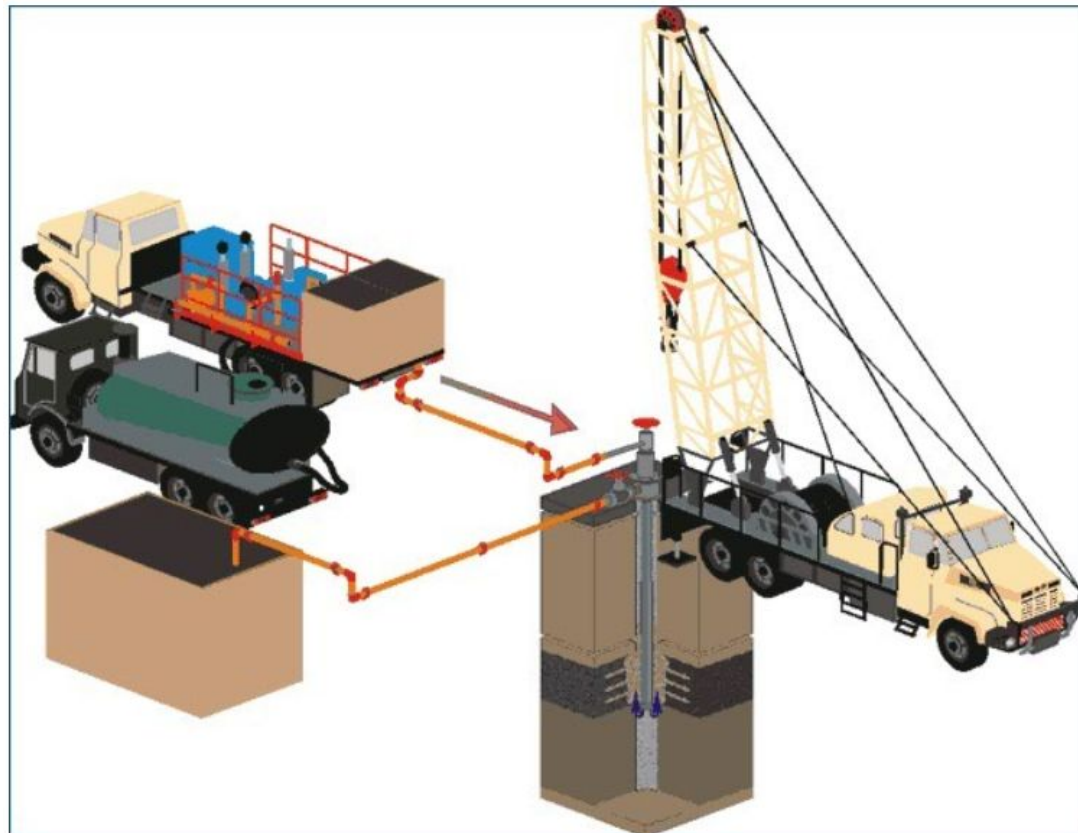
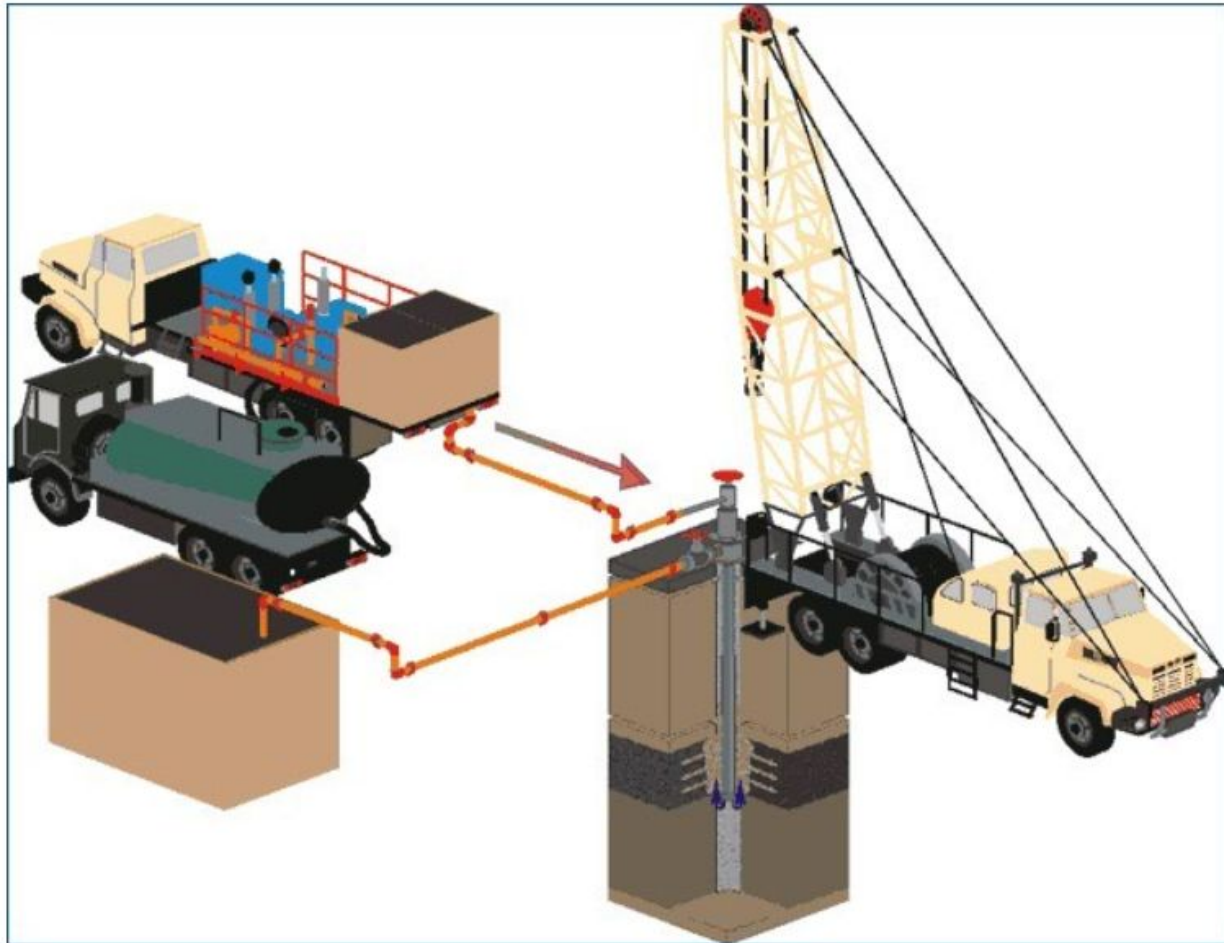


# ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОЛЯНОКИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ

Проектирование солянокислотной обработки сводится к выбору концентрации кислотного раствора, устанавливаемой экспериментально, а также к расчету необходимого количества товарной кислоты и химических реагентов.



# КИСЛОТНЫЕ ОБРАБОТКИ ПЭС



# Методы кислотного воздействия

Основаны на способности кислот растворять горные породы или цементирующий материал

