

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ**

**4.1 МЕТОДИКА РАСЧЕТА НОРМ РАСХОДА  
ПОДГОТОВЛЕННОЙ НЕФТИ ПРИ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАЗРЫВЕ ПЛАСТА**

## **Предисловие**

1 РАЗРАБОТАН ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт организации, управления и экономики нефтегазовой промышленности» (Отдел ресурсосбережения и нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов)

ВНЕСЕН Департаментом нефтяной промышленности Министерства энергетики Российской Федерации

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Минэнерго России от.....№.....

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий руководящий документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Министерства энергетики Российской Федерации.

**Содержание**

	Стр.
1 Область применения	1
2 Определения	1
3 Порядок разработки	2

РД 153-39.0-01:01

---

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ**

---

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА НОРМ РАСХОДА  
ПОДГОТОВЛЕННОЙ НЕФТИ  
ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАЗРЫВЕ ПЛАСТА**

---

Дата введения 2002–01–01

**1 Область применения**

Настоящий документ распространяется на работы по добыче нефти; позволяет провести расчеты норм расхода подготовленной нефти на проведение гидравлического разрыва пласта; является обязательным для организаций и предприятий топливно-энергетического комплекса независимо от форм собственности.

**2 Определения**

В настоящем документе применены следующие определения:

2.1 Использование подготовленной нефти для проведения операций по гидравлическому разрыву (гидроразрыву) пласта – применение подготовленной нефти для проведения операций по гидроразрыву пласта в количестве, необходимом для проведения процесса.

2.2 Потребность в подготовленной нефти на проведение операций по гидроразрыву пласта – количество подготовленной нефти, которое необходимо для проведения операций по гидроразрыву пласта.

2.3 Расход подготовленной нефти на проведение операций по гидроразрыву пласта – потери подготовленной нефти из-за проникновения нефти в пласт в результате проведения процесса по гидроразрыву пласта с применением подготовленной нефти.

2.4 Норма использования подготовленной нефти на проведение операции по гидроразрыву пласта – количество подготовленной нефти, необходимое для проведения одной операции по гидроразрыву пласта.

2.5 Норма расхода подготовленной нефти на проведение операции по гидроразрыву пласта – количество подготовленной нефти, которое теряется при проведении одной операции по гидроразрыву пласта.

2.6 Норматив расхода подготовленной нефти на проведение процессов по гидроразрыву пласта – часть годовой добычи нефти, выраженная в про-

центрах, которая расходуется в результате проведения операций по гидроразрыву пласта.

### 3 Порядок разработки

3.1 Индивидуальная норма использования подготовленной нефти на проведение одной операции гидроразрыва пласта в скважине по площади – необходимое количество подготовленной нефти для проведения одной операции гидроразрыва пласта в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, определяется по формуле

$$H_{ki} = (V_{жр\ ki} + V_{пн\ ki} + V_{пр\ ki}) \cdot \rho_n, \quad \text{т/скв.-опер.}, \quad (1)$$

где  $H_{ki}$  – индивидуальная норма использования подготовленной нефти на проведение одной операции гидроразрыва пласта в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, т/скв.-опер.;

$V_{жр\ ki}$  – объем жидкости разрыва для проведения одной операции гидроразрыва пласта в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества,  $\text{м}^3$ ;

$V_{пн\ ki}$  – объем жидкости-песконосителя для проведения одной операции гидроразрыва пласта в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества,  $\text{м}^3$ ;

$V_{пр\ ki}$  – объем продавочной жидкости для проведения одной операции гидроразрыва пласта в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_n$  – плотность подготовленной нефти при стандартных условиях,  $\text{т/м}^3$ .

3.1.1 Объем жидкости разрыва не поддается точному расчету.

Для ее определения воспользуемся методом интерполяции данных о расходе жидкости разрыва за предыдущий период.

