

УДК

От "работы над ошибками" – к прогнозированию эффективности мероприятий

англ. название статьи



О.Н. Пичугин, к.ф.-м.н.
(905) 705-43-84
pichuginon@ccord.ru,
/ЗАО "КОНКОРД", г. Москва/

Ключевые слова: геолого-технические мероприятия, методы машинного обучения, интеллектуальные методы прогнозирования, деревья решений, леса решений, иерархия правил, уплотняющие скважины, боковые стволы, гидроразрыв пласта, масса проппанта, темп закачки.

Key words:

В работе предложен методический подход к решению задачи прогнозирования ГТМ с использованием деревьев решающих правил. Приведены примеры деревьев решений, обученных на фактических данных по гидроразрыву пласта и на результатах уплотняющего бурения. Показано, что с помощью деревьев решений можно не только эффективно прогнозировать, но и выполнять "работу над ошибками", восстанавливая правила и критерии, обеспечивающие успешность ГТМ.



П.Н. Соляной
/ЗАО "КОНКОРД", г. Москва/



Ю.З. Фатихова
/ЗАО "КОНКОРД", г. Москва/

В настоящее время в отечественной нефтедобывающей отрасли сложилась устойчивая тенденция к снижению эффективности геолого-технических мероприятий, которую принято связывать с ухудшением структуры остаточных запасов. Действительно, этот объективный фактор существенно осложняет прогнозирование ГТМ. Однако здесь невозможно обойти стороной и методические аспекты проектирования технологий воздействия на пласт. В книге [1] есть замечательные сло-

ва: «Основная масса исследователей до сих пор убеждена, что описание процессов нефтедобычи можно проводить только на основе дифференциальных уравнений движения жидкостей и газов в пористых средах. Однако такой подход не позволяет выявить многие существенные свойства пласта. Как всякие большие системы, объекты нефтегазодобычи требуют использования целой иерархии моделей – от дифференциальных до интегральных, от детерминированных до адаптивных...». Эти слова,

будучи написанными более 10 лет назад, не потеряли своей актуальности и в наше время. Действительно, сегодня для решения сложных задач прогнозирования ГТМ чаще всего используются только детерминированные модели. Действующие регламентные документы не дают четких рекомендаций о способах проектирования ГТМ. При этом крепнущая вера во всемогущество 3D-симуляторов сводит к минимуму практику применения простых инженерных подходов, интегральных и адаптивных моделей, успешно использовавшихся предыдущими поколениями исследователей. Так, например, кануло в Лету «Методическое руководство по выбору объектов для проведения методов воздействия на призабойную зону» [2], содержащее в себе описание эффективных методов прогнозирования и рекомендованное для практического применения в нефтедобывающих организациях и

научно-исследовательских институтах. Очевидно, методические пробы являются второй, уже субъективной, причиной, обуславливающей низкую эффективность геолого-технических мероприятий.

Но на этом негативном фоне есть и благоприятные факторы – за последние десятилетия накоплен огромный опыт реализации ГТМ, который содержит в себе полезные знания и дает возможность применения формализованных подходов для извлечения правил и рекомендаций. За рубежом современное направление анализа данных получило емкое название data mining [3] – добыча знаний из «сырых» данных. Практический опыт применения различных инструментов анализа позволил нам остановиться на деревьях решающих правил [4] – простом, прозрачном и эффективном методе машинного обучения. В соответствии с этим алгоритмом иерархический процесс по-

строения дерева начинается с поиска наиболее селективного правила для корневой вершины и далее продолжается для дочерних ветвей, пока не будут выполнены определенные терминальные условия.

Данный метод по сравнению с другими нелинейными методами прогнозирования обладает следующими важными преимуществами:

- высокая скорость обучения;
- извлечение правил на естественном языке;
- интуитивно понятная классификационная модель;
- возможность выявления причин успешности/неуспешности мероприятий;
- возможность экспертной оценки деревьев решений.

