



МИРРИКО  
ГРУППА КОМПАНИЙ

Химические решения  
технологических задач

# Что такое ЭЦП?

Докладчик: Михель А.А.

5 августа 2019 г.

Редакция 1.3 от  
5 августа 2019 г.



# МИРРИКО

ГРУППА КОМПАНИЙ

Уважаемые коллеги, добрый день!  
Данная презентация была написана для того, чтобы повысить ваш уровень компетенции в вопросах понимания ЭЦП. К сожалению, в современной нефтегазовой литературе, как в Российской так и в мировой, отсутствует ясное и понятное описание что такое ЭЦП и откуда оно берется, с этой целью и была подготовлена данная презентация.



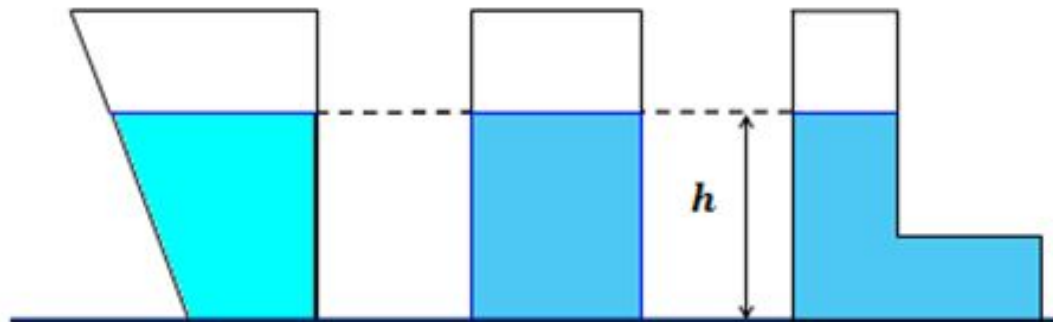
# МИРРИКО

ГРУППА КОМПАНИЙ

**Гидростатическое давление** — это давление в жидкости, обусловленное силой тяжести.

Формула гидростатического давления:

$$P(\text{Па}) = \rho(\text{кг/м}^3) * g(\text{м/с}^2) * H(\text{м. вертикаль})$$



**Закон Паскаля** — давление на поверхность жидкости, произведенное внешними силами, передается жидкостью одинаково во всех направлениях.

Данные взяты с сайта <http://ru.solverbook.com/spravochnik/mexanika/gidrostatika/>



На любой глубине  $h$  жидкость давит одинаково по всем направлениям, поэтому давление на стенку на данной глубине будет таким же, как и на горизонтальную площадку, расположенную на такой же глубине.

Полное давление в жидкости, налитой в сосуд, складывается из давления у поверхности жидкости и гидростатического давления:

$$P = p_0 + \rho g H$$

Давление у поверхности жидкости часто равно атмосферному давлению.

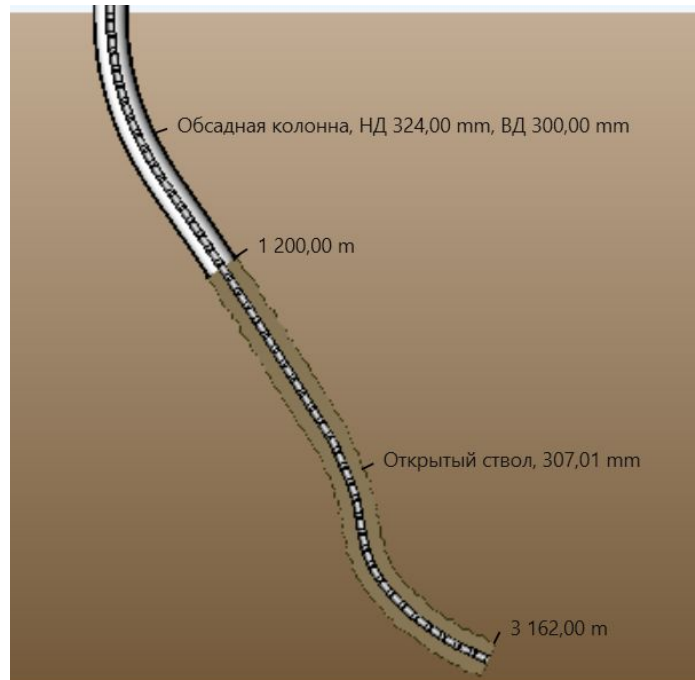


Для лучшего понимания  
ЭЦП откроем учебник  
Физика 7 класс раздел  
гидравлика.

