

ИНТЕГРИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРАБОТКИ

INTEGRATED MODEL FOR PLANNING OF FIELD DEVELOPMENT INDICATORS

А.В. Ахметов, А.П. Рощектаев, к.ф.-м.н., **А.А. Пустовских**, к.ф.-м.н.,
А.Н. Ситников Научно-Технический Центр «Газпром нефти» (ООО «Газпромнефть НТЦ»),
Е.В. Аскерова, А.В. Билинчук, к.т.н.
ПАО «Газпром нефть»
Электронный адрес: akhmetov.av@gazpromneft-ntc.ru

Ключевые слова: планирование добычи нефти, производственные показатели разработки месторождения, темпы падения добычи

A.V. Akhmetov, A.P. Roshchektaev, A.A. Pustovskikh, A.N. Sitnikov
Gazpromneft NTC LLC, RF, Saint-Petersburg,
E.V. Askerova, A.V. Bilinchuk Gazprom Neft PJSC, RF, Saint-Petersburg

The work presents actual methods of production forecasting used in industry. Particular attention is devoted to the analysis of decline rates of oil production from production history and the approximation of the empirical decline rate by analytical functions. The concept of a corridor of decline rates is introduced. Approaches to the forecasting of the base production in the context of each well, including the displacement curves, are described. The ways of risk analysis in oil production forecasting are given.

Keywords: oil production forecast, oilfield development indicators, oil production decline curve

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в условиях постоянного ухудшения качества запасов и сложных макроэкономических условий перед нефтяными компаниями стоит задача оптимизации и долгосрочной устойчивости принимаемых инвестиционных решений. Существует необходимость построения интегрированной модели планирования добычи для анализа инвестиционной привлекательности проектов с возможностью анализа возникающих рисков.

Основная задача планирования добычи – оценка будущей динамики производственных показателей по переходящему (базовому) фонду и дополнительной добычи, полученной в результате проведения геолого-технических мероприятий (ГТМ). Представленный подход к решению задачи основан на понятии темпа падения дебита единичной скважины (рис. 1), который может быть рассчитан по результатам численного моделирования либо на основании анализа статистических данных.

АНАЛИЗ ТЕМПОВ ПАДЕНИЯ ДЕБИТА (ДОБЫЧИ) ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАНЫМ

Целью анализа статистических данных является получение статистически обоснованного

среднего темпа падения дебита по скважинам, в которых проведены схожие ГТМ. Мероприятия должны быть объединены в группы с общими геологическими и технологическими условиями проведения:

- ГТМ одного вида (например, ввод новых скважин или проведение ГРП);
- ГТМ выполняют в скважинах:
 - с одним типом заканчивания;
 - находящихся в схожих геологических условиях (одна фациальная обстановка по данным фациальных карт пласта);
 - вскрывших пласты со схожими значениями фильтрационно-емкостных свойств (значение коэффициента вариации по выборке для гидропроводности пласта не превышает заданной величины).

Для анализа исходными являются данные о дополнительной добыче, полученной в результате проведения ГТМ, за рассматриваемый период по всем мероприятиям группы.

Основу анализа составляет предположение о типовом эффекте от ГТМ. Принимаем, что все скважины с некоторой точностью работают с одинаковым для всех безразмерным темпом падения дебита $f(t)$, причем $f(0) = 1$, но у каждой i -й скважины свой начальный дебит q_{0i} . Следовательно, дополнительный дебит, полученный в результате проведения ГТМ, зависит от накопленного времени работы t по

