

2. Жданов А.С., Стасенков В.В. Комплексное изучение коллекторских свойств продуктивных пластов. М.: Недра, 1976.

3. Булыгин Д.В., Булыгин В.Я. Геология и имитация разработки залежей нефти. М.: Недра, 1996.

Получено 25.04.03

УДК 551.734

И.Э. Мандрик, В.И. Галкин, А.В. Растегаев

НК «ЛУКОЙЛ»

Пермский государственный технический университет

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ДОКАЗАННЫХ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ЗАПАСОВ НЕФТИ

На примере Урьевского месторождения нефти с помощью методов математической статистики на кривой падения добычи нефти обоснованы граничные значения эталонного участка, по которому в дальнейшем с помощью экстраполяции и с привлечением экономических показателей определяется величина доказанных разрабатываемых запасов.

При обосновании величины доказанных разрабатываемых запасов нефти Z_p по международной классификации Общества инженеров-нефтяников SPE необходимо установить на графике падения добычи нефти наиболее характерный (эталонный) участок, по которому в дальнейшем с помощью экстраполяции и с привлечением экономических показателей можно определить значение Z_p . Как правило, выделение эталонного участка производится визуально на качественном уровне. Некорректное выделение границ этого участка может привести к существенному завышению или занижению величины доказанных разрабатываемых запасов. Попытаемся решить данную задачу на примере Урьевского месторождения нефти с привлечением вероятностно-статистических методов.

Рассмотрим и проанализируем характер изменения некоторых показателей разработки во времени. На рис. 1 приведено изменение годовой добычи нефти Q_n в период с 1990 по 2001 г. Градиенты падения добычи нефти за отдельные годы анализируемого периода достаточно различны. Визуально можно выделить два различных участка: первый – с 1990 по 1993 г., второй — с 1997 по 2001 г.

Наиболее четко два участка падения Q_H можно выделить при сопоставлении во времени Q_H с различными параметрами разработки. Например, на рис. 2, а приведена зависимость Q_H от количества добывающих скважин n_d , на рис. 2, б – от количества нагнетательных скважин n_n . На рис. 2, а видно, что выделяются два участка, различных по соотношению n_d и Q_H , в период 1990–1997 гг. связь между ними обратная; в 1997–2001 гг. в основном прямая. Аналогичные два участка представлены на рис. 2, б только период обратной связи 1990–1994 гг., прямой – 1994–2001 гг.

Кроме вышеперечисленных характеристик проанализированы следующие параметры: добыча нефти от начальных извлекаемых запасов, темп отбора от начальных извлекаемых запасов, обводненность W , закачка воды V_z , добыча жидкости, средние дебиты по жидкости и нефти. Всего при исследовании изучалось 10 показателей разработки скважин.

С целью изучения изменения соотношений Q_H и других показателей разработки скважин выполним расчеты коэффициентов корреляции r по выборкам в различные периоды из 3 лет с шагом смещения на один год (1990–1992 гг., 1991–1993 гг. и т.д. до 1999–2001 гг.). По данной схеме рассчитано 450 значений r . Для параметров n_d и n_n значения r приведены в таблицах на рис. 2. По этим данным видно, что изменение направлений связей происходит в период с 1994 по 1997 г.

Аналогичные изменения направлений связей в течение исследуемых периодов разработки Урьевского месторождения наблюдаются и по ряду других показателей. Анализ показывает, что кардинальное изменение направленности связей происходит в период 1994–1997 гг.

Таким образом, по ряду показателей разработки выборка делится на два участка, по границе периода 1994–1997 гг. С помощью методов математической статистики обоснуем граничное значение и соответственно временной интервал для построения модели. Для его определения будем использовать последовательно корреляционный и дискриминантный анализы.

На начальном этапе определяем коэффициенты корреляции r между добычей и всеми показателями разработки за весь период исследований, начиная с 1990 по 2001 г., затем последовательно вычисляем значения r с уменьшением выборки на один год: 1991–2001 гг., 1992–2001 гг. и так далее по 1999–2001 гг. Далее, для каждого временного интервала рассчитывались средние значения коэффициентов корреляции r_1 между годовой добычей и всеми остальными параметрами разработки (рис. 3). По полученным данным видно, что при первых семи расчетах значения r_1 достаточно близки и находятся в диапазоне 0,73–0,74. Начиная с 8-го варианта расчетов, наблюдается повышение значений r_1 .

Далее аналогичные расчеты по определению r выполним в обратном порядке: вначале за период 1990–2001 гг., затем 1990–2000 гг. и так далее до 1990–1992 гг. (см. рис. 3). Полученные данные показывают, что наблюдается тенденция уменьшения значений r_2 до 7-го варианта расчета, затем величины r_2 минимальны и практически постоянны.

