

МЕТОДИКА ВЫБОРА КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ БУРЕНИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

© 2019 г. Б.А. Головин¹, И.Г. Московский², К.Б. Головин¹

1 – Саратовский национальный исследовательский государственный университет

2 – Саратовский государственный технический университет

DOI: 10.24411/1997-8316-2019-19905

Аннотация: рассмотрены используемые в настоящий момент методы выбора контролируемых параметров при бурении нефтегазовых скважин. Предложен новый подход к оценке значимости контролируемых параметров.

Ключевые слова: бурение скважин, геолого-технологические исследования, выбор контролируемых параметров, оценка значимости параметров.

Борис Александрович Головин e-mail: bagolovin@yandex.ru

METHOD OF SELECTION OF CONTROLLED PARAMETERS IN DRILLING OIL AND GAS WELLS

B.A. Golovin¹, I.G. Moscoskovsky², K.B. Golovin¹

1 – State Technical University of Saratov

2 – Saratov State University

Abstract: currently used methods for the selection of controlled parameters for drilling oil and gas wells are considered. A new approach to assessing the significance of monitored parameters is proposed.

Key words: well drilling, geological and technological research, selection of monitored parameters, assessment of the significance of parameters.

Введение

Важной задачей при контроле технологических процессов бурения скважин является определение комплекса контролируемых параметров [1, 2].

Решение этой проблемы имеет большое технико-экономическое значение. С одной стороны, недостаток числа измеряемых параметров приводит к информационному дефициту и невозможности оценить состояние технологических процессов при бурении скважин, а следовательно, определить направление и интенсивность управляющих воздействий. Это приводит либо к перерасходу материалов и химических реагентов при регулировании свойств буровых растворов, долот и др., либо к осложнениям и авариям, т.е. к большим технико-экономическим потерям.

С другой стороны, избыточные, малоинформативные параметры практически не используются при оценке состояний технологических процессов при бурении скважин и, следовательно, затраты на их измерения и расчеты неоправданны.

В настоящий момент применяются два подхода к выбору контролируемых параметров. Первый и основной подход основан на методе экспертных оценок [1, 2], то есть на использовании субъективного опыта специалистов в области технологии бурения скважин. На основе накопленного опыта каждый из экспертов составляет свой упорядоченный перечень технологических параметров в соответствии со степенью значимости этих параметров на результаты решения задач, возникающих при контроле процесса бурения скважины. Под значимостью в данном методе подразумевается некоторая субъективная оценка при взаимном сравнении различных параметров отдель-

ным экспертом. Ввиду того, что эксперты могут давать различные оценки, результаты ранжирования параметров подвергаются статистической обработке, на основе которой составляется «усредненный» перечень контролируемых параметров, рекомендуемый для практического применения.

Второй подход основан на методе планирования эксперимента. При реализации данного метода определяется совокупность варьируемых факторов, при которых целевая функция принимает экстремальные значения. Получаемая в результате обработки данных экспериментов математическая модель включает наиболее значимые факторы технологического процесса, определяющие ход технологических процессов и выбор контролируемых параметров. Хотя данный подход позволяет ввести объективные количественные оценки значимости параметров как измеряемые меры степени влияния данного фактора на целевую функцию, тем не менее подход, основанный на методе планирования эксперимента, дает возможность решать лишь узкий круг задач при достаточно жестких требованиях к факторам, используемым при проведении экспериментов [1, 2].

В настоящей статье приводится новый подход количественной оценки значимости технологических параметров для решения задач по контролю процесса бурения нефтегазовых скважин. В соответствии с предложенной методикой оценка значимости включает два основных этапа решения задачи: первый – выявление характеристик технологических параметров, наиболее чувствительных к изменению состояния процесса бурения, и анализ их изменчивости при изменении состояния процесса бурения. Степень изменчивости параметров предлагается оценивать на основе вычисле-

ний локальных и средних коэффициентов эластичности.

На основе получаемых оценок значимости возможно составление объективных рекомендаций по выбору контролируемых параметров при бурении скважин, а также по выбору входных параметров для разработки алгоритмов по контролю процесса бурения.

Оценка чувствительности функций к изменениям аргумента

Прежде чем поставить задачу об оценке значимости технологических параметров при бурении скважин, рассмотрим, как выполнять количественное сравнение степени изменчивости разнородных величин в зависимости от изменения одного и того же фактора.

