

Расчет обработки призабойной зоны скважины соляной кислотой

Скважины, эксплуатирующие слабопроницаемые пласты (песчаники, цементированные глинистой фацией, плотные известняки), нередко оказываются малодебитными. Для увеличения их производительности проводят солянокислотную обработку. Этот процесс основан на способности соляной кислоты растворять известковистые породы.

В нефтесодержащих породах нередко присутствуют в тех или иных количествах известняки, доломиты или карбонатные цементирующие вещества. Такие породы соляная кислота хорошо растворяет, при этом происходят следующие основные реакции.

При воздействии на известняк



При воздействии на доломит



Хлористый кальций (CaCl_2) и хлористый магний (MgCl_2) - это соли, хорошо растворимые в воде - носители кислоты, образующейся в результате реакции. Углекислый газ (CO_2) также легко удаляется из скважины, либо при соответствующем давлении растворяется в той же воде. В кислоте всегда присутствуют примеси, которые при взаимодействии с ней могут образовать не растворимые в растворе нейтрализованной кислоты осадки. Выпадение этих осадков в порах пласта снижает проницаемость ПЗС. К числу таких примесей относятся следующие:

1. Хлорное железо (FeCl_3), образующееся в результате гидролиза гидрата окиси железа [$\text{Fe}(\text{OH})_3$], выпадающего в виде объемистого осадка.
2. Серная кислота H_2SO_4 в растворе при ее взаимодействии с хлористым кальцием CaCl_2 образует гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), который удерживается в растворе лишь в незначительных количествах. Основная масса гипса выпадает в осадок в виде волокнистой массы игольчатых кристаллов.

3. Некоторые реагенты, вводимые в раствор кислоты в качестве антикоррозионных добавок (например, ингибитор ПБ-5).

4. Фтористый водород и фосфорная кислота, которые при некоторых технологических схемах производства соляной кислоты в ней присутствуют и при реагировании с карбонатами образуют в пласте нерастворимые осадки фтористого кальция (CaF_2) и фосфорнокислого кальция $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$.

Рецептуру приготовления раствора отработывают либо в промышленных лабораториях, либо в исследовательских институтах. К раствору HCl добавляют следующие реагенты:

1. Ингибиторы - вещества, снижающие коррозионное воздействие кислоты на оборудование, с помощью которого раствор HCl транспортируют, перекачивают и хранят. Обычно ингибиторы добавляются в количестве до 1% в зависимости от типа ингибитора и его исходной концентрации. В качестве ингибиторов используют: формалин (0,6%), снижающий коррозионную активность в 7 - 8 раз; уникол - липкую темно-коричневую жидкость (например, уникол ПБ-5) (0,25 - 0,5%), снижающую коррозионную активность в 30 - 42 раза. Однако поскольку уникол не растворяется в воде, то из нейтрализованной (отреагированной) кислоты он выпадает в осадок, поэтому его концентрацию уменьшают до 0,1 %, что снижает коррозионную активность только до 15 раз. Для высоких температур и давлений разработан ингибитор - реагент И-1-А (0,4%) в смеси с уротропином (0,8%), снижающий коррозионную активность (при $t = 87^\circ\text{C}$ и $P = 38 \text{ МПа}$) до 20 раз.

Ингибитор катапин А считается одним из лучших. При дозировке 0,1 % от объема рабочего кислотного раствора он в 55 - 65 раз снижает коррозионную активность раствора, при 0,025% (0,25кг на 1 м³ раствора) - в 45 раз. Однако его защитные свойства сильно ухудшаются при высоких температурах. Поэтому при $t = 80 - 100^\circ\text{C}$ его дозировка увеличивается до 0,2 % с добавкой 0,2 % уротропина. Кроме того, катапин А является хорошим катионоактивным ПАВ. Имеются и другие реагенты, используемые для снижения коррозионной активности

раствора HCl.

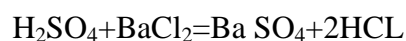
2. Интенсификаторы - поверхностно-активные вещества (ПАВ), снижающие в 3 - 5 раз поверхностное натяжение на границе нефти - нейтрализованная кислота, ускоряющие и

облегчающие очистку призабойной зоны от продуктов реакции и от отреагировавшей кислоты.

