

О НЕФТЕДОБЫЧЕ В ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ О БАЛЛОТИРОВКЕ

Бобылев В.Н.

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН

Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 42

mprs@ccas.ru

Аннотация: По аналогии с задачей о выборах из двух кандидатов определяется вероятность того, что в процессе добычи нефти оптимистический проект разработки обобщенного нефтяного месторождения будет все время лучше пессимистического. Результаты комментируются в терминах классификации нефтегазовых запасов и ресурсов.

Ключевые слова: задача о баллотировке, логистическая функция, кривая Хубберта (Хабберта), категории запасов и ресурсов, нефть и газ.

Введение

Задача о баллотировке считается классической [1]. Пусть в результате выборов из двух кандидатов первый набрал m голосов, а второй – n , причем $m > n$, т.е. первый победил. Вопрос: какова вероятность, что по ходу выборов победитель постоянно лидировал (был впереди хоть на один голос)? Ответ: $(m - n)/(m + n)$. Доказательство комбинаторное. Эту задачу называют еще теоремой Бертрана о выборах; сам автор доказывал ее по индукции.

Перейдем теперь к нефтедобыче. В качестве суммарного числа голосов, поданных за кандидата на протяжении выборов, здесь выступает накопленная добыча нефти. Но в отличие от суммы голосов, которая теоретически может быть любой, разве что не может убывать, накопленная добыча растет менее произвольно, и ее производная по времени, текущая добыча нефти, на практике напоминает производную логистической кривой, еще называемую кривой Хубберта [2]. Неформально задача заключается в следующем.

Пусть есть нефтяное месторождение с интервальным подсчетом (i, j) величины извлекаемых запасов и известной накопленной добычей (считающейся их частью) в исходный момент времени, на момент рассмотрения. Неопределенность извлекаемых запасов (подсчитанных с точностью до интервала) обусловлена имеющимися резервами добычи в рамках геологических запасов; выход за границы (i, j) возможен путем прироста или частичного списания запасов. Составим два проекта разработки месторождения – оптимистический и пессимистический, лишь бы рентабельный:

а) накопленная добыча нефти – оптимистическая – описывается логистической кривой, значение которой k должно находиться в пределах (i, j) в конце периода разработки и выходить на асимптоту не ниже точки j (верхней границы интервала) за бесконечное время;

б) накопленная добыча нефти – пессимистическая – описывается логистической кривой, что находится не выше точки i (нижней границы) в конце периода разработки, однако выходит на асимптоту k (то оптимистическое значение) за бесконечное время.

Спрашивается, какова вероятность, что накопленная добыча нефти по проекту а), если он реализуется, все время будет больше спроектированной согласно б)?

Вероятность реализации а) просто приравняем к доле исходной накопленной добычи от $(i + j)/2$, а вероятность б) будем считать дополнительной. Извлекаемые запасы (в работе подразумевается, что начальные) за вычетом накопленной добычи называются текущими извлекаемыми запасами [3].

1 Формализация

Рассмотрим пару логистических кривых x_t и y_t , совпадающих в нулевой момент времени: $x_0 = y_0$, но различающихся на уровне u в некоторый заданный момент T : $x_T > u \geq y_T$ и имеющих асимптотические значения x_∞ и y_∞ , причем $y_\infty = x_T$. Ожидая, что значение x_T равномерно случайным образом распределено в интервале (u, v) с закрепленными концами, где $0 < u < v \leq x_\infty$, ставится задача найти долю тех $x_T \in (u, v)$, или вероятность, что первая кривая будет – требование задачи – всюду больше второй: $x_t > y_t \forall t > 0$.