Пусть функции $y_1(x), y_2(x), \dots, y_m(x)$ аргумента x определяют изменения m характеристик некоторого явления (или процесса) от значений параметра x , влияющего на состояние этого явления. Требуется установить, какая из характеристик $y_1(x), y_2(x), \dots, y_m(x)$ более чувствительна к изменениям x , т.е. значение какой функции сильнее изменится при малом изменении ее аргумента.

Степень изменчивости дифференцируемой функции при изменении аргумента характеризует ее производная. Однако если функции $y_1(x), y_2(x), \dots, y_m(x)$ являются размерными, то сравнивать между собой величины производных, имеющих различные физические размерности, не имеет смысла. В этом случае в качестве безразмерной характеристики изменчивости функции $y(x)$ используется коэффициент эластичности (называемый также эластичностью функции) [XXX]:

$$E_x(y) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta y}{y} \right) / \left(\frac{\Delta x}{x} \right) = x \frac{y'}{y}$$

или его абсолютная величина $|E_x(y)|$, если в контексте задачи более важным является наличие изменения функции и менее важным – происходит это изменение в сторону увеличения или уменьшения рассматриваемой функции.

В дискретном случае коэффициент эластичности определяется как отношение относительных приращений функции и аргумента:

$$E_x(y) = \left(\frac{\Delta y}{y} \right) / \left(\frac{\Delta x}{x} \right).$$

Таким образом, для сравнения чувствительности функций $y_1(x), y_2(x), \dots, y_m(x)$ к изменениям параметра x в отдельной точке $x = x_0$ достаточно провести ранжирование по величине значений модуля коэффициента эластичности $\delta_i = |E_x(y_i)|$ функций $y_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, m$, вычисленных в точке x_0 . Функции с большим значением модуля коэффициента эластичности δ_i более чувствительны к изменениям параметра x в точке x_0 . Знак величин $E_x(y_i)$ будет давать информацию о том, увеличивается или уменьшается значение функции $y_i(x)$ в точке x_0 .

Поскольку коэффициент эластичности $E_x(y)$ зависит от конкретного значения переменной x , то изменчивость функции $y(x)$ при изменении аргумента x в пределах отрезка $a \leq x \leq b$ может характеризоваться различными величинами, например:

- максимальным значением модуля коэффициента эластичности

$$M(y) = \max_{a \leq x \leq b} |E_x(y)|;$$

- разбросом (размахом) значений коэффициента эластичности

$$R(y) = \max_{a \leq x \leq b} E_x(y) - \min_{a \leq x \leq b} E_x(y);$$

- средним значением модуля коэффициента эластичности

$$\langle |E_x(y)| \rangle = \frac{1}{b-a} \int_a^b |E_x(y)| dx.$$

Для сравнения чувствительности функций $y_1(x), y_2(x), \dots, y_m(x)$ к изменениям параметра x на отрезке $a \leq x \leq b$ можно поступить следующим образом. Вычислить для каждой функции $y_i(x)$ набор характеристик α_{ij} ее изменчивости на заданном отрезке (i – номер функции; j – номер характеристики; $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$). В качестве характеристик изменчивости можно выбрать, например, максимальное значение модуля коэффициента эластичности $\alpha_{i1} = M(y_i)$, разброс значений коэффициента эластичности $\alpha_{i2} = R(y_i)$ и т.д. Каждая из характеристик изменчивости может наделяться своим весовым коэффициентом ε_j , $j = 1, 2, \dots, n$, причем $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n = 1$. Весовые коэффициенты ε_j определяют степень влияния каждой из характеристик (по сравнению с другими характеристиками) на итоговую (общую) оценку изменчивости функции $y_i(x)$ на отрезке.

Общая оценка δ_i изменчивости функции $y_i(x)$ на отрезке может быть вычислена по следующей формуле:

$$\delta_i = \sum_{j=1}^n \left(\alpha_{ij} \left(\sum_{k=1}^m \alpha_{kj} \right)^{-1} \varepsilon_j \right), \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Таким образом, по итогам вычислений будет сделан вывод: функции $y_i(x)$ с боль-

шим значением оценки δ_i более чувствительны к изменениям параметра x на отрезке $a \leq x \leq b$.