Добавка ПАВ увеличивает эффективность кислотных обработок. Некоторые ингибиторы, такие как катапин А, катамин А, мервелан К (0), одновременно выполняют роль интенсификаторов, так как являются и активными ПАВами. В качестве интенсификаторов используют также такие ПАВы, как ОП-10, ОП-7, 44 - 11, 44 - 22 и ряд других. Учитывая потерю ПАВ на поверхности породы в результате абсорбции в головной части нагнетаемого раствора HCL, концентрацию

реагента увеличивают примерно в 2 - 3 раза.

3. Стабилизаторы - вещества, необходимые для удерживания в растворенном состоянии некоторых продуктов реакции примесей раствора HCL с железом, цементом и песчаниками, а также для удаления из раствора соляной кислоты вредной примеси серной кислоты и превращения ее в растворимую соль бария



В этом случае раствор HCL перед закачкой в скважину обрабатывают раствором хлористого бария (BaCl₂). Образующийся сернокислый барий (BaSO₄) легко удерживается в растворе и удаляется из пор пласта в жидком состоянии вместе с другими продуктами реакции.

Соляная кислота, взаимодействуя с глинами, образует соли алюминия, а с цементом и песчаником - гель кремниевой кислоты, выпадающие в осадок. Для устранения этого и используют стабилизаторы - уксусную (CH₃COOH) и плавиковую (HF) (фтористоводородную)

кислоты, а также ряд других (лимонная, винная и др.).

Расчет кислотной обработки призабойной зоны скважины сводится к определению объема рабочего раствора соляной кислоты выбранной концентрации, количества воды, необходимой для его приготовления, количества различных добавок к рабочему раствору: ингибиторов коррозии, стабилизаторов или замедлителей скорости реакции между соляной кислотой и породой, интенсификаторов или ПАВ.

При наличии в скважине зумпфа – отстойника следует рассчитать также количество хлористого кальция, необходимого для приготовления раствора с целью заполнения зумпфа и изоляции его от кислотного раствора.

Методика расчета кислотного состава

Задача 1. Определить необходимое количество соляной кислоты и других химреагентов для обработки нефтяной скважины, имеющей следующую характеристику: глубина 1645 м; пласт представлен песчаником с контактными и глинистыми цементами; эффективная толщина пласта 20 м; проницаемость пород $0,06 \times 10^{-12} \text{ м}^2$; пластовое давление 10 МПа; ниже вскрытой части пласта в эксплуатационной колонне имеется зумпф – отстойник глубиной 15 м; внутренний диаметр эксплуатационной колонны 0,15 м; внутренний диаметр НКТ 0,062 м.

Решение. Для заданных условий концентрацию кислоты для первичных обработок принимают 8 – 10 %. Примем 10 %.

Количество кислоты, расходуемой на 1 м толщины пласта, для песчаников составляет $0,4 - 0,6 \text{ м}^3$, принимаем $0,5 \text{ м}^3$. В этом случае общий объем рабочего кислотного раствора составит $0,5 \cdot 20 = 10 \text{ м}^3$.

На приготовление 10 м^3 10 %-ного рабочего солянокислотного раствора, согласно данным табл. 1 требуется 3890 кг. 27,5 %-ной HCl и $6,6 \text{ м}^3$ воды.

Таблица 1

Количество кислоты и воды, потребных для приготовления солянокислотного раствора

Объем разведенной кислоты, м ³	Концентрация разведенной кислоты, %			
	8	10	12	14
6	$\frac{1840}{4,38}$	$\frac{2330}{3,96}$	$\frac{2830}{3,52}$	$\frac{3320}{3,40}$
8	$\frac{2460}{5,84}$	$\frac{3110}{5,28}$	$\frac{3770}{4,64}$	$\frac{4400}{4,16}$
10	$\frac{3080}{7,30}$	$\frac{3890}{6,60}$	$\frac{4720}{5,87}$	$\frac{5560}{5,14}$

Примечание. В числителе – количество концентрированной кислоты, кг; в знаменателе – количество воды, м³.

Количество концентрированной товарной соляной кислоты для приготовления 10 %-ного рабочего соляно-кислотного раствора можно найти по формуле

$$W_k = \frac{AxW(B-z)}{Bz(A-x)} \quad (1)$$

где А и В – числовые коэффициенты, значения которых приведены ниже; х и z – концентрации соответственно рабочего соляно-кислотного раствора и товарной соляной кислоты; W – объем рабочего кислотного раствора, равный 10 м3.

