины на 10%, что обеспечивает четырнадцатипроцентный прирост дебита нефти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе системного анализа выявлена группа управляющих параметров, одновременное изменение которых в процессе управления однозначно определяет текущее состояние УЭЦН с учетом влияния геологических, конструктивных, внешних факторов, а также характеристик скважины и УЭЦН.

2. Предложена концепция интеллектуального управления УЭЦН, базирующаяся на 4 принципах:

- Станция управления состоит из двух частей: постоянной и переменной.

• Постоянная часть едина (программно, функционально, аппаратно) для всех типов переменных частей и не зависит от них.

• Интерфейсы, порты, протоколы, внешние разъемы постоянной и переменной частей строго регламентированы и открыты для третьих производителей.

• Постоянная часть станции управления проектируется в классе интеллектуальных систем, способных самостоятельно принимать решения.

3. Структура интеллектуальной АСУ установкой электроцентробежного насоса включает систему принятия решений, основанную на синтезе технологий прецедентов и нейросетей, которая превращает постоянную часть СУ в активного участника процесса управления установкой, способного самостоятельно выполнять часть функции управления технолога.

4. Автоматизированная система имитационного моделирования воспроизводит процессы управления реальными скважинами, используя истории их работы; выступает, благодаря ОРС-технологии, в качестве постоянной части станции управления реальным технологическим процессом; имитирует любые ситуации путем составления таблицы входных векторов.

5. Внедрение интеллектуальной АСУ УЭЦН увеличивает продолжительность работы установок на скважине до 10%, что обеспечивает, по результатам имитационного моделирования, до 14% прироста дебита нефти.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бойко, В. С.** Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений / В. С. Бойко. М. : Недра, 1990. 437 с.
- Борисов, Ю. П.** Особенности проектирования разработки нефтяных месторождений / Ю. П. Борисов, З. К. Рябинина, В. Воинов. М. : Недра, 1976. 375 с.
- Гаскаров, Д. В.** Интеллектуальные информационные системы : учеб. для вузов. М. : Высш. шк., 2003. 431 с.
- Куликов, Г. Г.** Интеллектуальные информационные системы : учеб. пособие / Г. Г. Куликов, Т. В. Брейкин, В. Ю. Арьков. Уфа, 1999. 129 с.
- Васильев, С. Н.** Интеллектуальное управление динамическими системами / С. Н. Васильев, А. К. Жерлов, Е. А. Федосов [и др.]. М. : Физматлит, 2000. 352 с.
- Венда, В. Ф.** Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика / В. Ф. Венда. М. : Машиностроение, 1990. 448 с.
- Керридж, А. Е.** Использование экспертных систем / А. Е. Керридж // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. 1987. № 9. С. 107–110.
- Рыбина, Г. В.** Проектирование систем, основанных на знаниях : учеб. пособие / Г. В. Рыбина. М. : МИФИ, 2000. 104 с.
- Васильев, В. И.** Интеллектуальные системы управления с использованием нейронных сетей : учеб. пособие / В. И. Васильев, Б. Г. Ильясов, С. С. Валеев [и др.]. Уфа : УГАТУ, 1997. 92 с.
- Бакиров, А. А.** Геология и геохимия нефти и газа / под ред. А. А. Бакирова. М. : Недра, 1982.
- Горбань, А.** Нейронные сети на персональном компьютере / А. Горбань, Д. Росиев. Новосибирск : Наука, 1996. 215 с.
- Гультяев, А. К.** Визуальное моделирование в среде MATLAB : учеб. курс / А. К. Гультяев. СПб : Питер, 2000. 432 с.
- Гультяев, А. К.** MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows : практ. пособие. [Электронный ресурс] / А. К. Гультяев. (<http://www.phys-campus.bspu.secna.ru/db/msg/1078229666/>).
- ЛУКОЙЛ.** Виды исследований скважин и периодичность их замеров : стандарт ОАО «ЛУКОЙЛ». 2006.
- Дудников, В.** АСУ ТП на базе SCADA-пакета GENESIS32: опыт, решения, наработки / В. Дудников, М. Янкина [и др.] // Современные технологии автоматизации. М., 2003. № 3.
- Руководство по программированию промышленных контроллеров в среде UltraLogik32. М. : ПРОСОФТ, 2005.

ОБ АВТОРАХ



Ильясов Барый Галеевич, чл.-кор. АН РБ, проф., зав. каф. техн. кибернетики. Дипл. инж.-электромех. по авиац. электрооборуд. ЛА (МАИ, 1962). Д-р техн. наук по сист. анализу и авт. упр. (ЦИАМ, 1984). Иссл. в обл. сист. анализа, упр-я в техн. и соц.-экон. системах.



Комелин Алексей Владимирович, Вед. инж. АСУ ТП ЗАО «ЛУКОЙЛ ЭПУ Сервис» (Когалым). Канд. техн. наук по автоматизац. технол. процессов (УГАТУ, 2006). Иссл. в обл. АСУ технол. процессами нефтедобычи.



Тагирова Клара Фоатовна, доц. каф. техн. кибернетики. Канд. техн. наук по АСУ технол. процессами (УГАТУ, 1994). Иссл. в обл. интеллект. систем управления технол. процессами нефтедобычи.