

УДК 622.276.6

**ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ТЕРМОБАРИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИЗАБОЙНУЮ
ЗОНУ ПЛАСТА НЕФТЕГАЗОВОЙ СКВАЖИНЫ**

**ELEMENTS OF MATHEMATICAL MODELS OF THERMOBARIC
TREATMENT OF THE BOTTOMHOLE FORMATION ZONE
OIL AND GAS WELLS**

Измайлова Г.Р., Гулимов А.В.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной университет»,
филиал г. Октябрьский, Российская Федерация

G.R. Izmaylova, A.V. Gulimov

FSBEI of HPE “Ufa State Petroleum Technological University”
branch, Oktyabrsky, the Russian Federation

e-mail: gulena-86@mail.ru

Аннотация. Как известно, наиболее широкое применение на практике нашли, так называемые, пороховые генераторы давления (ПГД) - в корпусных генераторах давления горение порохового заряда (ПЗ) происходит в специальной стальной камере, изолированной от скважинной жидкости, в бескорпусных – непосредственно в последней.

В настоящей работе рассматриваются элементы математической модели повышения проницаемости призабойной зоны пласта (ПЗП) при горении бескорпусного заряда и, на основе этой модели, оценивается возможная эффективность применения термобарического воздействия (ТБВ). Расчеты приведены для ряда случаев:

неперфорированной скважины, открытого забоя и перфорированной скважины.

Очевидно, оценка эффективности термобарического воздействия на призабойную зону пласта с целью увеличения проницаемости нефтегазовой скважины (НГС) требует анализа влияния на проницаемость пласта ряда факторов.

Прежде всего, ясно, что эффективность термобарического воздействия связана с оценкой увеличения проницаемости ПЗП в результате фильтрации сквозь нее горячего газа, выделяющегося при горении заряда (топлива). Горячий газ, проходя через фильтрационные каналы в призабойной зоне пласта, расплавляет твердые отложения в виде парафинов, вязких асфальтено-смолистых веществ. Причем, вследствие большой теплопроводности обсадных колонн, температура пороховых газов уменьшается. При построении данной математической модели сделаны ряд упрощений, а именно: взаимодействие порохового газа и скважинной жидкости не учитывает парообразование части жидкости вблизи газового пузыря, не учитывается нагрев обсадных колонн и труб. Представляет научный интерес дальнейшее исследование термобарического воздействия на призабойную зону пласта, с учетом всех основных допущений.

Abstract. It is known, that the so called powder generators pressure (PGP) have found the widespread application in practice. In body pressure generators power charge combustion takes place in a special steel chamber isolated from well liquid, but in bodyless generators directly in the well liquid.

In this work there has been considered the mathematical model elements of formation bottom-hole zone permeability increase by combustion of bodyless charge and based on the model there has been estimated the possible employment effectiveness of thermal pressure treatment. The calculations have been made lot a number of cases: for non-perforated well, opened out well bottom and perforated well.

Apparently the estimation of thermal vacuum bottom-hole-zone treatment to increase permeability of oil and gas wells requires the analysis of a number of factors influence on the bottom-hole-zone permeability.

It's clear first of all that thermal pressure treatment efficiency is found up with the estimation of bottom-hole-zone permeability increase by hot filtration through is resulted in gas escape due to charge combustion. The hot gas passes through the filtration channels in the bottomhole formation zone, melts the solid deposits in the form of paraffin, asphaltene - viscous tar. Moreover, due to the high thermal conductivity of casing, the temperature of the powder gases is reduced. To construct this mathematical model number of simplifications are made, namely the interaction of powder gas and the wellbore fluid does not allow evaporation of the liquid near the gas bubble is not considered heating casing and pipes. It is of scientific interest in further investigation of thermobaric treatment of the bottomhole formation zone, with all the basic assumptions.

Ключевые слова: пороховые генераторы давления ПГД, термобарическое воздействие ТБВ, газовый пузырь ГП, псевдокритическая температура, генерация давления, генерация температуры, коэффициент гидравлического совершенства.

Key words: powder generators pressure PGP, thermobaric effect TBE, the gas bubble GB, pseudocritical temperature, generation of pressure, generation of the temperature, well perfection coefficient.

Термобарическое воздействие можно условно разделить на барическую и термическую (термо–газохимическую) составляющие, возможность их синергетического действия не очевидна.

1 Генерация давления и температуры при горении бескорпусного заряда в неперфорированной скважине

Генерация давления. Начнем с рассмотрения мгновенного (взрывного) сгорания ПГД в неперфорированной скважине со свободной поверхностью скважинной жидкости на устье скважины.