Определим прогнозное значение  $V_{жр}$ , найдя многочлен второй степени, приближающий наилучшим образом функцию, заданную данными за 5 лет.

$$P(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2. \quad (2)$$

Тогда мера отклонения  $\sigma$  многочлена  $P(x)$  от реальной функции  $y_\tau = f(x)$ , будет:

$$\sigma = \sum_{\tau=0}^y [y_\tau - (a_0 + a_1 \cdot x_\tau + a_2 \cdot x_\tau^2)]^2, \quad (3)$$

- где  $\sigma$  – мера отклонения многочлена  $P(x)$  от реальной функции  $y_\tau$ ;
- $x_\tau$  – порядковый номер года выборки за 5 предыдущих лет от 0 до 4;
- 0 – пятый год от планируемого года;
- 1 – четвертый год от планируемого года;
- 2 – третий год от планируемого года;
- 3 – второй год от планируемого года;
- 4 – первый (прошедший) год от планируемого года;
- $y_\tau$  – значение  $V_{жр}$  в  $\tau$  году, среднеарифметическое по скважинам  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества,  $m^3/скв.$ -опер.;
- $a_0, a_1, a_2$  – коэффициенты многочлена.

Составляем таблицу.

Таблица 1

	$x_\tau$	$y_\tau$	$x_\tau \cdot y_\tau$	$x_\tau^2$	$x_\tau^2 \cdot y_\tau$	$x_\tau^3$	$x_\tau^4$
	0			0		0	0
	1			1		1	1
	2			4		8	16
	3			9		27	81
	4			16		64	256
$\Sigma$	10			30		100	354

В составленной таблице в первых двух колонках представляют номер года и среднее за каждый год по всем операциям гидроразрыва значение  $V_{жр}$  по площади. Остальные данные таблицы расчетные из первых двух.

$\sigma$  в уравнении (3) – функция трех переменных:  $a_0, a_1, a_2$ . Частные производные по этим переменным:

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial \sigma}{\partial a_0} = \sum_{\tau=0}^4 [y_{\tau} - (a_0 + a_1 \cdot x_{\tau} + a_2 \cdot x_{\tau}^2)] = 0,$$

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial \sigma}{\partial a_1} = \sum_{\tau=0}^4 [y_{\tau} - (a_0 + a_1 \cdot x_{\tau} + a_2 \cdot x_{\tau}^2)] x_{\tau} = 0,$$

$$-\frac{1}{2} \frac{\partial \sigma}{\partial a_2} = \sum_{\tau=0}^4 [y_{\tau} - (a_0 + a_1 \cdot x_{\tau} + a_2 \cdot x_{\tau}^2)] x_{\tau}^2 = 0.$$

Далее имеем:

$$\sum_{\tau=0}^4 [y_{\tau} - (a_0 + a_1 \cdot x_{\tau} + a_2 \cdot x_{\tau}^2)] = 0,$$

$$\sum_{\tau=0}^4 [y_{\tau} - (a_0 + a_1 \cdot x_{\tau} + a_2 \cdot x_{\tau}^2)] x_{\tau} = 0,$$

$$\sum_{\tau=0}^4 [y_{\tau} - (a_0 + a_1 \cdot x_{\tau} + a_2 \cdot x_{\tau}^2)] x_{\tau}^2 = 0.$$

Раскрыв суммы и перегруппировав члены, приходим к системе уравнений:

$$5a_0 + a_1 \sum_{\tau=0}^4 x_{\tau} + a_2 \sum_{\tau=0}^4 x_{\tau}^2 = \sum_{\tau=0}^4 y_{\tau},$$

$$a_0 \sum_{\tau=0}^4 x_{\tau} + a_1 \sum_{\tau=0}^4 x_{\tau}^2 + a_2 \sum_{\tau=0}^4 x_{\tau}^3 = \sum_{\tau=0}^4 x_{\tau} y_{\tau}, \quad (4)$$

$$a_0 \sum_{\tau=0}^4 x_{\tau}^2 + a_1 \sum_{\tau=0}^4 x_{\tau}^3 + a_2 \sum_{\tau=0}^4 x_{\tau}^4 = \sum_{\tau=0}^4 x_{\tau}^2 y_{\tau}.$$

Подставив значения сумм из таблицы 1 в систему уравнений (4) и решая ее, определяем значения коэффициентов  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ .

Подставив в (2) значения коэффициентов  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ , получаем решение многочлена. Значение  $V_{жр\ k_i}$  определяем подставив в полученный многочлен значение  $x=5$ , где 5 – порядковый номер прогнозируемого года.

### 3.1.2 Определение параметров трещины.

3.1.2.1 Определяем вертикальную составляющую горного давления в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества.

$$P_{гв\ ki} = \rho_n \cdot g \cdot L_{ki} \cdot 10^3, \text{ Па}, \quad (5)$$

где  $P_{гв\ ki}$  – вертикальная составляющая горного давления в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, Па;

$\rho_n$  – плотность породы над продуктивным пластом,  $\text{т/м}^3$ ; принимается равной 2,6;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;

$L_{ki}$  – средняя глубина скважины  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, м.