Логистическая кривая (сигмоида $\zeta = z/z_\infty$), напомним, имеет вид

$$z_t = z_\infty / (1 + \zeta \cdot \exp(-\gamma \cdot t/T)),$$

проходит через точку $z_0 = z_\infty / (1 + \zeta)$ и является решением дифференциального уравнения (вне связи с нефтедобычей еще называемого уравнением Ферхюльста)

$$T \cdot z' = \gamma \cdot z_t \cdot (1 - z_t/z_\infty);$$

все параметры, включая ∞ , по условию положительны, а отсюда и z_t с z'_t . Параметры T и ζ контролируют время – сжатие/растяжение и сдвиг:

$$z_t = z_\infty / (1 + \exp(-\gamma \cdot (t - \hat{t})/T)),$$

где $\hat{t} = (T/\gamma) \cdot \ln \zeta$ – момент, когда функция z_t , преодолевая значение $z_\infty/2$, испытывает перегиб, а производная z'_t достигает своего максимума $\gamma \cdot z_\infty/4$. В свою очередь, z'_t испытывает перегибы в точках t , которые зависят от T , ζ и γ , а значения z_t в них – только от z_∞ :

$$t = \hat{t} \pm (T/\gamma) \cdot \ln(2 + \sqrt{3}), \quad z_t = z_\infty \cdot (3 \pm \sqrt{3})/6;$$

показатель γ экспоненты, ее темп, равен логарифму отношения суммы S_T одной геометрической прогрессии к сумме S_0 другой:

$$\gamma = \ln(S_T/S_0), \quad S_T = zT/(z_\infty - zT), \quad S_0 = z0/(z_\infty - z0) = 1/\zeta;$$

далее в роли γ явным образом понадобятся показатели α и β первой и второй кривых.

Любые три точки $0 < z_0 < z_T < z_\infty$ вполне задают логистическую кривую. Точка x_T может выходить на границу v и за нее, чтобы при $x_0 = \text{const}$ с приближением x_T к v предотвратить нереалистичное стремление α к ∞ . То же для β : с приближением x_T к u точка y_T должна снижаться, отступать от u .

2 Упрощения

Нетрудно убедиться, что множество точек искомой вероятности определяется равенством производных $x'_t = y'_t$ в нуле и в расчете на экстремальные, граничные $x_\infty = v$ и $y_T = u$ представляет собой правую или, вернее, верхнюю часть интервала (u, v) , не зависящую ни от темпорального масштаба, T , ни от масштаба значений кривых. Поэтому логично ввести безразмерное время $\tau = t/T$, принять

$$x_\infty = v = 1 + p, \quad y_1 = u = 1 - p$$

при $0 < p < 1$ и отождествить $x_0 = y_0$ с $0 < q < 1 - p$, а вероятность обозначить $p^*(q)$, где звездочка *, что выяснится позже, означает сопряжение с p . Возможный случай – не самый неблагоприятный, но тем не менее – расположения рассматриваемых функций и их производных изображен на рис. 1.

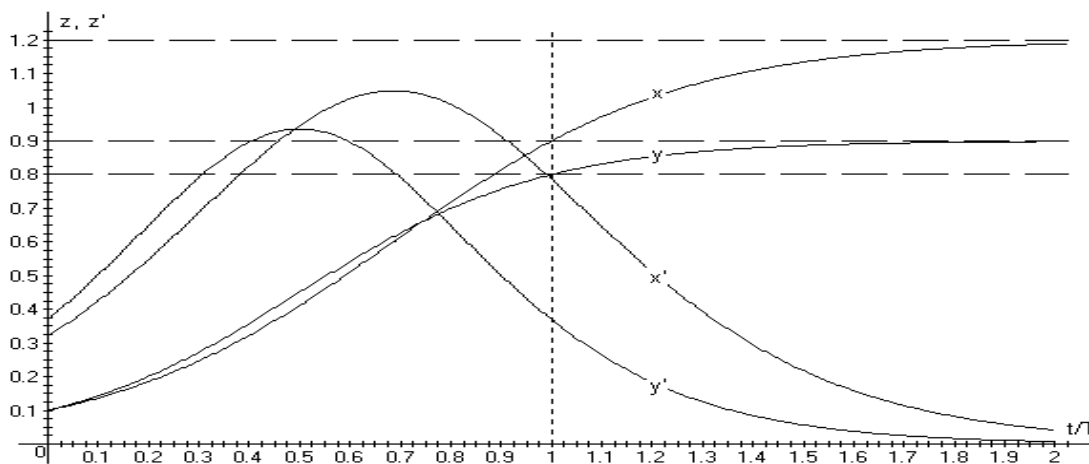


Рис. 1. Расположение функций при $p = 1/5$ и $q = 1/10$

В данном случае ради большей рельефности кривых значение p завышено или, наоборот, значение q занижено: в действительности p и q , погрешность подсчета извлекаемых запасов и доля в них накопленной добычи, не произвольны, но взаимозависимы. Зависимость q от p довольно отвесная, поэтому важен каждый процент. Если подсчет запасов произведен с погрешностью ровно 20%, то порукой ему должна быть накопленная добыча не 10% от подсчитанного среднего, а минимум 25%.

