

УДК 658.012.011.56.005:681.3

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОГНОЗА ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ БУРЕНИИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Т. А. ТРОХОВА, С. Ю. СТЕПАНОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

При проектировании и строительстве нефтяных скважин возникает необходимость предусмотреть и постараться избежать осложнений при бурении (нештатных ситуаций в скважине, при которых дальнейшая ее проходка становится невозможной). Ущерб от осложнений складывается из потерь времени на их ликвидацию, зачастую сопоставимых с временем самого бурения, затрат на энергию, материалы, возможное перебуривание ствола скважины [1]. Именно поэтому компьютерное моделирование и прогноз осложнений при проектировании и строительстве скважин является актуальной задачей, которая при полной реализации позволит не только повысить качество проектирования, но и уменьшить вероятность штатных и аварийных ситуаций, что в итоге приведет к значительной экономии средств.

Аспекты задачи автоматизации прогноза осложнений при бурении

Задача автоматизации моделирования и прогноза осложнений при проектировании и строительстве скважин рассматривается в трех аспектах [2]. Первый аспект заключается в применении компьютерного моделирования на этапе проектирования скважины и составления проектной документации, где необходимо дать инженеру-проектировщику инструментарий, позволяющий выполнить структурный и параметрический синтез проектных данных по скважине, при котором вероятность возникновения осложнений была бы минимальна.

Второй аспект предусматривает автоматизированный прогноз осложнений при непосредственном строительстве скважины и позволяет буровому мастеру учитывать возможный риск возникновения штатной ситуации и прогнозировать поведение скважины при бурении в зависимости от технологии и геологических условий на глубине забоя.

Третий аспект заключается в автоматизации получения квалифицированной информации о методах и средствах, которые необходимо применить для ликвидации осложнения, если оно уже произошло и зафиксировано. Все три аспекта сводятся к автоматизации процессов, которые плохо поддаются формализации и носят вероятностный характер, что затрудняет процесс моделирования даже при наличии адекватных математических моделей. Одним из примеров причин плохой формализации может служить тот факт, что геологические параметры при бурении меняются от скважины к скважине, измерению доступно лишь небольшое их число, трудно контролировать геологические условия при бурении и т. д.

В настоящее время накоплен определенный опыт решения плохо формализованных задач, в первую очередь теории экспертных систем и баз знаний. Привлечение теории искусственного интеллекта к решению задач проектирования требует, как

правило, разработки специализированного предметно-ориентированного математического аппарата, что обусловлено спецификой предметной области. Одним из направлений исследования при разработке системы прогноза осложнений и является создание инфологической структуры модели предметной области на основе нечетких моделей представления данных.

Описание инфологической модели

После тщательного изучения процесса прогноза осложнений в том виде, в котором он выполняется в настоящее время в реальных условиях, был разработан ряд требований к инфологической модели. Каждый аспект (режим работы автоматизированной системы) имеет свои характерные особенности, которые находят отражение как в информационном обеспечении системы, так и в методах автоматизированного прогнозирования. Необходимость совместной проработки структуры предметной области и формальных методов поиска по разработанной структуре выдвигает ряд требований как к информационной, так и к процедурной составляющей базы знаний системы. Так, для режима разработки проекта конструкции скважины необходимо иметь базу знаний, содержащую описание конструкций скважин-аналогов с указанием вероятностных характеристик возникновения осложнений и функциями предпочтительности для основных параметров конструкции скважины. Поисковые алгоритмы в этом случае сводятся к распространенному в САПР поиску по прототипам.

Для режима работы при непосредственном бурении важно осуществлять прогнозирование в реальном времени и корректировать параметры бурения в динамике, предлагается включить в базу знаний нечеткие сценарии. В основу понятия нечеткого сценария положен математический аппарат нечетких гиперографов. Для отображения в сценариях нечетких отношений между элементами применяются шкала и функция предпочтительности. Основное отличие предлагаемого подхода от устоявшегося определения нечеткого гиперографа, в котором задается нечеткость отношений между вершинами и дугами графа, заключается в том, что в нем используется отражение нечеткости связи между дугами, т. е. между элементарными функциями процесса бурения и параметрами конструкции бурильной колонны и состояния скважины, реализующими эту функцию. Это достигается применением в сценарии шкалы определения параметров и функций, указывающей степень предпочтительности нахождения значений параметров для каждой элементарной функции в каждой точке шкалы. Степень совпадения функций предпочтительности элементарных функций отражает качество связи (качество совместного использования) этих элементарных функций.