В [1] оценка генерируемого при сгорании топлива давления осуществляется на основе закона для идеальных газов Менделеева - Клайперона, что, конечно, нельзя считать корректным.

Теоретические аспекты ТБВ рассмотрены в [2, 3]; в настоящей работе на основе указанных источников и уравнений газовой динамики физики взрыва [4] получены физически обоснованные сравнительно простые аппроксимации, позволяющие рассчитывать параметры динамики газового пузыря.

В связи с высокой температурой горения заряда, намного превышающей псевдокритическую, можно считать, что в начальный момент времени $t = 0$ давление $P_r(0)$ газового пузыря (ГП) будет определяться формулой:

$$P_z(0) = \left(\frac{r_c}{r_3} \right)^2 \frac{\rho_{mв}}{\rho_z} P_{атм}, \quad (1)$$

где r_3 и r_c - радиусы ПГД и скважины, $\rho_{mв}$ и ρ_z - плотности заряда в твердой и газовой фазах (при условиях $T = 20$ °С и $P = 10^5$ Па). В расчетах примем $r_c = 0,1$ м, $r_3 = 0,05$ м, $\rho_{mв} = 1900$ кг/м³ и $\rho_z = 1,98$ кг/м³ (плотность углекислого газа при нормальных условиях).

Важнейшей характеристикой горения является адиабатическая температура горения $T_{гор}$; для ПГД можно принять $T_{гор} = 2500$ °С [5].

Поскольку в рамках рассматриваемой модели в начальный момент времени происходит турбулентное перемешивание газа и скважинной жидкости, начальная температура продуктов горения будет описываться формулой:

$$T_z(0) = \frac{1}{2} \left(T_{гор} \left(\frac{r_c}{r_3} \right)^2 + T_{сж} \right), \quad (2)$$

где $T_{сж}$ - температура скважинной жидкости принята равной 50°С.

При определенных выше параметрах начальная температура газового пузыря равна $T_z(0) = 338$ °С.

Высокая температура ГП повышает давление; для учета температурного эффекта давление пороховых газов $P_z(0)$ рассчитывается по формуле

$$P_z(0) = \left(\frac{r_c}{r_3} \right)^2 \frac{\rho_{мв}}{\rho_z} P_{атм} \left(\frac{T_z(0)}{T_{20}} \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}}, \quad (3)$$

где показатель адиабаты $\alpha = 1,4$ [4]. При вышеуказанных параметрах $P_z(0) = 170$ МПа.

Таким образом, в рассматриваемой модели предполагается мгновенное формирование ГП при поршневом вытеснении скважинной жидкости (СЖ), при этом ГП принимает форму цилиндра радиуса r_c и высотой, определяемой массой, плотностью заряда и гидростатическим давлением столба скважинной жидкости. Аналогичные допущения приняты в [3].

Начальный объем газового пузыря составит $V(0) = V_3$, где V_3 – объем заряда, $V_3 = \frac{M_3}{\rho_{мв}}$. В расчетах примем $M_3 = 5$ кг.

Изменение давления в газовом пузыре опишем уравнением [4] (с учетом линеаризации).

$$P_z(t) = A \left(\frac{V_z(0)}{V_z(t)} \right)^\alpha = A \left(\frac{H_z(0)}{H_z(t)} \right)^\alpha = A \left(1 - \frac{\alpha(H_z(t) - H_z(0))}{H_z(0)} \right), \quad (4)$$

где A – размерный множитель, $V(t)$ – объем пузыря в момент t , $H_z(0)$ – высота газового пузыря в момент времени $t = 0$. В любой момент времени t высота газового пузыря равна $H_z(t) = \frac{V_z(t)}{\pi r_c^2}$.

Качественно в изменении размеров газового пузыря выделяются следующие фазы:

1) Фаза роста газового пузыря, происходящего, пока давления в пузыре будет превосходить гидростатическое: $P_z > P_{zcm}$. На этой фазе пузырь будет расширяться с ускорением:

$$a(t) = \frac{P_z(t) - P_{zcm}}{\pi r_c^2 M_{сж}} \quad (5)$$

где $M_{сж}$ – масса столба скважинной жидкости, P_{zcm} – гидростатическое давление.