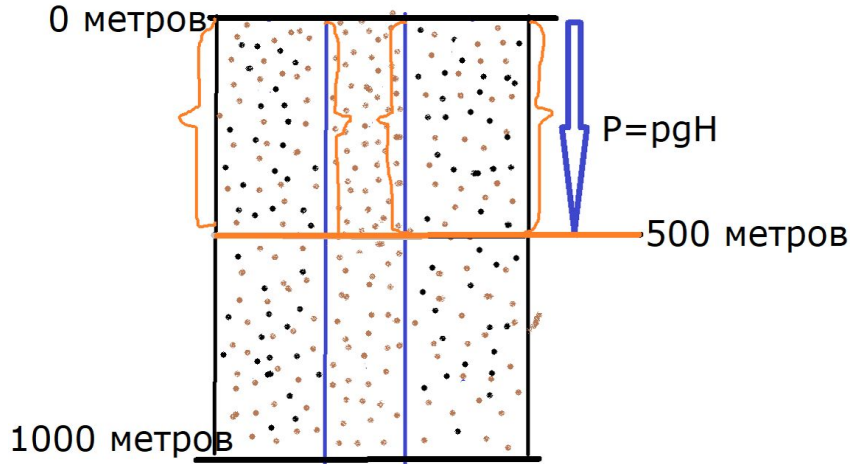




## Представим типичную скважину визуально.



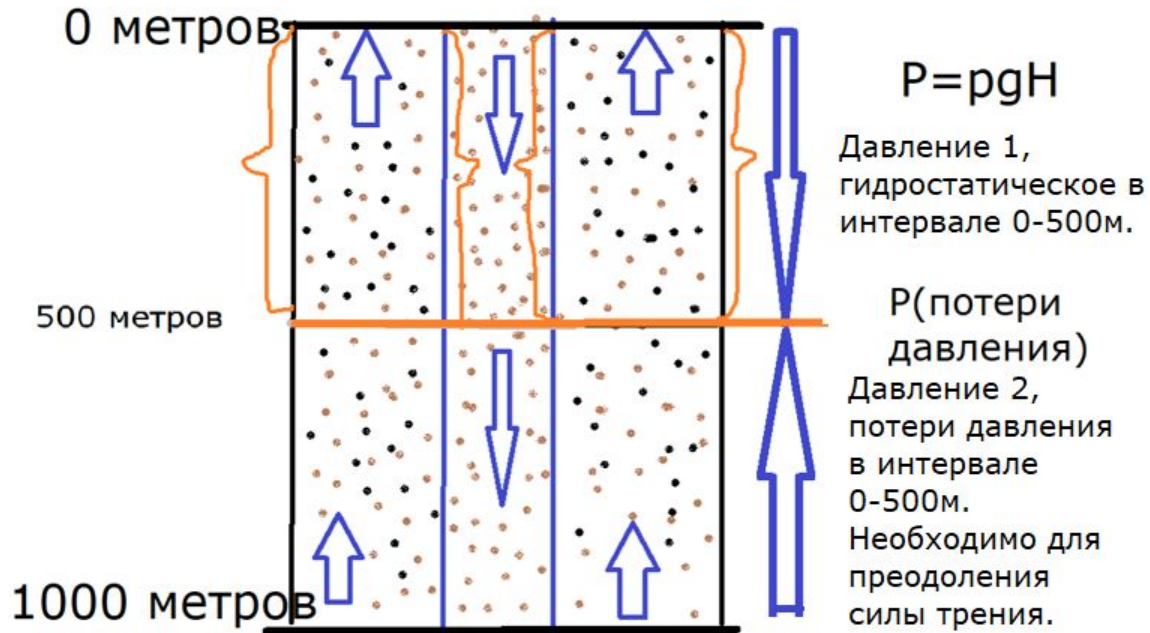
## Рассмотрим давления в скважине в статических условиях (без циркуляции) на глубине 500м.



