

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СКОРОСТИ БУРЕНИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

А.В. ВЛАСЕНКО, А.А. ЖДАНОВ

*Кубанский государственный технологический университет
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская 2;
электронная почта: zhdanovandrey234@mail.ru*

Статья посвящена проблеме прогнозирования скорости бурения нефтяных и газовых скважин на основе временных рядов ретроспективных данных и текущих измерений геофизических характеристик. Многообразие методов и моделей прогнозирования временных рядов имеет низкую прогностическую эффективность применительно к нестационарным рядам стохастических данных, что обуславливает необходимость разработки моделей, позволяющих с необходимой степенью точности предсказывать значения временного ряда в краткосрочной и долгосрочной перспективе. Результаты работы имеют практическое значение для строительства скважин единого профиля в пределах одного месторождения. При этом в процессе бурения каждой новой скважины прогноз сроков ее строительства уточняется с учетом текущих данных геофизических измерений.

Ключевые слова: скорость бурения, прогнозирование временных рядов, нестационарные временные ряды.

Новые информационные и цифровые технологии все более определяют степень экономического развития государства. Экономическая конкуренция, как на межгосударственном, так и на внутригосударственном уровне, все более перемещается в научно-техническую сферу, превращаясь в конкуренцию интеллектуального капитала.

В настоящее время в практику нефтегазодобывающих компаний широко внедряются информационные технологии, математическое и компьютерное моделирование, что позволяет на высоком уровне производить диагностику всего комплекса оборудования для бурения, замеры параметров и расчеты характеристик скважины непосредственно в процессе бурения.

Природные и экономические условия предъявляют все более жесткие требования к глубине и точности проводки скважин, а также к срокам их запуска в эксплуатацию. Поэтому возникает не только необходимость постоянного совершенствования техники и технологии разведочного бурения,

но и методов прогнозирования процесса проводки скважины, в том числе скорости и сроков бурения.

На скорость бурения скважин оказывают влияние как геологические, технологические, технические факторы, так и непроизводительное время различного характера: аварии, инциденты, браки, осложнения, ремонты механической и энергетической частей бурового оборудования, непроизводительные повторные работы различной природы, а также простои.

В связи с этим несомненный научный и практический интерес представляет совершенствование математических моделей процесса бурения как в направлении контроля траектории скважины при бурении, так и скорости проводки в различных породах.

В настоящее время для изучения свойств сложных систем, в том числе и при экспериментальных исследованиях, широко используется подход, основанный на анализе сигналов, произведенных системой.

Это особенно актуально в тех случаях, когда математически описать изучаемый процесс практически невозможно, но в нашем распоряжении имеется некоторая характерная наблюдаемая величина. Поэтому анализ систем, особенно при экспериментальных исследованиях, часто реализуется посредством обработки регистрируемых сигналов.

Вышесказанное обуславливает необходимость разработки методики прогнозирования скорости бурения нефтяных и газовых скважин, позволяющей получать результаты в темпе поступления исходных экспериментальных геофизических данных.

Обращаясь к истокам, следует отметить, что в разработку теории и техники геофизических исследований большой вклад внесли советские и российские ученые Л.М. Альпин, В.Н. Дахнов, С.Г. Комаров и др. Важные исследования в этой области выполнены в США Г. Арчи, Г. Гюйо, Дж. Доллом и др [1].

Повышение эффективности геофизических исследований связано с разработкой и внедрением новых методов, а также с совершенствованием

методики и техники исследований; внедрением машинных методов обработки и интерпретации данных, создания цифровых каротажных лабораторий, управляемых бортовой ЭВМ, комплексных информационно-измерительных и обрабатывающих комплексов, высокоточных и термобаростойких комплексных скважинных приборов и др.

Такие исследования позволяют измерять непосредственно в процессе бурения не только геофизические характеристики скважины, но и скорость ее бурения. Полученные данные могут быть использованы для ретроспективного анализа при бурении аналогичных скважин, а также для коррекции прогноза сроков бурения данной скважины.

Благодаря практической важности методов прогнозирования, их разработке и совершенствованию посвящены работы многих исследователей в нашей стране и за рубежом, среди которых можно отметить К. Гаусса, К. Пирсона, Дж. Бокса, Г. Дженкинса, Р. Шамвей, В. Вандаеле, Л. Вей, Р. Хиндмана [2, 3].