3 Вероятности

При $p = \text{const}$ функция $p^*(q)$ аргумента q меняется в интервале значений от $(1+p)/2$ до 1, непрерывна и строго возрастает. Точка

$$o^+ = 1 + p - 2 \cdot p \cdot p^*(q)$$

делит интервал $1 \pm p$, он же (u, v) , на больший и меньший интервалы:

$$1 - p < o^+ < 1 - p^2 < 1 + p.$$

Попадание x_1 в больший из них или в точку o^+ удовлетворяет требованию задачи и происходит с вероятностью $p^*(q)$. Попадание же в меньший это требование нарушает: значительно в интервале $(1-p, o^-)$ и незначительно в интервале (o^-, o^+) , промежуточном, где o^- – некоторая переходная точка, определяющая эту значительность. Условимся считать далее, что $p + p^*(q) < 1$ (подходят не всякие q , даже при, что необходимо, $p < 1/3$) и

$$o^- = 1 - p + 2 \cdot p^2,$$

чтобы $o^- < o^+$ и значительное нарушение происходило точно с вероятностью p , а незначительное – с вероятностью $r = 1 - p - p^*(q)$ в остатке. Точка $1 - p^2$ есть среднее гармоническое точек $1 + p$ и $1 - p$. При $q \downarrow 0$ точка o^+ стремится к $1 - p^2$ снизу, а вероятность $p^*(q)$ в ответ стремится к $(1+p)/2$ сверху. С другой стороны, $q \uparrow 1$ влечет $p \downarrow 0$ и $p^*(q) \uparrow 1$, прижимая их к краям.

Ожидать от x_1 равномерной распределенности в интервале $1 \pm p$ представляется нереалистичным. Реалистичнее ожидать это от α ($= x'_0$ с точностью до множителя) в интервале $(\alpha^- - p, \alpha^+ + p^*(q))$, где

$$\alpha_{\pm} = \ln(S_{\pm}/S), S_{\pm} = o_{\pm}/(1 + p - o_{\pm}), S = q/(1 + p - q).$$

Если ограничиться этими α , точки x_1 , вычисленные по ним, выделяют из интервала $1 \pm p$ подынтервал (x^-, x^+) оптимистичности, при попадании в который все вероятности очевидным образом сохранятся, нужно лишь удостовериться, используя неравенство

$$o^- > (1 - p)^2 \cdot \exp p$$

(формально верное почти до $p = 2$), что он не содержит границу $1 - p$, это было бы неоптимистично. С другой стороны, он содержит 1 благодаря неравенству

$$o^+ > 2 \cdot p^*(q) / \exp p^*(q)$$

(заведомо верному при условленных p и p^* независимо от q), ожидать иное было бы неоптимистично. Относительная длина $(x^+ - x^-)/(2 \cdot p)$ этого интервала минимальной по q величины l с уменьшением p от $1/3$ до 0 возрастает монотонно и почти линейно в интервале

$$0.413... = 2/(1 + 1/2 \cdot e^{-2/3}) - 2/(1 + 1/2 \cdot e^{1/3}) < 1 < 1 - 1/e = 0.632... .$$

Функцию $\arg \min_q l$ обозначим $q^-(p)$, она нам сейчас понадобится.

