

Станции АМТ для контроля бурения нефтяных и газовых скважин

Н.В. Акимов, А.А. Шибяев, Л.Г. Шраго
(ЗАО "Автоматизация Мониторинга Технологий")

Описывается опыт ЗАО "Автоматизация Мониторинга Технологий" (ЗАО "АМТ", Санкт-Петербург) в разработке, изготовлении, эксплуатации станций контроля бурения нефтяных и газовых скважин, в том числе методология разработки математического обеспечения станций.

Успешность бурения нефтяных и газовых скважин в значительной мере определяется:

- наличием оперативной, полной и достоверной информации о выполняемых ТП и состоянии скважины;
- обеспечением безаварийности бурения, что определяется наличием информации о выполняемых процессах, состоянии скважины и используемыми методами интерпретации информации;
- оптимизацией выполняемых технологических процессов, возможность которой также определяется наличием информации о процессах и используемыми методами ее обработки.

Поэтому в последние годы явно выраженной тенденцией в бурении нефтяных и газовых скважин стала автоматизация контроля ТП с использованием современных компьютерных технологий. По аналогичным причинам эта тенденция наблюдается и во всех других частях нефтегазового комплекса.

Средством решения указанных задач при бурении нефтяных и газовых скважин являются станции контроля бурения. В России в настоящее время их производством занимаются восемь фирм. ЗАО "АМТ" — старожил этого сектора производства современной аппаратуры и ПО. В 1987 г. ЗАО "АМТ" выпустило первую отечественную компьютеризированную станцию контроля бурения (станция автоматической оптимизации бурения "САОБ") и с этого момента, не прерываясь, выполняет разработку и совершенствование, изготовление, ввод в эксплуатацию этих станций у заказчиков и их сопровождение при эксплуатации. За этот период были выполнены две глубокие модернизации технического и программного обеспечения станций. Доля станций контроля бурения нефтяных и газовых скважин производства ЗАО "АМТ" составляет 25% от общего числа таких станций, работающих в настоящее время в России. Разработанные ЗАО "АМТ" системы функционируют на Сахалине, в Тюменской, Томской, Волгоградской, Саратовской и Кали-

нинградской областях, в республике Коми и Краснодарском крае.

В настоящее время ЗАО "АМТ" поставляет два типа станций [1]:

- контроля параметров бурения — АМТ-100;
- геолого-технологического контроля бурения и исследования скважин — АМТ-121.

Станция контроля параметров бурения АМТ 100

Станция представляет собой автоматизированный аппаратно-программный комплекс информационно-обеспечения буровой бригады. Она предназначена для оперативного контроля параметров бурения вертикальных, наклонно направленных и горизонтальных нефтяных и газовых скважин, оптимизации и обеспечения безаварийности бурения.

Станция позволяет контролировать все основные ТП бурения скважин: углубку забоя, спускоподъемные операции, наращивание, спуск обсадной колонны, цементирование; автоматическое распознавание 20 видов осложнений и аварийных ситуаций.

Отличительной особенностью станции является продуманное сочетание аналоговых и цифровых средств отображения информации.

Информационный модуль, монтируемый на роторной площадке, включает пульт бурильщика (стрелочные приборы), устанавливаемый перед рабочим местом бурильщика на расстоянии нескольких метров от него, электролюминесцентный дисплей и органы управления им (кнопки и джойстик), устанавливаемые на АРМ бурильщика.

Пульт (рис. 1) в наглядной и привычной для бурильщика форме показывает состояние шести основных быстро меняющихся в отдельных процессах параметров бурения: вес на крюке, нагрузка на долото, давление нагнетания промывочной жидкости, крутящий момент на роторе (или буровом ключе), расход промывочной жидкости на входе в скважину, расход промывочной жидкости на выходе из скважины.