Современные компьютерные системы дают возможность сбора большого объема данных технологических параметров бурения. На буровых используются автоматические станции, которые снимают показания датчиков в реальном времени, производят обработку замеров и передачу обработанных данных. Программные модули производят непрерывный контроль и управление полным технологическим циклом строительства скважины.

В то же время на результаты измерений, проводимых в процессе бурения, влияют различные случайные воздействия, которые изменяют реальную картину работы оборудования в процессе измерений. В результате существенно осложняется прогнозирование скорости бурения скважин.

Общая постановка задачи прогнозирования временного ряда может быть кратко сформулирована в следующем виде. Пусть имеется некоторый источник, порождающий последовательность элементов $x_1, x_2, \dots, x_t, x_{t+1} \in A$, из некоторого множества A , называемого алфавитом. Задача прогнозирования состоит в определении распределения вероятностей для случайной величины

$x_{t+1} \in A$, т. е. в определении для конечного дискретного алфавита условных вероятностей вида: $p(x_{t+1}=a \in A|x_1, x_2, \dots, x_t)$, а для случая, когда алфавит A представляет собой ограниченный непрерывный интервал, условной плотности вероятности. Ошибка прогноза при этом определяется следующим образом: $E_i = |x_i - x_i^*|$, где x_i^* – прогнозное значение (полученное из распределения вероятностей), а x_i – истинное значение процесса в момент времени i [4].

Ряды данных, получаемые при геофизическом мониторинге, имеют существенную специфику. Они могут содержать сложные нерегулярные вариации, нестационарные эффекты различного рода. В этих рядах часто присутствуют меняющиеся во времени помехи, пропуски данных, тренды, технический брак и другие случайные эффекты [5]. Все это требует применения специальных методов и приемов при анализе таких данных.

Проблема определения необходимых и достаточных параметров для оценки состояния скважины и процесса бурения оказывает влияние на возможность достоверного прогноза различных характеристик, в том числе, скорости и сроков бурения. В то же время желание учесть в модели как можно больше показателей и критериев оценки может привести к тому, что требуемая для ее решения компьютерная система вплотную приблизится к «пределу Тьюринга».

Для технологического процесса бурения скважины характерны следующие особенности:

- 1) большое число случайных факторов, изменяющихся во времени и влияющих на качество и технико-экономические показатели работ;
- 2) наличие случайных факторов, которые не изменяются во времени, а возникают внезапно: например, аварии, инциденты, браки, осложнения, непроизводительные повторные работы, ремонты оборудования и простои;
- 3) разнообразие геолого-технических условий бурения;
- 4) искажение полезного сигнала, в том числе о скорости бурения, используемого для определения параметров режима бурения.

В связи с этим, показатели бурения следует рассматривать как случайные отклонения, а процессы – как случайные функции. Различные горные породы по-разному влияют на скорость бурения.

Таким образом, первичная обработка опытных данных, полученных в процессе бурения должна базироваться на вероятностных представлениях.

Методы прогнозирования являются важным средством в анализе сложных прикладных систем, обработке информации, целенаправленном воздействии человека на объекты исследования, с целью повышения эффективности их функционирования. К их числу можно отнести и анализ геофизических событий.

Все современные теории прогнозирования в той или иной степени используют математический аппарат, связанный с понятием временного ряда. Поэтому задача изучения анализа временных рядов актуальна как прикладная проблема конкретного частного случая (например, оценка параметров зависящих от времени технологических процессов, в том числе, процесса бурения скважин).

Моделями, в основе которых лежат временные ряды, занимались такие известные ученые как С.А. Айвазян, И.В. Бестужев-Лада, А.И. Орлов, Е.М. Четыркин, Дж. Бокс, Р. Браун, Г. Джекинсон, С. Хольт, П. Уинтерс и др.

Временной ряд включает в себя два обязательных элемента – отметку времени и значение показателя ряда, полученное тем или иным способом и соответствующее указанной отметке времени. Последовательность или ряд наблюдений $x_1(t_1), x_2(t_2), \dots, x_n(t_n), \dots$ анализируемой случайной величины $x(t)$, произведенных в определенные последовательные моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_n, \dots$ называется временным рядом [6].

