

# Прогнозирование осложнений в процессе бурения с использованием технологии параллельных вычислений

Ю.Б. Линд<sup>1</sup>, А.Р. Кабирова<sup>2</sup>, Л.Ф. Нурисламова<sup>3</sup>

ООО «БашНИПИнефть»<sup>1</sup>, Институт нефтехимии и катализа РАН<sup>2</sup>,  
Башкирский государственный университет<sup>3</sup>

Разработана методика построения прогноза осложнений в бурении на основе использования искусственных нейронных сетей и технологии параллельных вычислений. Методика реализована для прогнозирования поглощений буровых растворов на месторождениях Республики Башкортостан. Разработанное ПО включает систему управления базой данных по поглощениям на месторождениях РБ, а также модули построения карт интенсивностей поглощений и прогнозирования интенсивности поглощений при бурении новых скважин. Использование нейросетей позволяет осуществить прогнозирование поглощений на основе минимума входной информации, а применение параллельных технологий – сократить временные затраты на проведение расчета и увеличить точность прогноза.

## 1. Введение

Осложнения при строительстве скважин сопровождаются значительными затратами времени и средств на ликвидацию их последствий, что резко снижает технико-экономические показатели бурения, поэтому задача прогнозирования и предупреждения возможных осложнений становится важной и актуальной при проектировании строительства скважин. При составлении проектов на строительство новых скважин необходимо обоснованно подбирать состав и свойства буровых растворов, за счет которых можно резко снизить вероятность возникновения осложнений или предотвратить их полностью. А это, в свою очередь, возможно только на основе адекватной математической модели и составления прогноза по информации о ранее пробуренных скважинах.

Для прогнозирования поглощений предлагается использование искусственной самообучающейся нейронной сети. Хорошо обученная сеть обладает способностью моделировать функцию, связывающую значения входных и выходных переменных, на основе чего появляется возможность прогнозирования ситуации с неизвестными выходными значениями.

Необходимость обработки большого объема данных из экспериментальной базы и использование нейронной сети порождает значительную вычислительную сложность задачи, что обуславливает целесообразность использования для ее решения параллельных вычислений.

## 2. Поглощения бурового раствора

Поглощения бурового раствора являются основным видом осложнений при бурении нефтяных и газовых скважин на месторождениях Республики Башкортостан (на долю поглощений приходится более 75% всех осложнений, возникающих при бурении нефтегазовых скважин). Поглощение бурового раствора препятствует выносу из скважины разбуренной горной породы, способствует возникновению обвалов стенок скважины и прихватов бурильного инструмента, что может привести к авариям и необходимости ликвидации скважины. Поэтому необходимо своевременное проведение мероприятий по предупреждению поглощений на основе их прогнозирования по промысловым данным с ранее пробуренных скважин. Методы прогнозирования поглощений буровых растворов, предлагаемые в данной статье, полностью применимы к остальным видам осложнений при строительстве скважин.

Существуют различные причины возникновения поглощений, которые относятся к двум группам [1]:

– геологические факторы (тип поглощающего пласта, его мощность и глубина залегания, пористость и проницаемость, недостаточность сопротивления пород гидравлическому разрыву, величина пластового давления, характеристика пластовой жидкости и т.п.);