Рис. 1



Рис. 2

Шкалы стрелочных приборов, выполненные контрастной светоотражающей краской, хорошо видны с расстояния 8...10 м, в том числе при искусственном освещении. На электролюминесцентный дисплей в виде цифр, графиков, мнемосхем выводится информация о 25 параметрах бурения: текущая глубина скважины, механическая и рейсовая скорости бурения, текущее время, время рейса и технологической операции, оставшееся время бурения, положение долота в скважине, положение талевого блока и скорость его движения, изменение объема промывочной жидкости в емкостях, соотношение параметров промывочной жидкости (расход, плотность, температура) на входе/выходе из скважины и другие параметры (рис. 2).

Пульт бурильщика и дисплей обслуживаются встроенным промышленным компьютером, который обеспечивает прием сигналов с датчиков и их обработку, выполняет необходимые расчеты, обновляет информацию на пульте бурильщика и дисплее (с частотой до 5 Гц), анализирует состояние технологических параметров, выдает при необходимости предупреждающие сообщения. Архивные данные бурения скважины в последствие могут быть перенесены в БД буровых предприятий.

По желанию заказчика на АРМ бурового мастера и супервайзера (если таковой имеется) устанавливаются ПК со специальным (сетевым) ПО, принтеры. Это обеспечивает буровому мастеру и супервайзеру возможность оперативного контроля основных ТП бурения и состояния скважины, распознавания осложнений и аварийных ситуаций на начальной стадии их возникновения, контроля траектории скважины, выполнять гидравлические и другие расчеты, необходимые при бурении скважины, контролировать соответствие технологии и сроков бурения скважины проектным данным, обеспечивать детальную архивацию данных по скважине и их ретроспективный просмотр, оперативный выпуск отчетной документации по скважине (рис. 3).

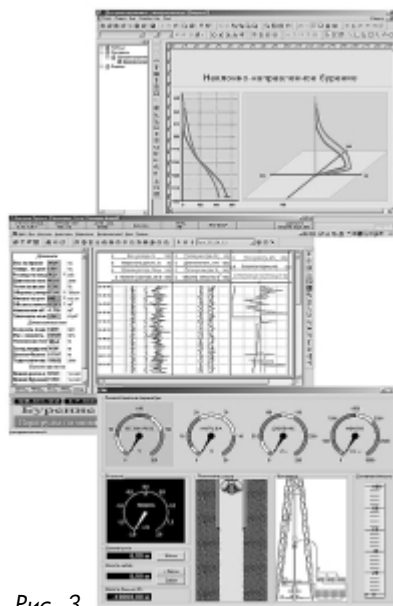


Рис. 3

Станция геолого-технологического контроля бурения и исследования скважин АМТ 121

Станция предназначена для оперативного геологического и технологического контроля бурения вертикальных, наклонно направленных и горизонтальных нефтяных и газовых скважин и позволяет:

- получить полную и объективную информацию по скважинам, необходимую для управления бурением и оптимизацией, а также разведкой и освоением месторождений;

- контролировать более 90 измеряемых и расчетных геологических, технологических и технико-экономических параметров бурения и состояния скважины;

- выполнять механический, фильтрационный и газовый каротажи;

- выполнять в процессе бурения построение литологической колонки, выделять коллекторы с расчетом пластового и порового давлений, определять продуктивность коллекторов, прогнозировать и выделять зоны АВПД;

- обрабатывать инклинометрические замеры, строить проекции скважины и прогнозировать попадания скважины в круг допуска;

- автоматически распознавать 20 видов осложнений и аварийных ситуаций.

В полной комплектации станция включает:

- аппаратуру станции АМТ 100 (комплект датчиков может быть расширен);

- аппаратно-программный комплекс газового каротажа: анализатор суммарного содержания углеводородов в газовой смеси, откачиваемой из промывочной жидкости на выходе из скважины; анализатор покомпонентного состава углеводородов (хроматограф "Хромапласт 001"), дегазатор промывочной жидкости, линия транспортировки газовой смеси;

- АРМ оператора станции (оно же — геолога, бурового мастера): компьютеры (2 ед.) со специальным ПО, принтер, устройство для хранения больших объемов информации.