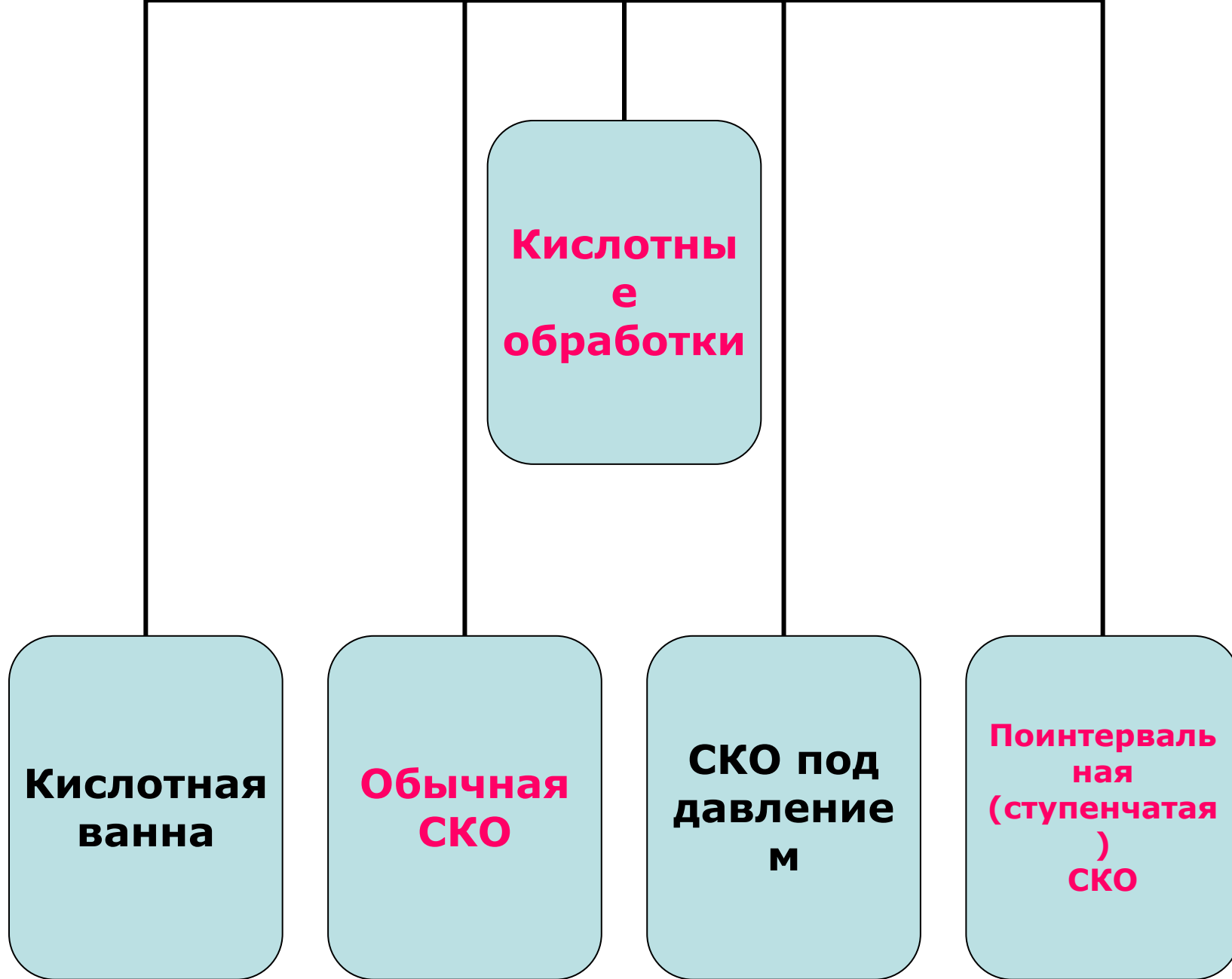
Кислотные  
обработки ПЗС

Обработка ПЗС  
терригенных  
коллекторов  
**(HF+HCL)**

Обработка ПЗС  
карбонатных  
коллекторов **(HCL)**

Растворение глинистых  
(цементных) частиц в  
ПЗС

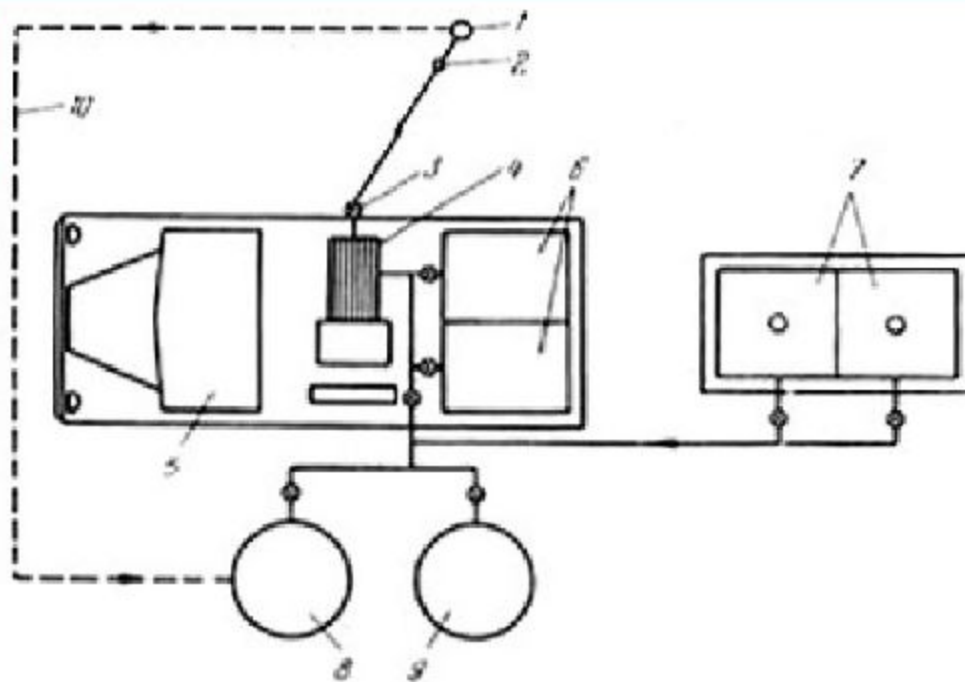
Растворение солей,  
выпавших в ПЗС



## Техника и технология кислотных обработок скважин

Рис. 1. Схема обвязки скважины при проведении простых кислотных обработок.

1 - устье скважины; 2 - обратный клапан; 3 - задвижка высокого давления; 4 - насос 4НК-500; 5 - агрегат Азинмаш 30А; 6 - емкость для кислоты на агрегате; 7 - емкость для кислоты на прицепе; 8 - емкость для продавочной жидкости; 9 - емкость для кислоты; 10 - линия для обратной циркуляции



Иногда для закачки используют два и более параллельно работающих агрегатов. Устье при обработке под давлением оборудуется специальной головкой и соединяется с выкидом насосного агрегата прочными трубами.

**При термокислотной обработке** используются реакционные наконечники из нефтепроводных труб диаметром 100 и 75 мм. Внутренняя полость трубы загружается магнием в виде стружки или брусков, а ее поверхность перфорируется мелкими отверстиями.

[Перейти на первую страницу](#)





# Наземное оборудование для проведения СКО



Насосные установки типа УНЦ1-160 предназначены для транспортировки и нагнетания в скважину смеси кислот при солянокислотной обработке призабойной зоны



Кислотовоз предназначен для перевозки раствора ингибированной соляной кислоты и подачи ее на прием насосной установки или в другие резервуары в районах с умеренным климатом

# Расчет СКО для известняка



или в количественных соотношениях

$$(40+12+3 \cdot 16) + 2(1+35,5)=(40+2 \cdot 35,5) + (2 \cdot 1+16) + (12+2 \cdot 16)$$

$$100\text{г} + 73\text{г} = 111\text{г} + 18\text{г} + 44\text{г}$$

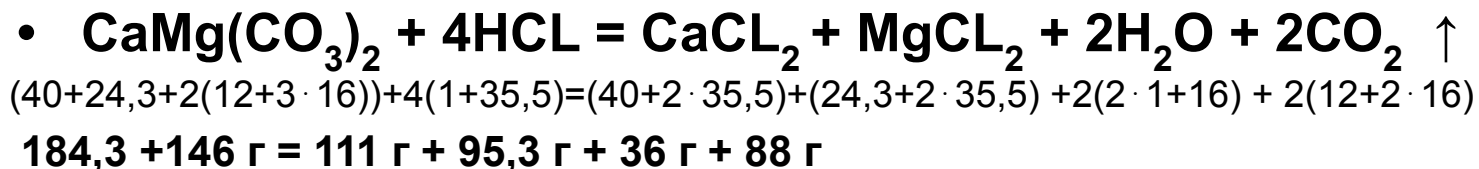
- При растворении **100 г** известняка **73 г** чистой HCl получается **111 г** растворимой соли хлористого кальция, **18 г** воды и **44 г** углекислого газа. На 1 кг известняка надо израсходовать 730 г. чистой HCl.