Рассмотрим пример дерева решений, обученного на выборке скважин уплотняющего фонда

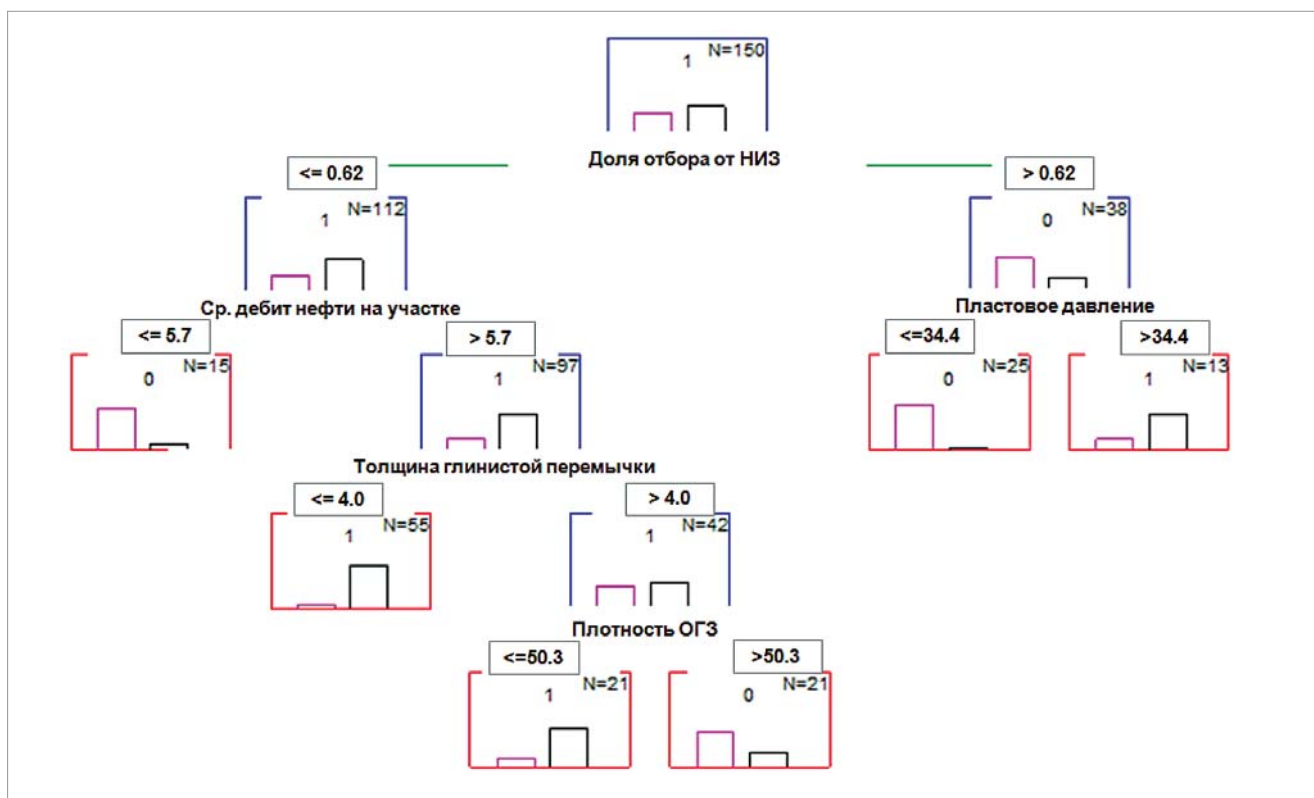


Рис. 1. Дерево решений, обученное на выборке скважин уплотняющего фонда. Выходной признак – начальный дебит нефти уплотняющей скважины. Малиновые гистограммы – выборка неэффективных скважин, черные – выборка успешных скважин