АРМ оператора станции информационно связано с УСО и АРМ бурильщика аналогично тому, как с ними соединено АРМ мастера на станции АМТ 100. Рабочее место мастера (и супервайзера) в этом случае информационно связаны только с АРМ оператора станции. Комплекс газового каротажа информаци-

онно связан также с рабочим местом оператора станции. Компьютеры АРМ оператора и бурового мастера (и супервайзера) объединены в ЛВС и работают в режиме клиент-сервер с общей БД. Это позволяет в РВ контролировать бурение и работать с накопленными данными: просматривать их, выполнять расчеты, формировать документы по скважине, печатать, редактировать, передавать данные по каналам связи и т.д.

По желанию заказчиков станция АМТ 121 доукомплектовывается аппаратурой геологической (геохимической) лаборатории: микроскоп, люминоскоп, кальциметр, дегазатор термовакуумный и прочее для экспресс-исследования каменного материала (шлама, керн) непосредственно на буровой.

Математическое обеспечение станций АМТ

К настоящему времени станциями производства ЗАО "АМТ" проконтролировано бурение более 1 млн. м скважин при глубине каждой 2000...6000 м. Отмечаемая заказчиками эффективность использования этих станций [2] в значительной мере определяется особенностями их математического обеспечения (реализуемого ПО), особенно в частях: фильтрации сигналов датчиков; алгоритма распознавания возникновения осложнений и аварийных ситуаций; алгоритма распознавания пород разреза скважины в процессе бурения (построение литологической колонки).

Попытаемся кратко описать эти особенности.

Фильтрация сигналов датчиков

Необходимо было учитывать, что эти сигналы сильно зашумлены, так как воздействие скважины на буровой инструмент (долото, бурильную колонну), промывочный раствор и изменения состояния самой скважины происходят на глубине, а измерения выполняются на поверхности (на устье скважины). Поэтому в станциях применены рекурсивные фильтры вида:

$$y_n = \sum_0^N c_k \times u_{n-k} + \sum_1^N d_k \times y_{n-k}, \quad (1)$$

где u – входные данные; y – выходные данные; c , d – постоянные фильтра.

Используемые фильтры являются вариантом адаптивных фильтров Калмана, в которых значения c и d – управляются сигналом о асимметрии-симметрии (по вероятностной оценке) знаков отклонений входных данных от выходных. В качестве базового элемента фильтра (1) принят экспоненциальный фильтр вида:

$$y_n = c \times u_{n-k} + (1 - c) \times y_{n-1}, \quad (2)$$

в котором постоянная фильтра c определяется через постоянную времени фильтра T и частоту опроса f по формуле $c = 1/(1 + T \times f)$.

Синтез фильтров выполнен по их амплитудной и фазовой частотным характеристикам по требованиям, основанным на анализе динамически контролируемых параметров по данным измерений, полученным при использовании станций АМТ с 1987 г. Фильтры изменяют усредненные ошибки выходных данных относительно ошибок, содержащихся во входных данных измерений. Эти изменения могут быть очень существенными. На основе формулы Хемминга для нерекурсивных фильтров были получены соответствующие формулы для рекурсивных фильтров, которые использовались при синтезе.

Для фильтра (2) имеем:

$$\epsilon_y^2 = \epsilon_u^2 \times c / (2 - c), \quad (3)$$

где ϵ_y^2 и ϵ_u^2 – дисперсии ошибок входных/выходных данных; предполагается, что измерения не смещены, ошибки аддитивны и некоррелируемы.

Это позволило обеспечить высокую помехозащищенность результатов с ошибкой определения кон-

тролируемых параметров на 1...3 порядка (в зависимости от частоты опроса) ниже, чем ошибка их измерения датчиками. Выявилась возможность пересмотра требований к точности измерений, так как уменьшение погрешности датчиков стоит дорого; при этом, однако, необходимо обеспечивать их высокую чувствительность.