3.1.2.2 Горизонтальная составляющая горного давления:

$$P_{г\ ki} = \frac{P_{гв\ ki} \cdot \nu}{1 - \nu}, \text{ Па}, \quad (6)$$

где  $P_{г\ ki}$  – горизонтальная составляющая горного давления в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, Па;

$P_{гв\ ki}$  – вертикальная составляющая горного давления в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, Па;

$\nu$  – коэффициент Пуассона; принимается равным 0,3.

3.1.2.3 Для определения параметров трещины в соответствии с методикой Ю.П. Желтова определяем забойное давление в конце закачки жидкости разрыва из уравнения:

$$\frac{P_{заб\ ki}}{P_{г\ ki}} \cdot \left( \frac{P_{заб\ ki}}{P_{г\ ki}} - 1 \right)^3 = \frac{5,25E^2 \cdot Q_{н\ ki} \cdot \mu}{(1 - \nu^2)^2 \cdot (P_{г\ ki})^3 \cdot V_{жр\ ki}}, \quad (7)$$

где  $P_{заб\ ki}$  – забойное давление после закачки жидкости разрыва в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, Па;

$P_{г\ ki}$  – горизонтальная составляющая горного давления в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, Па;

- $E$  – модуль упругости пород, Па;  
 $Q_{н\ ki}$  – подача насоса при закачке жидкости разрыва в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества,  $м^3/с$ ;  
 $V_{жр\ ki}$  – объем жидкости разрыва,  $м^3$ ;  
 $\mu$  – вязкость жидкости разрыва, Па·с;  
 $\nu$  – коэффициент Пуассона; принимается равным 0,3.

Длина трещины определяется по формуле

$$L_{ki} = \sqrt{\frac{V_{жр\ ki} \cdot E}{5,6(1-\nu^2) \cdot h_{пл\ ki} \cdot (P_{заб\ ki} - P_{г\ ki})}}, \text{ м}, \quad (8)$$

- где  $L_{ki}$  – длина трещины в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, м;  
 $V_{жр\ ki}$  – объем жидкости разрыва в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества,  $м^3$ ;  
 $E$  – модуль упругости пород, Па;  
 $\nu$  – коэффициент Пуассона;  
 $h_{пл\ ki}$  – эффективная толщина пласта в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, м;  
 $P_{заб\ ki}$  – забойное давление после закачки жидкости разрыва в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, Па;  
 $P_{г\ ki}$  – горизонтальная составляющая горного давления в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, Па.

Ширина трещины определяется по формуле

$$W_{ki} = \frac{4(1-\nu^2) \cdot L_{ki} \cdot (P_{заб\ ki} - P_{г\ ki})}{E}, \text{ м}, \quad (9)$$

- где  $W_{ki}$  – ширина трещины в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, м;

- $\nu$  – коэффициент Пуассона;
- $L_{ki}$  – длина трещины в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, м;
- $P_{заб\ ki}$  – забойное давление после закачки жидкости разрыва в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, Па;
- $P_{г\ ki}$  – горизонтальная составляющая горного давления в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, Па.
- $E$  – модуль упругости пород, Па.

Объем трещины определяем как объем эллипсоида по формуле

$$V_{тр\ ki} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{L_{ki}}{2} \cdot \frac{h_{тр.ki}}{2} \cdot \frac{W_{ki}}{2}, \text{ м}^3, \quad (10)$$

- где  $V_{тр\ ki}$  – объем трещины в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества,  $\text{м}^3$ ;
- $L_{ki}$  – длина трещины в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, м;
- $h_{тр.ki}$  – высота трещины в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, м, принимается равной  $L_{ki}$ ;
- $W_{ki}$  – ширина трещины в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, м.

### 3.1.3 Объем жидкости-песконосителя:

$$V_{пн\ ki} = V_{тр\ ki} \cdot \left( \frac{\rho_{п}}{C_{п\ ki}} - 1 \right), \text{ м}^3, \quad (11)$$

- где  $V_{пн\ ki}$  – объем жидкости-песконосителя в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества,  $\text{м}^3$ ;
- $V_{тр\ ki}$  – объем трещины в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества,  $\text{м}^3$ ;
- $\rho_{п}$  – плотность песка,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$C_{п ki}$  – концентрация песка в жидкости-песконосителе в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества,  $кг/м^3$ .