Необходимо учесть потери давления вследствие гидравлического трения об колонну скважины. Поэтому сумма сил, действующих на скважинную жидкость равна (рисунок 1):

$$M_{сж} a(t) = F_{ГП} - M_{сж} g - \frac{1}{2} \frac{\mu_{тр}}{D} M_{сж} v_{сж}^2 \quad (6)$$

где $F_{ГП} = P_z(t) \pi r_c^2$ – сила поршневого давления ГП, $\mu_{тр}$ – коэффициент гидравлического трения скважинной жидкости, D – диаметр скважины, $v_{сж}$ – скорость движения скважиной жидкости. Коэффициент гидравлического трения зависит от числа Рейнольдса. Характер движения скважинной жидкости по трубе можно считать

ламинарным, поэтому $\mu_{тр} = 64/Re$, где Re – число Рейнольдса $Re = vD/\gamma$, где γ – кинематическая вязкость скважинной жидкости.

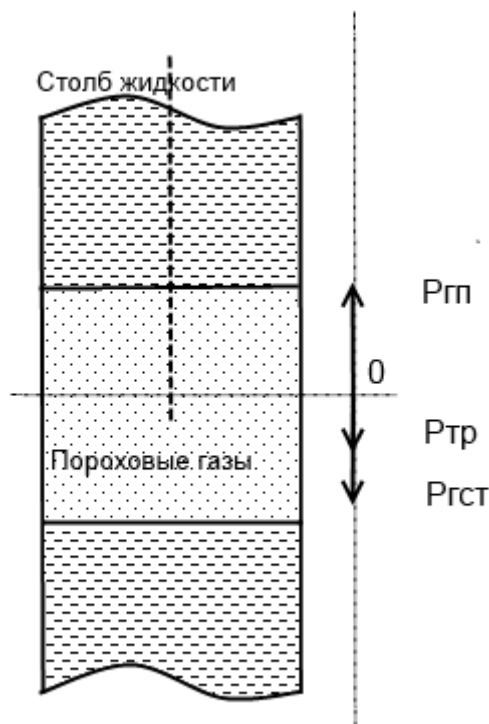


Рисунок 1. Схема действия сил на ГП в скважине.

Высота ГП со временем изменяется по закону:

$$H_z(t) = H_z(0) + \int_0^t v(t) dt, \quad (7)$$

где $v(t)$ – скорость роста ГП.

При вышеуказанных параметрах $H_z(0) = 0,83$ м. Поскольку $a(t) = \dot{v}(t)$, то

$$H_z(t) = H_z(0) + \int_0^t \int_0^t a(t) dt dt, \quad (8)$$

В силу (5) имеем:

$$H_z(t) = H_z(0) + \int_0^t \int_0^t \frac{P_z(t) - P_{zcm}}{\pi c^2 M_{cжe}} dt dt, \quad (9)$$

Заменим давление в формуле через (4), тогда

$$H_z(t) = H_z(0) + \frac{A}{\pi r_c^2 M_{сж}} \int_0^t \int_0^t \left(\left(\frac{H_z(0)}{H_z(t)} \right)^\alpha - P_{zcm} \right) dt dt \quad (10)$$

$$\frac{d(H_z(t) - H_z(0))}{dt dt} = \frac{A}{\pi r_c^2 M_{сж}} \left(\left(\frac{H_z(0)}{H_z(t)} \right)^\alpha - P_{zcm} \right) \quad (11)$$

Таким образом, изменение во времени величины $H_z(t)$ описывается нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка.

Динамика величины $H_z(t)$ определяет в силу вышеприведенных уравнений динамику и всех других параметров ГП.

Уравнение (11) допускает линеаризацию:

$$\frac{d(H_z(t) - H_z(0))}{dt dt} = -Const \cdot H_z(t) \quad (12)$$

Решение (12) описывается формулой:

$$H_z(t) = H_z(0) + \frac{1}{f} \sin(f \cdot t), \quad (13)$$

где $f = P_{zcm} / P_z(t)$.

Формула (13) аналогична формулам в [6,7].

Обозначим $x(t) = \frac{H_z(t) - H_z(0)}{H_{z \max} - H_z(0)}$, тогда динамика параметра $x(t)$

может быть описана формулой:

$$x(t) = \sin(f \cdot t) \quad (14)$$

Обозначим $y(t) = \frac{P_z(t) - P_{zcm}}{P_{z \max} - P_{zcm}}$, тогда динамика параметра $y(t)$

описывается формулой:

$$y(t) = \cos(f \cdot t) \quad (15)$$

Аналогичные результаты получены в [7].

2) Фаза сжатия. При достижении ГП максимального размера его ускорение станет равным $a = -a(0)$, и ГП начнет сжиматься до первоначальных размеров.