Распознавание возникновения осложнений и аварийных ситуаций

Необходимо было учитывать, что каждый вид осложнений и аварийных ситуаций характеризуется не одними и теми же совокупностями признаков, причем признаки эти косвенные и, так как они определяются сигналами датчиков, сильно зашумлены. В пространстве признаков (сохранение значения сигнала, его увеличение/уменьшение) ситуации заданы *нечетко*, имеются пересечения подпространств. В этих условиях алгоритм распознавания должен обязательно определять вероятностную оценку достоверности выделения конкретной ситуации из множества возможных. Поэтому в станциях применен алгоритм, основными элементами которого являются $n \times m$ матрица ситуаций (C), где n – число ситуаций, m – число признаков, $m \times 1$ – матрица состояний (значений) признаков (Π). Элементами матрицы $C(C_{ij})$ – являются не сами признаки (и в этом особенность метода решения этой задачи), а вероятности появления при возникновении i -ой ситуации j -ого признака. Матрица C была построена по большому числу фактических данных различных районов бурения с использованием экспертных оценок. Матрица Π со значениями ее элементов 0 или 1 периодически определяется в процессе контроля бурения. При выполнении операции $P = C \times \Pi$ получаем $n \times 1$ матрицу, элементы которой отражают вероятность возникновения в данный момент всех возможных ситуаций. Информация о ситуациях с наиболее высокой (превышающей заданный порог) вероятностью возникновения сообщается бурильщику, буровому мастеру и оператору станции.

Распознавание пород разреза скважины в процессе бурения

Алгоритм решения данной задачи выполняет сравнение получаемой измерением модели проходимой породы с набором эталонных моделей пород. В качестве моделей пород используются плотности распределения измеряемых параметров бурения (механическая скорость, фильтрация промывочной жидкости и др.) при бурении в типичных породах (песчаник, глина, соль, известняк и т.д.). Эти модели были построены по большому числу фактических данных различных районов бурения. Сравнение производится с использованием вероятностного критерия близости статистических распределений (критерий Колмогорова). Таким образом, определяется и название породы и вероятностная оценка достоверности выполненного определения. Алгоритм позволяет определять и смешанные пласты: песчано-глинистые, глино-солевые и др.

Оптимизация режимов бурения (отработки долота)

На стадии проектирования бурения эта задача более-менее решена на основе статистических данных по отработке долот в каждом районе работ, если создан достаточно представительный фактический материал. Эти решения фиксируются в геолого-технологическом наряде на бурение скважины в виде рекомендаций для каждого интервала глубины скважины по выбору типа долота, режима бурения с оценкой времени работы долота на забое, ожидаемой механической скорости бурения и проходки на долото.

Однако фактические результаты работы конкретных долот на конкретном интервале глубины скважины, как правило, из-за действия многих неучтенных факторов (разброс характеристик стойкости долот и самих пород и проч.) существенно отличаются от проектных. В результате, значительная часть долот поднимается с недоиспользуемым ресурсом времени работы либо долота (их опоры, как правило) разрушаются на забое, создавая аварии, ликвидация которых ведет к потере времени и средств. Поэтому возникает задача оперативного определения оптимального режима отработки долота в процессе бурения. Ее решение может быть получено лишь на основе прогноза оставшегося ресурса времени работы долота на забое.

В рамках методологии разработки математического обеспечения станций АМТ такой прогноз должен быть выполнен с определением вероятностной оценки достоверности его реализации. В настоящее время алгоритм такого прогноза разработан. Он основан на следующих положениях:

1. имеется интегральная функция распределения времени полной отработки долота — $P_0(T)$, где T — время, полученное на основе статистических данных по отработке долот в районе работ при G_0, N_0 — средних нагрузке на долото и частоте его вращения. Сред-

нее время (математическое ожидание времени отработки долота T_0) как и G_0, N_0 указано в геолого-технологическом наряде на бурение скважины;