Оценка значимости технологических параметров при бурении скважин

Пусть при бурении скважины имеется принципиальная возможность регистрации m параметров $g_i = g_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, m$), где t – текущее время бурения. Параметры g_i принимают действительные размерные или безразмерные значения из соответствующих интервалов возможных значений, обусловленных как технологическими факторами, так и особенностями бурения данной скважины. Будем полагать, что в момент времени t_0 (или в интервал времени от t_0 до $t_0 + \Delta t$) при бурении скважины происходит некоторое событие X , которое необходимо зафиксировать по измеренным параметрам $g_1(t), g_2(t), \dots, g_m(t)$.

Рассмотрим методику определения среди параметров g_1, g_2, \dots, g_m тех, что наиболее чувствительны к наступлению события X .

На начальном этапе необходимо провести предварительный анализ зависимостей $g_1(t), g_2(t), \dots, g_m(t)$ по выявлению характеристик поступающих сигналов, которые наиболее чувствительны к событию X . Например, в одном случае при наступлении события X сигнал может скачком менять свое локальное значение. В другом случае, если сигнал периодический, то при наступлении события X может измениться амплитуда колебаний при неизменной частоте, либо наоборот – изменится частота при неизменной амплитуде. Таким образом, необходимо выяснить, какая из характеристик сигнала обладает наибольшей изменчивостью при наступлении события X . Говоря формаль-

ным языком, для каждого из параметров g_i ($i = 1, 2, \dots, m$) необходимо выявить функционал $y_i(t) = F_i[g_i(t)]$, который в результате события X при $t = t_1$ претерпевает наибольшую изменчивость по сравнению с другими функционалами. Функционал $F_i[g_i(t)]$ может определяться как локальным значением параметра $g_i(t)$, так и совокупным изменением этого параметра на некотором интервале времени, предшествующем текущему моменту t . По итогам данного этапа должны быть сформированы m величин $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$, которые, во-первых, необходимы для оценки значимости технологических параметров g_1, g_2, \dots, g_m , а во-вторых, будут использованы как входные переменные алгоритмов, осуществляющих контроль процесса бурения скважины.

Для оценки значимости технологических параметров введем в рассмотрение дополнительный параметр $x = x(t)$, который будет давать количественную характеристику проявления события X . Например, если событие X – это осложнение, связанное с поглощением бурового раствора на забое скважины, то $x(t)$ – интенсивность потерь бурового раствора в результате поглощения в момент времени t . Рассмотрим функции $y_1(x), y_2(x), \dots, y_m(x)$, отражающие зависимости технологических параметров g_1, g_2, \dots, g_m от фактора x , характеризующего степень проявления события X . Ввиду того, что процесс бурения скважины является сложным многопараметрическим процессом с большим числом неизвестных факторов, зависимости $y_1(x), y_2(x), \dots, y_m(x)$ не могут быть получены в явном и тем более аналитическом виде. Зависимости $y_1(x), y_2(x), \dots, y_m(x)$ могут быть описаны в параметрическом виде:

$$\begin{cases} x = x(t), \\ y_i = y_i(t), \end{cases} i = 1, 2, \dots, m,$$

где параметр t – текущее время бурения.

Следует отдельно отметить, что описываемые здесь зависимости рассматриваются в статистическом смысле как результат обработки представительного числа скважин, схожих как по технологии их бурения, так и по геологическому строению пробуриваемых пород.

Основной этап оценки значимости технологических параметров бурения будет включать вычисление и ранжирование оценок δ_i изменчивости функций $y_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, m$ к изменениям параметра x на множестве его возможных значений в соответствии с методикой, описанной в предыдущем пункте настоящей статьи.

Исходя из полученных оценок δ_i , проводится ранжирование технологических параметров g_1, g_2, \dots, g_m по степени их значимости на возможность выявления события X , выбор подмножества параметров, рекомендованных для измерения и разработки алгоритмов по контролю процесса бурения скважин.

Литература

1. Булатов А.И., Демихов В.И., Макаренко П.П. Контроль процессов бурения нефтяных и газовых скважин. – М.: Изд-во «Недра», 1998. – 345 с.
2. Лукьянов Э.Е. Интерпретация данных ГТИ. – Новосибирск: Изд. Дом «Историческое наследие Сибири», 2011. – 944 с.