Третий режим работы системы требует представления знаний в виде экспертных оценок и рекомендаций и позволяет свести модель к традиционной фреймово-продукционной структуре. Алгоритмы поиска в этом случае основываются на алгоритмах машины вывода экспертных систем.

Одной из важных задач при разработке автоматизированной системы прогноза осложнений при бурении скважин является совмещение всех вышеперечисленных особенностей и требований к представлению нечетких знаний в одной гибридной базе знаний с динамической структурой.

Описание программного комплекса прогноза осложнений по методу скважин-аналогов

Апробация вышеизложенного подхода была проведена в направлении прогноза осложнений на основе метода скважин-аналогов [3]. Суть метода заключается в том, что эксперты предметной области включают в базу знаний сведения о скважинах, которые уже пробурены с фиксацией базовых оценок параметров скважин. Для проектируемой скважины осуществляется подбор скважин-аналогов на основании нечетких функций предпочтительности по базовым параметрам с подключением алго-

ритма поиска по базе знаний. Результатом прогноза является указание вида осложнения, интервала, на котором наиболее вероятно возникновение данного осложнения и основания для прогноза – данные о скважинах-аналогах.

К базовым алгоритмам, позволяющим реализовать функциональную модель, относятся:

- рекурсивный алгоритм построения деревьев для поиска, подготовки и хранения данных по осложнениям на скважинах-аналогах;
- алгоритм прогнозирования возможных осложнений;
- алгоритм создания отчетных ведомостей.

Алгоритм построения древовидной классификации осложнений, возникших при бурении, предназначен для обработки данных по скважинам-аналогам и подготовки этой информации для прогнозирования по функциям предпочтительности. Рассматриваемый алгоритм является рекурсивным и принимает параметры (узел дерева – родительский уровень осложнения, наименование текущего компонента – дочерний уровень осложнения, описание родительского и дочернего уровней) в соответствии с разработанной классификацией осложнений. Описание алгоритма приведено ниже:

1) при первом вызове метода, по запросу в базу данных, в него передается: главный узел дерева (в узле хранится имя родительского уровня осложнения, его уникальный идентификационный номер и описание осложнения);

2) в цикле просматриваются все ассоциации, и если данный компонент является «родителем» какого-то другого компонента, то снова вызывается этот метод, но в него уже передаются данные о дочернем компоненте;

3) если же текущий компонент не является «родителем» ни одному ни другому, то происходит выход из цикла без вызова данного метода рекурсивно;

4) происходит возврат узла данного компонента.

На рис. 1 показано построенное по рассмотренному алгоритму дерево осложнений, выявленных по скважинам-аналогам для проектируемой скважины.

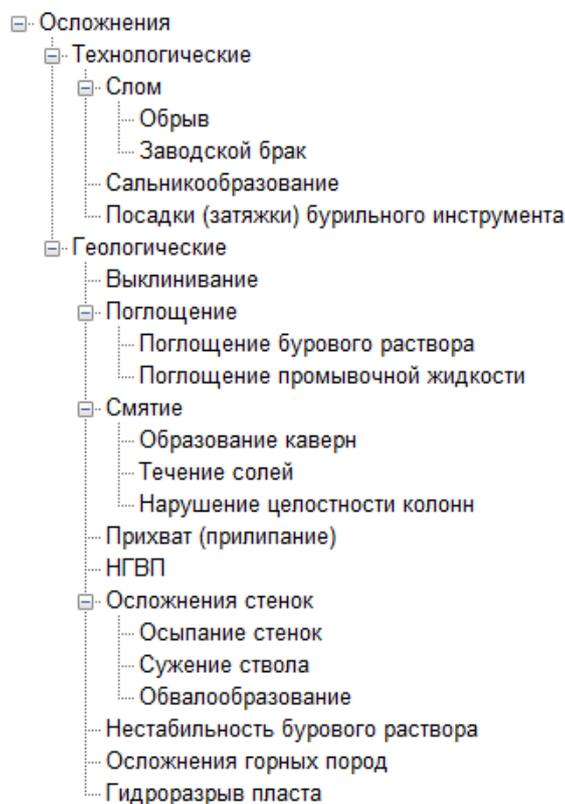


Рис. 1. Дерево осложнений

Следующим интересным для рассмотрения алгоритмом является алгоритм прогноза возможных осложнений по скважинам-аналогам на базе применения функций предпочтительности. Результаты работы данного алгоритма используются для графической интерпретации интервалов возможных осложнений и при генерации ведомостей.