2. если долото уже проработало на забое время T_n , то оно уже не относится к исходной статистике, описываемой функцией $P_0(T)$, так как в этом случае из нее должны быть исключены данные по долотам, обработанным за время $T < T_n$. Функция $P_n(T)$, соответствующая долоту, проработавшему на забое время T_n , определяется по формуле:

$$P_n(T) = \frac{P_0(T) - P_0(T_n)}{1 - P_0(T_n)}; \quad (4)$$

3. заданному значению $p_{\text{прогноз}}$ — вероятности реализации прогноза времени работы на забое $T_{\text{прогноз}}$ долота, уже проработавшего на забое время T_n , соответствует $P_0(T_{\text{прогноз}})$, определяемое с учетом (4) по формуле:

$$P_0(T_{\text{прогноз}}) = 1 - p_{\text{прогноз}} \times (1 - P_0(T_n)), \quad (5)$$

по вычисленному значению $P_0(T_{\text{прогноз}})$ определяется значение $T_{\text{прогноз}}$; далее очевидным образом определяется оставшееся время работы долота на забое.

Полученный прогноз оставшегося ресурса времени работы долота на забое позволяет построить алгоритм оптимизации отработки долота как сходящийся на временном отрезке $T_1, T_2, T_3 \dots T_n$ итерационный процесс с заданной вероятностной оценкой достоверности результата.

Список литературы

1. Акимов Н., Воротилов В., Филатов А.и др. Эффективность использования информационных технологий на предприятиях нефтегазового комплекса // Бурение & Нефть. 2004. №2.
2. Кравцов С.А., Чебанов С.Н., Акимов Н.В. и др. Опыт применения станций ГТИ в Новом Уренгое // Тверь. Каротажник. 1999. №65.

Акимов Николай Владимирович — ведущий технолог, Шибяев Александр Алексеевич — генеральный директор, Шраго Леонид Григорьевич — канд. техн. наук, председатель совета директоров ЗАО "АМТ".

*Контактный телефон (812) 323-06-12.
Http://amt-s.spb.ru E-mail: hq@amt-s.spb.ru*

БИБЛИОТЕКА**ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКА СНГ В ОБЛАСТИ ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР СРЕДСТВ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ОБЪЕКТА**

Под редакцией зав. лаб. методов автоматизации производства Института Проблем Управления РАН Э.Л. Ицковича.

Объективные описания, анализ и сопоставление важнейших показателей средств отечественных и зарубежных производителей в обзорах:

Выпуск 1. "Программы связи операторов с ПТК (SCADA-программы) на рынке СНГ", Версия 7, 2003 г.;

Выпуск 2. "Микропроцессорные программно-технические комплексы (ПТК) отечественных фирм", Версия 6, 2003 г.;

Выпуск 3. "Сетевые комплексы контроллеров зарубежных фирм на рынке СНГ", Версия 2, 2002 г.;

Выпуск 4. "Микропроцессорные распределенные системы управления на рынке СНГ", Версия 2, 2002 г.;

Выпуск 5. "Перспективные программные и технические средства автоматизации: их стандартизация, свойства, характеристики, эффективность эксплуатации", Версия 3, 2004 г.;

Выпуск 6. "Интеллектуальные датчики общепромышленного назначения на рынке СНГ". Версия 1. 2002 г.;

Выпуск 7. "Современные интегрированные АСУП (ERP-системы) на рынке СНГ. Часть I. Отечественные системы", Версия 1. 2003 г.;

Выпуск 8. "Современные интегрированные АСУП (ERP-системы) на рынке СНГ. Часть II. Зарубежные системы", Версия 1. 2003 г..

Конкурсный выбор средств и систем под конкретные требования: **Выпуск 9.** "Методика проведения конкурса" с приложением программы "Вычисление общей ранжировки конкурсных заявок и анализ работы экспертов". Версия 2. 2004 г.

Справки по приобретению любой из перечисленных работ можно получить у Э.Л. Ицковича по тел. и факсу (095) 334-90-21, по E-mail: itskov@ipu.rssi.ru