



**ОСОБЕННОСТИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ШЛАМА  
БУРОВЫМ РАСТВОРОМ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ  
СКВАЖИНАХ**

Недостаточная очистка ствола скважин от выбуриваемого шлама – это одна из причин осложнений и аварий в скважинах – прихватов бурового инструмента.

В наклонно-направленных (ННС) и горизонтальных скважинах – наиболее высокая вероятность возникновения прихватов.

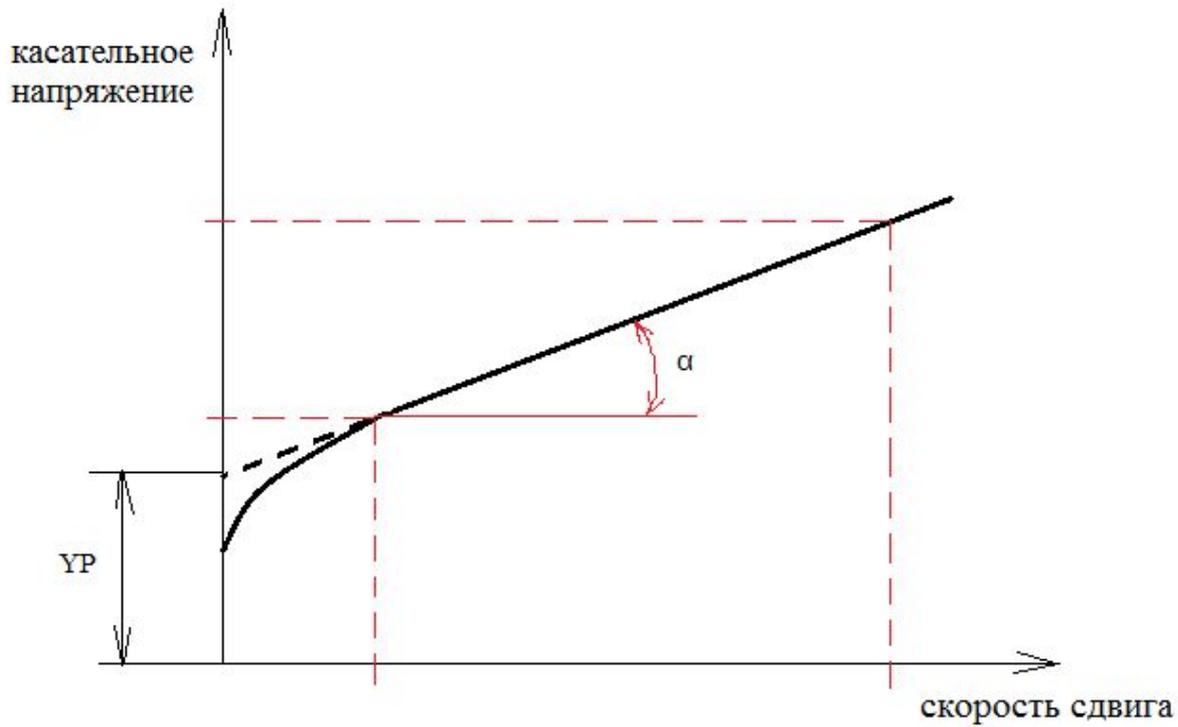
Частота (вероятность) возникновения прихватов зависит от зенитного угла скважин:

- - в скважинах с неискривленным стволом  $\sim 1/3$  всех прихватов связана с проблемой очистки ствола от шлама;
- - в скважинах с большим зенитным углом (более 50 град.) более 80 % всех прихватов связано с проблемой очистки ствола.



# Факторы, влияющие на вынос (транспортирование) шлама: Слайд 2

## 1. Пластическая вязкость



Пластическая вязкость:  $PV = \operatorname{tg} \alpha$

- - зависит от угла наклона прямолинейного участка реограммы;
- - характеризует изменение напряжения необходимого для изменения скорости сдвига раствора;
- - больше подача насоса, быстрее движется поток;
- - характеризует взаимодействие частиц твердых с жидкой средой;
- - чем больше жидкости, тем легче перекачивать раствор.



## 2. Предел текучести ( $\sigma_P$ ) – динамическое напряжение сдвига ( $\tau_0$ ).

- - характеризует силу, необходимую для того, что бы заставить частицы двигаться;
- - характеризует силу, от приложения которой частицы начинают сдвигаться относительно друг друга;
- -  $\sigma_P$  – это напряжение (аналогично давлению);
- - силы взаимодействия имеют электрохимическую природу.