Оптимальная концентрация песка может быть определена на основании скорости падения зерен песка в рабочей жидкости по эмпирической формуле:

$$C = \frac{4000}{v_{кр}}, \quad кг/м^3, \quad (12)$$

где  $C$  – концентрация песка,  $кг/м^3$ ;

$v_{кр}$  – скорость свободного падения зерен песка в рабочей жидкости,  $мм/ч$ . Для зерен песка размером  $0,8$   $мм$  в жидкости-песконосителе вязкостью  $200$   $мПа \cdot с$  скорость падения составляет  $10$   $м/ч$ .

$$v_{кр} = \frac{\mu_n Ar}{d_n \cdot \rho_n \cdot (18 + 0,61\sqrt{Ar})}, \quad м/с, \quad (13)$$

$$Ar = \frac{d_n^3 \cdot \rho_n \cdot g}{\mu_n^2} \cdot (\rho_n - \rho_n), \quad (14)$$

где  $\mu_n$  – динамическая вязкость жидкости-песконосителя,  $Па \cdot с$ ;

$\rho_n$  – плотность песка,  $т/м^3$ ;

$\rho_n$  – плотность жидкости-песконосителя,  $т/м^3$ ;

$d_n$  – диаметр песчинок,  $м$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $м/с^2$ ;

$Ar$  – критерий Архимеда.

3.1.4 Объем продавочной жидкости определяется по формуле

$$V_{пр ki} = 0,785 \cdot [d_{нкт ki}^2 \cdot L_{ki} + D_{ki}^2 \cdot (H_{скв ki} - L_{нкт ki})], \quad м^3, \quad (15)$$

где  $H_{скв ki}$  – глубина скважины  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества,  $м$ ;

- $D_{ki}$  – диаметр эксплуатационной колонны скважины  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, м;
- $L_{\text{нкт } ki}$  – длина насосно-компрессорных труб скважины  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, м;
- $d_{\text{нкт } ki}$  – внутренний диаметр насосно-компрессорных труб скважины  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, м.

3.2 Норма использования подготовленной нефти на проведение одной операции гидроразрыва пласта в скважине по предприятию – необходимое количество подготовленной нефти для проведения одной операции гидроразрыва пласта в скважине  $k$ -го предприятия акционерного общества, определяется по формуле

$$H_k = \frac{\sum_{i=1}^n H_{ki} \cdot z_{ki}}{\sum_{i=1}^n z_{ki}}, \quad \text{т/скв.-опер.}, \quad (16)$$

- где  $H_k$  – норма использования подготовленной нефти на проведение одной операции гидроразрыва в скважине  $k$ -го предприятия акционерного общества, т/скв.-опер.;
- $H_{ki}$  – норма использования подготовленной нефти на проведение одной операции гидроразрыва в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, т/скв.-опер.;
- $z_{ki}$  – количество скважино-операций гидроразрыва на  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества в планируемом году, скв.-опер./год;
- $n$  – количество  $i$ -х площадей на  $k$ -м предприятии акционерного общества, скв.-опер./год.

3.3 Норма использования подготовленной нефти на проведение одной операции гидроразрыва пласта в скважине по акционерному обществу – необходимое количество подготовленной нефти для проведения одной операции гидроразрыва пласта в скважине акционерного общества, определяется по формуле

$$H = \frac{\sum_{k=1}^e H_k \cdot z_k}{\sum_{k=1}^e z_k}, \quad \text{т/скв.-опер.}, \quad (17)$$

- где  $H$  – норма использования подготовленной нефти на проведение одной операции гидроразрыва в скважине акционерного общества, т/скв.-опер.;
- $H_k$  – норма использования подготовленной нефти на проведение одной операции гидроразрыва в скважине  $k$ -го предприятия акционерного общества, т/скв.-опер.;
- $z_k$  – количество скважино-операций гидроразрыва на  $k$ -м предприятии акционерного общества в планируемом году, скв.-опер./год;
- $e$  – количество  $k$ -х предприятий акционерного общества.