4 Неподвижные точки

Пусть $\varphi = (\sqrt{5} - 1)/2 = 0.618...$ («золотое сечение», малое число Фидия – в сравнении с большим, $\Phi = 1/\varphi = (\sqrt{5} + 1)/2 = 1.618...$), а $\varphi^3 = \sqrt{5} - 2 = 0.236...$ – его куб. Тогда существует убывающее взаимно-однозначное соответствие $p \leftrightarrow q$ между интервалами $(0, \varphi^3)$ и $(0, 1)$, для которого

$$p^*(q) = (1 - p)/(1 + p) \equiv p^*,$$

и, значит, чем p больше, тем $p^*(q)$ меньше (а с ним и q). Уместной выглядит и звездочка *, часто обозначающая сопряжение объектов, здесь точек p и p^* , преобразуемых друг в друга инволюционно: $(p^*)^* = p$. Замечательно, что вместо φ^3 можно, и будем, писать φ^* . Упомянутая выше вероятность r в этом случае, меняясь в интервале $(0, 1/6)$, равна $p \cdot p^*$ ввиду непосредственно проверяемого тождества

$$p + p \cdot p^* + p^* = 1;$$

равенство (с «серебряным сечением») $p = p^* = \psi = \sqrt{2} - 1 < 1/2$, однако, не имеет места и максимум $p \cdot p^* = \psi^2$ (несколько больше $1/6$) не достигается, ибо $p^* = p^*(q) > 1/2 \forall q$, зато точки o^+ и o^- достигают своих минимумов $4\sqrt{3} - 6$ и $7/8$ при значениях $2/\sqrt{3} - 1$ и $1/4$ аргумента p . Проверка показывает, что $r = p \cdot p^*$ с лихвой плюсуется к p^* , если u , стартуя из $q(p)$, финиширует ниже $1 - p - p^2/\varphi$.

В каждую точку $x_1 = o^+ = 1 + p - 2 \cdot p \cdot p^*$ (при $p < \varphi^*$) можно попасть из точки $x_0 = q^+(p)$, она же $q(p)$ в предыдущем, а в точку $x_1 = o^-$ (при $p < 1/3$) – из точки $x_0 = q^-(p)$, являющихся решениями уравнения (переписанного равенства $x'_0 = y'_0$)

$$x_0 = (\alpha - \beta) / (\alpha/x_\infty - \beta/y_\infty) \equiv F(p, x_0, x_1) \equiv F_\pm(p, x_0)$$

и получаемых методом последовательных приближений, необходимо только дистанцироваться от нулей знаменателя $\alpha/x_\infty - \beta/y_\infty$. Сами они – единственные (если фиксировать p) неподвижные точки функций $F_+(p, x_0)$ и $F_-(p, x_0)$ – обнулить его не могут (хотя те q , что могут, каждый раз существуют и приводят в бездействие теорему Брауэра о неподвижной точке в замкнутом интервале), но обнуляют в пределе $x_0 \downarrow 0$ числитель $\alpha - \beta$, что сводится к уравнениям $p^2 + 4 \cdot p - 1 = 0$ и $3 \cdot p - 1 = 0$, откуда и возникают предельные значения $p = \varphi^*$ и $p = 1/3$. Кривую текущей добычи, задаваемую этими x_0 и x_1 (и $x_\infty = 1 + p$ по умолчанию), назовем прицельной – прицельно высокой или низкой: $x_1 = o_\pm$.

Это что касается зависимости от p точки x_0 . А что касается зависимости от p скорости x'_0 , то она достигает максимума при $p = 0.1883 \in (0, \varphi^*)$, если $x_1 = o_+$, и при $p = 0.2632 \in (0, 1/3)$, если $x_1 = o_-$; в этих точках скорость испытывает перегиб. Мало того, сами функции o_\pm испытывают перегиб при некоторых p_\pm , возможно тех же самых, хотя и вряд ли; в этих точках производная каждой из них достигает минимума. Отметим еще, на какие p приходится точки перегиба прицельных кривых текущей добычи: из уравнения

$q_+(p) = (1 + p) \cdot (3 \pm \sqrt{3})/6$, получаем $p = 0.08281$ и $p = 0.1994$ для прицельно высокой кривой, а из уравнения :

$q_-(p) = (1 + p) \cdot (3 \pm \sqrt{3})/6$, точно так же получаем $p = 0.09612$ и $p = 0.2728$ для прицельно низкой кривой.