Таким образом, если не учитывать потери давления ГП, размеры ГП, его давление и другие параметры при условии поршневого вытеснения ГП скважинной жидкости будут совершать гармонические колебания. Реально потери давления ГП будут происходить вследствие гидравлического трения, пузырькового вытеснения ГП скважинной жидкости и других трудно учитываемых факторов. Учет потери давления осуществлялся по формуле $\exp(-bt)$. Оцененный по экспериментальным данным динамики давления ГП, приведенных в [5], коэффициент $b = 0,02 \text{ с}^{-1}$.

На рисунке 2 показано изменение высоты ГП при плотности скважинной жидкости 1 и $1,2 \text{ г/см}^3$ (и соответственном изменении величины $P_{\text{сст}}$). Как видно из рисунка 1, увеличение плотности скважиной жидкости обуславливает заметное увеличение частоты пульсаций ГП и уменьшение их амплитуды. Для повышения эффективности ТБВ, поэтому желательно заполнение скважины легкими нефтепродуктами.

Как видно из рисунка 2, в рассматриваемом примере рост ГП продолжается до 13 с в первом и до 11 с во втором случаях.

Изменение давления ГП показано на рисунке 3.

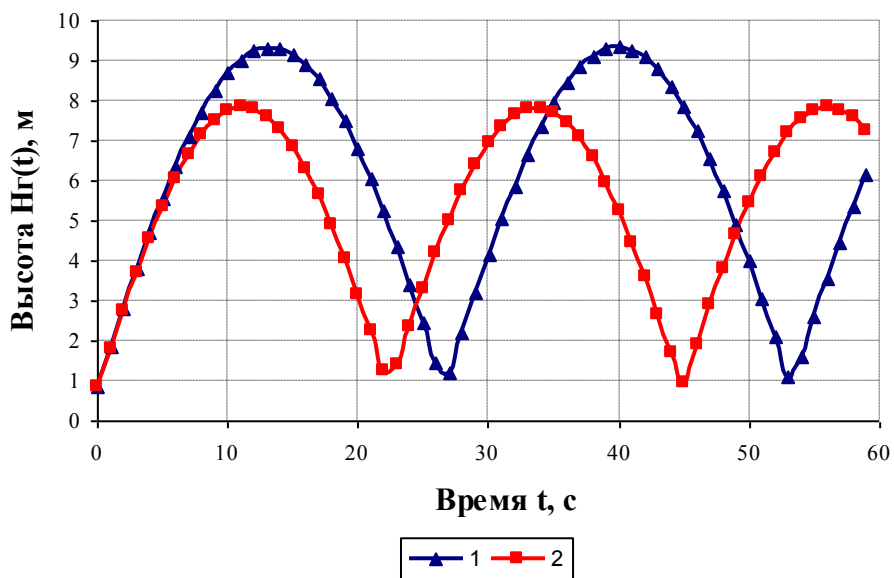


Рисунок 2. Изменение величины $H_g(t)$ в неперфорированной скважине (без учета потерь давления) при различной плотности скважинной жидкости. 1 - 1 г/см³ и 2 - 1,2 г/см³

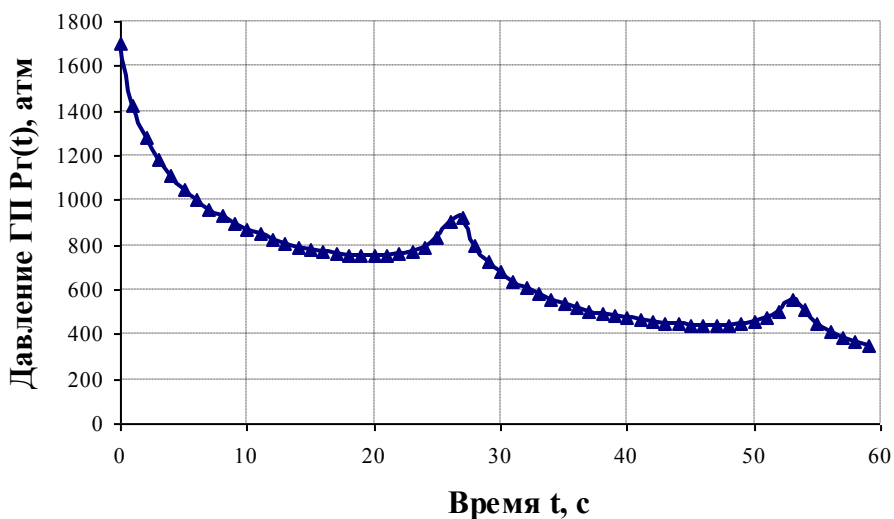


Рисунок 3. Изменение давления ГП при $P_{гст} = 200$ атм в неперфорированной скважине

Генерация температуры

Поскольку в рамках рассматриваемой модели в начальный момент времени происходит турбулентное перемешивание газа и скважинной жидкости, начальная температура продуктов горения будет описываться формулой (2).