Представим, что плотность  $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$ . А глубина скважины 500м. Скважина вертикальная.

На стенку скважины на глубине 500м. давит гидростатическое давление равное  $P = 1200 * 9,8 * 500 = 5,88 \text{ МПа} = 58,8 \text{ Бар}$ .

# Рассмотрим давления в скважине в динамических условиях (при циркуляции) на глубине 500м.







На данном рисунке мы рассмотрим скважину в динамике и мы увидим из чего будет складываться давление на глубине 500 метров: это гидростатическое давление, и давление которое необходимо, чтобы преодолеть силу трения, чтобы продавить раствор в интервале 0-500м.

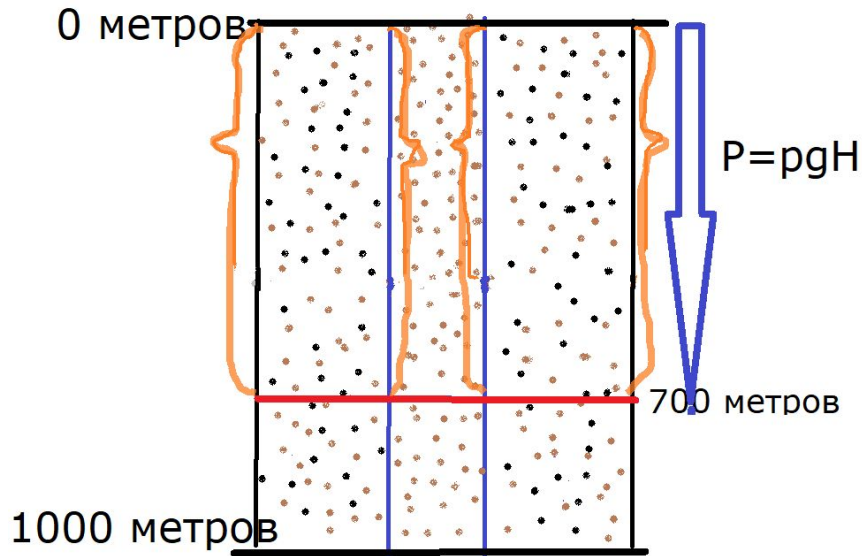
О какой силе трения идет речь? Раствор во время течения в затрубном пространстве трется о стенку скважины, о бурильную колонну, слои раствора трутся друг о друга. И чтобы преодолеть эту силу требуется дополнительное давление.

Получается что на глубине 500м. на стенку скважины действуют две больших силы: гидростатическое давление равное 58,8 Бар. (сверху) и давление которое необходимо чтобы преодолеть силу трения раствора в интервале 0-500м. (снизу). Давайте предположим, что для того, чтобы преодолеть силу трения на данном интервале (0-500м.) нам необходимо приложить давление в 5 Бар. По другому эти 5 Бар. можно назвать потеря давления в затрубном пространстве. То есть на глубине 500м. на стенку скважины оказывается давление равное сумме давлений:  
 $58,8 \text{ Бар} + 5 \text{ Бар} = 63,8 \text{ Бар}.$

Давление на стенку скважины на определенной глубине состоящее из нескольких давлений называется **полным давлением.**