Подробное описание алгоритма приведено ниже:

- 1) при вызове функции прогнозирования происходит получение данных о проектируемой скважине, ее аналогах и шаге формирования интервала;
- 2) из полученных данных, по каждому аналогу, происходит выделение информации о начале и конце интервала произошедшего осложнения, а также рассчитывается интервал возможного осложнения для исследуемой скважины;
- 3) происходит формирование данных для первого осложнения и первого интервала возможного возникновения на основе функции предпочтительности;
- 4) осуществляется вход в цикл по всем аналогам скважины, в котором непосредственно осуществляется распределение скважин по интервалам возможного возникновения;
- 5) начиная со второй скважины-аналога, каждый новый аналог проходит проверку на попадание в текущий интервал. При консолидации данных в разрезе интервалов происходит проверка на совпадение типов осложнений;
- 6) если текущий аналог попадает в интервал, то в данные добавляется соответствующая метка и увеличивается количество осложнений в данном интервале;
- 7) иначе происходит создание нового обобщенного конца интервала возможного осложнения и фиксируется информация о предыдущем обобщенном осложнении и количестве аналогичных случаев осложнений в текущем интервале;
- 8) следующим этапом является переопределение исходных данных по интервалу возможного осложнения, и снова происходит формирование «нового первого» осложнения и «нового первого» интервала возможного возникновения осложнения на основании функции предпочтительности;
- 9) далее алгоритм повторяет работу пунктов 5–8, до выхода из цикла;
- 10) при выходе из цикла в структуру данных добавляется последняя запись с данными о последнем возможном осложнении;
- 11) после этого из используемой структуры данных происходит отображение или формирование отчета прогнозной информации о возможных осложнениях.

На основании вышеизложенных подходов и алгоритмов был разработан программный комплекс прогноза осложнений при бурении нефтяных скважин. Комплекс реализует следующие основные функции:

- ведение нормативно-справочной информации (НСИ);
- автоматизированный прогноз осложнений;
- анализ данных прогнозирования;
- выдача отчетной документации.

Функция ведения НСИ позволяет заносить, редактировать, удалять информацию в нескольких справочниках, таких как справочник скважин, площадей, видов осложнений и т. д.

Функция прогноза реализуется в программном комплексе в несколько этапов. Первый этап позволяет выбрать для проектируемой скважины все возможные виды осложнений, сканируя информацию о скважинах-аналогах. Проектировщик может выбрать для дальнейшего прогноза один или несколько из интересующих его вида осложнений. Следующий этап прогнозирования заключается в расчете интервалов возможного возникновения исследуемого вида осложнения. Пользователю необходимо выбрать из предложенных вариантов шаг формирования интервала возможно-

го возникновения осложнения и подтвердить начало прогнозирования кнопкой «Запустить прогноз» (рис. 2).

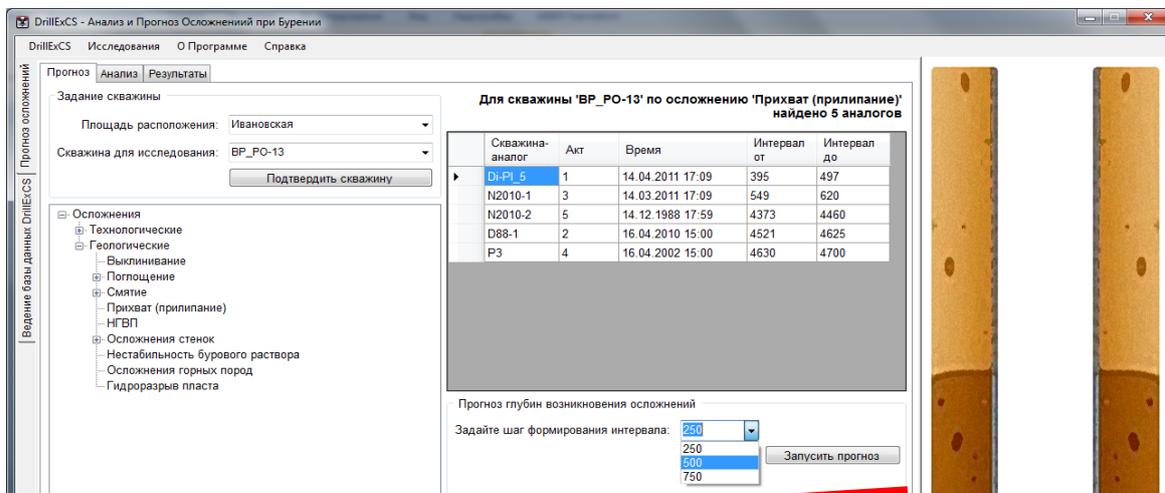


Рис. 2. Выбор шага формирования интервала

На рис. 3, 4 представлены интерфейсные окна программы прогноза осложнений по методу скважин-аналогов. Здесь показаны результаты прогноза в текстовом и графическом виде, указан список скважин-аналогов, на основании которых сделаны выводы о предполагаемых осложнениях для проектируемой скважины, графически показаны интервалы, на которых с наибольшей вероятностью может произойти осложнение.

