

УДК 622.243.4

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ДАВЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО
РАЗРЫВА ПЛАСТА ПРОБУРЕННЫХ СКВАЖИН НА КАСПИЙСКОМ МОРЕ**



**APPLICATION OF MATHEMATICAL STATISTICS METHODS
TO DETERMINE THE VALUE OF HYDRAULIC FRACTURING PRESSURE
OF DRILLED WELLS IN THE CASPIAN SEA**

Ибрагимов Рафик Салман оглы

кандидат технических наук,
доцент,
кафедра нефтегазовая инженерия,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности,
г. Баку, Азербайджан
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Ibrahimov Rafik Salman

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Department of Oil and Gas Engineering,
Azerbaijan State Oil
and Industrial University,
Baku, Azerbaijan
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Аннотация. Статье указано, что при определении конструкции скважин, особенно глубины спуска кондуктора и для регламентирования скоростей производства технологических операций в процессе бурения скважин необходимо знать величину давления гидравлического разрыва пласта. В районах, где пробурено много скважин, рекомендуется использовать статистические методы. Определение значения градиента давления гидравлического разрыва пласта путем обработки промысловых данных в научных работах мало рассмотрены. При решении задачи статистическим методом, нами собраны промысловые данные. В основном для оценки статистической связи используется нормированный коэффициент корреляции. Предложен, что с учетом указанного, расчеты ГРП при бурении скважины на площадях Нефтяные Камни и Гюнашли, в которых были вскрыты трещиноватые породы, взамен значения модуля градиента горного давления принят градиент геостатического давления.

Annotation. The article indicates that when determining the well design, especially the depth of the conductor lowering and for regulating the speed of production operations in the process of drilling wells, it is necessary to know the value of the hydraulic fracturing pressure. In areas where many wells have been drilled, it is recommended to use statistical methods. Determining the value of the hydraulic fracturing pressure gradient by processing field data has been little considered in scientific papers. When solving the problem using a statistical method, we collected field data. Basically, the normalized correlation coefficient is used to assess the statistical relationship. It is proposed that, taking into account this, the calculations of hydraulic fracturing when drilling a well in the Oil Rocks and Gunashli areas, in which fractured rocks were opened, the geostatic pressure gradient is adopted instead of the value of the rock pressure gradient modulus.

Ключевые слова: конструкция скважин, кондуктор, градиента давления, давления, корреляция, уравнение регрессии, гидравлического разрыва пластов, коэффициент Пуассона.

Keywords: well design, conductor, pressure gradient, pressure, correlation, regression equation, hydraulic fracturing, Poisson's ratio.

Введение. Известно, что при определении конструкции скважин, особенно глубины спуска кондуктора и для регламентирования скоростей производства технологических операций в процессе бурения скважин необходимо знать величину давления гидравлического разрыва пласта (ГРП).

Существуют несколько способов определения значения давления ГРП, но конкретных рекомендаций по их выбору в зависимости от геолого-технологических условий проводки скважин нет. В данной работе нами делается попытка решить этот вопрос.

В районах, где пробурено много скважин, рекомендуется использовать статистические методы. Определение значения градиента давления ГРП (P_p/H) путем обработки промысловых данных приведены в работах [1, 11, 15, 16], в которых совместное влияние гидростатического и гидродинамического давлений на значения P_p/H не рассмотрены.

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследовательских работ и анализа промысловых данных была разработана методика прогнозирования модуля градиента давления гидравлического разрыва пластов [2, 3, 9, 10, 12]. В результате гидравлического разрыва пластов происходит расширение естественных и образование искусственных трещин под действием высокого давления, возникающего в стволе скважин в процессе бурения.

При решении задачи статистическим методом, собираются промысловые данные, а именно: плотность бурового раствора и величина гидродинамического давления в кольцевом пространстве при глубине, на которой произошел гидравлический разрыв пласта. На основании собранных промысловых данных устанавливается статистическая связь между факторами X_i , H – гидродинамического давления, возникающего в кольцевом пространстве на глубине H и показателем $y = \rho$ (ρ – плотность бурового раствора) и определяется уравнение регрессии методом корреляционно-регрессивного анализа [4, 5, 6].