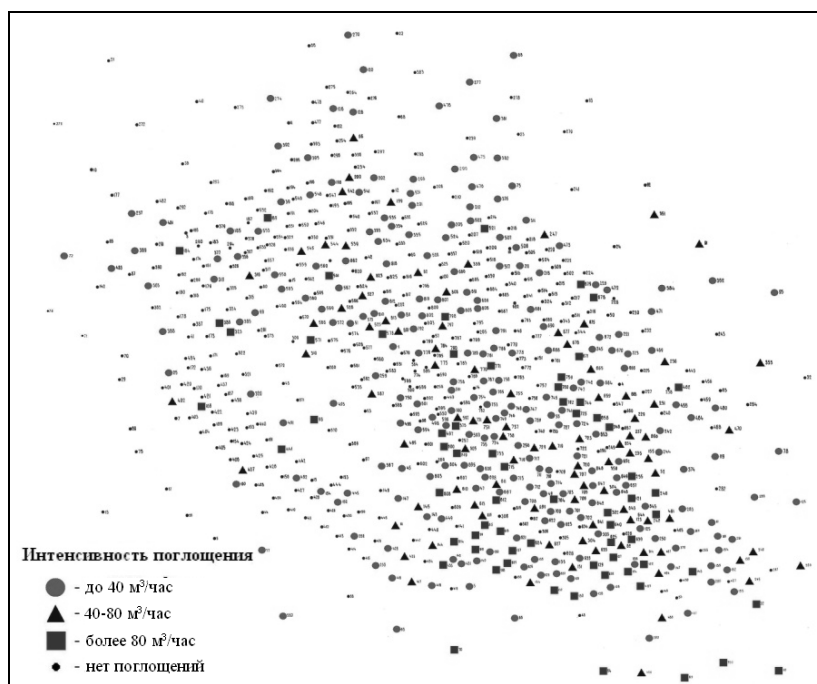
– технологические факторы (объем и технологические параметры подаваемого в скважину бурового раствора, способ и режим бурения, скорость проведения спуско-подъемных операций и т.п.).

Геологические факторы характеризуют априорное состояние горных пород, технологические – т.н. «шумы», изменения, вносимые вмешательством человека. Учет геологических факторов является первостепенным и необходимым условием эффективного и оперативного прогнозирования поглощений при бурении новых скважин. Геологические факторы во многом определяют пространственным расположением скважины; при определенных допущениях формирование горных пород на отдельных месторождениях можно считать протекающим в идентичных условиях.

Для составления прогноза на основе вероятностных моделей или регрессионных уравнений необходимо знать градиенты давлений в скважине, характеристики бурового раствора и спуско-подъемных операций и множество других параметров, однако не всегда есть возможность оперативно получить эти данные. Поэтому актуальной является задача построения прогноза на основе минимума информации по ранее пробуренным скважинам. С этой целью для прогнозирования поглощений предлагается использование искусственных нейронных сетей, которые обладают способностью предсказания ситуаций с неизвестным видом связей между входными и выходными параметрами.