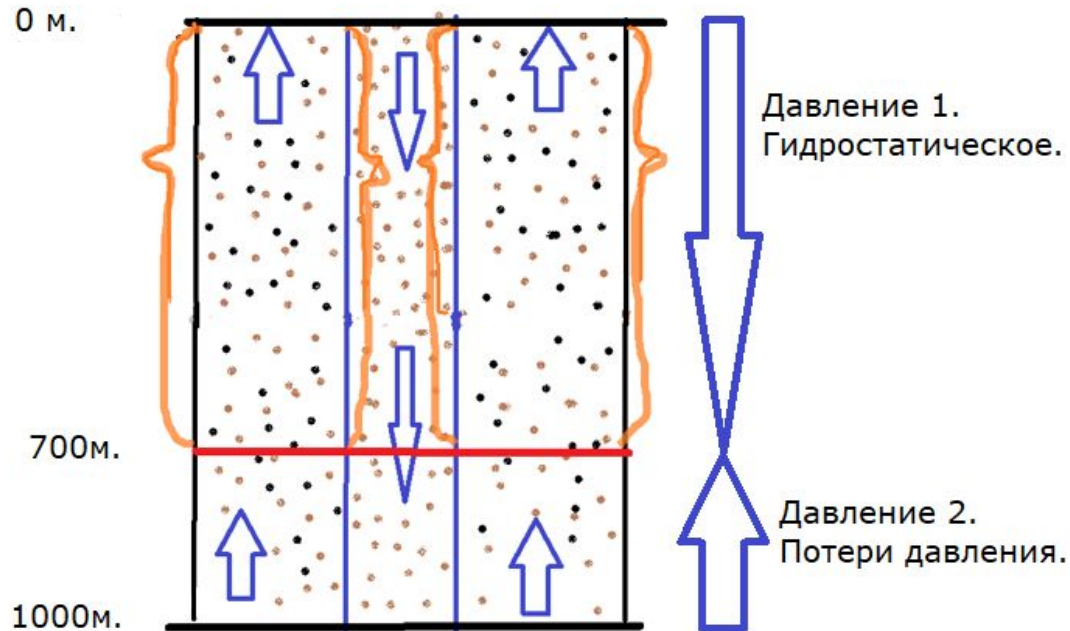
Давайте теперь рассмотрим давление на стенку скважины на глубине 700м.

# Рассмотрим давления в скважине в статических условиях (без циркуляции) на глубине 700м.



На стенку скважины на глубине 700м. давит гидростатическое давление равное  $P = 1200 * 9,8 * 700 = 8,23 \text{ МПа} = 82,3 \text{ Бар}$ .

# Рассмотрим давления в скважине в динамических условиях (во время циркуляции) на глубине 700м.





На данном рисунке мы рассмотрим скважину в динамике и мы увидим из чего будет складываться давление на глубине 700 метров, оно будет складываться из суммы гидростатического давления, и давление которое необходимо, чтобы преодолеть силу трения в интервале 0-700м.

Получается что на глубине 700м. на стенку скважины действует гидростатическое давление равное 82,3 Бар. (сверху) и давление которое необходимо чтобы преодолеть силу трения раствора в интервале 0-700м. (снизу). Давайте представим, что для того, чтобы преодолеть силу трения на данном интервале нам необходимо приложить давление в 7 Бар. Иными словами эти 7 Бар. можно назвать потеря давления в затрубном пространстве. То есть на глубине 700м. на стенку скважины оказывается давление равное сумме давлений:

$82,3 \text{ Бар} + 7 \text{ Бар} = 89,3 \text{ Бар}$ . Давление на стенку скважины на определенной глубине состоящее из нескольких давлений называется **полным давлением**.

## Формула полного давления на стенку скважины на определенной глубине в динамике.

$P$  – полное давление циркулирующего бурового раствора на глубине  $H$  складывается из суммы двух давлений:

1)  $P_{гс} = \rho g H$  – гидростатическое давление на глубине  $H$

2)  $\Delta P_{гд}$  – гидродинамические потери давления в кольцевом пространстве скважины на глубине  $H$

$P(\text{полное давление}) = P_{гс} + \Delta P_{гд}$

Мы же говорим о давлениях, какая взаимосвязь будет между давлением и плотностью? Как преобразовать давления в плотность?

Через формулу гидростатического давления:  $\rho(\text{кг/м}^3) = P/gH$

## Преобразование формулы полного давления в ЭЦП.

$$\frac{P}{gH} = \frac{P_{ГС}}{gH} + \frac{\Delta P_{ГД}}{gH} \Rightarrow \rho_{эkv} = \rho + \frac{\Delta P_{ГД}}{gH}$$

Размерности величин.

$P$  = Па

$\rho$  экв. = кг/м<sup>3</sup>

$\rho$  = кг/м<sup>3</sup>

$P_{ГС}$  = Па

$\Delta P_{ГД}$  = Па

$g$  = м/с<sup>2</sup>

$H(TVD)$  = м.