Указанные $\arg \min_p o_\pm$ и другие p , выделенные на основе простых критериев, помещены в табл. 1. Критерии наглядны из рис. 2. Неточность вычисления этих p в таблице искусственно ограничена и падает сверху вниз – чтобы отразить погрешностный характер p и наблюдаемое при квалифицированном подсчете запасов, называемых залежами, уменьшение p со временем; напротив, точность увеличивается, более характерная для оценки ресурсов (курсивные 0 и 5 означают не обычное округление, а с точностью до половины их разряда). Что означает первый столбец таблицы, выяснится позже.

Таблица 1. Категории и их критерии

Категория	p	$p \cdot p^*$	p^*	Критерий
D2	1	0	0	$p = 1$
D1	$1/3$	$1/6$	$1/2$	$q^- = 0$
Dл	0.30	0.15	0.55	$q^- = p \cdot p^*$
D0	0.27	0.16	0.57	$q^- = p$
C2	1/4	3/20	3/5	$o^- = \min$
C1	0.236...	0.146	0.618...	$q^+ = 0$
B2	0.2145	0.1390	0.6465	$q^+ = p \cdot p^*$
B1	0.1547	0.1132	0.7321	$o^+ = \min$
A	0.08880	0.07432	0.83688	$q^+ = p^*$
Q	0	0	1	$p^* = 1$

Категории Q, C1 и D1 доопределены по непрерывности функций q_+ и q_- . Вблизи категорий C2, B2 и B1 есть категории, очень похожие на них значениями своих p , несколько смещенными, уменьшенными в направлении смежных категорий, в таблице они, эти своеобразные изотопы, не приведены и на рисунке не отмечены, избыточные из геометрико-вероятностных соображений: точка o_+ не граничит с интервалом $(1 - p, o_-)$ вероятности p , а точка o_- – с интервалом $(o_+, 1 + p)$ вероятности p^* ; но ради полноты каждая описана в табл. 2 с указанием того, на больше чем сколько процентов ее p состоит из p основной категории (проценты от p смежной категории опущены). Покажем, как получаются эти проценты, например, для второй категории:

$$p = 0.2057 = \lambda \cdot p_{B2} + (1 - \lambda) \cdot p_{B1} = \lambda \cdot 0.2145 + (1 - \lambda) \cdot 0.1547,$$

откуда $\lambda = 0.853 > 85\%$, т.е. речь идет о взвешенной, выпуклой сумме категорий по p .

Таблица 2. Смещенные категории и их критерии

Категория	p	$p \cdot p^*$	p^*	Критерий
> 70% C2	0.246	0.149	0.605	$q^- = 1 - p^*$
> 85% B2	0.2057	0.1355	0.6588	$q^+ = p$
> 95% B1	0.1517	0.1117	0.7366	$q^- = p^*$

Что же до функций $1 - p$, $1 - p \cdot p^*$, o^+ и o^- , то их графики при $0 < p < 1$ не пересекаются, и поэтому, в частности, среди критериев нет $q^\pm = 1 - p$; правда, здесь отсутствует и критерий $q^+ = 1 - p^*$, но он нам еще встретится.