При определенных выше параметрах $T_z(0) = 338$ °С.

Динамика температуры в рассматриваемой модели будет определяться формулой

$$T_z(t) = \text{Max} \left(T_{\text{сжж}} ; T_z(0) \cdot \left(\frac{P_z(t)}{P_z(0)} \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \right) \quad (16)$$

Динамика мгновенной температуры ГП показана на рисунке 4.

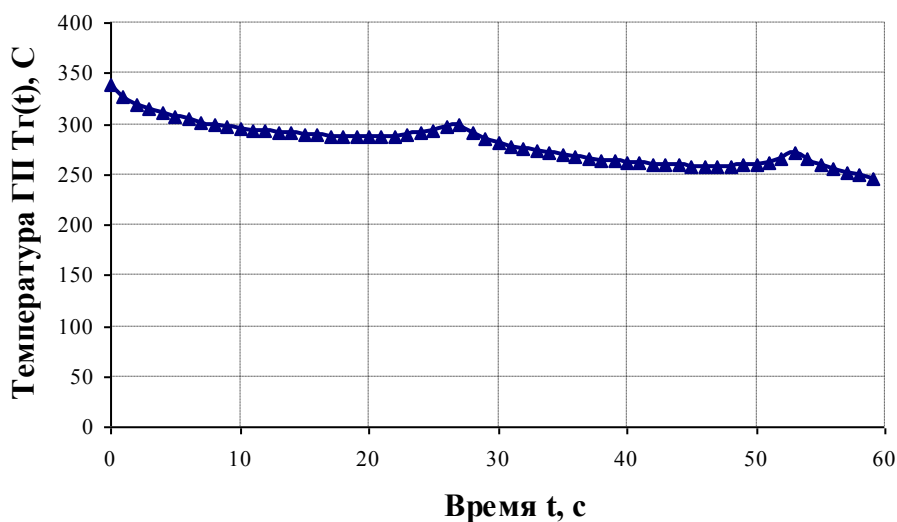


Рисунок 4. Динамика мгновенной температуры ГП при $P_{\text{сст}} = 200$ атм

Учет конечной скорости горения. Конечное время горения приведет к уменьшению значения $P_z(0)$ по формуле:

$$P_{zгор}(0) = P_z(0) \exp(-b \cdot t_{гор}), \quad (17)$$

где $t_{гор}$ – продолжительность горения, с.

Согласно инструкции [6], независимо от режима горения после завершения горения пульсация параметров ГП будет описываться выше описанными формулами.

2 Элементы математической модели термобарического воздействия (ТБВ) на нефтяной пласт

Генерация температуры и давления в нефтегазовых скважинах (НГС) с открытым забоем. Рассмотрим два варианта:

а) Возможность выделения интервала пласта.

Элементы технологии ТБВ включает в себя следующие моменты:

1. На основании результатов радиоактивного каротажа, позволяющего оценить коэффициент нефтенасыщенности κ_n (С/О каротаж – углерод-кислородный каротаж, спектрометрический нейтронный каротаж – СНГК) выделяется интервал пониженных значений κ_n при значениях проницаемости k_{np} не ниже средних по пласту.

2. С помощью взрывного пакера выделяется интервал пласта пониженных значений κ_n , равный начальной высоте $H_z(0)$ ГП.

3. ГП в выделенном интервале пласта будет расти с ускорением:

$$a(t) = P_{zпл} \cdot k_{np} / M \quad (18),$$

где $P_{znl}(t) = P_{zop}(t) - P_{nl}$, k_{np} – проницаемость пласта, $M = \rho \delta H_z(0)$, ρ – плотность пласта, P_{nl} – пластовое давление, δ – малая величина, имеющая размерность длины, вводимая для предотвращения появления сингулярности.

4. Таким образом, процесс роста ГП в пласте подобен, рассмотренному в разделе 1. Аналогично формуле (13), высота $H_z(t)$ ГП будет описываться формулой:

$$H_z(t) = H_z(0) + k_n \frac{1}{f} \sin(f \cdot t), \quad (19)$$

где $f = \frac{P_{nl}}{P_{zop}(0)}$, P_{nl} – пластовое давление, k_n – открытая пористость.