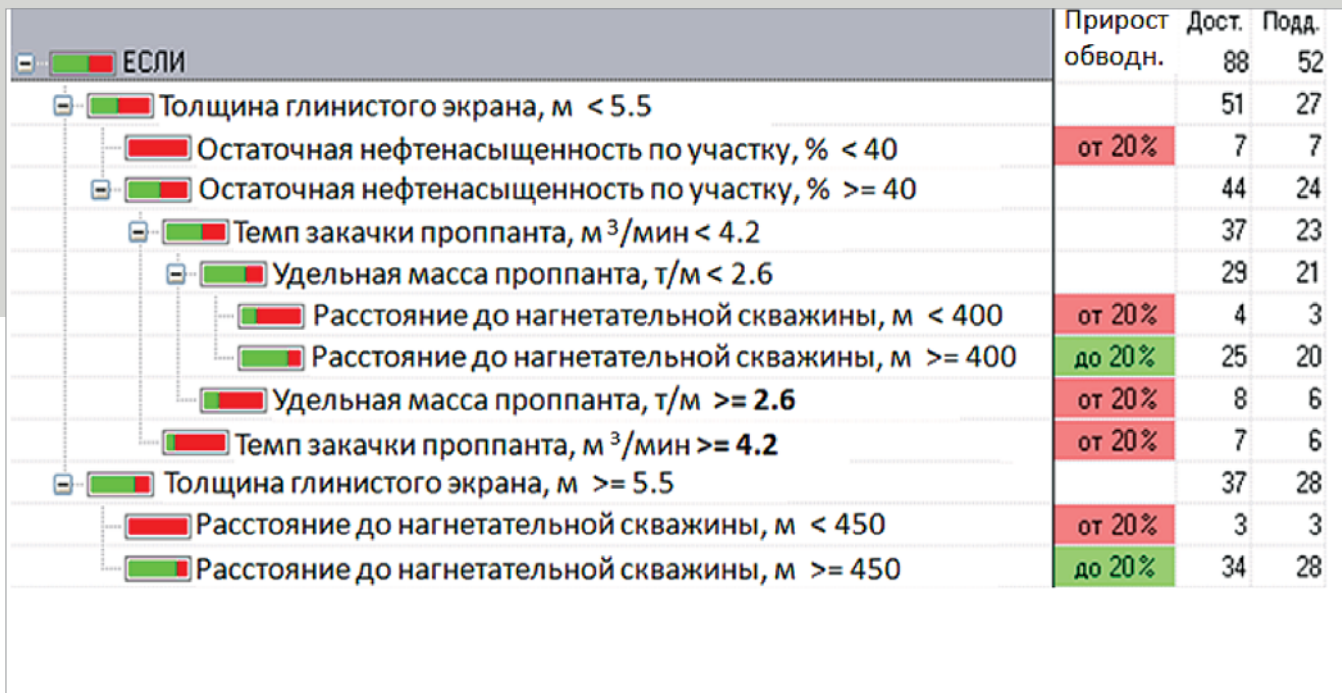


Рис. 2. Дерево решений, обученное на выборке скважин с ГРП. Выходной признак – прирост обводненности после ГРП

(150 скважин) и предназначенно для прогноза эффективности уплотняющего бурения (рис. 1). Корневой признак «Доля отбора от НИЗ» по критерию 0.62 делит это дерево на две основные ветви: с высокой (правая ветвь) и низкой (левая ветвь) степенью выработки запасов.

Уже на этом уровне селекции наблюдается существенное различие в успешности групп уплотняющих скважин, попавших в разные ветви. Так, из 38 скважин, пробуренных в зоне относительно высоких отборов, значительная доля оказалась неуспешной. Следующим селективным признаком в иерархии правил этой ветви выступает «Пластовое давление». В варианте, когда оно ниже 34.4 атм, практически все скважины (25 скв.) оказались неэффективными. В случае повышенных пластовых давлений (>34.4 атм) сохраняется высокая вероятность положительного исхода.

Для ветви с низкой выработкой запасов («Доля отбора от НИЗ» <= 0.62) главным фактором, обеспечивающим хороший уро-

вень селекции, выступает «Средний дебит нефти на участке». В случае, когда он <= 5.7 т/сут, высока вероятность неудачи. При средних дебитах > 5.7 т/сут вероятность успеха превышает 60 %. Следующий этап декомпозиции обеспечивает признак «Толщина глинистой перемычки». Вариант, в котором толщина перемычки, отделяющей водонасыщенную часть пласта от нефтенасыщенной, меньше 4 метров, характеризуется как весьма благоприятный для уплотняющего бурения. Здесь практически все 55 скважин по факту оказались успешными. При этом зоны с мощными глинами (>4 метров) характеризуются уровнем успешности 50:50. И далее только признак «Плотность ОГЗ» разбивает данный «паритетный» узел на два подузла с существенно отличающимися показателями успешности. При плотности остаточных геологических запасов менее 50.3 тыс.т/га мы имеем очень высокий показатель успешности, в то время как при высокой плотности ОГЗ возникают существенные риски для уплотняющего бурения.