Программный комплекс, кроме основной функции прогнозирования, выполняет ряд функций информационного характера, позволяющих провести анализ и получить сведения о частоте появления того или иного осложнения, информацию о скважинах-аналогах, выдать отчеты с результатами поиска и анализа.

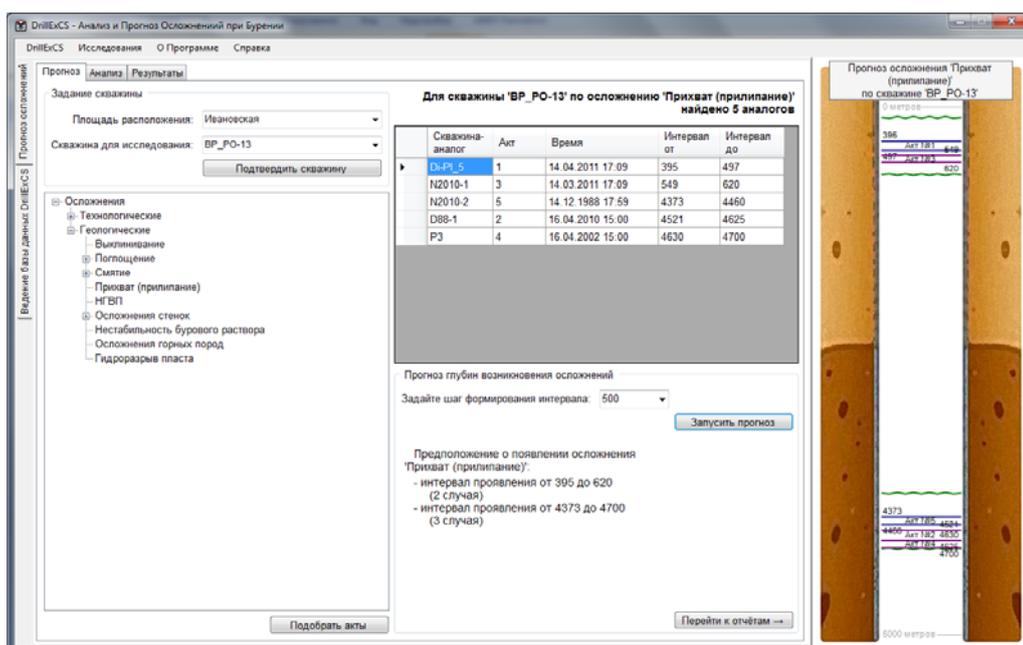


Рис. 3. Результаты прогноза осложнений

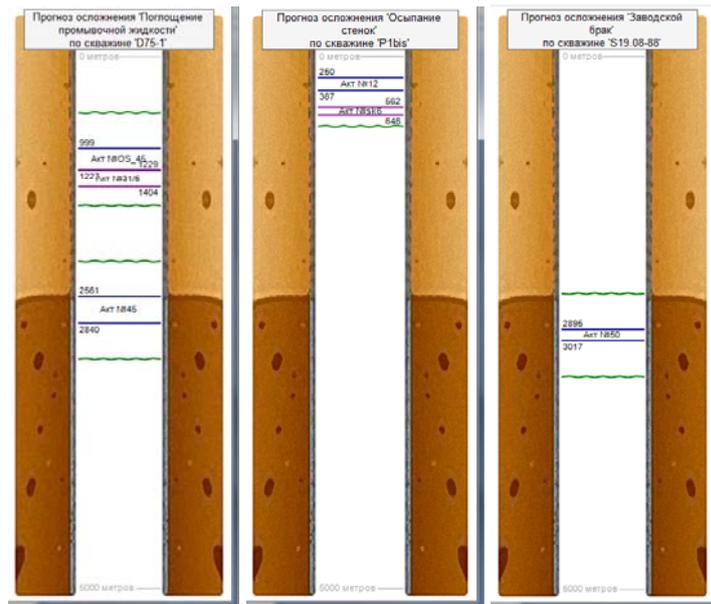


Рис. 4. Графические результаты моделирования

На рис. 5 приведен пример интерфейсного окна работы программного комплекса после проведения анализа частоты появления интересующих пользователя осложнений, результаты которого представлены в виде гистограмм.