5. Динамика давления в пласте будет описываться формулой:

$$P_{zop}(t) = P_{zop}(0) \left(\frac{H_z(0)}{H_z(t)} \right)^\alpha \quad (20)$$

6. Динамика мгновенной температуры в пласте будет описываться формулой:

$$T_z(t) = \text{Max} \left(T_{nl}; T_z(0) \cdot \left(\frac{P_{zop}(t)}{P_{zop}(0)} \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \right), \quad (21)$$

где T_{nl} – пластовая температура.

б) Невозможность выделения интервала пласта.

При невозможности выделения интервала пласта для обработки элементы технологии ТБВ будут включать в себя следующие моменты:

1. ПГД размещается против подошвы пласта;
2. Рассчитывается величина $P_{zopM}(0)$

$$P_{zopM}(0) = \frac{H_z(0)}{l} \cdot P_{zop}(0), \quad (22)$$

где l – мощность пласта.

3. Динамика высоты $H_z(t)$ будет рассчитываться по идентичной формуле;

$$H_z(t) = H_z(0) + k_n \frac{1}{f} \sin(f \cdot t), \quad (23)$$

где $f = \frac{P_{nl}}{P_{згорМ}(0)}$, P_{nl} – пластовое давление, k_n – открытая пористость.

4. Динамика давления будет описываться формулой:

$$P_{zM}(t) = P_{згорМ}(0) \left(\frac{H_z(0)}{H_z(t)} \right)^\alpha \quad (24)$$

5. Динамика мгновенной температуры в пласте будет описываться формулой:

$$T_{zM}(t) = \text{Max} \left(T_{nl}; T_z(0) \cdot \left(\frac{P_{згорМ}(t)}{P_{згорМ}(0)} \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \right) \quad (25)$$

где T_{nl} – пластовая температура.

Генерация температуры и давления в НГС с перфорированным пластом

Элементы технологии ТБВ НГС с перфорированным пластом аналогичны вышеприведенным для скважин с открытым забоем.

Качество вскрытия скважин, как известно [5], характеризуется коэффициентом гидравлического совершенства k_{zc} : чем ближе значение этого коэффициента к нулю, тем ближе характеристики перфорированной скважины к неперфорированной.

Величина k_{zc} сложным образом зависит от ряда геологических и технологических факторов (плотность перфорации, размер перфорационных каналов, литология пласта, характеристика

скважинной жидкости, насыщенность пласта и др.); в настоящей работе величина k_{zc} определяется с учетом эффективных диаметров перфорационных каналов ПК (аналогично оценки контура питания скважины [8]) формулой:

$$k_{zc} = \frac{l}{n_{нк} \cdot d_{нк}} \ln \left(\frac{P_{ггop}(0)}{P_{пл}} \right) \quad (26)$$

где $n_{нк}$ – общее количество перфорационных каналов (ПК) в интервале пласта при условии их равномерного распределения, $d_{нк}$ – диаметр перфорационных каналов.

Учет влияния перфорации осуществляется путем умножения соответствующих формул, описывающих динамику ГП в открытом стволе, на коэффициент k_{zc} .

Таким образом, эффективность ТБВ тем выше, чем выше плотность перфорации и размер перфорационных каналов; поэтому для повышения эффективности ТБВ желательно многократное проведение прострелочных работ. Фактором, ограничивающим возможность уплотнения перфорации, являются требования к прочности эксплуатационной колонны (ЭК); поэтому на этапе проектирования ТБВ необходимо проведение каротажа по методу магнитно – импульсной дефектоскопии на базе аппаратуры типа МИД-К, позволяющей оценить фактическое число ПК и остаточную прочность ЭК.

Технические характеристики кумулятивного перфоратора типа ПК85ДУ [5] приводится в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики перфоратора ПК85ДУ

Плотность перфорации за 1 спуск, отв/м	Мощность пласта, м	Диаметр ПК, мм
12	6	15

Как следует из приведенных в таблице 1 данных, для пласта метровой мощности за 1 спуск обеспечивается значение $k_{zc} = 0,18$.

3 Оценка эффективности ТБВ

Как показано в настоящей работе, эффективность ТБВ сложным образом зависит от ряда факторов, как техногенных, так и геологических.

В рассматриваемой модели свойства самого порохового заряда выражаются обобщенно, через его массу, плотность заряда и плотность газообразных продуктов горения, диаметр (предполагается, что заряд имеет цилиндрическую форму), скорость горения и адиабатическую температуру горения (которую можно считать условно – постоянной).