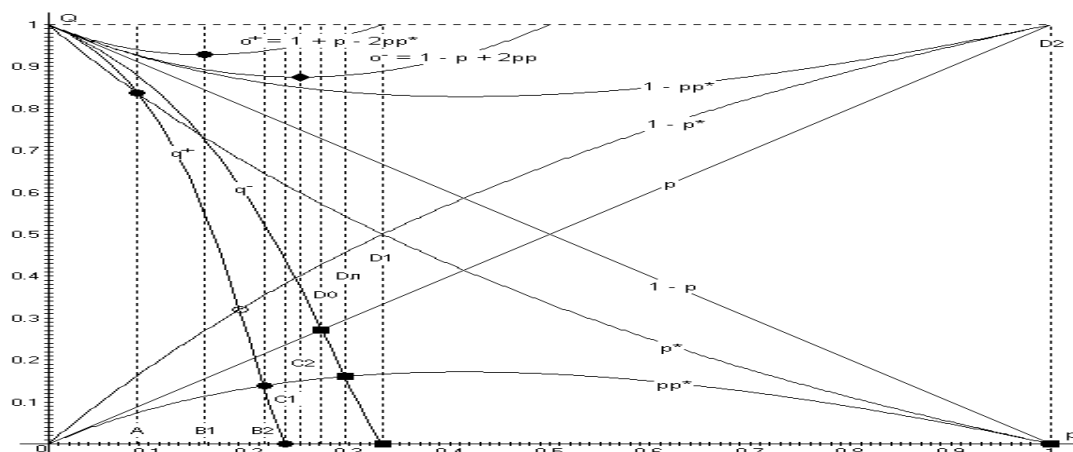


Рис. 2. Изображение категорий точками пересечения графиков функций

Обратите внимание, пока без объяснения, что точки нарисованы по-разному: 4 кружочка и 4 квадратика да один ромбик. В зависимости от значений параметра p одни из них являются неподвижными точками x_0 функции $F^+(p, x_0)$, а другие – функции $F^-(p, x_0)$. О точке, обведенной на рис. 2 маленькой окружностью, будет сказано особо. Заметны и перегибы функций o^\pm .

5 Комментарий: категории запасов и ресурсов

Прокомментируем полученные результаты в терминах классификации нефтегазовых запасов и ресурсов – фактической конституции в области их категоризации.

Современная Классификация запасов и ресурсов нефти и горючих газов [4], принятая в 2013 г., введена в действие с 1 января 2016 г., до этого действовала временная классификация 2001 г. (несмотря на то, что инструкция по ее применению так и не была подготовлена), а до того – последняя советская классификация 1983 г. [5], восьмая с 1928 г., когда была принята первая. После временной, отличавшейся от советской чисто косметически, была еще классификация 2005 г., утвержденная и зарегистрированная, но так и не вступившая в силу. Классификацию 1983 г. мы уже анализировали с близких настоящей работе позиций [6] – с той разницей, что положение категорий запасов и ресурсов на шкале погрешностей было найдено тогда опытным путем, а не определено на основе математической модели, интересной сама по себе, что неудивительно сознавать сегодня, по прошествии четверти века. Близкие к нашим классификациям 2001 и 2005 гг. классификации имеются в Белоруссии и Казахстане, прочие здесь не упоминаются – как далекие, упомянем только опубликованный на английском и русском языках в документации [4] Связующий документ между Классификацией запасов и ресурсов нефти и горючих газов 2013 года и Рамочной классификацией ископаемых энергетических и минеральных запасов и ресурсов Организации Объединенных Наций 2009 года.

В действующей классификации запасы нефти и газа по степени промышленного освоения и по степени геологической изученности подразделяются на пять категорий: А (разрабатываемые, разбуренные), В1 (разрабатываемые, неразбуренные, разведанные), В2 (разрабатываемые, неразбуренные, оцененные), С1 (разведанные) и С2 (оцененные). Ресурсы нефти, газа и конденсата по степени геологической изученности подразделяются на четыре категории: D0 (подготовленные), Dл (локализованные), D1 (перспективные), D2 (прогнозируемые). Статус категорий ресурсов, надо отметить, все время повышается, теперь у них свой собственный раздел – по объему немного меньший, чем у запасов, но тоже из 6 пунктов (10 абзацев), а раньше раздел категорий был единый.

Наш подход к категоризации запасов и ресурсов имеет двойственную интерпретацию: с одной стороны, следует говорить о погрешности p подсчета запасов и оценки ресурсов и о накопленной добыче q , которая предопределяет значения p , обеспечивает их неслучайность, а с другой – о вероятностях q и p^* , которые гарантируют реализуемость проекта разработки и решение поставленной задачи, с тем чтобы категории запасов ассоциировались с уровнем q^+ (и точкой o^+)

гарантированной вероятности и, плюс субъективная добавка, с уровнем q^- (и точкой o^-) негарантированной вероятности, а категории ресурсов – только с q^- (и o^-).

Q. Накопленную добычу не принято выделять в самостоятельную категорию, однако при подсчете средневзвешенной категории извлекаемых запасов месторождения, частью которых она считается, учитывать ее необходимо – с ее $p = 0$. Если извлекаемые запасы разрабатываемого месторождения в целом подсчитаны с погрешностью p , это означает, что добытая часть (доля их среднего, единичного значения) составляет $q = q^+(p)$, а текущие извлекаемые запасы величиной $(1 - q) \pm p$ распределены между категориями А, В1 и В2 с их $p_A, p_{В1}$ и $p_{В2}$.