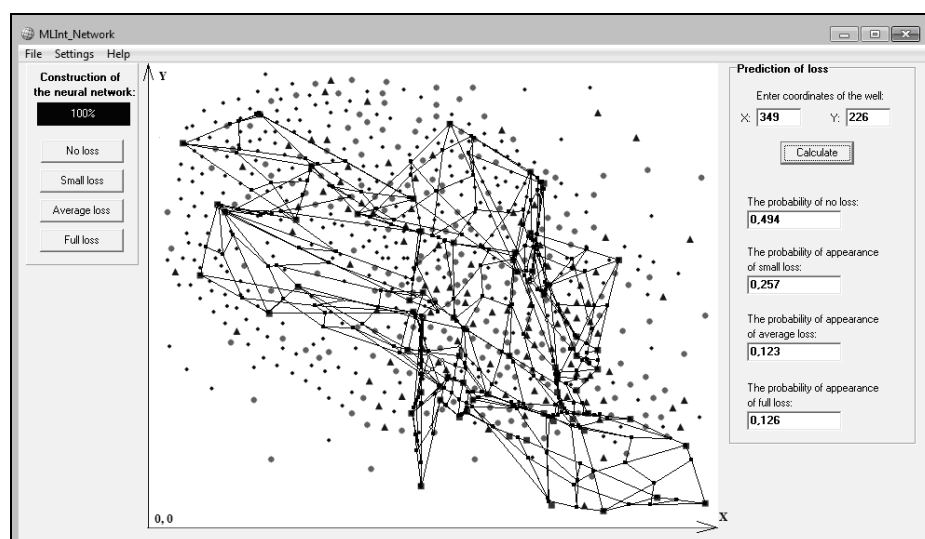
### **3. Прогнозирование поглощений**

Для оценки пространственного расположения скважин и отслеживания тенденций распространения поглощений авторами разработано программное построение карт интенсивностей поглощений. В качестве исходных данных при построении карты выступают следующие данные, объединенные в базу данных, разработанную авторами: 1) название скважины; 2) месторождение, к которому относится скважина; 3) условные координаты скважины; 4) сведения о наличии и интенсивности поглощений; 5) глубина залегания и стратиграфическое подразделение, к которому относится поглощающий пласт. На основе базы данных производится построение карты интенсивностей для каждого объекта поглощения на данном месторождении, которая представляет собой совокупность маркеров, нанесенных на плоскость согласно условным координатам скважин и соответствующих максимальной интенсивности поглощения в данной скважине. Т.о., все скважины делятся на 4 класса: без поглощений, с поглощениями небольшой интенсивности – до 40 м<sup>3</sup>/час, с поглощениями средней интенсивности – от 40 до 80 м<sup>3</sup>/час, с катастрофическими поглощениями – более 80 м<sup>3</sup>/час (рис. 1).



**Рис. 1.** Карта интенсивности поглощений (Шкаповское месторождение)

Авторами был проведен анализ существующих типов искусственных нейронных сетей, по результатам которого для достижения поставленной цели была выбрана самообучающаяся нейронная сеть, называемая картой Кохонена [2]. Выбор продиктован тем, что такая сеть учится понимать структуру данных, что и требуется при анализе карт интенсивностей поглощений. Т.о., по построенной карте интенсивностей с использованием нейросети Кохонена для каждого объекта поглощения производится анализ расположения и классификация скважин, относящихся к данному месторождению, по интенсивности поглощений и достройка узлов каждого класса. На рис. 2 показан пример достройки узлов класса поглощений высокой интенсивности (маркеры в виде больших квадратов – существующие скважины данного класса, маленьких – достроенные узлы).



**Рис. 2.** Достройка нейросетью узлов карты

На основе данной процедуры производится кластеризация всей карты по введенным классам, в результате чего появляется возможность отнесения любой вновь проектируемой скважины к одному из этих классов (рис. 3).

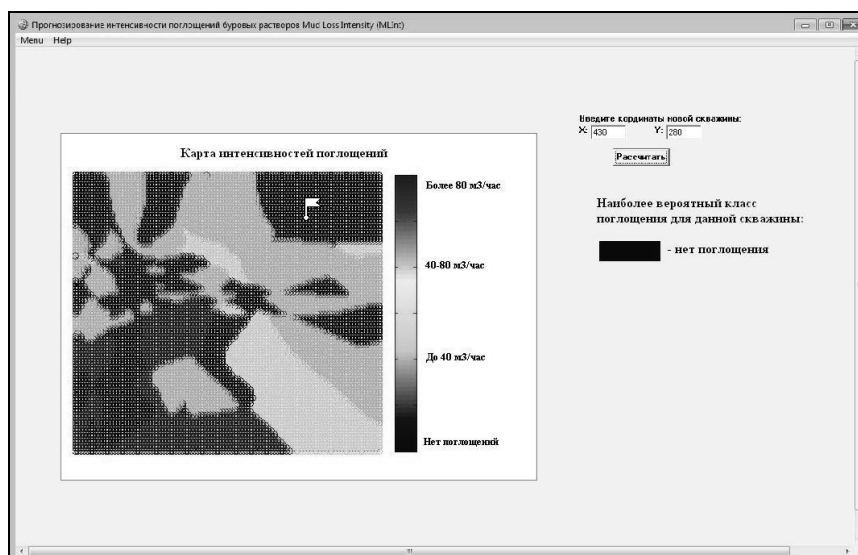


Рис. 3. Кластеризованная карта интенсивности поглощений

Т.о., на основе проектирования карты интенсивностей поглощений в пробуренных скважинах на месторождениях РБ с использованием искусственной нейронной сети производится отслеживание тенденции распространения поглощений каждого класса интенсивности в зависимости от геологических факторов, на основе чего составляется вероятностный прогноз возникновения поглощений при бурении новых скважин. Опираясь на данный прогноз, производится выдача рекомендаций по типу и свойствам бурового раствора и параметрам технологических операций при бурении [3].