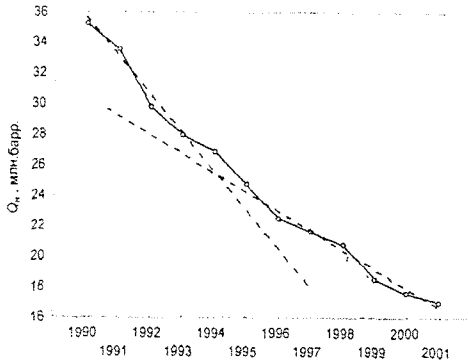
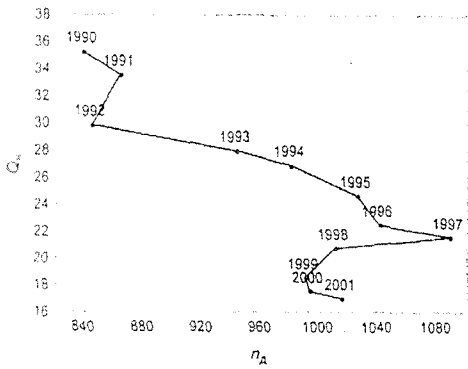
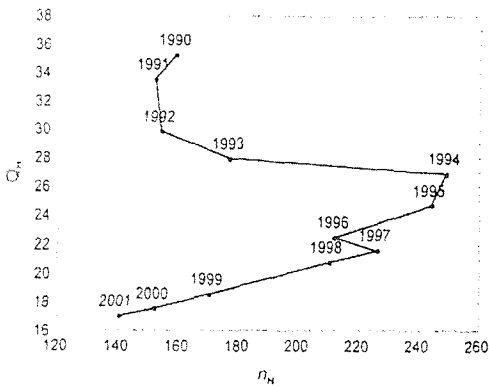


Рис. 1. Изменение годовой добычи нефти



Год	Γ
1991	-0,02
1992	-0,63
1993	-1,00
1994	-0,70
1995	-0,96
1996	-0,90
1997	0,35
1998	0,83
1999	0,90
2000	-0,83



Год	Γ
1991	0,53
1992	-0,80
1993	-0,91
1994	-0,70
1995	0,92
1996	0,74
1997	0,11
1998	1,00
1999	1,00
2000	1,00

Рис. 2. Зависимости годовой добычи Q_n : а – от количества добывающих скважин n_d ; б – от количества нагнетательных скважин n_n

Кроме этого, были использованы коэффициенты корреляции, определенные по трехгодичной выборке с шагом смещения в один год. По изменению значений r_3 (см. рис. 3) видно, что в период 1995–1997 гг. (7-й вариант) отмечается минимальное значение $r_3=0,66$. Во всех остальных вариантах значение $r_3>0,8$.

Отметим, что в 1996 г. наблюдается пересечение кривых изменения r по схемам увеличения и уменьшения интервала времени анализа.

Обоснование границ эталонного участка для дальнейшей экстраполяции снижения добычи и определения доказанных разрабатываемых запасов Z_p выполним с помощью линейного дискриминантного анализа. Построение линейной дискриминантной функции (ЛДФ) производилось по вычисленным значениям r_1 , r_2 и r_3 по шести вариантам. В каждом последующем варианте произведено смещение временной границы на один год (1-й вариант: классу 1 соответствует выборка 1990–1992 гг., классу 2 – 1993–1999 гг.; 2-й вариант: классу 1 – 1990–1993 гг., классу 2 – 1994–1999 гг.; ... 6-й вариант: классу 1–1990–1997 гг., классу 2 – 1998–1999 гг.).

Коэффициенты дискриминантной функции, ее характеристики (R , χ^2 и p) и проценты правильности распознавания выборки приведены в табл. 1.