Принимаются два уровня изменения факторов: верхний (+) и нижний (–), которые отсчитываются от базового уровня.

Вычисления производятся по плану, приведенному в таблице 1.

Таблица 1

Номер опыта	Факторы		Показатели
	X_1	X_2	
1	–	–	y_1
2	+	–	y_2
3	–	+	y_3
4	+	+	y_4

В основном для оценки статистической связи используется нормированный коэффициент корреляции, который вычисляется по формуле:

$$r_{xy} = \frac{1}{(N-1)\sigma_x\sigma_y} \sum_{i,j} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \frac{1}{(N-1)\sigma_x\sigma_y} [(x_1 - \bar{x})(y_1 - \bar{y}) + (x_2 - \bar{x})(y_2 - \bar{y}) + (x_3 - \bar{x})(y_3 - \bar{y}) - (x_4 - \bar{x})(y_4 - \bar{y}) + (x_5 - \bar{x})(y_5 - \bar{y}) + \dots + (x_N - \bar{x})(y_N - \bar{y})] \quad (1)$$

где, математические ожидания (средние значения) равны:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (2)$$

дисперсии:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2; \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y})^2 \quad (3)$$

В (1) и (2), N – число опытов в спланированном эксперименте. Достоверность значения коэффициента корреляции оценивается критерием надежности:

$$Q_r = \frac{|r_{xy}|}{\sigma_r},$$

где σ_r – среднеквадратичное отклонение коэффициента корреляции, равное:

$$\sigma_r = \frac{1-r_{xy}^2}{\sqrt{N}}.$$

При критерии надежности $Q > 2,6$ с вероятностью 0,95 можно утверждать о существовании линейной корреляционной связи между анализируемыми параметрами [7, 8].

Далее строятся обобщенные нормированные корреляционные матрицы по форме, приведенной в таблице 2.

Таблица 2

Факторы показатель	Коэффициенты корреляции			\bar{y}, \bar{x}	σ_{xy}
	y_1	x_1	σ_{xy}		
y	1	r_{yx1}	σ_{xy}	\bar{y}	σ_y
x_1		1	$r_{x_1x_2}$	\bar{x}_1	σ_{x_1}
x_2			1	\bar{x}_2	σ_{x_2}

Результаты корреляционного анализа позволяют составить эмпирическую зависимость, т.е. представить уравнение регрессии в виде:

$$y_1 = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n,$$

где $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ – коэффициенты, которые определяются из системы уравнений:

$$\sigma_1 r_{yx_1} = a_1 \sigma_{x_1} r_{x_1x_2} + a_2 r_{x_1x_2} \sigma_{x_2} + \dots + a_n r_{x_1x_n} \sigma_{x_n},$$

$$\sigma_2 r_{yx_1} = a_1 \sigma_{x_1} r_{x_1x_2} + a_2 r_{x_1x_2} \sigma_{x_2} + \dots + a_n r_{x_2x_n} \sigma_{x_n},$$

$$\sigma_n r_{yx_n} = a_1 r_{x_1} \sigma_{x_1} + a_2 r_{x_nx_2} \sigma_{x_2} + \dots + a_n r_{x_nx_n} \sigma_{x_n}.$$

Коэффициент:

$$a_0 = \bar{y} - \sum_{i=1}^n a_i \bar{x}_i.$$

Решая систему уравнений, находим уравнение регрессии.

В работе [13, 14] на основании промысловых данных устанавливается статистическая связь между фактором $x_i = P, H$ (H – глубина скважины, P – гидродинамическое давление в кольцевом пространстве) и показателем $y = \rho_1$ (ρ_1 – плотность бурового раствора) и определяется уравнение регрессии методом корреляционно-регрессионного анализа [22, 25]. Ниже приводится пример определения значения ГРП с использованием вышеуказанного метода для площади Нефтяные Камни [17, 18, 19].