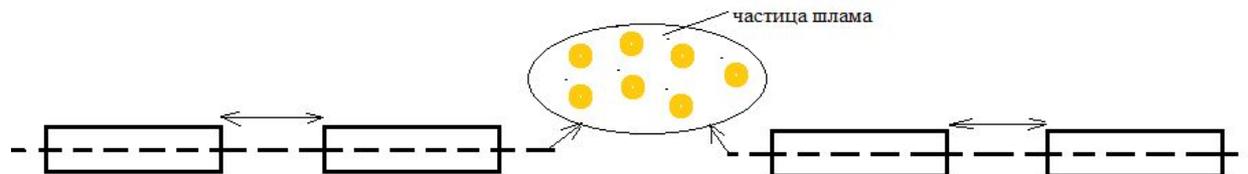


- раствор – это водосодержащий гель – пластинки в нем



Эти пластинки будут себя как магнитики.

- - отталкиваются друг от друга;
- - притягиваются друг к другу (имеющие заряды частички глины)



Как бы связь между пластинками нарушается и идет взаимодействие с частицами шлама

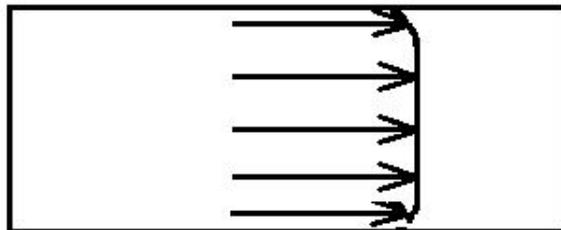


### 3. Режим течения потока бурового раствора

При увеличении расхода раствора меняется режим течения

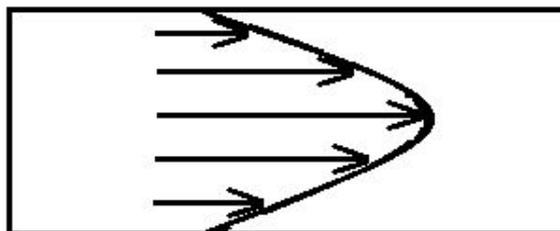
Расход малый

а) поршневой:



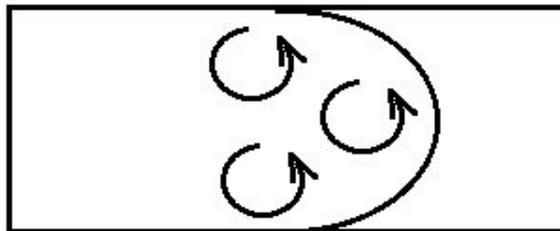
Почти весь поток течет с одинаковой скоростью. Движение жидкости отсутствует только у стенок скважины

б) ламинарный:



Скорость потока выше в центре ствола скважины. У стенок течения нет

в) турбулентный



Течение хаотичное. Поток у стенок не равен нулю. Гели разрушаются, удерживающая способность раствора к шламму ухудшается

Расход большой

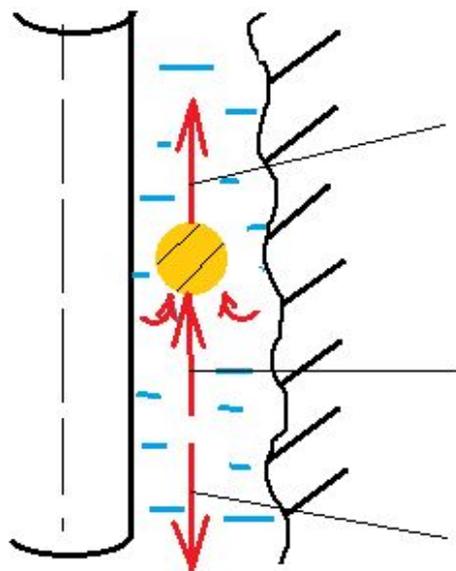


Анализ факторов, влияющих на вынос шлама.