Необходимо отметить, что основной проблемой данного объекта является пониженное пластовое давление. В связи с этим успешность уплотняющих скважин в значительной степени определяется факторами, характеризующими энергетическое состояние пласта: пластовое давление, средний дебит участка. Толщина глинистой перемычки контролирует активность подошвенных вод и поэтому также определяет энергетический потенциал участков.

Рассмотрим еще одно дерево решений, построенное в ходе выполнения работы, посвященной анализу и прогнозу эффективности ГРП (рис. 2). Оно представляет особый интерес, так как содержит в себе правила, касающиеся технологических параметров ГРП.

Корневым признаком здесь выступает толщина глинистой перемычки. Этот параметр выделяет две основные ветви дерева: зону с высоким риском разрыва перемычки (толщина экрана < 5.5 м) и зону с низким риском. Различие этих областей хорошо иллюстрируется иерархией правил. Там, где

риск прорыва глинистого экрана минимален, формируется всего одно правило, касающееся близости к нагнетательным скважинам. Более сложная структура правил образуется для зоны технологического риска. На первом этапе здесь выделяются скважины, которые относятся к группе риска в связи с пониженной текущей нефтенасыщенностью (<40 %). В зонах с нормальной нефтенасыщенностью в иерархии правил появляется первый признак, характеризующий технологию ГРП, – «температура закачки проппанта». Из теории ГРП известно, что с увеличением темпа закачки усиливаются тенденции роста трещины в вертикальном направлении. Как видим, правило подтверждает эти теоретические знания – темп закачки более 4.2 м³/мин выделяет группу скважин с высоким риском обводнения. Двигаясь по альтернативной ветке, можно обнаружить следующий признак, отвечающий за технологию ГРП, – «удельная масса проппанта». Правило «удельная масса проппанта» >2.6 т/м также

объединяет скважины с высоким потенциалом обводнения. И так, благодаря использованию дерева решений установлено, что на данном объекте в зонах с пониженной толщиной глинистого экрана необходимо придерживаться ограниченный на темп закачки проппанта <4.2 м³/мин и удельную массу проппанта <2.6 т/м.

Отметим, что одиночные деревья решений не в состоянии охватить всего многообразия причинно-следственных связей, поэтому для того, чтобы получить объемную картину исследуемого процесса, необходимо использовать комитеты деревьев решений, или леса решений (decision trees) [5]. Очевидно, что и прогнозные свойства таких комитетов обладают более высоким потенциалом по сравнению с одиночными деревьями. В отличие от большинства интеллектуальных методов прогнозирования процесс обучения деревьев решений представляет собой способ формализованного анализа, нацеленного на получение новых знаний, правил и критериев. Обученные дере-

вья решений становятся основой как для «работы над ошибками», так и для прогноза эффективности новых мероприятий.

Данный подход успешно применяется для прогнозирования ГРП, зарезки боковых стволов, бурения уплотняющих скважин, переводов с объекта на объект. Работы по прогнозированию ГТМ выполнялись и выполняются нами на крупных месторождениях Западной Сибири: Ватьеганском, Покачевском, Тевлинско-Русскинском (ОАО «ЛУКОЙЛ»); Вынгапуровском, Суторинском (ОАО «Газпром нефть»), а также на месторождениях Казахстана: Каракудук, Кумколь, Северные Бузачи.

Экспертные оценки и практический опыт свидетельствуют о том, что применение данной системы прогнозирования на месторождениях позволяет повысить успешность мероприятий на 20-25 %.

Представленный методический подход получил высокую оценку ЦКР «Роснедра» [6] и был рекомендован к использованию при проектировании ГТМ.

Литература

1. Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов Р.Н., Бахтизин Р.Н. **Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи. Нелинейность, неравновесность, неоднородность.** – Уфа: Гилем, 1999. – 464 с.
2. **Методическое руководство по выбору объектов для проведения методов воздействия на призабойную зону / А.Х. Мирзаджанзаде, Ю.В. Зайцев, Г.И. Григорашенко, Г.Г. Вахитов, О.Б. Качалов, В.О. Богопольский, О.В. Чубанов, В.И. Грайфер, Н.М. Шерстнев.** – М.: ОНТИ ВНИИ, 1974.
3. **Georg Zangl and Josef Hannerer. Data Mining: Applications in the Petroleum Industry.** – Katy, TX: Round

Oak. Publishing, 2003.