Таблица 3

Фактор	Уровни			Интервал варьирования
	–	+	базовый	
x_1	900	2500	1700	800
x_2	4,0	4,3	4,15	0,15

Таблица 4

x_1	x_2	y
900	4,0	1400
2500	4,0	1960
900	4,3	1450
2500	4,3	2000

На основании промысловых данных по площади Нефтяные Камни за базовый уровень можно принять x_1 – глубину залегания пласта (1700 м) и x_2 – гидродинамическое давление в кольцевом пространстве (4,15 МПа). Указанные величины получены путем определения верхнего (+) и нижнего (–) уровней изменения факторов. Вычисления производятся по плану, приведенному в таблице 2, изменения факторов и результатов приведены в таблице 3.

Для построения нормированной корреляционной матрицы определяем коэффициенты корреляции по следующей формуле:

$$r_{xy_1} = \frac{1}{(N-1)\sigma_x\sigma_y} \sum_{i,j}^N (x_i - \bar{x})(y_1 - \bar{y}),$$

в которой:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_1 = 1700,$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y = 1700,$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 853333,33,$$

$$\sigma_x = 923,76.$$

Аналогичным образом вычисляются коэффициенты корреляции r_{yx_2} и $r_{x_1x_2}$, которые сводятся в таблицу, называемую нормированной матрицей. С помощью корреляции

ляционного анализа, решая систему уравнений согласно [22] находим уравнение регрессии для данных материалов по стратиграфическому разрезу площади Нефтяные Камни [25, 26, 27]:

– для апшеронского яруса:

$$y = 0,0022871 + 0,00000336x_1 + 0,002175x_2;$$

– для акчагыльской свиты:

$$y = 0,0052324 + 0,00000215x_1 + 0,0017917x_2; \quad (4)$$

– для продуктивной толщи:

$$y = 0,0058806 + 0,00000254x_1 + 0,000874x_2.$$

Согласно (3) произведен расчет, результаты которого сведены в таблице 5. Полученные результаты удовлетворительные и, пользуясь вышеприведенным методом, можно для каждой площади по стратиграфическому разрезу определить давления ГРП.

Таблица 5 – Значения градиента давления гидроразрыва

	Градиенты давлений гидроразрыва для площадей, кгс/см ² , м								
	Пл. Нефтяные Камни			Пл. Гюнашли			Пл. Бахар		
	P _{пл} / Н	P _{гр} / Н	P _p / Н	P _{пл} / Н	P _{гр} / Н	P _p / Н	P _{пл} / Н	P _{гр} / Н	P _p / Н
1000–1500	0,120	0,162	0,148	0,125	0,165	0,181	–	–	–
1500–2000	0,140	0,175	0,193	0,125	0,165	0,194	–	–	–
2000–2500	0,153	0,184	0,217	0,125	0,163	0,217	0,115	0,159	0,151
2500–3000	0,153	0,184	0,218	0,165	0,182	0,226	0,120	0,162	0,164
3000–3500	0,166	0,195	0,204	0,165	0,193	0,221	0,120	0,162	0,164
3500–4000	–	–	–	0,182	0,203	0,226	0,120	0,162	0,174
4000–4500	–	–	–	0,182	0,203	0,228	0,120	0,162	0,182

При разбуривание новых разведочных площадей и отсутствии промысловых данных о ГРП, в работе [20, 21, 28, 29] его рекомендуется определять по следующей формуле:

$$P_{гр} = 0,083H + 0,66P_{пл},$$

где P_{гр} и P_{пл} – градиенты давления гидроразрыва и пластового давления, МПа; Н – глубина скважины, м.

Однако в некоторых случаях эта формула дает значительные погрешности, т.к. в ней не учитываются физико-механические свойства по ГРП в добывающих скважинах, расположенных на старых площадях с сильно дренированными пластами. Поэтому рекомендуется пользоваться формулой для определения ГРП при бурении скважин для восстановления сетки с целью до разработки залежей на старых площадях.

Метод определения модуля градиента гидравлического разрыва пластов на разведочных площадях.

В последние годы в зарубежной практике для прогнозирования градиента давления гидроразрыва пласта (P_{гр}) широкое применение нашла методика Итона [22, 25].

$$P_{гр} = P_{пл} + \frac{\mu}{1-\mu} (P_T - P_{пл}). \quad (5)$$

Для глинистых и трещиноватых пород [125, 126]:

$$P_{гр} = P_p + \frac{2\mu}{1-\mu} (P_T - P_T), \quad (6)$$

$$P_{гр} = P_{пл} + \frac{\mu}{1-\mu} (P_{геост} - P_{пл}), \quad (7)$$

где μ – коэффициент Пуассона для горной породы.