Параметр, характеризующий эффективность выноса шлама:

Коэффициент выноса:

$$K_E = \frac{u_{\text{трансп.}}}{u_{\text{пот.}}}$$



$$u_{\text{трансп.}} = u_{\text{пот.}} - u_{\text{осажд.}}$$

$u_{\text{пот.}}$  - скорость потока раствора в затрубном пространстве

$u_{\text{осажд.}}$  - скорость осаждения частиц



$$v_{\text{трансп.}} = v_{\text{пот.}} - v_{\text{осажд.}}$$

$v_{\text{пот.}}$  - скорость потока раствора в затрубном пространстве  
 - скорость осаждения частиц

$v_{\text{осажд.}}$

Или  $v_{\text{трансп.}} = v_{\text{пот.}} - v_{\text{осажд.}}$

Анализ  $K_{\text{в}} = \frac{v_{\text{пот.}} - v_{\text{осажд.}}}{v_{\text{пот.}}}$

Если ,  $K_{\text{в}} = 1 - \frac{v_{\text{осажд.}}}{v_{\text{пот.}}}$  ;

Если ,  $v_{\text{осажд.}} = 0$   $K_{\text{в}} = 1$  → частица витает, нет очистки, нет

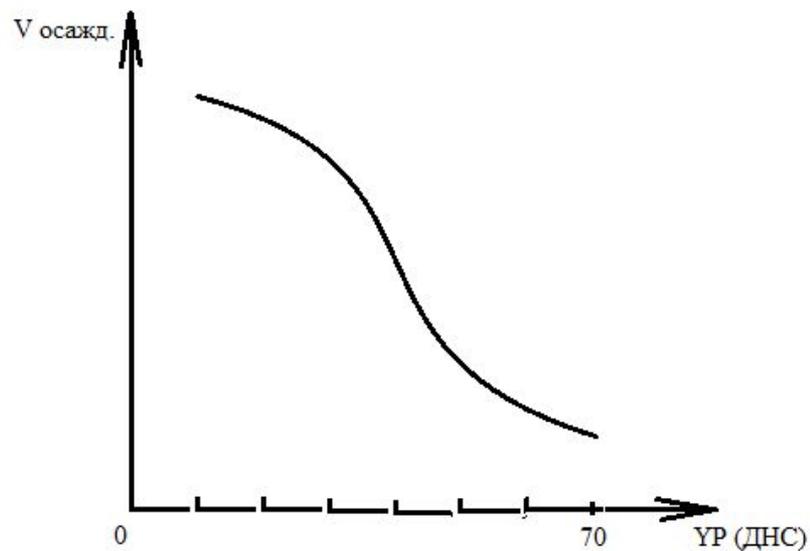
осажд  $v_{\text{осажд.}} = v_{\text{пот.}}$   $K_{\text{в}} = 0$

Если , → нет очистки, есть осаждение.

$v_{\text{осажд.}} > v_{\text{пот.}}$   $K_{\text{в}} > 0$



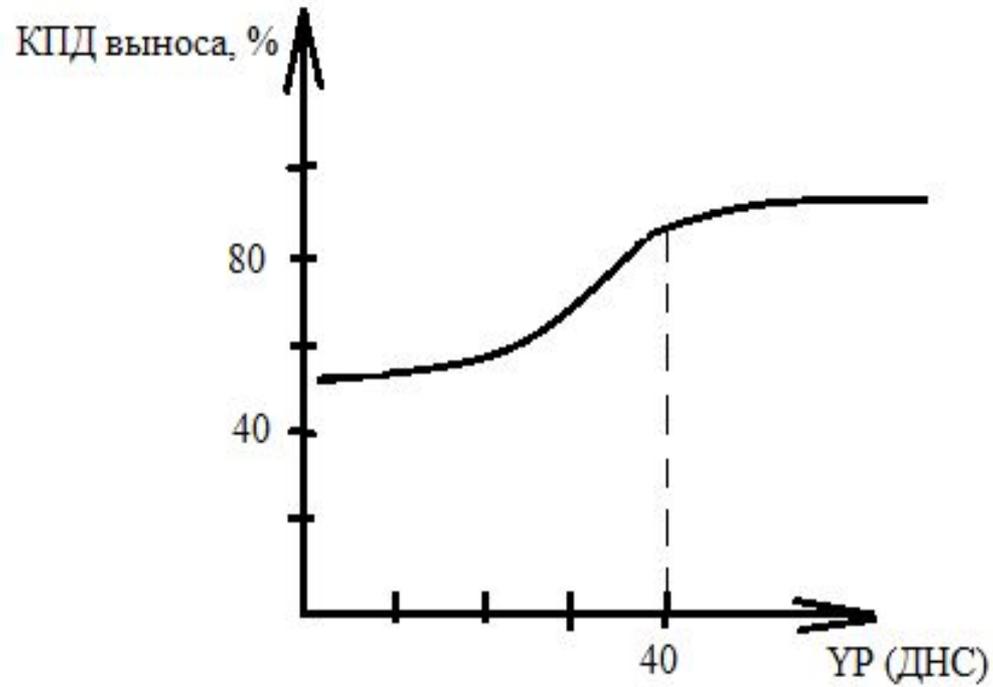
# 1. Влияние УР (ДНС)



Т.е. чем выше ДНС, тем меньше скорость осаднения.