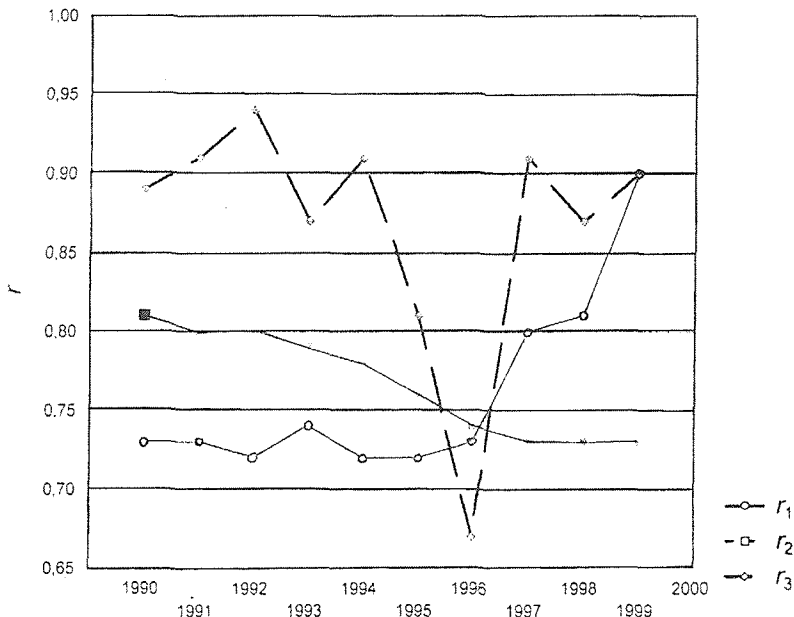


Рис. 3. Изменение во времени средних значений r

Анализ построенных ЛДФ, а также полученных по ним значений R , χ^2 и p показывает, что деление на два класса, выполненное для различных лет, достаточно неодинаковое. Если взять выборку с границы между 1992–1993 гг., то видим, что процент распознавания составляет 80%, при этом лучше распознается более поздний по времени класс. При смещении границы на один год верное распознавание также составляет 80%. При граничном году – 1995 вся выборка расклассифицирована верно; аналогичное 100%-ное распознавание наблюдается при границах 1996 г. и 1997 г. В случае, если границу принять за 1998 г., то распознавание уже составляет 80%. При этом хуже распознается более поздняя выборка. Анализ характеристик ЛДФ с границами 1995, 1996, 1997 гг. показывает, что максимальными разделяющими способностями обладает ЛДФ с граничным значением между 1995–1996 гг. Для этой ЛДФ наблюдаются самые высокие значения R , χ^2 , p (см. табл.1).

Таблица 1

К обоснованию выбора границ эталона

Параметры ЛДФ	Временная граница между эталонами					
	1992–1993	1993–1994	1994–1995	1995–1996	1996–1997	1997–1998
<i>Уравнение дискриминантной функции</i>						
r_1	2,1497	3,9395	4,3538	13,7793	19,1295	19,1738
r_2	-35,6690	52,0809	-58,7888	50,2295	-40,8412	-13,9924
r_3	-3,9042	-0,4863	-6,2138	-5,7027	8,9777	1,8791
Const	28,9010	-42,3036	46,8337	32,7438	9,0869	-5,4127
<i>Характеристики дискриминантной функции</i>						
R	0,63	0,77	0,88	0,92	0,88	0,75
χ^2	3,24	5,72	9,88	11,60	10,30	5,44
p	0,3556	0,1259	0,0196	0,0187	0,0188	0,1425
<i>Процент правильного распознавания классов</i>						
Общий	67	75	100	100	100	88
Кл. 1	67	75	100	100	100	88
Кл. 1	86	83	100	100	100	50

Таким образом, выполненный статистический анализ разработки Урьевского месторождения показывает, что наиболее целесообразно производить экстраполяцию снижения добычи на временном интервале 1996–2001 гг. По построенной математической модели на этом интервале будет обосновываться падение добычи нефти до экономического предела на основании данных по эксплуатационным затратам и цены на нефть.

В связи с этим для построения модели прогноза изменения годовой добычи использовались данные по временному диапазону 1996–2001 гг. и с помощью пошагового регрессионного анализа построена многомерная

линейная модель, которая для Урьевского месторождения имеет следующий вид:

$$Q_H = 0,01631 n_H - 0,00668 n_D - 0,83849 W + 0,00022 V_3 + 91,11587$$

при $R=0,99$; $F_p/F_r=25,3$; $p<0,07$.

По данной формуле вычислены значения Q_H за период 1996-2001 гг. По этим данным построена временная модель изменения Q_H^M , которая имеет следующий вид:

$$Q_H^M = 17,9082 \exp(-0,0608t),$$

где t – год разработки месторождения.

По данным расчетов добычи для эталонного участка видно, что модельные Q_H^M и фактические Q_H значения годовой добычи практически совпадают: ΔQ изменяется от $-0,108$ до $0,164$ при среднем значении $0,001$ млн. баррелей (табл. 2). Отметим, что связь между Q_H и Q_H^M практически функциональная, коэффициент корреляции между фактическими и модельными значениями добычи статистически значимый и равен $0,999$.

Таблица 2

Сопоставление фактических и модельных значений добычи нефти

Год	Значения добычи, млн. баррелей		
	Q_H	Q_H^M	ΔQ
1996	22,515	22,489	-0,027
1997	21,611	21,678	0,067
1998	20,792	20,662	-0,131
1999	18,562	18,726	0,164
2000	17,561	17,596	0,034
2001	17,019	16,911	-0,108
Среднее	19,676	19,678	0,001

Таким образом, построенная статистическая модель достаточно хорошо согласуется с фактическими данными на эталонном участке и, следовательно, может быть использована для определения Q_H^M на весь планируемый срок эксплуатации Урьевского месторождения, что позволит определить и величину доказанных разрабатываемых запасов. Разработанные методические приемы обоснования эталонного участка могут быть применены и на других месторождениях с падающей добычей.

Получено 12.04.03