Значение μ по данным лабораторных исследований приведены в [28, 29], которые отличаются от истинных, приведенных в [24, 25].

В работе [23, 26] предлагается формула для определения значения ГРП, когда наблюдается проникновение жидкости в пласт для проницаемых пластов:

$$FBP = 2\nu \frac{\sigma_v - P_{пл} + 0,5 \frac{1-\nu}{\nu}}{2(1-\nu) - a(1-2\nu)} + P_{пл}. \quad (8)$$

Для глинистых и трещиноватых пород формула (7) имеет вид:

$$P_{Гр} = 2\nu \frac{P_u - P_{пл} + 0,5 \frac{1-\nu}{\nu}}{2(1-\nu) - a(1-2\nu)} + P_{пл}, \quad (9)$$

$$P_{Гр} = 2\nu \frac{P_{геост} - P_{пл} + 0,5 \frac{1-\nu}{\nu}}{2(1-\nu) - a(1-2\nu)} + P_{пл}. \quad (10)$$

Для определения μ в реальных скважинах предлагается следующая формула:

$$\frac{\mu}{1-\mu} = \frac{(P_y - \rho_{ж}gz) / \rho_{г}z - K_a}{K_{Г} - K_a}, \quad (11)$$

где P_y – наибольшее давление на устье скважины в момент разрыва породы, МПа; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости в скважине при гидроразрыве, кг/м³; z – глубина, на которой образовались трещины разрыва, м; $P_{пл}$, $P_{Г}$, $P_{геост}$ – градиенты пластового, горного и геостатического давлений на той же глубине.

Для определения по предполагаемой методике необходимо иметь достоверное значение горного давления, которое зависит от плотности пород.

В настоящее время средние плотности горных пород, слагающих разрез осадочных отложений на рассматриваемых месторождениях, принимаются ориентировочно, нередко без учета возраста, глубины залегания и плотностей вышележащих горных пород, что зачастую приводит к значительным ошибкам при расчете горного давления и решении других задач.

Средняя (взвешенная) плотность горных пород рассчитывается по формуле:

$$\rho_n = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i h_i}{H}, \quad (12)$$

где ρ_n – средняя плотность горных пород, кг/м³; ρ_i – плотность i -ого пропластка, кг/м³; h_i – мощность i -ого пропластка, м; H – глубина, на которой определяется средняя плотность горных пород, м.

Средняя плотность горных пород, мощности пропластков различного литологического состава определяются со сводного геологического разрыва месторождения, площади, региона, в бурящейся скважине по данным промыслово-геофизических исследований.

Наиболее достоверные сведения о средних плотностях горных пород можно получить из кривых плотностного каротажа, опломбированных в единицах плотности. При отсутствии в комплексе промыслово-геофизических исследований для получения плотностной характеристики разреза можно использовать также данные акустического каротажа, определив вначале пористость, а затем по пористости и минералогической плотности – плотность горных пород. Коэффициент пористости по акустическому каротажу определяется по формуле:

$$K_r = \frac{\Delta T - \Delta T_{ск}}{\Delta T_{ж} - \Delta T_{ск}}, \quad (13)$$

где ΔT , $\Delta T_{ск}$, $\Delta T_{ж}$ – соответственно интервальное время пробега продольной волны в горной породе, опорном пласте и буровом растворе.

Значение ΔT для некоторых типов пород и $\Delta T_{ж}$ для буровых растворов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Скорость распространения продольной волны в горных породах

Порода, жидкость	$T_{сп} (\Delta T_{ж})$
Буровой раствор	600–650
Ангидриды	165
Глина	200
Каменная соль	235
Песчаники	250
Доломиты	180

Имея данные о коэффициенте пористости (K), были рассчитаны плотности отдельных литологических разностей по формуле:

$$\rho_i = \rho_m(1 - K), \quad (13)$$

где ρ_m – минералогическая плотность горной породы, кг/м³.