А, В	214	218	221,5
z, х	5,15 – 12,19	13,19 – 18,11	19,06 – 24,78

Продолжение

А, В	226	227,5	229	232
z, х	25,75 – 29,57	29,95 – 31,52	32,1 – 33,4	34,42 – 37,22

В нашем случае для 10 %-ной соляной кислоты числовой коэффициент А = 214, а для 27 %-ной коэффициент В = 226; х – 10 %-ная концентрация солянокислотного раствора; z – 27,5 %-ная концентрация товарной кислоты; W = 10 м3 – объем рабочего кислотного раствора.

Следовательно, по формуле (1) имеем:

$$W_k = \frac{214 \cdot 10 \cdot 10(226 - 27,5)}{226 \cdot 27,5(214 - 10)} = 3,333 \text{ м}^3$$

После приготовления рабочего раствора соляной кислоты проверяют полученную концентрацию раствора HCl, и если она не соответствует выбранной, добавляют к раствору воду или концентрированную кислоту.

Количество добавляемой воды при концентрации HCl > 10%

$$q_v = \frac{(p_2 - p_1)W}{p - 1} \quad (2)$$

Количество добавляемой соляной кислоты, если концентрация HCl < 10%

$$q_x = \frac{(p - p_1)W}{p_3 - p} \quad (3)$$

где q_v и q_k – объемы добавляемой воды и концентрированной кислоты, м³; p – плотность раствора выбранной концентрации; p_1 и p_2 – плотность приготовленного раствора соответственно пониженной и повышенной концентрации; p_3 – плотность концентрированной соляной кислоты; W – объем солянокислотного раствора 10 %-ной концентрации.

В качестве ингибитора коррозии принимаем катионоактивный реагент – катион А в количестве 0,01 % объема рабочего кислотного раствора

$$Q_{и} = 10 \cdot 0,01 \cdot 0,01 = 0,001 \text{ м}^3.$$

Против выпадения из соляно-кислотного раствора содержащихся в нем солей железа добавляют в рабочий раствор уксусную кислоту в количестве

$$Q_{ук} = 1000 b_y \frac{W}{C_y} \quad (4)$$

где b_y – количество уксусной кислоты, % от рабочего раствора соляной кислоты ($b_y = f + 0,8$, где f – содержание в соляной кислоте железа, равное $f = 0,5$ %, тогда $b_y = 0,5 + 0,8 = 1,3$ %; W – объем рабочего солянокислотного раствора, равный 10 м³; C_y – концентрация уксусной кислоты (принимаем $C_y = 80$ %).

Подставляя числовые значения величин в формулу (4) имеем:

$$Q_{ук} = 1000 \cdot 1,3 (10/80) = 162,5 \text{ дм}^3.$$

Для растворения цементирующего породе силикатного и глинистого материалов, а также для очистки поверхности забоя от глинистой или цементной корки в рабочий раствор соляной кислоты добавляют плавиковую кислоту в количестве

$$Q_{пк} = 1000b_n (W / C_n) \quad (5)$$

где b_n – количество добавляемой плавиковой кислоты, % от объема рабочего солянокислотного раствора (обычно равный 1 – 2 %, принимаем 2 %); C_n – концентрация плавиковой кислоты (обычно составляет 40 %).

Подставляя численные значения величин в формулу (5), будем иметь:

$$Q_{пк} = 1000 \cdot 2 (10/40) = 500 \text{ дм}^3.$$

В качестве интенсификатора для понижения поверхностного натяжения, применяют препарат ДС (детергент «Советский»), который одновременно является ингибитором и наиболее активным понизителем скорости реакции соляной кислоты с породой. Большое снижение (в несколько раз) скорости реакции способствует более глубокому проникновению кислоты в пласт.

Необходимое количество ДС для 10 м³ раствора принимают из расчета 1 – 1,5 % рабочего солянокислотного раствора, принимаем

1 %, т. е. $10 \cdot 0,01 = 0,1 \text{ м}^3$ или 100 дм³.

Уточняем количество воды, необходимой для приготовления принятого объема рабочего солянокислотного раствора с учетом всех добавок:

$$V = W - W_k - \Sigma Q \quad (6)$$

где W – объем рабочего солянокислотного раствора, равный 10 м³; W_k – объем концентрированной товарной кислоты, равный 3,333 м³; ΣQ – суммарный объем всех добавок к солянокислотному раствору (уксусная и плавиковая кислоты, ДС).

$$\Sigma Q = 163 + 500 + 100 = 763 \text{ дм}^3 = 0,763 \text{ м}^3.$$

Следовательно, по формуле (6):

$$V=10-3,333-0,763 = 5,904 \text{ м}^3.$$

Для изоляции зумпфа – отстойника применяют раствор хлористого кальция относительной плотности 1,2.