4. **Quinlan R. Programs for Machine Learning.** – San Mateo, California: Morgan Kaufmann, 1993.
5. **Dieterich T.G. An Experimental Comparison of Three Methods for Constructing Ensembles of Decision Trees: Bagging, Boosting and Randomization** // Machine Learning. – 2000. – Vol. 40. – P. 139-157.
6. **Протокол заседания нефтяной секции ЦКР «Роснедра» от 03.12.2009 г. № 4752 «Методические подходы к обоснованию выбора скважин-кандидатов для проведения геолого-технических мероприятий с использованием деревьев решений»**
<http://www.naen.ru/files/4752.pdf>



Control of complex oil reservoirs development

ЗАО "КОНКОРД"
127422, г. Москва,
Дмитровский проезд,
д. 10, стр. 3
Тел.: (495) 661-63-64
7 (905) 705-43-84
concord@ccord.ru,
pichuginon@ccord.ru
www.ccord.ru

ЗАО «КОНКОРД» – это объединение талантливых инженеров-нефтяников высокой квалификации и научных сотрудников, имеющих фундаментальное физико-математическое образование. Профессионализм ключевых сотрудников компании оттачивался в ведущих отраслевых НИПИ: ОАО «СибНИИНП», ОАО «ВНИИнефть»; академических институтах: ИММС СО РАН, ТФ ИТПМ СО РАН; в Центре геолого-гидродинамического моделирования ОАО «ЛУКОЙЛ». В составе компании: эксперт ГКЗ РФ, член SPE, доктора и кандидаты наук, опытные пользователи современных программных продуктов, программисты-разработчики собственного ПО.

Анализ является одним из приоритетных направлений бизнеса компании. В основе всех аналити-

ческих исследований, выполняемых нашей командой, лежат принципы системного анализа, которые обеспечивают четкую фиксацию цели и определяют стратегию ее достижения. Цель анализа – идентификация проблем разработки. Каждая проблема описывается количественно – в тоннах теряемой нефти. Так формируется «проблемный портрет» скважины → участка → объекта → месторождения → нефтедобывающего предприятия. Этот «портрет», или комплексный диагноз, дает возможность определить оптимальный адресный набор геолого-технических мероприятий.

Прогнозирование в наш век многофункциональных симуляторов вызывает устойчивые ассоциации с полномасштабными трехмерными геолого-гидродинамическими моделями. И это вполне объяснимо, ведь возможности современных симуляторов действительно открывают новые горизонты в области проектирования разработки месторождений. Однако в сфере прогнозирования ГТМ на скважинах до сих пор остаются серьезные проблемы. Именно в этой области нашей компанией накоплен значительный опыт, который получил высокую оценку ЦКР «Роснедра» (<http://www.naen.ru/files/4752.pdf>). Подходы, используемые нами при прогнозировании мероприятий, ос-

новываются на методах машинного обучения (нейронные сети, карты Кохонена, деревья решающих правил). Комплексирование этих методов, формирование сложных каскадов и голосующих комитетов позволяют в значительной степени повысить эффективность прогнозирования.

Нами накоплен **богатейший опыт** выполнения работ по созданию геолого-гидродинамических моделей, совершенствованию разработки и формированию адресных программ ГТМ. В копилке нашей компании – проекты по крупным месторождениям Западной Сибири, Коми, Казахстана, таким как Ватъеганское, Покачевское, Тевлинско-Русскинское, Поточное, Локосовское, Усинское (ОАО «ЛУКОЙЛ»); Вынгапуровское, Суторинское (ОАО «Газпром нефть»), Алибекмола, Кожасай, Каракудук, Кумколь, Северные Бузачи (Казахстан).

Сотрудники компании ведут активную **научную деятельность**: регулярно выступают с докладами на международных научно-практических конференциях, публикуются в ведущих изданиях, входят в состав программных комитетов престижных форумов, приглашаются в качестве лекторов на курсы повышения квалификации.