Результаты расчетов приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Плотность пород

Породы	Плотность, ρ_m , кг/м ³
Известняки	2750
Доломиты	2820
Ангидриты	2940
Песчаники	2650
Алевриты	2690
Аргиллиты	2600
Каменная соль	2170

Таким образом, пользуясь изложенным методом, можно по промысловым данным определить истинные значения пористости разбуриваемых горных пород.

Определение ГРП в трещиноватых породах, в которых механизм передачи горного давления отличается, и благодаря большому проявлению эффекта «клинка» [3, 23, 24] значения давления будут несколько меньше. Поэтому рекомендуется в формуле (5) вместо градиента P_r указать градиент $P_{геост.}$, который определяется по формуле (6), а плотность породы – по следующему выражению:

$$\rho = \rho_m(1 - \theta)\rho_{ж}\theta, \quad (14)$$

где ρ_m – плотность матрицы, г/см³; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, заполняющей поры, г/см³; θ – пористость.

На основании вышеприведенных формул и промысловых данных был произведен расчет, результаты которого приведены в таблице.

Заключение. С учетом указанного, расчеты ГРП при бурении скважины на площадях Нефтяные Камни и Гюнашли, в которых были вскрыты трещиноватые породы, взамен значения модуля градиента горного давления принят градиент геостатического давления и полученные результаты сравнивались с фактическими данными. За фактические значения градиента ГРП для скважины, расположенные на площади Нефтяные Камни принимались значения давления гидроразрыва пласта, осуществленного в период эксплуатации с целью увеличения дебита скважин, а для остальных скважин – значения гидравлического давления, при котором в процессе бурения имелось поглощение.

Сравнение расчетных и фактических данных показывает, что формулы (5) и (6) могут быть использованы для рекомендуемых нами условий.

Литература

1. Мирзаджанзаде А.Х. Повышение эффективности и качества бурения глубоких скважин / А.Х. Мирзаджанзаде, С.А. Ширинзаде. – М. : Недра, 1986.