$$x = 73 \frac{1000}{100} = 730\text{г}$$

- 1 л 15%-ного раствора кислоты содержит **161,2 г** чистой HCl. Следовательно, для растворения 1кг известняка потребуется:

$$y = \frac{x}{161,2} = \frac{730}{161,2} = 4,53(\text{л}) \text{ раствора}$$

# Расчет СКО для доломита



- При растворении **184,3 г** доломита **146 г** чистой HCl получается **111 г** растворимой соли хлористого кальция, **95,3 г** растворимой соли хлористого магния, **36 г** воды и **88 г** углекислого газа.
- Для растворения 1 кг **ДОЛОМИТА** потребуется кислоты

$$x = 146 \frac{1000}{184,3} = 792,2(\text{г})$$

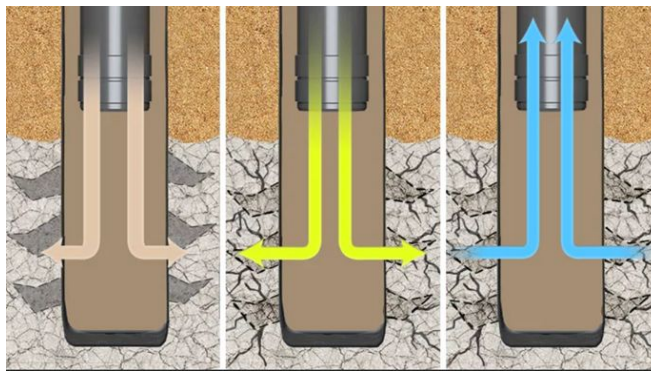
- или 15%-ного раствора HCl:

$$y = \frac{x}{1612} = \frac{792,2}{1612} = 4,914(\text{л})$$



# Назначение обычной СКО

- **закачка кислоты в пласт на значительное расстояние от стенки скважины с целью расширения размеров микротрещин и каналов, улучшения их сообщаемости между собой** (увеличивается проницаемость системы и дебит (приемистость) скважины).
- **Глубина проникновения кислоты в пласт зависит от:**
  - скорости реакции,
  - **вещественного (химического) состава породы,**
    - удельного объема кислотного раствора ( $\text{м}^3/\text{м}^2$  поверхности породы),
  - **температуры, давления и концентрации кислоты.**

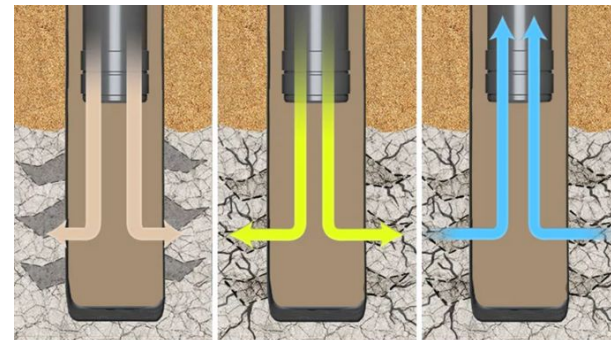


## Скорость реакции кислоты

- характеризуется **временем ее нейтрализации** при взаимодействии с породой **и зависит температуры:**
- В зависимости от вещественного состава карбонатной породы **скорость реакции возрастает от 1,5 до 8 раз** при повышении температуры от 20 до 60°C.
- Изменение концентрации кислотного раствора от **5 до 15%** HCl не оказывает практического влияния на скорость реакции даже при температуре 60°C.

# Концентрация растворов кислоты

- *Низкие концентрации* раствора *увеличивают глубину его проникновения в пласт*, но при этом возрастают требуемые объемы кислотного раствора (осложняется процесс освоения скважины после СКО из-за большого количества продуктов реакции).
- **Высокие концентрации раствора** приводят к образованию *насыщенных с повышенной вязкостью растворов*  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{MgCl}_2$ , которые трудно извлекаются из пласта при освоении. Кроме того, *существенно возрастает коррозия* оборудования и труб.
- кислотные растворы с концентрацией более 15%  $\text{HCl}$  хорошо растворяют гипс и ангидрит, образуя твердый осадок, выпадающий в ПЗС и снижая ее проницаемость.

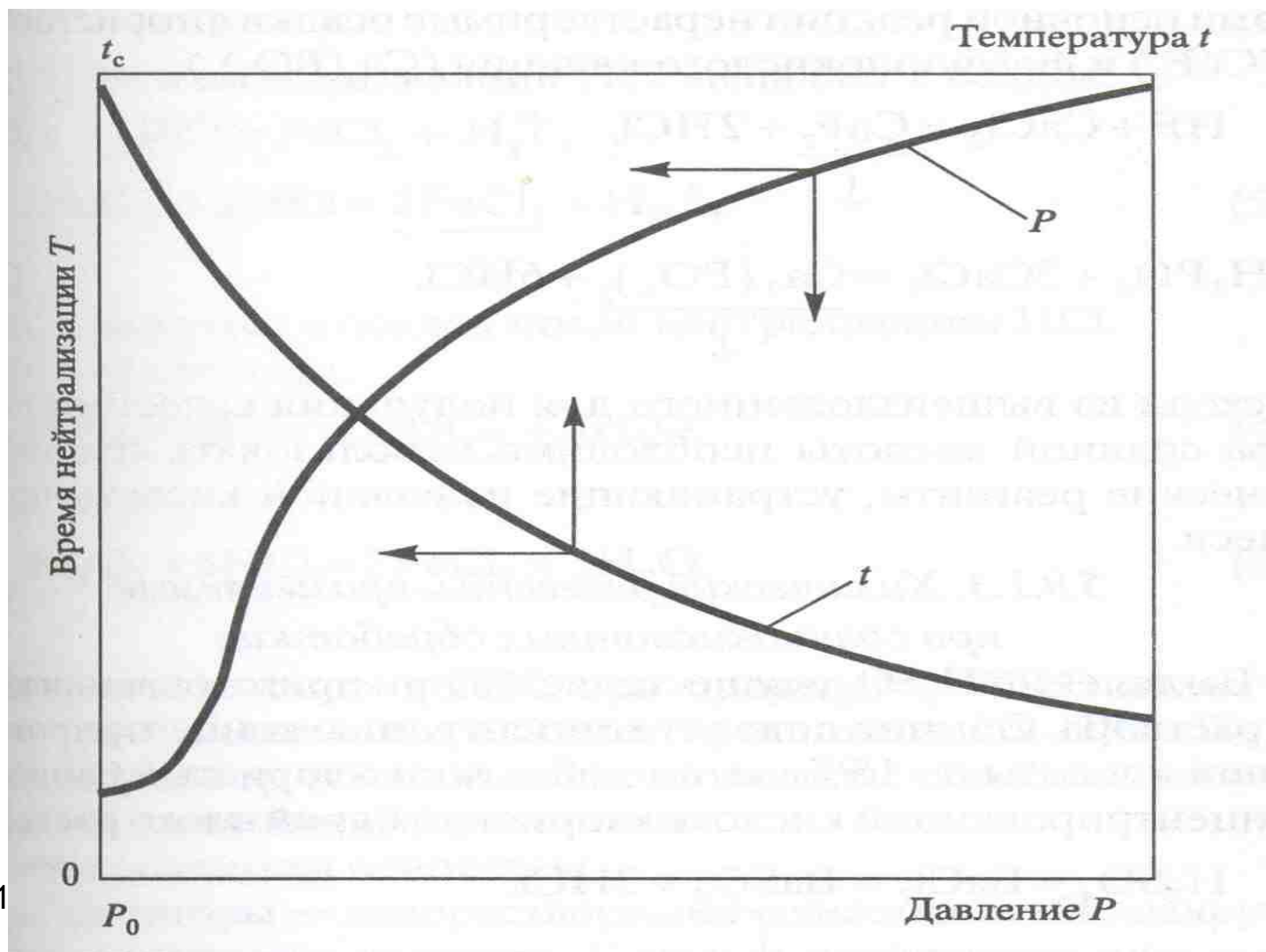


## Влияние давления на скорость реакции

- **Повышение давления приводит к снижению скорости реакции.**
- время нейтрализации 75% объема кислотного раствора **увеличивается в 7-10 раз** при повышении давления с 0,1 МПа до 0,7 МПа;
- *при увеличении давления от 0,7 до 1 МПа время нейтрализации увеличивается в 30-35 раз,*
- при увеличении давления с 2 до 6 МПа скорость реакции снижается в 70 раз.

# Влияние давления и температуры на время нейтрализации кислотного раствора

- $P_0$  – атмосферное давление;  $t_c$  – стандартная температура – 20 °С.



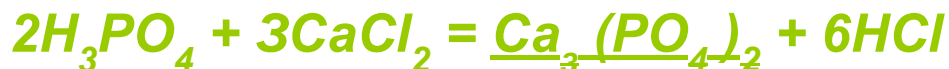
# Вредные примеси, присутствующие в концентрированной кислоте

1. Серная кислота  $H_2SO_4$  взаимодействует с продуктами  
основной реакции образует гипс,  
выпадающий в осадок:



2. Хлорное железо  $FeCl_3$   $Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2 \uparrow$   
 $FeCl_2$  преобразуется в  $FeCl_3$ , выпадающий в осадок.