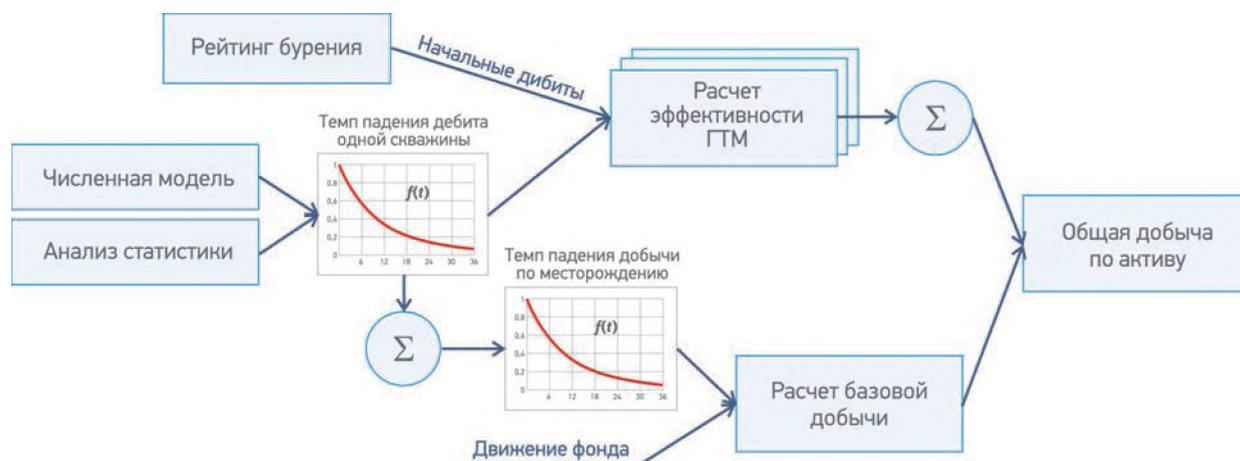


Рис. 1. Блок-схема движения данных при планировании добычи

закону $q_i(t) = q_{0i}f(t)$, или в логарифмическом виде

$$\ln q_i(t) = \ln q_{0i} + \ln f(t) + \varepsilon_i(t),$$

где $\varepsilon_i(t)$ – остаток, который не объясняется в рамках указанной модели.

Критерий качества построенной модели – минимизация суммы квадратов ошибок. Неизвестными величинами являются начальные дебиты скважин q_{0i} и значения эмпирической функции падения дебита по месяцам $f(t)$. Такая оптимизационная задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений и решается средствами линейной алгебры.

АППРОКСИМАЦИЯ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ПАДЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИМИ КРИВЫМИ

Полученные значения эмпирической функции падения $f(t)$ мало подходят для применения в дальнейшем процессе планирования по причине зашумленности, отсутствия гладкости, невозможности обобщения и экстраполяции. В связи с этим на практике необходимо подобрать гладкую аналитическую кривую $f_a(t)$, которая зависит от малого числа параметров и достаточно хорошо аппроксимирует эмпирическую функцию.

В представленном подходе для этой цели используются непрерывные кусочно-заданные функции, определенные в виде сшивки простых аналитических функций. Всего используется пять видов простых (базисных) аналитических функций.

При сшивке нескольких аналитических функций выбирается одна из пяти базисных функций для каждого интервала времени и указывается тип сшивки на границе интервала (гладко/не гладко). В первом случае функция падения непрерывна, но производная терпит

разрыв в точке сшивки, во втором – непрерывна как сама функция, так и ее производная. При подборе гладкой кривой для заданной эмпирической функции необходимо указать число используемых базисных функций и их типы. Коэффициенты функций подбираются путем решения задачи многопараметрической оптимизации. Для этого подходит любой оптимизационный алгоритм, обладающий глобальными поисковыми свойствами. В частности, в представленном подходе используется алгоритм дифференциальной эволюции.

КОРИДОР ФУНКЦИЙ ПАДЕНИЯ

Эмпирическая и аналитическая функции падения описывают динамику показателей эксплуатации средней скважины. При расчете производственных показателей от проведения ГТМ возможно использовать функцию падения, отличающуюся от функции, определенной на основе анализа статистических данных. Для контроля допустимости корректировки функции падения вводится понятие коридора функций (рис. 2).

Коридор функций падения дебита для каждого момента времени t определяет интер-

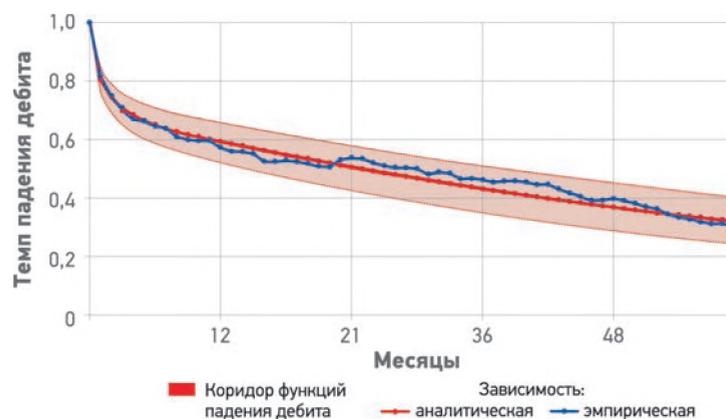


Рис. 2. Темп падения дебита

вал допустимых значений функции. Таким образом, для всех моментов времени коридор представляет собой набор двух функций $f_{\max}(t)$ и $f_{\min}(t)$, определяющих верхнюю и нижнюю границы этого интервала. Указанные функции $f_{\max}(t)$ и $f_{\min}(t)$ могут быть получены по известному аналитическому виду функции падения дебита $f_d(t)$, построенной по эмпирическим данным. Ширина коридора определяется относительной величиной смещения δ от исходной функции $f_d(t)$.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГТМ

Расчет производственных показателей, полученных в результате проведения ГТМ, выполняется по каждому мероприятию в отдельности. Возможны два различных способа расчета: – дебит жидкости – дебит нефти: с помощью функций падения задается динамика дебита жидкости и дебита нефти. Динамика обводненности по скважине пересчитывается в зависимости от указанных параметров;

ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА ПЛАНИРОВАНИЯ ДОБЫЧИ – ОЦЕНКА БУДУЩЕЙ ДИНАМИКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ПЕРЕХОДЯЩЕМУ (БАЗОВОМУ) ФОНДУ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ДОБЫЧИ, ПОЛУЧЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ (ГТМ)

– дебит жидкости – обводненность: задается динамика дебита жидкости единичной скважины и характеристика вытеснения (зависимость обводненности от степени выработки извлекаемых запасов); функция падения дебита нефти рассчитывается для каждого момента времени путем численного решения дифференциального уравнения.

ГТМ делятся на планируемые и фактические (на дату расчета имеются фактические данные как минимум за один месяц). Для планируемых мероприятий необходимо задавать начальные дополнительные дебиты нефти и жидкости. Источником данных по начальным дебитам является геологический рейтинг бурения, в котором расчет дебитов проводится на основе аналитических и численных моделей. Для фактических мероприятий начальные дебиты нефти и жидкости определяются по фактическим эффектам. С целью гладкой сшивки фактических и планируемых точек (для фактических мероприятий) необходимо подобрать некоторое виртуальное значение начального эффекта так, чтобы при переходе от факта к плану не происходило резкого скачка дебита. Выбирается некоторое

число крайних точек (точек привязки), по которым определяется виртуальное значение начального эффекта. Далее расчет для планируемых месяцев выполняется с использованием этого начального эффекта и заданных функций падения дебита жидкости и нефти.

ТЕМПЫ ПАДЕНИЯ БАЗОВОЙ ДОБЫЧИ

При оценке прогнозируемых темпов падения добычи по переходящему фонду (базовой добычи) сначала проводится расчет показателей по каждой скважине, затем проводится суммирование по всем скважинам месторождения (участка) и определяется общий темп падения. Показатели базовой добычи по каждой скважине могут рассчитываться двумя способами.

1. Определение темпов падения дебитов жидкости и нефти единичной скважины на основе статистических данных. Далее для каждой скважины рассчитывается накопленное время работы на момент начала планирования и определяется текущий темп падения.
2. Темп падения дебита жидкости единичной скважины, как и в предыдущем случае, определяется на основе анализа статистических данных. Динамика обводненности задается характеристикой вытеснения (отдельно для каждой скважины). Для задания характеристики вытеснения используется модель Corey с дополнительным участком постоянной обводненности

$$WC(RF) = \begin{cases} WC_0, & RF \leq RF_0; \\ WC_0 + (1 - WC_0) \times \\ \times \left(1 + \frac{(1 - RF)^\alpha (1 - RF_0)^{\beta - \alpha}}{M(RF - RF_0)^\beta} \right)^{-1}, & \\ RF > RF_0. \end{cases}$$

где $RF = Q_{\text{нак}} / Q_{\text{извл}}$ – степень выработки извлекаемых запасов; $Q_{\text{нак}}$ – накопленная добыча нефти; $Q_{\text{извл}}$ – извлекаемые запасы; RF_0 – степень выработки запасов, до которой изменения обводненности на этом участке (WC_0) не происходит; M – соотношение подвижностей воды и нефти в крайних точках; α, β – свободные параметры.

В приведенную модель характеристики вытеснения входят пять параметров $RF_0, WC_0, M, \alpha, \beta$, которые должны быть оптимальным образом адаптированы на фактические данные динамики обводненности скважин. В представленном подходе для этого используется ранее упоминавшийся алгоритм дифференциальной эволюции. Далее для каждой скважины определяется текущее значение степени выработки извлекаемых запасов и соответствующее положение на характеристике вытеснения. Дальнейший расчет проводится для каждого периода времени (ме-

сяца) на основании заданной добычи жидкости путем численного решения дифференциального уравнения.

При суммировании показателей добычи по каждой скважине результатом является планируемая добыча по переходящему фонду без учета выбытия скважин из эксплуатации. В связи с тем, что движение фонда скважин не может быть запланировано для каждой скважины в отдельности, планирование выхода и ввода скважин из эксплуатации осуществляется по месторождению в целом. При этом задается число скважин, планируемых к вводу и выводу в каждом временном периоде (месяце), а также средние дебиты, с которыми скважины выбывают из фонда и вводятся из бездействия.