2. Мирзаджанзаде А.Х. Обзор работ по гидродинамике вязкопластичных сред в бурении / А.Х. Мирзаджанзаде, Р.С. Курбанов // Баку, АзИНТИ, сер. Нефтедобывающая промышленность. – 1968. – С. 36.
3. Мовсумов А.А. Гидродинамические причины осложнений при проводке нефтяных и газовых скважин. – Баку : Азернешр, 1965. – с. 230.
4. Бараз В.Р. Применение программы Excel для статистических расчетов в материаловедении : учеб. пособие. – Екатеринбург : ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. – 46 с.
5. Годин А.М. Статистика : учебник. М. : издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2002. – 368 с.
6. Макарова Н.В. Статистика в Excel : учеб. пособие / Н.В. Макарова, В.Я. Трофимец; Под ред. С.В. Симоновича. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 192 с.; Информатика. Базовый курс. – СПб. : Питер, 2001. – 640 с.
7. Нельсон С. Анализ данных в Excel для «чайников». – М. : издательский дом «Вильямс», 2002. – 302 с.
8. Сигал, Э. Практическая бизнес-статистика. – М. : издательский дом «Вильямс», 2002. – 1056 с.
9. Сеид-Рза М.К. Определение величины давления гидравлического разрыва пласта при бурении нефтяных и газовых скважин / М.К. Сеид-Рза, Я.И. Сафаров // АНХ. – 1981. – № 3. – С. 32–35.
10. Сеид-Рза М.К. К определению значения градиента давления гидравлического разрыва пласта по стратиграфическим разрезам / М.К. Сеид-Рза, Я.И. Сафаров // Материалы III научной конференции «Применение вероятностно-статистических методов в бурении в нефтедобыче», 2–4 декабря, 1980. – С. 17–18.
11. Руководств по технологии бурения, предупреждению аварии и осложнение при проводке скважин (РД39-0147213-017-91) / М.К. Сеид-Рза, Я.И. Сафаров [и др.]. – Баку : АЗНИ-ПИНЕФТЬ, 1991.
12. Сеид-Рза М.К. Технология бурения глубоких скважин в осложненных условиях. – Баку : Азернешр, 1963.
13. Методика определения параметров по регулированию гидродинамических давлений в процессе выполнения различных технологических операциях / М.К. Сеид-Рза, А.А. Рзаев, Р.И. Кулиев, Я.И. Сафаров, Х.Я. Рашидов, Х.М. Талыбова, Ф.А. Ахундов. РД 39-2-894-83. – 37 с.
14. Регулирование гидродинамического давления в бурящейся скважине при выполнении различных технологических операций / М.К. Сеид-Рза, Я.И. Сафаров [и др.] // Тезисы докладов Всесоюзного семинара по современным проблемам нефтегазопромысловой механики, посвященной 60-летию акад. Мирзаджанзаде А.Х. – Баку, 1988. – С. 13–15.
15. Сидоров Н.А. Осложнения при бурении скважин / Н.А. Сидоров, Г.А. Ковтунов. – М. : Гостехиздат, 1959.
16. Сидоров Н.А. Осложнения при бурении скважин / Н.А. Сидоров, Г.А. Ковтунов. – М. : Гостехиздат, 1959.
17. Сафаров Я.И. Повышение эффективности бурения нефтяных и газовых скважин в осложненных условиях. САДА.
18. Сафаров Я.И. Регулирование гидродинамического давления при спуске и цементировании обсадных колонн в осложненных условиях / Я.И. Сафаров, Р.И. Кулиев // Тезисы докладов VI Всесоюзного семинара по гидравлике промысловых жидкостей и тампонажных растворов в.г. Астрахань, 26–28 сентября. – М., 1978. – С. 35–36.
19. Сафаров Я.И. Вопросы регулирования гидравлического давления в процессе проводки скважин в условиях АВПД / Я.И. Сафаров // Материалы VII Всесоюзного научного семинара по гидравлике промысловых жидкостей и тампонажных растворов 29–31 мая 1980 г. Баку, 1980. – С. 72–73.
20. Сафаров Я.И. Определение градиента давления нефтегазопроявления пластов при проводке скважин на площадях Кюровдаг и Булла-море // Я.И. Сафаров // Материалы Всесоюзной научной конференции «Применение вероятностно-статистических методов в бурении и нефтедобыче», 2–4 декабря 1980. – С. 11.
21. Сафаров Я.И. К регулированию гидродинамических давлений при креплении скважин / Я.И. Сафаров, Талыбова Х.М. – Баку : тр. АЗНИПИНЕФТЬ, 1980. – Вып. XXXXI. – С. 73–76.
22. Сафаров Я.И. Вопросы регулирования гидравлического давления в процессе проводки скважин в условиях АВПД / Я.И. Сафаров // Материалы IX Всесоюзного научного семинара по гидравлике промысловых жидкостей и тампонажных растворов 29–31 мая 1980 г. – Баку, 1980. – С. 72–73.
23. Крылов В.И. Изменение гидродинамического давления в скважине в зависимости от скорости бурильной колонны / В.И. Крылов // Народное хозяйство. – 1976. – № 1. – С. 13–16.

24. Хайкин Б.Е. Построение аппроксимационных математических моделей в условиях обработки металлов давлением : учеб. пособие. – Свердловск : УПИ, 1991. – 101 с.
25. Бурение нефтяных и газовых скважин / Р.А. Шацов, Р.И. Шищенко, Л.С. Гликман, П.В. Балицкий // Гостоптехиздат. – 1980. – С. 219.
26. Шищенко Р.И. Гидравлика глинистых растворов. – Баку : Азернефтиздат, 1951.
27. Мирзаджанзаде А.Х. Временная инструкция по предупреждению осложнений, связанных с изменением гидродинамических давлений при бурении нефтяных и газовых скважин / А.Х. Мирзаджанзаде, А.А. Мовсумов, Я.И. Сафаров. – Баку : АЗНИИбурнефть, 1970.
28. Временная инструкция по исследованию поглощающих пластов и борьба с поглощением промысловой жидкости при бурении скважин / А.Н. Булатов [и др.]. – М. : ВНИИКРнефть, 1974.
29. Сеид-Рза М.К. РД 39-2-247-82 / М.К. Сеид-Рза, Р.И. Кулиев, Я.И. Сафаров // Методика по определению величин давления гидравлического разрыва пласта при бурении нефтяных и газовых скважин. – Баку : АЗНИПИнефть, 1982.
30. Мирзаджанзаде А.Х. Временная инструкция по предупреждению осложнений, связанных с изменением гидродинамических давлений при бурении нефтяных и газовых скважин / А.Х. Мирзаджанзаде, А.А. Мовсумов, Я.И. Сафаров. – Баку : АЗНИИбурнефть, 1970.
31. Временная инструкция по исследованию поглощающих пластов и борьба с поглощением промысловой жидкости при бурении скважин / А.Н. Булатов [и др.]. – М. : ВНИИКРнефть, 1974.
32. Сеид-Рза М.К. РД 39-2-247-82 / М.К. Сеид-Рза, Р.И. Кулиев, Я.И. Сафаров // Методика по определению величин давления гидравлического разрыва пласта при бурении нефтяных и газовых скважин. – Баку : АЗНИПИнефть, 1982.
33. Сеид-Рза М.К. РД 39-2-894-83 / М.К. Сеид-Рза, Я.И. Сафаров // Методика определения параметров по регулированию гидродинамических давлений в процессе выполнения различных технологических операций. – Баку : АЗНИПИнефть, 1983.