3. Фтористый водород и фосфорная кислота,



образуют с продуктами реакции нерастворимые осадки фтористого кальция ( $CaF_2$ ) и фосфорнокислого кальция ( $Ca_3(PO_4)_2$ )



# Химические реагенты, добавляемые в раствор кислоты

- **Стабилизаторы** — водорастворимые вещества, стабилизирующие свойства кислотного раствора (предотвращают выпадение солей Al и Fe - **уксусная кислота (CH<sub>3</sub>COOH)**). 0,8 ÷ 2% от объема кислотного раствора.
- **Ингибиторы** — водорастворимые вещества, понижающие коррозионную активность HCl (**формалин** (до 1%) реагент **И-1-А** (до 0,4%) в смеси с уротропином (до 0,8%) **УФЭ<sub>8</sub>**, **ДС катапин-А**, реагент **В-2**, **карбозолин-О**, реагент «**Север-1**» )
- **Интенсификаторы** — вещества, обеспечивающие удаление продуктов реакции из ПЗС. ПАВ снижают межфазное натяжение, способствуют выносу воды и отмыву нефти с поверхности горной породы (**спирты**, **сульфокислоты**, **МЛ-72**, **ОП-10**, **марвелан К(О)**, реагент 4411, **тержитол**, катапин-А

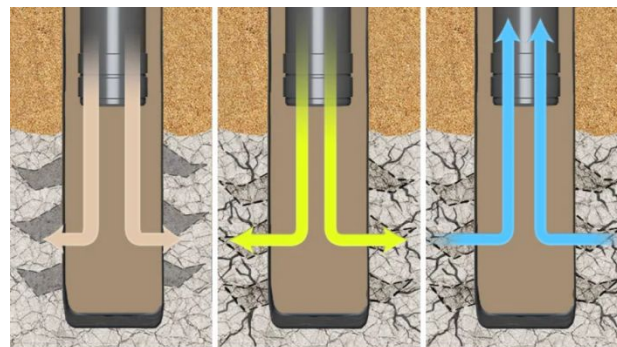
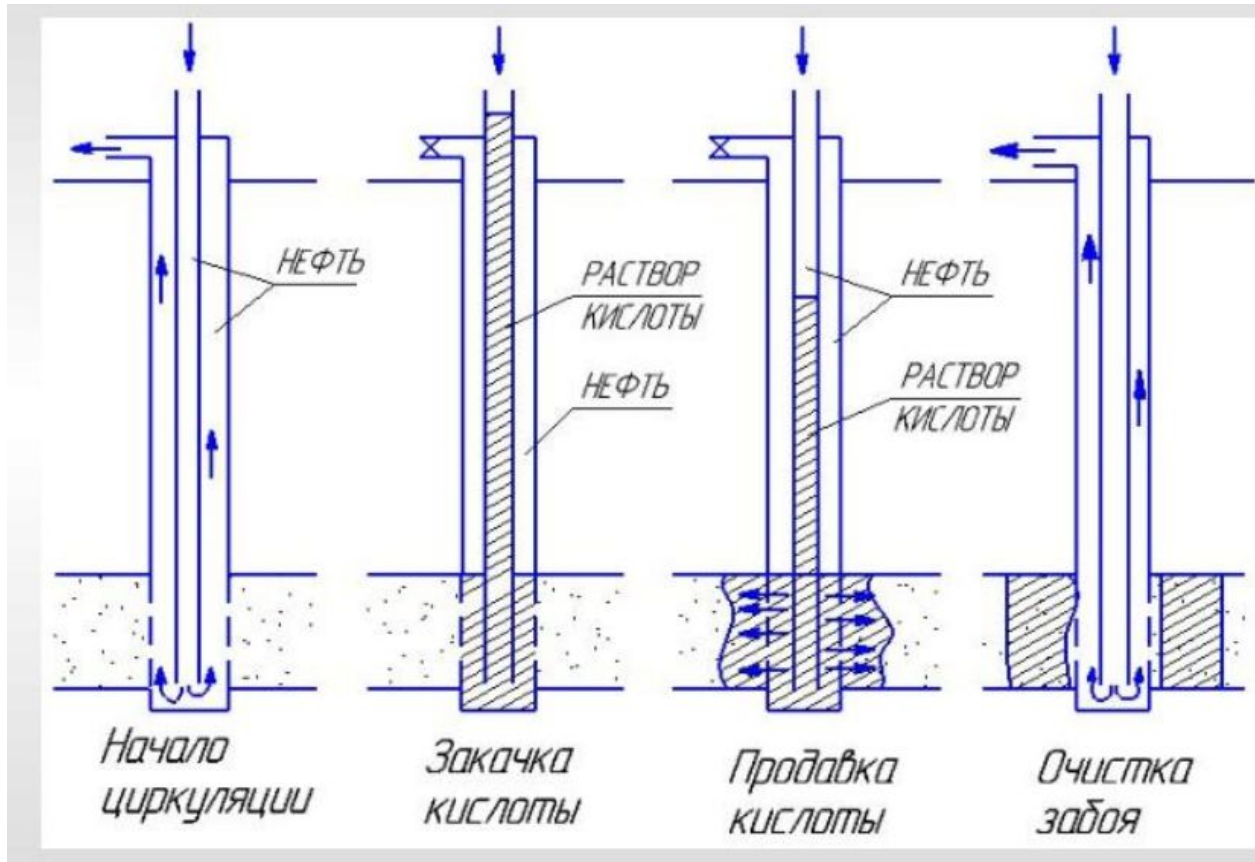
# Порядок приготовления раствора HCl

- вода
- ингибиторы
- стабилизаторы
- концентрированная соляная кислота
- хлористый барий
- интенсификаторы

# ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОБЫЧНОЙ СКО

- **Промывка скважины** (прямая, обратная или комбинированная - открытые задвижки на устье и затрубном пространстве).
- **Закачка расчетного объема кислотного раствора в скважину.**  
*Объем кислотного раствора зависит от толщины обрабатываемого пласта, свойств призабойной зоны и желаемой (рациональной) глубины обрабатываемой зоны:*
  - для низкопроницаемых коллекторов  $0,2 \div 0,6 \text{ м}^3/\text{м}$ ;
  - Для высокопроницаемых коллекторов  $0,2 \div 0,9 \text{ м}^3/\text{м}$ ;
  - для трещинных коллекторов — от  $0,3$  до  $0,9 \text{ м}^3/\text{м}$ .
- При закачке кислотного раствора в скважину в течение времени достижения им обрабатываемого пласта задвижка на затрубном пространстве открыта, после чего она закрывается.
- **Продавка кислотного раствора в ПЗС.** Агрегатом закачивают расчетный объем кислоты в скважину и продавливают **нефтью или водой** до полного поглощения пластом. После задавки кислотного раствора в пласт закрывается задвижка на устье скважины. Скважина закрыта.
- **Нейтрализация кислотного раствора за счет реагирования его с обрабатываемой породой** ( $1 \div 24$  ч).
- **Вызов притока и освоение, а затем — исследование скважины.**  
По результатам исследования до обработки и после судят о технологическом эффекте.

# ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОБЫЧНОЙ СКО



Норма расхода кислотного раствора  $v_p$  составляет 1–1,2 м<sup>3</sup> на один метр обрабатываемой толщины пласта. Тогда объем кислотного раствора

$$V_p = v_p h, \quad (10.1)$$

где  $h$  – обрабатываемый кислотным раствором интервал продуктивного пласта, м.

Объем товарной кислоты (в м<sup>3</sup>)

$$V_k = V_p x_p (5,09 x_p + 999) / [x_k (5,09 x_k + 999)], \quad (10.2)$$

где  $x_p$ ,  $x_k$  – соответственно объемные доли (концентрации) кислотного раствора и товарной кислоты, %.

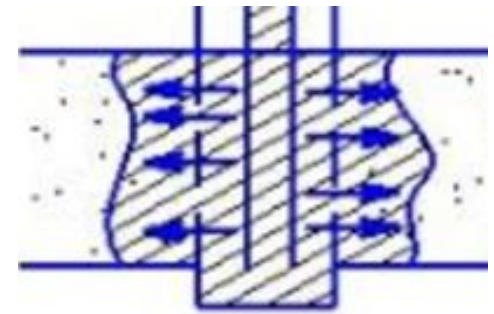
Если в процессе хранения и транспорта концентрация кислоты изменяется, то с учетом этого изменения объем товарной кислоты (в м<sup>3</sup>)  $V'_k$  рассчитывают по формуле

$$V'_k = V_p 5,09 x_p (5,09 x_p + 999) / [\rho_{k15} (\rho_{k15} - 999)], \quad (10.3)$$

где  $\rho_{k15}$  – плотность товарной кислоты при 15 °С, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{k15} = \rho_{kt} + (2,67 \cdot 10^{-3} \rho_{kt} - 2,5)(t - 15), \quad (10.4)$$

где  $\rho_{kt}$  – плотность кислоты при температуре  $t$ .