АНАЛИЗ РИСКОВ БАЗОВОЙ ДОБЫЧИ И ГТМ

Приведенные выше алгоритмы расчетов базовой добычи и добычи в результате проведения ГТМ представляют собой детерминистические оценки планируемой добычи. Однако нередко перед инженером стоит задача построения вероятностной модели, которая позволит оценить добычу нефти за определенный период как случайную величину. С этой целью предусмотрено использование алгоритмов оценки рисков базовой добычи и дополнительной добычи за счет ГТМ. При расчете входными параметрами являются начальные дебиты, темп падения дебита нефти, дата проведения (для ГТМ) и коэффициент эксплуатации. По каждому из этих параметров может быть рассчитан риск. Значения параметров в основном расчете считаются наиболее вероятными. Инженер указывает их относительное изменение, при этом каждый параметр моделируется бета-распределением.

Далее методом Монте-Карло выполняются серийные расчеты добычи на определенное число реализаций (не менее 500). В каждой реализации исходные параметры варьируются согласно заданному распределению. На основании этих данных можно построить эмпирическую функцию распределения добычи нефти и оценить квантили для вероятностей 10, 50 и 90 % (оценки P10, P50 и P90).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время указанный подход закреплен официальными методическими документами. Инструменты реализованы в программной среде VBA. Пять дочерних обществ компании «Газпром нефть» на текущих активах, научно-технический и корпоративный центры используют данные инструменты для расчета добычи. Основными пользователями являются сотрудники подразделений сводного планирования добычи (более 30 человек) и специалисты по геологии и разработке.

Автоматизация модели бизнес-планирования производственных показателей позволила оптимизировать трудозатраты. Значительно повысилось качество контроля планирования показателей и целостности данных.

Реализуется проект разработки информационной системы, предусматривающей расчет показателей добычи в web-приложении и сохранение результатов в базе данных. В проекте запланировано введение системы согласования, которая позволит руководителям рассматривать и согласовывать результаты расчетов добычи по активам.

Список литературы

1. *Интегрированная методика расчета показателей разработки нефтяных месторождений для формирования бизнес-плана* / Д.Р. Юлмухаметов, И.С. Афанасьев, Р.К. Мухамедшин, Н.В. Вавилов // Научно-технический вестник ОАО «НК Роснефть». – 2010. – № 2. – С. 26–29.
2. *Вавилов Н.В., Юлмухаметов Д.Р. Система оперативного планирования уровней добычи.* // Научно-технический вестник ОАО «НК Роснефть». – 2010. – № 3. – С. 50–52.
3. *Данько М.Ю., Задоронных К.С. Анализ неопределенности профиля добычи нефти при планировании освоения месторождения*// Нефть. Газ. Новации. – 2012. – № 6 (161). – С. 17–22.
4. *Гаралов А.Ш., Сильвестрова И.Ю. Методический подход к перспективному планированию добычи нефти* // Тр. ин-та/НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2014. – № 1. – С. 70–74.
5. *К прогнозированию темпов снижения добычи нефти по данным истории разработки нефтяных залежей* / М.К. Анурьев, Т.М. Гуляева, А.В. Лекомцев, Д.В. Чернышев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2013. – № 6. – Т. 12. – С. 93–100.

Reference

1. *Yulmukhametov D.R., Afanas'ev I.S., Mukhamedshin R.K., Vavilov N.V., An integrated method for business plan oil field production forecast* (In Russ.), Nauchno-tehnicheskij vestnik OAO "NK "Rosneft", 2010, no. 2, pp. 26–29.
2. *Vavilov N.V., Yulmukhametov D.R., System of operative planning oil production* (In Russ.), Nauchno-tehnicheskij vestnik OAO "NK "Rosneft", 2010, no. 3, pp. 50–52.
3. *Dan'ko M.Yu., Zadorozhnykh K.S., Analysis of uncertain oil recovery process while planning the well commissioning issues* (In Russ.), Neft'. Gaz. Novatsii, 2012, no. 6 (161), pp. 17–22.
4. *Garalov A.Sh., Sil'vestrova I.Yu., Technical approach to advanced oil production planning* (In Russ.), SOCAR Proceedings, 2014, no. 1, pp. 70–74.
5. *Anur'ev M.K., Gulyaeva T.M., Lekomtsev A.V., Chernyshev D.V., To forecast the oil production decline rate based on history data of developing oil deposits* (In Russ.), Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta, 2013, V. 12, no. 6, pp. 93–100.