References

1. Mirzajanzade A.Kh. Improving the efficiency and quality of deep well drilling / A.Kh. Mirzajanzade, S.A. Shirinzade. – M. : Nedra, 1986.
2. Mirzajanzade A.Kh. Review of works on hydrodynamics of viscoplastic media in drilling / A.Kh. Mirzajanzade, R.S. Kurbanov. – Baku, AzINTI, series. Oil producing industry, 1968. – P. 36.
3. Movsumov A.A. Hydrodynamic causes of complications during drilling of oil and gas wells. – Baku : Azerneshr, 1965. – P. 230.
4. Baraz V.R. Application of Excel program for statistical calculations in materials science: study guide. – Ekaterinburg : State Educational Institution of Higher Professional Education «USTU-UPI», 2003. – 46 p.
5. Godin, A.M. Statistics : textbook. – M. : Publishing and Trading Corporation «Dashkov and Co.», 2002. – 368 p.
6. Makarova N.V. Statistics in Excel: a tutorial. – M. : Finance and Statistics, 2002. – 192 p. Computer Science. Basic Course / N.V. Makarova, V.Ya. Trofimets; Ed. S.V. Simonovich. – SPb. : Piter, 2001. – 640 p.
7. Nelson S. Data Analysis in Excel for Dummies. – M. : Publishing House «Williams», 2002. – 302 p.
8. Sigal E. Practical Business Statistics. – M. : Williams Publishing House, 2002. – 1056 p.
9. Seid-Rza M.K., Safarov Y.I. Determination of the Hydraulic Fracturing Pressure during Drilling of Oil and Gas Wells // ANE. – 1981. – № 3. – P. 32–35.
10. Seid-Rza M.K. On Determination of the Hydraulic Fracturing Pressure Gradient in Stratigraphic Sections / M.K. Seid-Rza, Y.I. Safarov // Proceedings of the III Scientific Conference «Application of Probabilistic-Statistical Methods of Drilling in Oil Production», December 2–4, 1980. – P. 17–18.
11. Guidelines for drilling technology, accident prevention and complications during well drilling (RD39-0147213-017-91) / M.K. Seid-Rza, Y.I. Safarov [et al.]. – Baku : AzNIPIneft, 1991.
12. Seid-Rza M.K. Deep well drilling technology in difficult conditions. – Baku : Azerneshr, 1963.
13. Methodology for determining parameters for regulating hydrodynamic pressures during various technological operations. RD 39-2-894-83 / M.K. Seid-Rza, A.A. Rzayev, R.I. Kuliev, Y.I. Safarov, K.Y. Rashidov, K.M. Talybova, F.A. Akhundov. – 37 p.
14. Regulation of hydrodynamic pressure in a drilling well during various technological operations / M.K. Seid-Rza, Y.I. Safarov [et al.] // Abstracts of reports of the All-Union seminar on modern problems of oil and gas field mechanics, dedicated to the 60th anniversary of academician Mirzajanzade A.Kh. Baku, 1988. – P. 13–15.
15. Sidorov N.A. Complications during well drilling / N.A. Sidorov, G.A. Kovtunov. – M. : Gostoptekhizdat, 1959.