#### 4. Распараллеливание вычислительного процесса

Для распараллеливания вычислительного процесса при решении задачи прогнозирования предложена четырехуровневая модель распараллеливания (рис. 4).



Рис. 4. Модель распараллеливания вычислительного процесса

Данная модель включает основные принципы разработанной авторами методологии распараллеливания [4]: использование внутреннего параллелизма задачи, распараллеливание по экспериментальной базе и декомпозиция метода решения задачи. Распараллеливание вычислительного процесса осуществляется с использованием интерфейса MPI.

Внутренний параллелизм задачи состоит в том, что, хотя разные типы осложнений и могут быть обусловлены одними и теми же причинами, но имеют разную физическую природу и приводят к разным последствиям, в связи с чем их можно рассматривать независимо друг от друга. В данной работе реализовано построение прогноза для поглощений буровых растворов, а в дальнейшем планируется разработать также алгоритмы прогнозирования остальных типов осложнений – флюидопроявлений, осыпей и обвалов, прихватов и провалов бурового инструмента, и реализовать этот этап распараллеливания. В настоящее время организация вычисли-

тельного процесса осуществляется комбинацией распараллеливания по экспериментальной базе и декомпозиции метода решения задачи.

Распараллеливание по экспериментальной базе состоит из двух уровней: распараллеливание по месторождениям и по горизонтам месторождения. Поскольку геологические факторы возникновения поглощений для каждого горизонта месторождения специфичны, то становится возможным при прогнозировании для одной скважины проведение расчетов для всех горизонтов независимо друг от друга.

Декомпозиция метода решения задачи прогнозирования основана на том, что при кластеризации карты интенсивности поглощений с использованием нейронной сети доработку узлов по каждому классу интенсивности можно проводить независимо. Время работы каждого процесса при этом значительно превосходит время межпроцессорного взаимодействия, что обуславливает эффективность работы параллельной программы.

## 5. Вычислительный эксперимент и выводы по исследованию

Программный комплекс MLInt успешно протестирован на данных нескольких месторождений РБ. Расчет проводился для уже пробуренных скважин с целью сравнения фактических показателей с рассчитанными (табл. 1).

Таблица 1. Результаты вычислительного эксперимента

Месторождение	Номер скважины	Горизонт	Интенсивность поглощения, м <sup>3</sup> /час	
			Фактическая	Рассчитанная
Арланское	1461	P2_kz	0	40 - 80
		C1_s	15	< 40
		D3_fm	0	0
Арланское	1462	P2_kz	0	40 - 80
		C1_s	15	< 40
		D3_fm	0	0
Арланское	1463	P2_kz	нет данных	40 - 80
		C1_s	0	< 40
		D3_fm	0	0
Арланское	1465	P2_kz	> 80	> 80
		C1_s	18	< 40
		D3_fm	0	0
Арланское	1467	P2_kz	> 80	> 80
		C1_s	15	< 40
		D3_fm	0	0
Шкаповское	6195	C	25	< 40
		C1_s2	0	0
		C1_v	0	< 40
Шкаповское	1704	C	0	0
		C1_s2	0	< 40
		C1_v	0	0
Шкаповское	6889	C	> 80	> 80
		C1_s2	> 80	> 80
		C1_v	0	0
Шкаповское	7538	C	79	40 - 80
		C1_s2	15	< 40
		C1_v	18	< 40
Шкаповское	1927	C	0	0
		C1_s2	0	0
		C1_v	0	0

Анализ полученных результатов показал, что прогнозируемый класс поглощения в 78-80% случаев совпадает с реальной интенсивностью поглощения в скважине. Погрешность про-

гноза обусловлена влиянием на возникновение осложнений таких «шумов» как различия в технологических параметрах буровых растворов, скоростях спуско-подъемных операций и т.п., и компенсируется оперативностью получения прогноза (минимумом входных данных).