Обычно в поведении временного ряда выявляют две основные тенденции – тренд и периодические колебания (рисунок 1) [6]. При этом под трендом понимают зависимость от времени линейного, квадратичного или иного типа, которую выявляют тем или иным способом сглаживания (например, экспоненциального сглаживания) либо расчетным путем, в

частности, с помощью метода наименьших квадратов. Другими словами, тренд – это основная тенденция временного ряда.

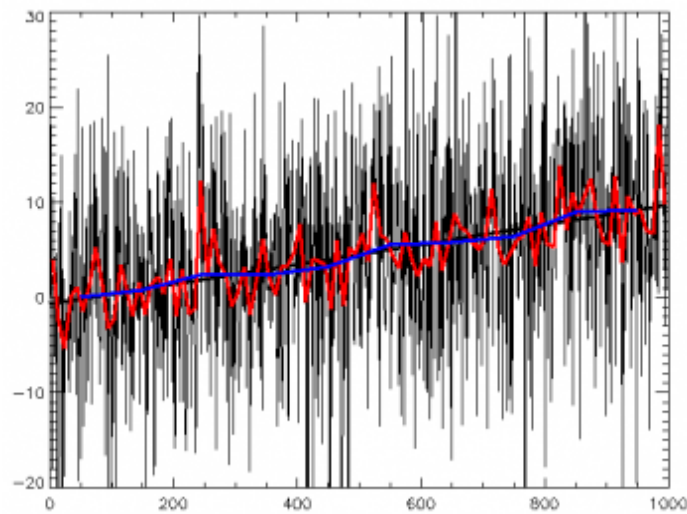


Рисунок 1 – Временной ряд случайных данных (черный) после сглаживания (красный) с выделением тренда (синий)

Мы видим возможность прогнозирования временных рядов скорости бурения нефтяных и газовых скважин в опоре на ретроспективный статистический анализ и моделирование результатов геофизических исследований.

Среди наиболее известных методов прогнозирования отметим многомерную регрессию, в том числе с использованием непараметрических оценок плотности распределения, которая представляет на настоящий момент основной статистический аппарат прогнозирования. Эффективные методы прогнозирования связаны с разнообразным математическим аппаратом (спектральный анализ, регрессивный анализ и другое) и алгоритмами построения экспертных оценок.

Для автоматизации и контроля части операций при построении прогноза используются специальные компьютерные программы и приложения (например, MS Excel, Autobox, Statistica).

На сегодняшний день существует множество моделей прогнозирования временных рядов: регрессионные и авторегрессионные модели, нейросетевые <http://ntk.kubstu.ru/file/1533>

модели, модели экспоненциального сглаживания, модели на базе цепей Маркова, классификационные модели и др.

Существенным недостатком авторегрессионного прогнозирования является большое число свободных параметров, идентификация которых неоднозначна и ресурсоемка. Существенным недостатком класса нейросетевых моделей является недоступность промежуточных вычислений и сложность выбора алгоритма обучения нейронной сети и интерпретации результатов моделирования.

Свободный от модели метод, получивший в России название «Гусеница», предназначен для исследования структуры временных рядов и совмещает в себе достоинства анализа Фурье и регрессионного анализа. Результатом применения метода является разложение временного ряда на простые компоненты: медленные тренды, сезонные и другие периодические или колебательные составляющие, а также шумовые компоненты. Метод независимо разрабатывался в России (Н.Э. Голяндина, В.В. Некруткин, К.А. Браулов), Великобритании и США (Singular Spectrum Analysis) и показал себя мощным средством исследования временных рядов (в основном, в метеорологии, гидрологии, климатологии, геофизике).

В основе большинства методов, связанных с обработкой временных рядов, лежит использование многомерного представления временного ряда в виде матрицы задержек – набора копий временного ряда, взятых с определенными лагами. В рамках теории динамических систем было разработано достаточно много методов анализа и прогнозирования временных рядов. Пространство задержек при соблюдении определенных условий может рассматриваться как реконструкция фазового пространства нелинейной динамической системы, породившей временной ряд. Таким образом, динамика многомерной системы может быть описана по временному ряду наблюдаемой переменной. Возможность реконструкции динамики системы при определенных условиях позволяет прогнозировать ее дальнейшее поведение.

При исследовании реальных геофизических систем, как правило, приходится иметь дело с зашумленными данными, что может затруднять использование некоторых методов прогнозирования.