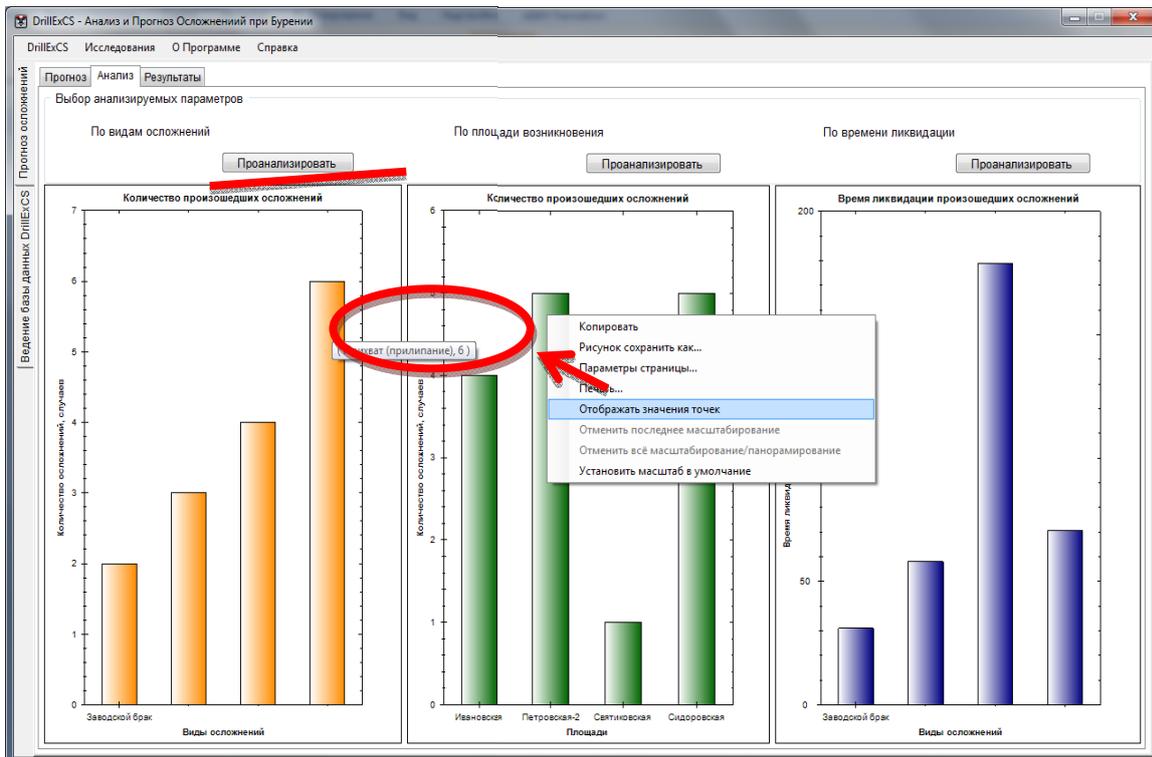


Рис. 5. Результаты работы программного комплекса в режиме «Анализ»

Заключение

Апробация программного комплекса прогноза осложнений позволяет сделать выводы о том, что применение нечетких инфологических моделей представления знаний в конкретной предметной области с применением экспертных оценок спо-

способствует повышению качества проектирования, уменьшению вероятности появления нештатных ситуаций при бурении скважин и сокращению затрат на строительство скважин.

Литература

1. Булатов, А. И. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин / А. И. Булатов, Ю. М. Проселков, С. А. Шаманов – М. : Недра-Бизнесцентр, 2003. – 1007 с.
2. Трохова, Т. А. Применение нечетких моделей представления знаний для автоматизации прогноза осложнений при бурении нефтяных скважин / Т. А. Трохова // Информационные системы и технологии (Information Systems and Technologies IST'2010) : VI Междунар. науч. конф., Минск, 2010. – С. 524–527.
3. Степанов, С. Ю. Информационная система анализа и прогноза осложнений при бурении нефтяных скважин / С. Ю. Степанов, Т. А. Трохова // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : XIV Респ. науч. конф. студентов и аспирантов / Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель, 2011. – С. 151–153.

Получено 29.01.2013 г.