Объем 1 м ствола скважины с внутренним диаметром $DВ = 0,15$ м составляет $0,785 \cdot 0,152 \approx 0,018$ м³, а объем 15 м зумпфа будет $0,018 \cdot 15 \approx 0,27$ м³.

Для получения 1 м³ хлористого кальция относительной плотностью 1,2 требуется 540 кг CaCl₂ и 0,66 м³ воды. Для изоляции всего зумпфа количество CaCl₂ составит $540 \cdot 0,27 = 146$ кг и воды $0,66 \cdot 0,27 = 0,18$ м³.

Перед обработкой скважины зумпф ее заполняют раствором хлористого кальция. Для этого трубы спускают на 1 – 2 м выше забоя, восстанавливают в скважине циркуляцию и при открытом затрубном пространстве закачивают раствор хлористого кальция и продавливают его в зумпф закачкой в трубы нефти в объеме выкидной линии (объем труб диаметром 0,062 м, длиной 100 м от насосного агрегата до устья скважины составит $0,00302 \cdot 100 = 0,3$ м³) плюс объем промывочных труб ($\pi d^2В / 4$) $H = 0,00302 \times 1630 = 4,96$ м³. Затем приподнимают трубы и устанавливают башмак промывочных труб у нижних отверстий фильтра, после чего в скважину закачивают кислоту.

При закачке кислота заполняет выкидную линию диаметром 0,062 м, длиной 100 м от насосного агрегата (объем ее составит $0,00302 \cdot 100 = 0,3$ м³), промывочные трубы диаметром 0,062 м, длиной 1630 м (объем их равен $0,00302 \cdot 1630 = 4,96$ м³) и нижнюю часть скважины от подошвы до кровли пласта (объем ее составит $0,018 \cdot 20 = 0,36$ м³), всего 5,58 м³. После этого устье герметизируют (закрывают затрубное пространство) и остаток рабочего солянокислотного раствора продавливают в призабойную зону скважины. Для вытеснения соляной кислоты из труб требуется 5,58 м³ нефти.

2.4 Расчет экономического эффекта от проведения СКО

Соляно-кислотная обработка была проведена в скважине №2134 – и вследствие чего мы получили дополнительно добытую нефть 1600 тонн.

Стоимостная оценка дополнительно добытой нефти рассчитывается:

$$PT = C1T * Q, (9)$$

где C1T - стоимость одной тонны нефти, которая составляет 2857руб.;

AQ - дополнительно добытая нефть, тонн.

$$PT = 2857 * 1600 = 4571 \text{ тыс. руб.}$$

2.4.1 Эксплуатационные расходы на дополнительно добытую нефть

Определяется по следующей формуле:

$$ЗЗ = Р1Т * Q, (10)$$

где Р1Т - эксплуатационные расходы на добычу одной тонны нефти, которые составляют 435,45 руб.

$$ЗЗ = 435,45 * 1600 = 696,72 \text{ тыс. руб.}$$

2.3.8 Калькуляция на проведение капитального ремонта скважины

Все вычисленные расходы представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Расходы на проведение капитального ремонта скважины.

Статья расходов	сумма, руб.
Основная и дополнительная зарплата	12946,85
Отчисления на социальные нужды	3625,12
Основные и вспомогательные материалы	17290
Амортизация основных фондов	514,8
Транспортные расходы	8910,2
Всего прямых затрат	43286,97
Цеховые расходы	12480
Всего стоимость одной СКО	55766,97
Стоимость одного часа работы	631,35

2.4.2 Экономический эффект

Экономический эффект - представляет собой превышение стоимостной оценки результатов от внедрения СКО над стоимостной оценкой затрат.

Экономический эффект от внедрения СКО определяем по формуле:

$$Э = РТ - ЗСКО, (13)$$

где Э - экономический эффект от проведения СКО;

РТ - стоимостная оценка результатов проведения СКО, руб.; ЗСКО - общие затраты на проведение СКО, руб.

$3 = 4571840 - 55766,97 = 4516073,03$ руб.

Источники:

1. http://2dip.su/%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D1%8B/17307/

2. Томск 2015 (Кафедра бурения скважин)