Вычислительный эксперимент проведен с использованием вычислительного кластера Башкирского государственного университета (18 процессорных ядер AMD Opteron, пиковая производительность 144 GFlops, объем оперативной памяти 20 Gb, объем дискового пространства 4,2 Tb). Анализ полученных результатов показал, что параллельная программа работает достаточно эффективно при использовании всех процессорных ядер кластера (рис. 5).

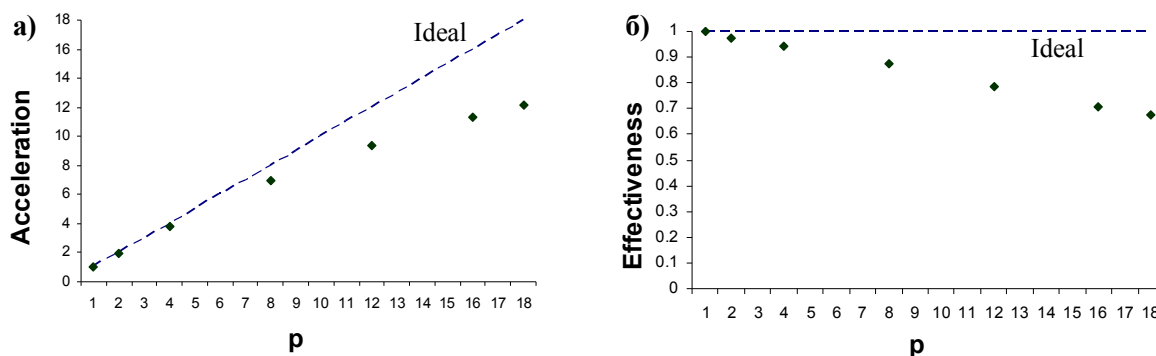


Рис. 5. Анализ эффективности распараллеливания:  
а) ускорение; б) эффективность

В настоящее время при составлении проектов на строительство новых скважин тип и состав буровых растворов подбирается с учетом прогноза по поглощениям. Планируется создать единый программный комплекс прогнозирования всех видов осложнений и внедрить его в работу проектных отделов ООО «БашНИПИнефть» и буровых предприятий ООО «Башнефть-Бурение». Полученные рекомендации позволят сократить время на ликвидацию осложнений в условиях буровой и сэкономить дорогостоящие химические реагенты, что, в свою очередь, приведет к повышению технико-экономических показателей бурения. Предварительная оценка экономической эффективности программного комплекса показала, что экономия при его использовании составляет более 650 тыс. руб./скв. ( $\approx 4\%$  стоимости бурения).

## Литература

1. Ясов В.Г., Мыслюк М.А. Предупреждение поглощений при разбуривании трещиноватых пластов. – М.: ВНИИОЭНГ, 1982. – 39 с.
2. Головкин В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение – М.: ИПРЖР, 2002. – 256 с.
3. Линд Ю.Б., Клеттер В.Ю., Мулюков Р.А., Губайдуллин И.М. Применение современных информационных технологий для оптимизации состава и оперативного управления технологическими параметрами буровых растворов // «Территория нефтегаз». – №10, 2010. – С. 18-22.
4. Линд Ю.Б., Губайдуллин И.М., Мулюков Р.А. Методология параллельных вычислений для решения задач химической кинетики и буровой технологии // «Системы управления и информационные технологии». – № 2(36), 2009. – С. 44-50.