В примерах, приводимых в настоящей работе, диаметр порохового заряда принят равным 0,1 м, что позволяет применять ПГД в НГС разного метрического сорта ЭК.

Как уже отмечалось, начальная высота ГП при вышеуказанной плотности и массы заряда составляет 0,83 м.

В скважинных условиях практически единственным возможным законом горения порохового заряда является линейный [7].

С учетом отмеченного и вышеприведенных результатов, возможность ТБВ на пласт определяется неравенством:

$$P_{ггор}(0) \cdot k_{гс} \cdot \exp(-bt_{ггор}) < P_{пл}, \quad (27)$$

отсюда

$$t_{ггор} < \frac{1}{b} \ln \left(\frac{P_{ггор}(0) \cdot k_{гс}}{P_{пл}} \right) \quad (28)$$

Пример. При трехкратном проведении перфорации пласта пористостью $k_n=0,2$, мощностью $l=6$ м при пластовом давлении $P_{пл}=300$ атм, гидростатическом давлении $P_{гст}=200$ атм фильтрация газа в пласт невозможна, при выделении интервала пласта время горения заряда не должно превышать 76 с.

Изменение давления ГП при вышеприведенных условиях показано на рисунке 5, динамика мгновенной температуры – на рисунке 6.

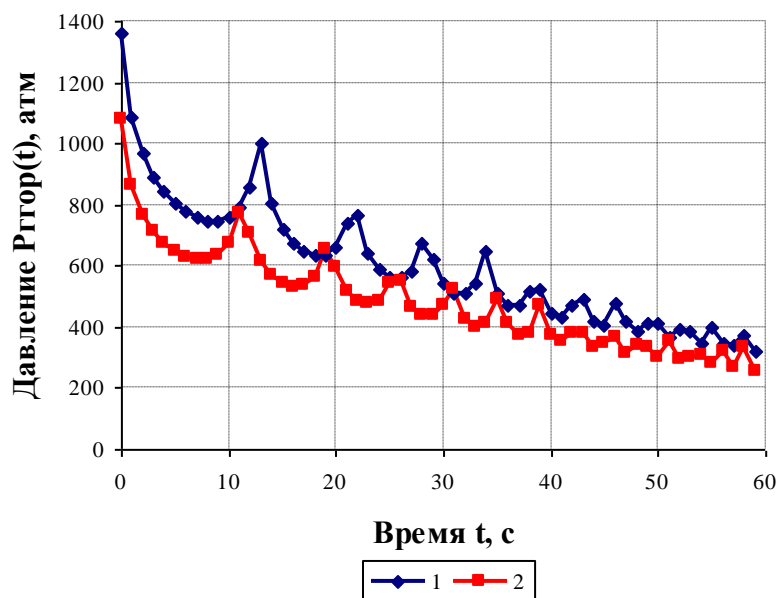


Рисунок 5. Изменение давления ГП при выделении интервала пласта и трехкратной его перфорации.

Время горения заряда: 1 – 1 с, 2 – 5 с

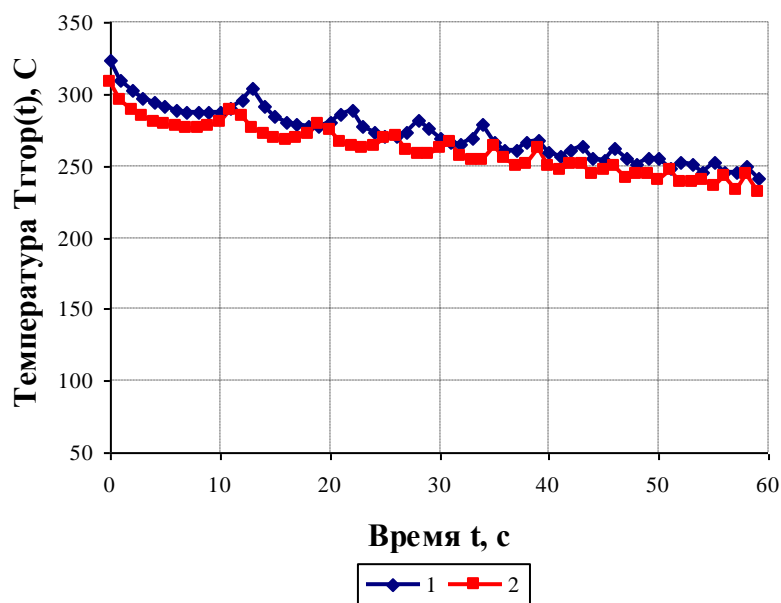


Рисунок 6. Динамика мгновенной температуры ГП при выделении интервала пласта и троекратной его перфорации
 Время горения заряда: 1 – 1 с, 2 – 5 с

Замечание: При $P_{гор}(0) < P_{пл}$ независимо от плотности перфорации против ПК будут возникать газовые пузыри. По-видимому, эффективность ТБВ во многих случаях обусловлена очисткой ПК от кольматантов.