В качестве химических реагентов при солянокислотной обработке используют стабилизаторы (замедлители реакции), ингибиторы коррозии и интенсификаторы. Как правило, в технической соляной кислоте содержится до 0,4% серной кислоты, которую нейтрализуют добавкой хлористого бария, количество которого  $G_{хб}$  рассчитывают по формуле (кг)

$$G_{хб} = 21,3V\rho(ax_p / x_k - 0,02), \quad (10.5)$$

где  $a$  – объемная доля серной кислоты в товарной соляной кислоте, % ( $a \approx 0,4\%$ ).

Объем хлористого бария

$$V_{хб} = G_{хб} / \rho_{хб}, \quad (10.6)$$

где  $\rho_{хб}$  – плотность раствора хлористого бария, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{хб} \approx 4000$  кг/м<sup>3</sup>).



В качестве стабилизатора используют уксусную кислоту, объем которой рассчитывают по формуле

$$V_{\text{ук}} = b_{\text{ук}} V_p / c_{\text{ук}}, \quad (10.7)$$

где  $b_{\text{ук}}$  – норма добавки 100%-ной уксусной кислоты ( $b_{\text{ук}} = 3\%$ );  $c_{\text{ук}}$  – объемная доля товарной уксусной кислоты ( $c_{\text{ук}} = 80\%$ ).

Объем ингибитора

$$V_{\text{и}} = b_{\text{и}} V_p / c_{\text{и}}, \quad (10.8)$$

где  $b_{\text{и}}$  – норма добавки ингибитора,%. Если в качестве ингибитора используют реагент В-2, то  $b_{\text{и}} = 0,2\%$ ;  $c_{\text{и}}$  – объемная доля товарного ингибитора, % ( $c_{\text{и}} = 100\%$ ). Объем интенсификатора

$$V_{\text{ин}} = b_{\text{ин}} V_p / 100, \quad (10.9)$$

где  $b_{\text{ин}}$  – норма добавки интенсификатора, %.

Если в качестве интенсификатора используют Марвелан-К, то  $b_{\text{ин}} = 0,3\%$ .

Объем воды для приготовления кислотного раствора

$$V_{\text{в}} = V_{\text{р}} - V_{\text{к}} - (V_{\text{хб}} + V_{\text{ук}} + V_{\text{и}} + V_{\text{ин}}). \quad (10.10)$$

Порядок приготовления кислотного раствора следующий: наливают в емкость воду, добавляют к воде расчетные объемы ингибитора  $V_{\text{ин}}$ , уксусной кислоты  $V_{\text{ук}}$ , а затем расчетное количество товарной соляной кислоты, тщательно перемешивая. Затем добавляют хлористый барий  $V_{\text{хб}}$  и интенсификатор  $V_{\text{и}}$ . Перемешивают раствор и оставляют для реакции и осветления.

**Задача 10.1.** Рассчитать необходимое количество реагентов для приготовления кислотного раствора при обработке карбонатного продуктивного горизонта, вскрытая толщина которого  $h = 11,5$  м. Техническая соляная кислота имеет концентрацию 27,5%, температура приготовления кислоты 15 °С. Плотность соляной кислоты при 25 °С составляет  $\rho_{к 25} = 1134$  кг/м<sup>3</sup>. Кислотный раствор должен иметь концентрацию 13,5%.

Параметры	Единицы и змерения	Условное оозначение	Предпоследняя цифра в шфре									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вскрытая эффективная мощность карбонатного пласта	м	h	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Параметры	Единицы и змерения	Условное оозначение	последняя цифра в шфре									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кислотный раствор должен иметь концентрацию	%	Хр	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5

*Решение.* Рассчитываем по (10.1) объем кислотного раствора

$$V_0 = 1,1 \cdot 11,5 = 12,65 \text{ м}^3.$$

В соответствии с условиями задачи  $x_k = 27,5\%$ ,  $x_0 = 13,5\%$ . По формуле (10.2) вычисляем объем товарной кислоты

$$V_k = 12,65 \cdot 13,5 (5,09 \cdot 13,5 + 999) / [27,5 (5,09 \cdot 27,5 + 999)] = 182339,02/31321,812 = 5,82 \text{ м}^3.$$

Рассчитываем плотность кислоты при  $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\rho_{k15} = 1134 + (2,67 \cdot 10^{-3} \cdot 1134 - 2,52) (25 - 15) = 1139,08 \text{ кг/м}^3.$$

При данной температуре объем товарной кислоты

$$V'_k = 12,65 \cdot 5,09 \cdot 13,5 (5,09 \cdot 13,5 + 999) / 1139,08 (1139,08 - 999) = 928105,61/159562,32 = 5,82 \text{ м}^3.$$

Рассчитываем количество хлористого бария по (10.5):

$$G_{\text{хб}} = 21,3 \cdot 12,65(0,4 \cdot 13,5/17,5 - 0,02) = 47,52 \text{ кг}$$

или его объем

$$V_{\text{хб}} = 47,52/4000 \approx 1,19 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3.$$

По формуле (10.7) рассчитываем объем уксусной кислоты

$$V_{\text{ук}} = 3 \cdot 12,65/80 = 4,74 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3.$$

Затем по формулам (10.8) и (10.9) рассчитываем соответственно объем ингибитора и интенсификатора:

$$V_{\text{и}} = 0,2 \cdot 12,65/100 = 2,53 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{инк}} = 0,3 \cdot 12,65/100 = 3,795 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3.$$

Наконец, по формуле (10.10) рассчитываем объем воды  $V_{\text{в}} = 12,65 - 5,82 - (0,0119 + 0,474 + 0,0253 + 0,03795) = 6,28 \text{ м}^3$ .

Расчет давления и времени закачки кислотного раствора для известного агрегата ведется по известным формулам (см. раздел 3).

# КИСЛОТНЫЕ ВАННЫ

- Проводятся в скважинах с открытым забоем после бурения или в процессе вызова притока и освоения.
- **Основная цель кислотных ванн** - очистка ПЗС от остатков глинистой корки, цементных частиц (при цементировании обсадной колонны выше продуктивного горизонта), отложений кальцитовых солей пластовой воды.
- **Объем кислотного раствора** - объем скважины от подошвы до кровли коллектора.
- **Концентрация раствора** - **20%** (при кислотных ваннах не происходит перемешивания раствора на забое).
- **Время нейтрализации** 16-24 ч.



# Проектирование КИСЛОТНОЙ ВАННЫ

Для очистки продуктивного карбонатного пласта от глинистой и цементной корки, продуктов коррозии и т.д. можно применять в скважинах с открытым забоем кислотные ванны.

Основной вопрос при проектировании кислотной ванны – расчет объема кислотного раствора, который должен быть равен объему скважины в интервале от подошвы до кровли обрабатываемого интервала.

Если обозначить через  $r_c$  радиус скважины на этом интервале, то объем кислотного раствора (в  $\text{м}^3$ )

$$V_p = \pi r_c^2 h, \quad (10.11)$$

где  $h$  – толщина обрабатываемого пласта, м.

При проектировании кислотной ванны концентрация кислотного раствора принимается  $x_p = 15 - 20\%$ .

Количество химических реагентов рассчитывают точно так же, как и для простой солянокислотной обработки.

# Проектирование КИСЛОТНОЙ ВАННЫ

**Задача 10.2.** Рассчитать необходимое количество кислотного раствора для проведения кислотной ванны, а также химических реагентов и воды, если радиус скважины  $r_c = 0,18$  м, а толщина обрабатываемого пласта  $h = 28,3$  м. Концентрация кислоты  $x_k = 27,5\%$ , а концентрация кислотного раствора  $x_p = 20\%$ .