16. Sidorov N.A. Complications during well drilling / N.A. Sidorov, G.A. Kovtunov. – M. : Gostoptekhizdat, 1959.
17. Safarov Y.I. Increasing the efficiency of drilling oil and gas wells in complicated conditions. SADA,
18. Safarov Y.I. Regulation of hydrodynamic pressure during lowering and cementing of casing strings in complicated conditions / Y.I. Safarov, R.I. Kuliev // Abstracts of reports of the All-Union Seminar on Hydraulics of Drilling Fluids and Cementing Solutions in Astrakhan, September 26–28. – M., 1978. – P. 35–36.
19. Safarov Y.I. Issues of Hydraulic Pressure Regulation during Well Drilling under AHFP Conditions. Proceedings of the All-Union Scientific Seminar on Hydraulics of Drilling Fluids and Cementing Solutions May 29–31, 1980 – Baku, 1980. – P. 72–73.
20. Safarov Y.I. Determination of the Pressure Gradient of Oil and Gas Shows in Formations during Well Drilling in the Kyurovdag and Bulla-More Areas / Y.I. Safarov // Proceedings of the All-Union Scientific Conference «Application of Probability-Statistical Methods in Drilling and Oil Production», December 2–4, 1980. – P. 11.
21. Safarov Y.I. On the Regulation of Hydrodynamic Pressures during Well Cementing / Y.I. Safarov, Kh.M. Talibova. – Baku : tr. AzNIPIneft. – Issue XXXXY, 1980. – P. 73–76.
22. Safarov Y.I. Issues of Hydraulic Pressure Regulation during Well Drilling under AHFP Conditions. Proceedings of the IXX All-Union Scientific Seminar on Hydraulics of Drilling Fluids and Cementing Mortars May 29–31, 1980. – Baku, 1980. – P. 72–73.
23. Krylov V.I. Change in hydrodynamic pressure in a well depending on the drill string speed // National Economy. – 1976. – № 1. – P. 13–16.
24. Khaikin, B.E. Construction of approximation mathematical models in conditions of metal forming : tutorial. – Sverdlovsk : UPI, 1991. – 101 p.
25. Drilling of oil and gas wells / R.A. Shatsov, R.I. Shishenko, L.S. Glikman, P.V. Balitsky // Gostoptekhizdat. – 1980. – P. 219.
26. Shishchenko R.I. Hydraulics of clay solutions. – Baku : Azerneftizdat, 1951.
27. Mirzadzhanzade A.Kh. Temporary instructions for preventing complications associated with changes in hydrodynamic pressures during drilling of oil and gas wells / A.Kh. Mirzadzhanzade, A.A. Movsumov, Y.I. Safarov. – Baku : AzNIIburneft, 1970.
28. Temporary instructions for studying absorbing formations and combating the absorption of drilling fluid during well drilling / A.N. Bulatov [et al.]. – M. : VNIKRneft, 1974.
29. Seid-Rza M.K. RD 39-2-247-82 / M.K. Seid-Rza, R.I. Kuliev, Y.I. Safarov // Methodology for determining the values of hydraulic fracturing pressure during drilling of oil and gas wells. – Baku : AzNIPIneft, 1982.
30. Mirzajanzade A.Kh. Temporary instructions for preventing complications associated with changes in hydrodynamic pressures during drilling of oil and gas wells / A.Kh. Mirzajanzade, A.A. Movsumov, Y.I. Safarov. – Baku : AzNIIburneft, 1970.
31. Temporary instructions for studying absorbing formations and combating absorption of drilling fluid during well drilling / A.N. Bulatov [et al.]. – M. : VNIKRneft, 1974.
32. Seid-Rza M.K. RD 39-2-247-82 / M.K. Seid-Rza, R.I. Kuliev, Y.I. Safarov // Methodology for determining the values of hydraulic fracturing pressure during drilling of oil and gas wells. – Baku : AzNIPIneft, 1982.
33. Seid-Rza M.K. RD 39-2-894-83 / M.K. Seid-Rza, Y.I. Safarov // Methodology for determining the parameters for regulating hydrodynamic pressures during the execution of various technological operations. – Baku : AzNIPIneft, 1983.