Для преодоления перечисленных проблем делаются попытки применения теории рисков, стохастического моделирования на основе теории детерминированного хаоса и теории катастроф [7], теория самоорганизующихся систем (включая генетические алгоритмы).

Два основных подхода к описанию нелинейной стохастической динамики временных рядов: глобальный – метод сингулярного спектрального анализа и локальный – метод локальной аппроксимации.

Метод сингулярного спектрального анализа позволяет сгладить исходный ряд, снизить уровень случайных возмущений, выявлять периодические составляющие ряда и во многих случаях прогнозировать дальнейшее изменение изучаемой временной зависимости.

Преимущества локальной аппроксимации проявляются в первую очередь при прогнозировании нерегулярных (хаотических и квазипериодических) стационарных временных рядов.

При всем многообразии методов прогнозирования временных рядов, в том числе, нестационарных, в настоящее время вопросы специфики прогнозирования скорости бурения нефтяных и газовых скважин являются неизученными, в результате чего возникает противоречие между необходимостью определения сроков бурения и отсутствием моделей и методик их определения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булатов А.И. Контроль процессов бурения нефтяных и газовых скважин / А.И. Булатов, В.И. Демихов, П.П. Макаренко. – М.: ОАО Издательство «Недра», 1998. – 345 с.
2. Бабешко Л.О. Основы эконометрического моделирования: Учеб. пособие. – 2-е, исправленное. – М.: КомКнига, 2006. – 432 с.

3. Бокс Дж., Дженкинс Г.М. Анализ временных рядов, прогноз и управление. М.: Мир, 1974. 406 с.
4. Лысяк, А.С. Прогнозирование многомерных временных рядов. / А.С. Лысяк, Б.Я. Рябко // Вестник СибГУТИ. – 2014. – №4. – С.75-88.
5. Ганджумян Р.А. Математическая статистика в разведочном бурении: Справочное пособие / Р.А. Ганджумян. – М.: Недра, 1990. – 218 с.
6. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: Наука, 1976. – 343 с.
7. Кузнецов А.П. Динамический хаос / А.П. Кузнецов. – М.: Изд-во физ-мат. лит., 2001. – 296 с.

REFERENCES

1. Bulatov A.I. Kontrol' processov bureniya neftyanyh i gazovyh skvazhin / A.I. Bulatov, V.I. Demihov, P.P. Makarenko. – М.: ОАО Izdatel'stvo «Nedra», 1998. – 345 s.
2. В Babeshko L.O. Osnovy ekonometricheskogo modelirovaniya: Ucheb. posobie. – 2-e, ispravlennoe. – М.: KomKniga, 2006. – 432 s.
3. Boks Dzh., Dzhenkins G.M. Analiz vremennyh ryadov, prognoz i upravlenie. М.: Mir, 1974. 406 s.
4. Lysyak, A.C. Prognozirovanie mnogomernyh vremennyh ryadov. / A.C. Lysyak, B.Ya. Ryabko // Vestnik SibGUTI. – 2014. – №4. – S.75-88.
5. Gandzhumyan R.A. Matematicheskaya statistika v razvedochnom bureanii: Spravochnoe posobie / R.A. Gandzhumyan. – М.: Nedra, 1990. – 218 s.
6. Anderson T. Statisticheskij analiz vremennyh ryadov. – М.: Nauka, 1976. – 343 s.
7. Kuznecov A.P. Dinamicheskij haos / A.P. Kuznecov. – М.: Izd-vo fiz-mat. lit., 2001. – 296 s.

FEATURES OF FORECASTING OIL AND GAS WELLS DRILLING SPEED

A.V. VLASENKO, A.A. ZHDANOV

*Kuban State Technological University.
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072,
e-mail: zhdanovandrey234@mail.ru*

The article is devoted to the problem of predicting the drilling speed of oil and gas wells on the basis of time series of retrospective data and current measurements of geophysical characteristics. The variety of methods and models of time series forecasting has low predictive effectiveness for nonstationary series of stochastic data, which necessitates the development of models that allow predicting the time series values in the short and long term with the required accuracy. The results of the work are of practical importance for the construction of wells with same profile within a single field. At the same time, in the process of drilling each new well, the forecast of the timing of its construction is refined taking into account the current geophysical measurements.

Key words: drilling speed, time series forecasting, nonstationary time series.