			Предпоследняя цифра в шфре									
Параметры	Единицы и измерения	Условное обозначение	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вскрытая эффективная мощность карбонатного пласта	м	h	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Радиус скважины	м	<span style="border: 1px solid black;">r<sub>c</sub></span>	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24
			последняя цифра в шфре									
Параметры	Единицы и измерения	Условное обозначение	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кислотный раствор должен иметь концентрацию	%	X <sub>p</sub>	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5

# Проектирование КИСЛОТНОЙ ВАННЫ

*Решение.* Вычисляем по (10.10) объем кислотного раствора

$$V_p = 3,14 (0,18)^2 \cdot 28,3 = 2,88 \text{ м}^3.$$

Рассчитываем объем кислоты

$$V_k = 2,88 \cdot 20 (5,09 \cdot 20 + 999) / [27,5 (5,09 \cdot 27,5 + 999) ] = 63406,08/31321,81 = 2,03 \text{ м}^3.$$

Количество хлористого бария

$$G_{\text{хб}} = 21,3 \cdot 2,88 (0,4 \cdot 20/27,5 - 0,02) = 16,62 \text{ кг или его объем}$$

$$V_{\text{хб}} = 16,62/4000 = 4,153 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Объем уксусной кислоты

$$V_{\text{ук}} = 3 \cdot 2,88/80 = 1,08 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3.$$

Объем ингибитора

$$V_{\text{и}} = 0,2 \cdot 2,88/100 = 5,76 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Объем интенсификатора

$$V_{\text{инк}} = 0,3 \cdot 2,88/100 = 8,64 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Объем воды

$$V_{\text{в}} = 2,88 - 2,03 - (0,004153 + 0,108 + 0,00576 + 0,00864) = 0,724 \text{ м}^3.$$

Полученный раствор закачивают в скважину и оставляют для реакции на 16-24 ч.

# КИСЛОТНЫЕ ОБРАБОТКИ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

- **Повышают эффективность кислотного воздействия на ПЗ коллектора, неоднородного по проницаемости**
- 1. **Снимается профиль притока** (приемистости) с целью установления зон повышенной проницаемости и поглощающих трещин
- 2. В скважину до кровли продуктивного горизонта **спускается колонна НКТ с пакером и якорем**
- 3. Проводится **закачка нефтекислотной эмульсии** для закупорки высокопроницаемых пропластков (смесь 12%-го раствора HCL и нефти: -70% по объему — кислотный раствор, 30% по объему — дегазированная нефть). При открытой задвижке на затрубе закачивают эмульсию до башмака НКТ
- 4. **Пакеруют и заякоривают НКТ**
- 5. Продавка эмульсии осуществляется кислотным раствором. По достижении границы раздела **«нефтекислотная эмульсия — кислотный раствор»** башмака НКТ давление закачки увеличивают
- 6. Под действием повышенного давления кислотный раствор закачивается в низкопроницаемые пласты, что существенно увеличивает охват пласта процессом кислотного воздействия

# ТЕРМОКИСЛОТНАЯ ОБРАБОТКА

предназначена для повышения эффективности КО карбонатных коллекторов, когда в процессе эксплуатации скважин в ПЗ отлагаются АСПВ, *удаление которых возможно в процессе промывки после их расплавления за счет экзотермической реакции взаимодействия соляно-кислотного раствора HCL с магнием:*



Количество выделяющейся при реакции теплоты  $\text{Q}_T$  **зависит от:**

- концентрации и количества кислотного раствора,
- количества магния и его вида (магниевая пыль, крошка, стружка или бруски),
- степени нейтрализации раствора.

## Расчет ТКО



$$24,3 + 2(1 + 35,5) = (24,3 + 2 \cdot 35,5) + 2.$$

- При взаимодействии **73 г** чистой **HCl** с **24,3 г Mg** происходит полная нейтрализация раствора, при которой выделяется **461,38 кДж** тепловой энергии.
- При взаимодействии 1 кг Mg с раствором соляной кислоты (15%) выделяется **18 987 кДж** теплоты.
- количество 15%-ного раствора HCl для растворения 1 кг магния:

$$x = \frac{73}{24,3} 1000 = 3004,2$$

- Для растворения 1 кг магния потребуется  $y = 3004 / 161,2 = \mathbf{18,61 \text{ л}}$  15%-ного раствора HCl

Необходимое количество 15%-ной соляной кислоты для получения различных температур раствора (на 1 кг магния):

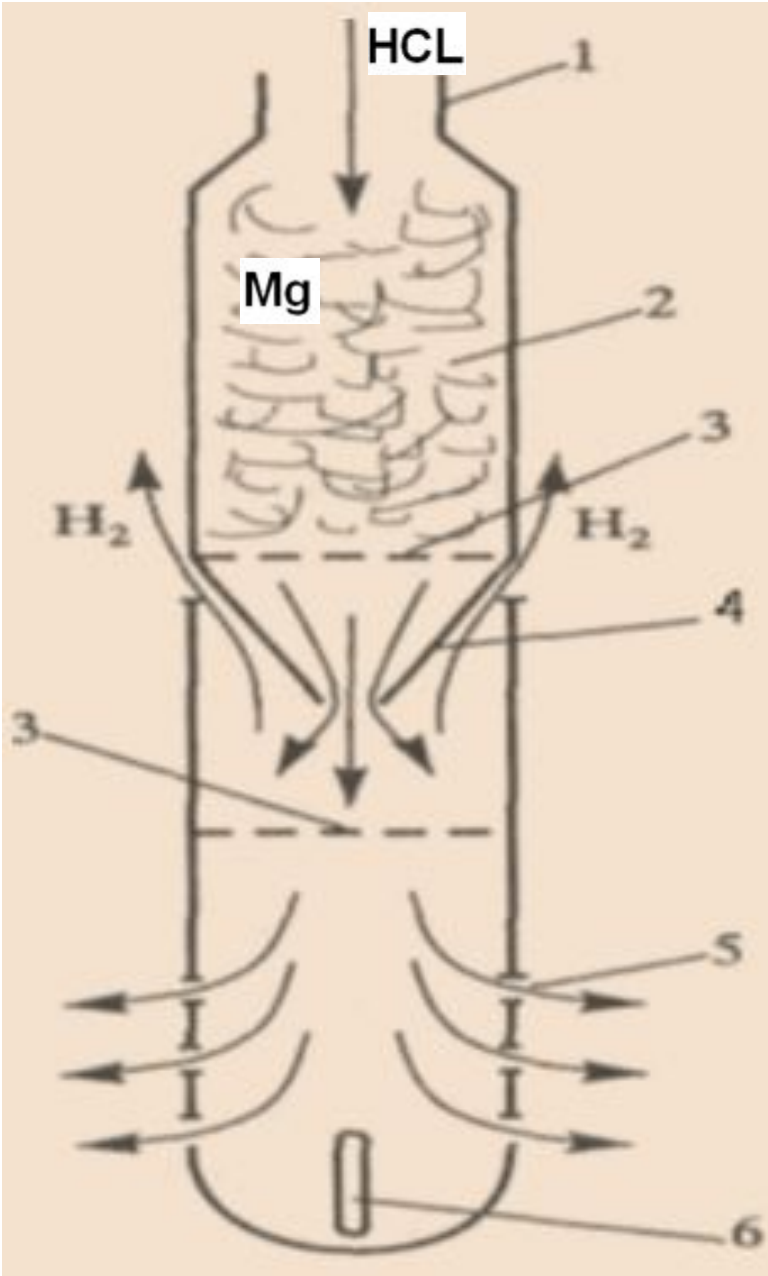
Количество HCl, л.....	50	60	70	80	100
Температура раствора, °C.....	120	100	85	75	60
Остаточная концентрация HCl, %.....	9,6	10,5	11	11,4	12,2



## Форма Mg при ТКО

- При давлениях  $> 3$  МПа, рекомендуется применять **магний в виде стружки** (чем больше давление, тем магниевая стружка должна быть мельче и тоньше).
- При давлении  $1 \div 3$  МПа – в виде **брусков квадратного и круглого сечения** - чем ниже давление, тем площадь поперечного сечения этих брусков может быть больше.
- при давлении до  $1$  МПа используются бруски с площадью  **$10-15 \text{ см}^2$** .
- При давлении от  $1$  до  $3$  МПа размеры брусков уменьшают так, чтобы площадь сечения каждого была  **$1-5 \text{ см}^2$** .
- Температура нагрева жидкости регулируется количеством магния и скоростью закачки кислотного раствора.