3.4 Потребность в подготовленной нефти на проведение гидроразрывов пласта по  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества на год определяется по формуле

$$Q_{ki} = H_{ki} \cdot z_{ki}, \quad \text{т/год}, \quad (18)$$

- где  $Q_{ki}$  – потребность в подготовленной нефти на проведение гидроразрывов пласта по  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества на год, т/скв.-опер.;
- $H_{ki}$  – норма использования подготовленной нефти на проведение одной операции гидроразрыва в скважине  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества, т/скв.-опер.;
- $z_{ki}$  – количество скважино-операций гидроразрыва, проводимых на  $i$ -й площади  $k$ -го предприятия акционерного общества в планируемом году, скв.-опер./год.

3.5 Потребность в подготовленной нефти на проведение гидроразрывов пласта по  $k$ -му предприятию акционерного общества на год определяется по формуле

$$Q_k = H_k \cdot z_k, \quad \text{т/год}, \quad (19)$$

- где  $Q_k$  – потребность в подготовленной нефти на проведение гидроразрывов пласта по  $k$ -му предприятию акционерного общества на год, т/год
- $H_k$  – норма использования подготовленной нефти на проведение одной операции гидроразрыва в скважине  $k$ -го предприятия акционерного общества, т/скв.-опер.;
- $z_k$  – количество скважино-операций гидроразрыва, проводимых на  $k$ -м предприятии акционерного общества в планируемом году, скв.-опер./год.

3.6 Потребность в подготовленной нефти на проведение гидроразрывов пласта по акционерному обществу на год определяется по формуле

$$Q = H \cdot z, \quad \text{т/год}, \quad (20)$$

- где  $Q$  – потребность в подготовленной нефти на проведения гидроразрывов пласта по акционерному обществу на год, т/год;
- $H$  – норма использования подготовленной нефти на проведение одной операции гидроразрыва в скважине акционерного общества, т/скв.-опер.;
- $z$  – количество скважино-операций гидроразрыва, проводимых в акционерном обществе в планируемом году, скв.-опер./год.

3.7 Расход подготовленной нефти на гидроразрывы пластов составляет 100 % потребного количества нефти, поскольку весь объем технологической жидкости закачивается в пласт. Таким образом, норма расхода подготовленной нефти равна норме использования, а расход подготовленной нефти – объему потребности.

3.8 Норматив расхода подготовленной нефти на гидроразрывы пластов по предприятию акционерного общества – отношение массы подготовленной нефти, расходуемой за год на гидроразрывы пластов по  $k$ -му предприятию акционерного общества, к массе годовой добычи нефти  $k$ -м предприятием, выраженное в процентах, определяется по формуле

$$N_{pk} = \frac{Q_{pk}}{G_k} \cdot 100, \quad \%, \quad (21)$$

- где  $N_{pk}$  – норматив расхода подготовленной нефти на гидроразрывы пластов по  $k$ -му предприятию акционерного общества, %;

$Q_{p k}$  – расход подготовленной нефти на гидроразрывы пластов по к-му предприятию акционерного общества за год, т/год;  
 $Q_{p k} = Q_k$ ;

$G_k$  – годовая добыча нефти к-м предприятием акционерного общества.

3.9 Норматив расхода подготовленной нефти на гидроразрывы пластов по акционерному обществу – отношение массы подготовленной нефти, расходуемой за год на гидроразрывы пластов по акционерному обществу, к массе годовой добычи нефти по акционерному обществу, выраженное в процентах, определяется по формуле

$$N_p = \frac{Q_p}{G} \cdot 100, \quad \% \quad (22)$$

где  $N_p$  – норматив расхода подготовленной нефти на гидроразрывы пластов по акционерному обществу, %;

$Q_p$  – расход подготовленной нефти на гидроразрывы пластов по акционерному обществу за год, т/год;  
 $Q_p = Q$ ;

$G$  – годовая добыча нефти акционерным обществом, т/год.

**Приложение А**  
(информационное)  
Библиография

[1] Справочное руководство по проектированию разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. Добыча нефти /Под ред. Ш.К.Гиматутдинова. – М.: Недра, 1983.

[2] Юрчук А.М. Расчеты в добыче нефти. – М.: Недра, 1974.

[3] Леонов Е.Г., Исаев В.И. Гидроаэромеханика в бурении. – М.: Недра, 1987.

---

УДК

Г

ОКСТУ

Ключевые слова: норма, норматив, гидроразрыв пласта, скважина, подготовленная нефть, потребность нефти.

---