**ЭЦП - это Эквивалентная Циркуляционная Плотность** или **ECD** (equivalent circulating density) или по другому **плотность в динамике** или **динамическая плотность**, все эти выражения синонимы.

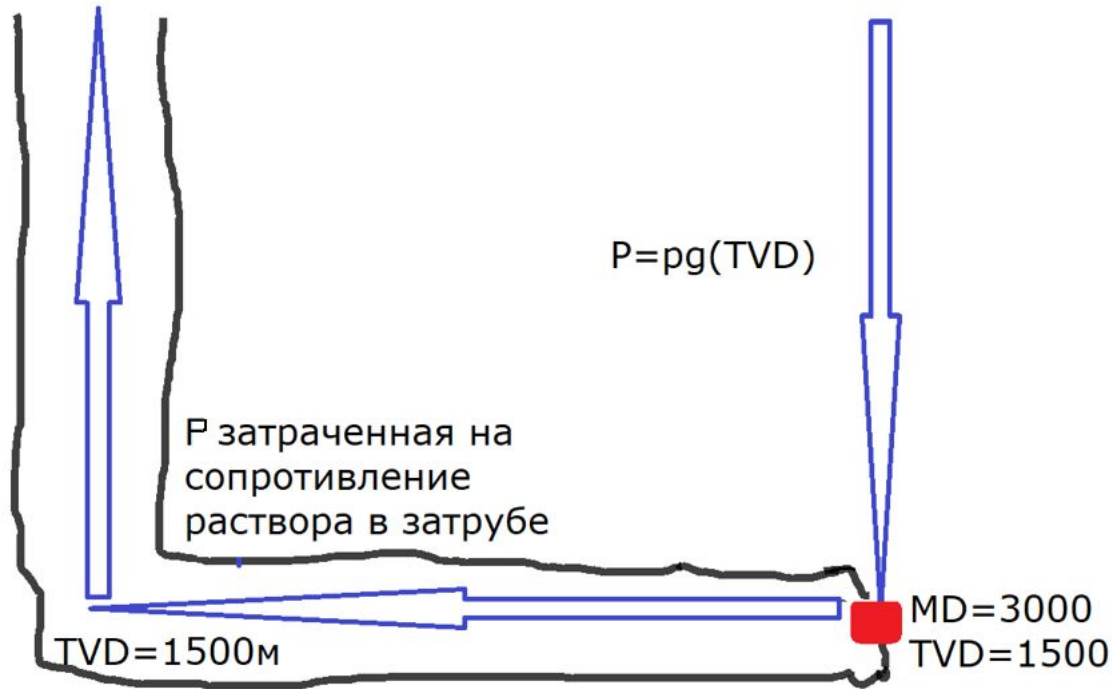
По физическому смыслу это преобразование давления оказываемого на забой во время циркуляции или бурения и пересчет его на эквивалентную (равную) плотность.

Главный смысл расчета ЭЦП-это недопущение поглощения БР, полное давление не должно быть больше давления гидроразрыва.

## От чего зависит ЭЦП?

- 1) Производительность насоса (чем выше, тем выше).
- 2) Разница диаметров между обсадной колонной или открытым стволом и инструментом (чем меньше, тем выше).
- 3) TVD м. и MD м. (чем больше, тем больше).
- 4) Зашламованность затрубного пространства (чем сильнее, тем больше).
- 5) Плотность раствора г/см<sup>3</sup> (чем выше, тем выше).
- 6) Реология б/р в интервале от 3 до 100 оборотов на вискозиметре (чем выше тем выше).

# Давайте рассмотрим вопрос почему ЭЦП очень сильно начинает расти в горизонтальной скважине.



Давайте теперь сравним между собой три скважины с одинаковым TVD м. и плотностью раствора (1200 кг/м<sup>3</sup>), но с разной MD м.



Скважина №1  
TVD=1000 м.,  
MD=1000 м.



Скважина №2  
TVD=1000,  
MD=2000



Скважина №3  
TVD=1000,  
MD=3000

Давайте теперь сравним между собой три скважины с одинаковым TVD м. и плотностью раствора (1200 кг/м<sup>3</sup>), но с разной MD м.