# Скважинный реактор для ТКО



- 1 — резьба для соединения с НКТ;
- 2 — камера для загрузки магния;
- 3 — решетка;
- 4 — конус;
- 5 — отверстие для выхода нагретых жидких продуктов реакции;
- 6 — термометр



# Этапы проведения ТКО

1. **Термическая обработка.** Рассчитываются такие количества магния и кислотного раствора, чтобы произошла полная нейтрализация по магнию, а температура поднялась до расчетной величины, достаточной для расплавления в ПЗС АСПО. Частично непрореагировавшая кислота обрабатывает только пристенную зону ПЗС, не проникая глубоко в пласт. Основное химическое воздействие осуществляется на втором этапе.
2. **Термокислотная обработка.** Количество кислотного раствора берется существенно большим, чем при термической обработке.

Расход магния на одну обработку от 40 до 100 кг, расход 15% кислотного раствора — до 10 м<sup>3</sup>.

- С целью снижения коррозии металла кислотный раствор ингибируется формалином (0,5% по объему), а стабилизируется уксусной кислотой (до 1,5% по объему). При такой обработке использование уникола нежелательно, т.к. он снижает скорость растворения магния.

# Проектирование Термокислотной обработки

**Задача 10.3.** Рассчитать количество магнезия для проведения термокислотной обработки пласта толщиной 7,8 м. Использовать кислотный раствор концентрацией 15%. Температуру раствора в интервале обработки повысить до 70 °С.

			Предпоследняя цифра в шфре									
Параметры	Единицы и измерения	Условное обозначение	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вскрытая эффективная мощность карбонатного пласта	м	h	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
			последняя цифра в шфре									
Параметры	Единицы и измерения	Условное обозначение	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температуру раствора в интервале повысить до	°С	tp	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160

# Проектирование Термокислотной обработки

*Решение.* Вычисляем объем кислотного раствора по формуле (10.1)

$$V_p = 0,8 \cdot 7,8 = 6,24 \text{ м}^3.$$

На рис. 43 откладываем заданную температуру 70 °С и проводим горизонталь до пересечения с линией 1 (точка А). Из точки А проводим вертикаль до пересечения с линией 2 (точка Б). По правой шкале находим расход 15%-ного раствора соляной кислоты на 1 кг магния  $v_p$ . В данном случае  $v_p = 0,087 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

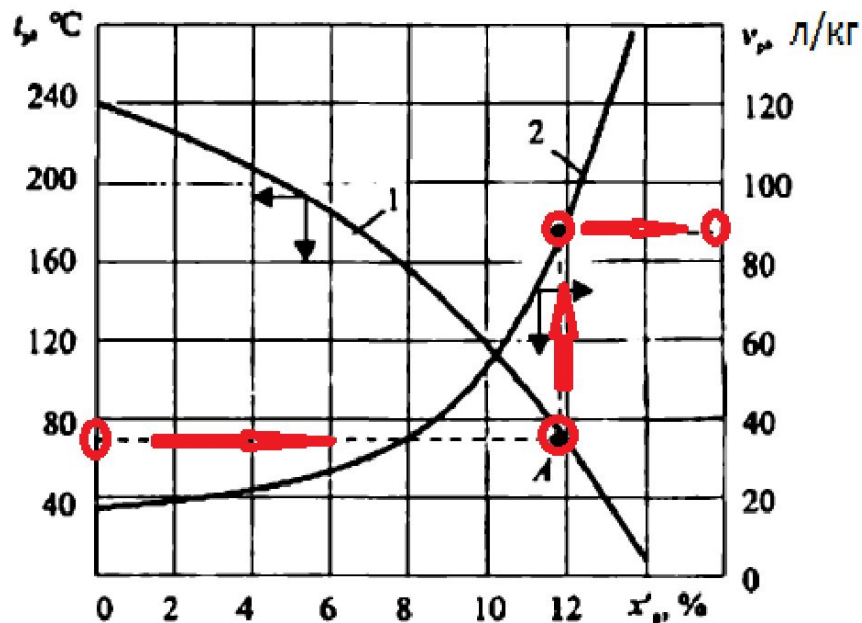
Зная общий объем кислотного раствора  $V_p$  и норму расхода  $v_p$ , рассчитываем потребное количество магния  $Q_m$  по формуле

$$Q_m = V_p / v_p \quad (10.12)$$

или

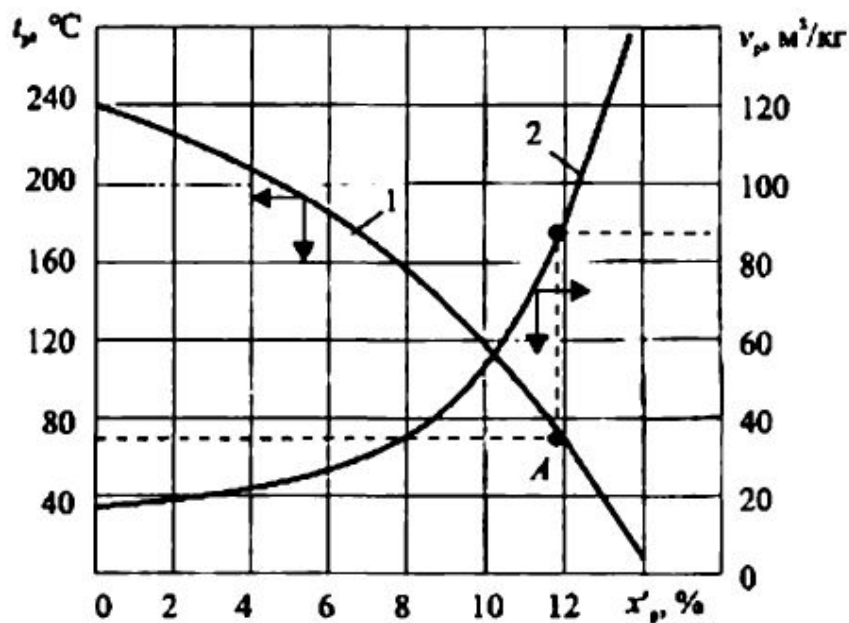
$$Q_m = 6,24 / 0,087 = 71,7 \text{ кг}.$$

Таким образом, потребное количество магния составляет 71,7 кг.



**Рис. 43.**  
Нограмма  
для определения  
повышения  
температуры  
кислотного раствора  
и нормы расхода  
15%-ной кислоты  
на 1 кг магния:

# Проектирование Термокислотной обработки



**Рис. 43.**  
 Номограмма  
 для определения  
 повышения  
 температуры  
 кислотного раствора  
 и нормы расхода  
 15%-ной кислоты  
 на 1 кг магния:

Как видно из рис. 43, остаточная концентрация прорсагировавшего кислотного раствора составляет  $x'_p = 11,7\%$ .

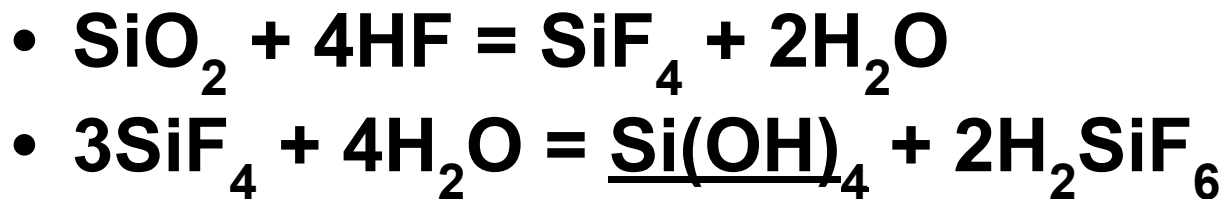


# Проектирование Термокислотной обработки

## ГЛИНОКИСЛОТНАЯ ОБРАБОТКА терригенных коллекторов

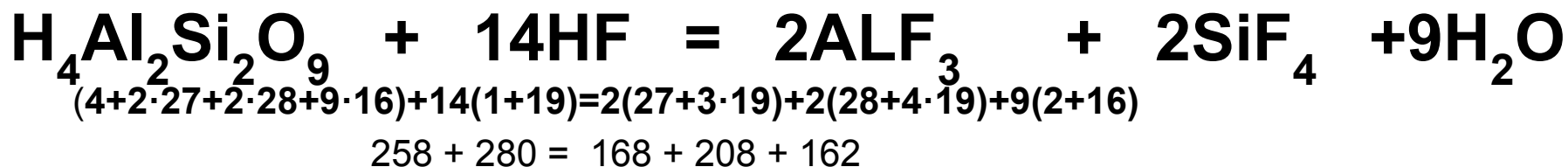
- смесь 3-5%-й фтористоводородной (HF) и 8-10%-й соляной кислот.
- Терригенные коллекторы содержат малое количество карбонатов (1÷5% по массе). Основная масса таких коллекторов представлена силикатными веществами (кварц) и алюмосиликатами (каолин).
- Силикатные вещества хорошо растворяются в плавиковой (фтористо-водородной) кислоте.
- Сущность глинокислотной обработки терригенных коллекторов состоит в учете особенностей их строения.
- При контакте глиняной кислоты с терригенными породами карбонатный материал, реагируя с солянокислотной частью раствора, растворяется, а фтористоводородная кислота, медленно реагирующая с кварцем и алюмосиликатами, глубоко проникает в ПЗС, повышая эффективность обработки.