А. Погрешность p подсчета запасов этой категории лимитируется погрешностями, на которые приходится вторые точки перегиба кривых текущей добычи – прицельно высокой и прицельно низкой: $0.081 < p < 0.097$, причем лимитируется с погрешностью именно p :

$$(0.097 - 0.081)/(0.097 + 0.081) = 0.09 = p.$$

Сродство категории А со второй точкой перегиба кривой текущей добычи, но не прицельной, а вообще, эмпирически предполагалось нами давно.

В1. Эта категория апеллирует к o^+ непосредственно, а категории остальных запасов – через q^+ . В принципе здесь можно было бы обойтись и без o^+ , подменив категорию В1 ее смещением, но тогда она ассоциировалась бы не с запасами, а с ресурсами, что нелогично (складывается впечатление, что от подмены это и задумано).

В2. Категории В теперь нет: она разделена на две – с $p_{В1} < p_B$ и с $p_{В2} > p_B$ (на самом деле она объединена с А, а это бывшие С1 и С2 с новыми, уменьшенными p), и если спросить, разделена с какими весами, то из эмпирически установленного в прошлом значения $p_B = 20\%$ получим, как показано на примере выше, что $B = 25\% В1 + 75\% В2$. Примечательно, что по-прежнему на $p = 20\%$ приходится первая точка перегиба кривой текущей добычи, теперь прицельно высокой. Возвращаясь к категории В1, аналогично получаем, что ее смещение равно $50\% А + 50\% В2$ и, что парадоксально, оно уже не ресурсы, а запасы.

С1. Этой категории, видимо наиболее информативной, всегда уделялось много внимания. В действующей классификации в разделе категорий ей посвящено 4 абзаца из 10. С нее и проекта опытной эксплуатации начинается накопленная добыча. С нею у нас связалось и золотое сечение, потому что $q^+ = 0$ – это как раз $p = \varphi^*$, да и лежит она в ряду категорий (будучи предельной по своему критерию) в золотой середине между крайностями определенности и неопределенности.

«Месторождение считается подготовленным к промышленной разработке при условии, что запасы нефти/газа категории С1 составляют более 30% от всех запасов залежи и при соблюдении требований к изученности для категории В1», – написано в Методических рекомендациях [4, с. 97]; правда, в Правилах разработки [4, с. 274], вместо «более» написано «не менее». Чтобы обеспечить такую изученность целиком всей залежи, накопленная добыча должна быть довольно большой, примерно 35%, что представляется чрезмерным, но поскольку целиком всей не требуется, то достаточно и 10%, $p = 22\%$.

С2. Эта категория заслуживает некоторого исправления. Ее запасы напрямую апеллируют к точке o^- , т.е. это скорее ресурсы, чем запасы, из-за чего они изображены на рис. 2 не кружочком, как запасы, и не квадратиком, как ресурсы, но ромбиком. Так что сказанное о запасах для нее нужно понимать с оговоркой.

Д0. На погрешность оценки ресурсов этой категории приходится (с двумя верными цифрами) первая точка перегиба прицельно низкой кривой текущей добычи. Нефти в ловушке, подготовленной к поисковому бурению, может не быть вовсе, но ее ресурсы оценить можно – по категории Д0 (с составлением отчета и паспорта). Прицельная кривая здесь тоже ресурсная, гипотетическая. Эта категория появилась в 1983 г. и обозначалась С3, а Д0 стала в 2001 г.

Д1. Своим критерием эта категория напоминает категорию В2. Она появилась в 2001 г. и обозначалась Д1л, т.е. примыкала к Д1, а теперь, судя по p , она ближе к Д0.

Д1. Своим критерием эта категория напоминает категорию С1 (и под стать его предельности ресурсы Д1 называются перспективными), причем в прошлом $p_{С1} = 1/3$ тоже.

Д2. Погрешность в 100% для этой категории свидетельствует о равных шансах наличия и отсутствия в недрах региона промышленной нефтегазоносности, что является достаточно оптимистичной оценкой, поскольку по статистике эти шансы составляют не 1 к 1, а 2 к 3.