Скважина №1 TVD=1000 м.,

MD=1000 м.  $\rho_{\text{экв.}} \text{ кг/м}^3 = 1200 \text{ кг/м}^3 + \frac{P_{\text{потери давления в интервале 0-1000м.}}}{1000\text{м} \cdot 9,8}$

Скважина №2 TVD=1000,

MD=2000  $\rho_{\text{экв.}} \text{ кг/м}^3 = 1200 \text{ кг/м}^3 + \frac{P_{\text{потери давления в интервале 0-2000м.}}}{1000\text{м} \cdot 9,8}$

Скважина №3 TVD=1000,

MD=3000  $\rho_{\text{экв.}} \text{ кг/м}^3 = 1200 \text{ кг/м}^3 + \frac{P_{\text{потери давления в интервале 0-3000м.}}}{1000\text{м} \cdot 9,8}$



Если рассмотреть формулу ЭЦП, то мы увидим, что глубина скважины по вертикали  $H_{TVD}$  м. стоит в знаменателе, а глубина скважины по стволу  $MD$  м., учитывается в потерях давления в затрубье и стоит в числителе.

Исходя из этого в горизонтальной скважине вертикальная глубина не растет, а глубина по стволу продолжает интенсивно расти, это и обуславливает то, что ЭЦП в горизонтальных скважинах растет особо интенсивно.



## ЭЦП НА ПРОСТЫХ ПРИМЕРАХ. ПРИМЕР 1.

Представим, что на весах стоит человек весом 58,3 кг. Его вес и масса совпадают. Рядом с ним справа и слева стоят два стола.



Если человек стоя на весах возьмется руками за края столов и начнет подтягивать себя вниз цифра на весах будет расти. Его масса остается неизменной 58,3 кг, а вес будет равен 68,8 кг. Разница двух весов равна 10,5 кг., эта разница равная части массы столов которые человек держит в своих руках.





Если человек сможет поднять оба стола, то его масса, так же останется 58,3 кг., а вес станет равным 86,3 кг. Разница этих двух весов равна двум полным массам столов.  
 $(86,3 - 58,3) / 2 = 14$  кг. Масса одного стола.





## ЭЦП НА ПРОСТЫХ ПРИМЕРАХ. ПРИМЕР 2.

Человечек едет в открытом лифте наверх. Вес человечка 90 кг, грузоподъемность лифта 100 кг. Синие линии это стенки лифтовой шахты



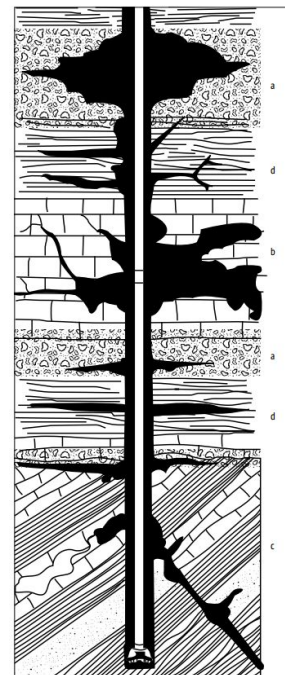


Если человек начнет расставлять руки в стороны и пытаться тормозить о стенки лифтовой шахты ладонями, то его вес начнет расти при неизменной массе. Если вес человека вырастет выше 100 кг, то произойдет обрыв лифта.





По этой же причине происходит поглощение бурового раствора в скважине, буровой раствор это человек, а стенки лифтовой шахты это стенки скважины. Трение порождает, избыточное давление. Стенки скважины могут выдержать определенное давление. Если полное  $P$  в затрубном пространстве будет больше  $P$  гидроразрыва происходит поглощение.





Спасибо за внимание!

С уважением,  
Михель Артур  
Ведущий специалист по обучению по БР ТД  
БЕ «Буровые Растворы и Технологии»  
ООО "Современные Сервисные Решения" в ГК "МИРРИКО«  
420107, Россия, Казань, Островского, 84, к. 419  
тел.: +7 843 537-23-93 (вн. 2173)  
моб.: +7 919 83-99-738  
e-mail: [mikhel\\_a\\_a@mirrico.com](mailto:mikhel_a_a@mirrico.com)  
[www.mirrico.ru](http://www.mirrico.ru)