Эффективность термического воздействия на пласт может быть оценено средним значением мгновенной температуры по интервалу роста ГП.

Выводы

В данной статье рассмотрено термобарическое воздействие на призабойную зону пласта при сжигании порохового заряда в нефтегазовой скважине. Математическая модель строится, начиная с простейшего варианта неперфорированной скважины без учета

времени горения заряда. Учет времени горения приводит к уменьшению давления пороховых газов в скважине. Вариант открытого забоя скважины и перфорированной скважины отличается введением коэффициента гидравлического совершенства, рассчитываемой по формуле (26).

В дальнейшем планируется усовершенствовать математическую модель термобарического воздействия, необходимо учесть потери давления, вызванные гидравлическим трением. А так же учесть потерю давления из-за фильтрации горячего газа в пласт.

Список используемых источников

1. Чазов Г.А., Мальцев Н.А., Коновалов В.М. Расчет процессов при применении термогазохимического способа воздействия на призабойную зону скважины // Нефтепромысловое дело. 1972. №5. С. 34 – 37.
2. Основные уравнения процесса обработки прискважинной зоны пласта пороховыми газогенерирующими устройствами/ Балдин А.В. [и др.] // Нефтепромысловое дело. 2004. №1. С. 16-20.
3. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. М.: Оборонгиз, 1962. 700 с.
4. Физика взрыва./ Баум Ф.А. [и др.] М.: Физматлит, 1959. 800 с.
5. Геофизические методы исследования скважин. Справочник геофизика. М.: Недра, 1983. 246 с.
6. Инструкция по применению пороховых генераторов давления ПГД БК/ Беляев Б.М. [и др.] М.:ВИЭМС, 1989. 45 с.

7. Крощенко В.Д., Санасарян Н.С., Павлов В.И. К вопросу газодинамического воздействия на пласт продуктов горения топлив// Каротажник. 2003. Вып. 106. С. 67-172.

References

1. Chazov G.A., Mal'cev N.A., Konovalov V.M. Raschet processov pri primeneniі termogazohimicheskogo sposoba vozdeistviya na prizaboinuyu zonu skvazhiny // Neftepromyslovoe delo, 1972. №5. S. 34 - 37. [in russian].

2. Osnovnye uravneniya processa obrabotki priskvazhinnoi zony plasta porohovymi gazogeneriruyushimi ustroistvami/ Baldin A.V. [i dr.] // Neftepromyslovoe delo, 2004. №1. S. 16-20. [in russian].

3. Serebryakov M.E. Vnutrennyaya ballistika stvol'nyh sistem i porohovyh raket. M.: Oborongiz, 1962. 700 s. [in russian].

4. Fizika vzryva./ Baum F.A. [i dr.] M.: Fizmatlit, 1959. 800 s. [in russian].

5. Geofizicheskie metody issledovaniya skvazhin. Spravochnik geofizika. M.: Nedra, 1983. 246 s. [in russian].

6. Belyaev B.M., Gribanov N.N. [i dr.] Instrukciya po primeneniyu porohovyh generatorov davleniya PGD BK. M.:VIEMS, 1989. 45 s. [in russian].

7. Kroshenko V.D., Sanasaryan N.S., Pavlov V.I. K voprosu gazodinamicheskogo vozdeistviya na plast produktov goreniya topliv // NTV «Karotazhnik», 2003. vyp. 106. S. 167-172. [in russian].

Сведения об авторах**Information about authors**

Измайлова Г.Р., преподаватель кафедры «Информационных технологий, математики и естественных наук», ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал г. Октябрьский, Российская Федерация

G. R. Izmaylova, the Teacher of the Chair of “Information Technology, Mathematics and Science”, FSBEI of HPE USPTU, branch, Oktyabrsky, the Russian Federation

Гулимов А.В., ведущий специалист ОАО НПП «ВНИИГИС», г. Октябрьский, Российская Федерация

A. V. Gulimov, Leading Specialist of Research Institute of Well Logging “VNIIGIS”, Oktyabrsky, the Russian Federation

e-mail: gulena-86@mail.ru