Поскольку число категорий отечественной классификации традиционно и постепенно увеличивается: в 1928 г. оно равнялось 3 (А, В, С), а в 2013 г. дошло до 9, то в духе всего вышесказанного напрашивается еще одна категория, условно пропущенная, чья точка обведена на рис. 3 маленькой окружностью.

Таблица 3. Пропущенная категория и ее критерий

Категория	p	$p \cdot p^*$	p^*	Критерий
< 60% В2	0.1905	0.1295	0.6800	$q^+ = 1 - p^*$

Предположительно, на ней или под нее выделяются участки опытно-промышленной разработки.

Если с категориями запасов имеют дело собственно проектные документы (проект пробной эксплуатации, технологическая схема разработки, технологический проект разработки), то к смещениям категорий, по всей видимости, причастны дополнения к этим документам, настойчиво упоминаемые вместе с ними и составляемые по результатам мероприятий, ими предусмотренных [4]. В этом, надо думать, и состоит назначение смещений. Все они не опережают, но сопровождают – с меньшими p – свои категории. Одно из них ассоциируется с кривой o^+ запасов, а два других – с кривой o^- ресурсов, не вполне понятно почему.

Максимумы и минимумы функций x'_0 и o^\pm (да и нули знаменателя функций F^\pm), требующие осмысления и потенциально продуктивные в плане категорий, предоставляют материал для дальнейших исследований, это как бы ресурсы настоящей работы.

Заключение

В итоге искомая вероятность, оказавшаяся связанной со знаменитым числом $\varphi = 0.618$. и его кубом $\varphi^* = 0.236\dots$, есть $\varphi < p^* = (1 - p)/(1 + p) < 1$,

где $\varphi^* > p > 0$ суть относительная погрешность подсчета величины извлекаемых запасов нефти, имеющаяся на момент составления проекта разработки нефтяного месторождения. Эта вероятность гарантирована в той мере, что рассчитана на достоверный уровень накопленной на тот момент добычи и на экстремальные уровни $1 \pm p$ накопленной добычи в конце периода разработки, особенно на завышенный пессимистический уровень $1 - p$, без труда снижаемый, поэтому к p^* допустимо приплюсовать и негарантированную вероятность $p \cdot p^*$, пусть и не более $1/6$, вычтенную из дополнительной вероятности $1 - p^*$.

Полученные результаты истолкованы в терминах категорий запасов и ресурсов углеводородов. Идея заключается в том, чтобы ассоциировать категории – этапные моменты в деле освоения/изучения запасов и ресурсов – с примечательными точками модельных кривых: точками их пересечений, точками максимумов, минимумов и перегибов. Это позволило (по образу и подобию того, что Д.И. Менделеев сделал с химическими элементами) обосновать закономерное расположение категорий на шкале погрешностей, уточнить природу категорий, разделив их на основные и «изотопные», чуть смещенные от основных (Менделеев, уточняя атомные веса, об изотопах не знал), и найти место для одной пока еще не введенной категории.

Литература

1. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения, т. 1 / Пер с англ. – М.: Мир, 1984. – 528 с.
2. Петров В.В., Поляков Г.А., Полякова Т.В., Сергеев В.М. Долгосрочные перспективы российской нефти (анализ, тренды, сценарии). – М.: ФАЗИС, 2003. – 200 с.
3. Хачатуров В.Р., Соломатин А.Н., Зотов А.В. и др. Планирование и проектирование освоения нефтегазодобывающих регионов и месторождений: Математические модели, методы, применение. – М.: УРСС, 2015. – 304 с.
4. Классификация запасов и ресурсов нефти и горючих газов (2013): Нормативно-методическая документация. – М.: ЕСОЭН, 2016. – 320 с.
5. Инструкция по применению Классификации запасов месторождений, перспективных и прогнозных ресурсов нефти и горючих газов. Инструкция о содержании, оформлении и порядке представления в ГКЗ СССР материалов по подсчету запасов нефти и горючих газов. – М.: ГКЗ СССР, 1984. – 64 с.
6. Бобылев В.Н., Хачатуров В.Р. Математический анализ неопределенностей, связанных с добычей нефти и газа. – М.: ВЦ РАН, 1996. – 64 с.