# Расчет ГКО терригенных коллекторов



Кремнефтористоводородная кислота  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  остается в растворе, а кремниевая кислота  $\text{Si(OH)}_4$  при понижении кислотности раствора образует гель кремниевой кислоты, выпадающий в осадок и закупоривающий ПЗ.

## Реакция алюмосиликатов с HF



- Для растворения 1 кг алюмосиликата (каолина) необходимо HF

$$x = \frac{280}{258} 1000 = 1085,3 \text{ г}$$

- 4%-ный раствор HF в 1 л раствора содержит 40 г чистой HF. Тогда количество 4%-ного раствора фтористоводородной кислоты, необходимое для растворения 1 кг алюмосиликата составит:

$$y = \frac{x}{40} = \frac{1085,3}{40} = 27,13 \text{ л / кг}$$

# Смесь соляной кислоты с фтористоводородной

- служит для растворения карбонатного материала терригенного коллектора
- предотвращает образование гелей кремниевой кислоты, удерживая кремниевую кислоту в растворе
- $\text{CaCO}_3 + \text{HF} = \text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$
- Фторид кальция выпадает в осадок, снижая проницаемость. Поэтому соляная кислота, входящая в состав глиняной, предотвращает образование  $\text{CaF}_2$ .
- **Технология двухступенчатой кислотной обработки:**
  - *на первом этапе проводят обычную СКО*
  - *на втором этапе закачивают глиняную кислоту.*

Удаление карбонатов из ПЗС на первом этапе позволяет сохранить кислотность раствора на втором этапе, предотвращая тем самым образование гелей кремниевой кислоты.

# Аналог плавиковой кислоты

- фторидбифторидаммоний  $\text{NH}_4\text{FHF}$  - твердое кристаллическое вещество. 1 кг  $\text{NH}_4\text{FHF}$  химически эквивалентен 1,55 л 40%-й плавиковой кислоты.
- Фторидбифторидаммоний растворяют в соляной кислоте, что приводит к частичной ее нейтрализации (поэтому для растворения  $\text{NH}_4\text{FHF}$  используют солянокислотный раствор повышенной до 15% концентрации):



- Образующийся хлористый аммоний  $\text{NH}_4\text{Cl}$  остается в растворенном состоянии.

# Вещества, добавляемые в раствор глинокислоты

- **Ингибиторы** - формалин, катапин, уротропин, уникол, ингибиторы В-1, В-2, производные мышьяка или меди, меркаптаны.

*Норматив добавки ингибиторов 0,2÷1% по объему.*

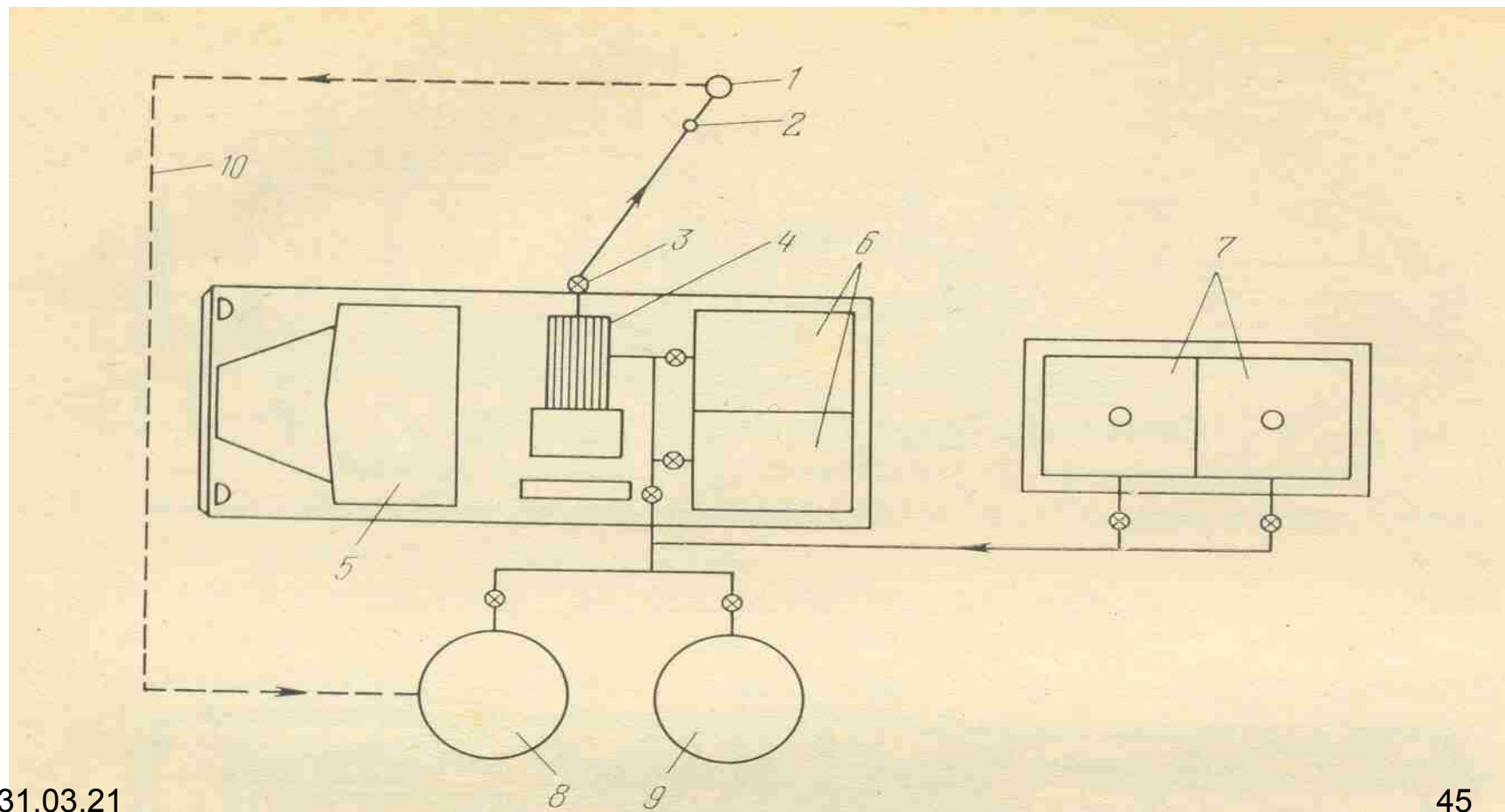
- **Интенсификаторы** –ПАВ (ОП-1)
- **Стабилизаторы**—лимонная кислота, молочная кислота (от 1 до 3%), 10%-й раствор уксусной кислоты.

- Технология проведения обработки и используемая техника принципиально не отличаются от обычной СКО.



# ТЕХНИКА, ПРИМЕНЯЕМАЯ ПРИ СКО

- 1 – устье скважины, 2 – обратный клапан, 3 – задвижка высокого давления, 4 – насос 4НК-500, 5 агрегат Азинмаш-30А, 6 – емкость для кислоты на агрегате, 7 – емкость для кислоты на прицепе, 8 – емкость для продавочной жидкости, 9 – емкость для кислоты, 10 – линия для обратной циркуляции.



# Меры безопасности при проведении СКО

- Растворы кислоты готовят с обязательным соблюдением правил по технике безопасности, которые предусматривают наличие **специальной одежды, резиновых перчаток** и **защитных очков**.
- Особые меры предосторожности необходимы при обращении с фтористоводородной кислотой, пары которой ядовиты.
- Соляную кислоту перевозят в **гуммированных железнодорожных цистернах**. Иногда для защиты железа цистерн от коррозии их внутри окрашивают в несколько слоев химически стойкой эмалью (ХСЭ-93).
- Фтористоводородную кислоту транспортируют в эбонитовых 20-литровых сосудах.