## 2. Влияние УР (ДНС) на КПД выноса (очевидно $K_B$ %)



Для скважин с малыми зенитными углами  
( $\theta < 30^\circ$ )

-для увеличения КПД удаления шлама (коэффициент выноса) необходимо:

Увеличить скорость восходящего потока;

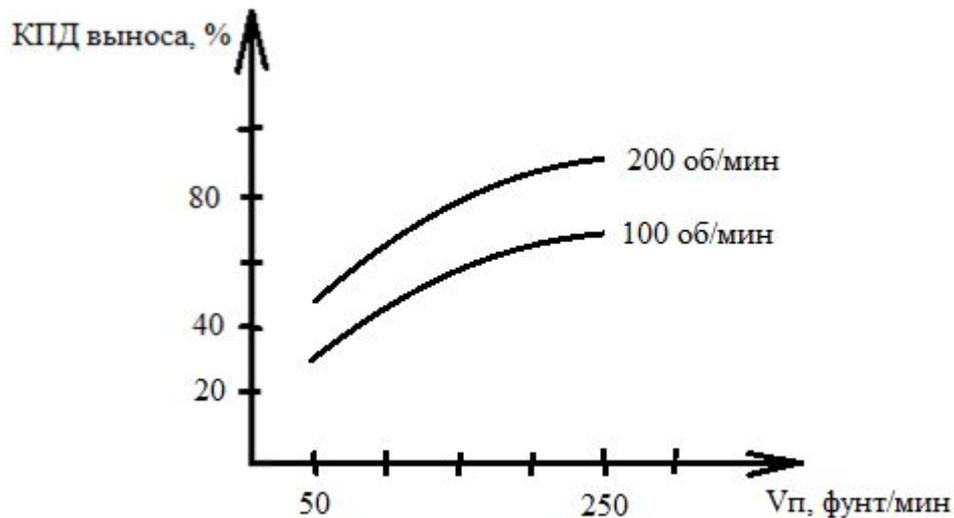
Увеличить плотность бурового раствора (уменьшается скорость осаждения)

по Риттингеру: 
$$v_{\text{в}} = K \sqrt{\frac{d_r(\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{р}})}{\rho_{\text{р}}}}$$

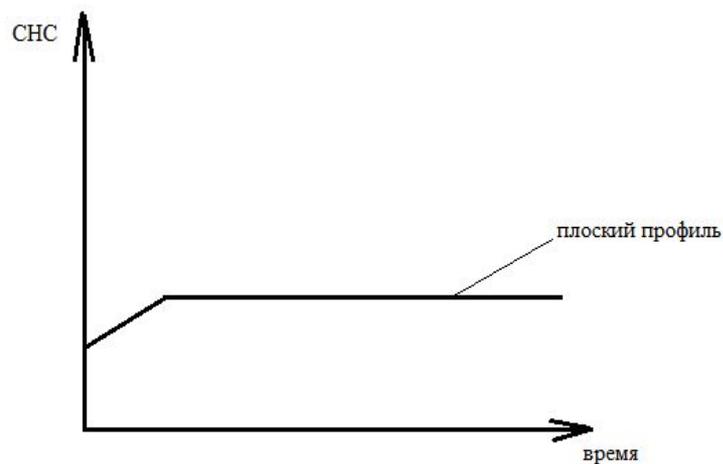
Т.е. при увеличении плотности раствора частица шлама будет витать при меньшей скорости потока;

- Увеличить реологические параметры раствора (УР), т. е. (ДНС) = ;
- Увеличить частоту вращения бурильной колонны;





$PV$  нужен как можно ниже — нужен вытянутый (очевидно «плоский» профиль — СНС)



Очевидно, будет  $RV$  тоже ниже;

- Режим течения – нужен плоский профиль течения потока.



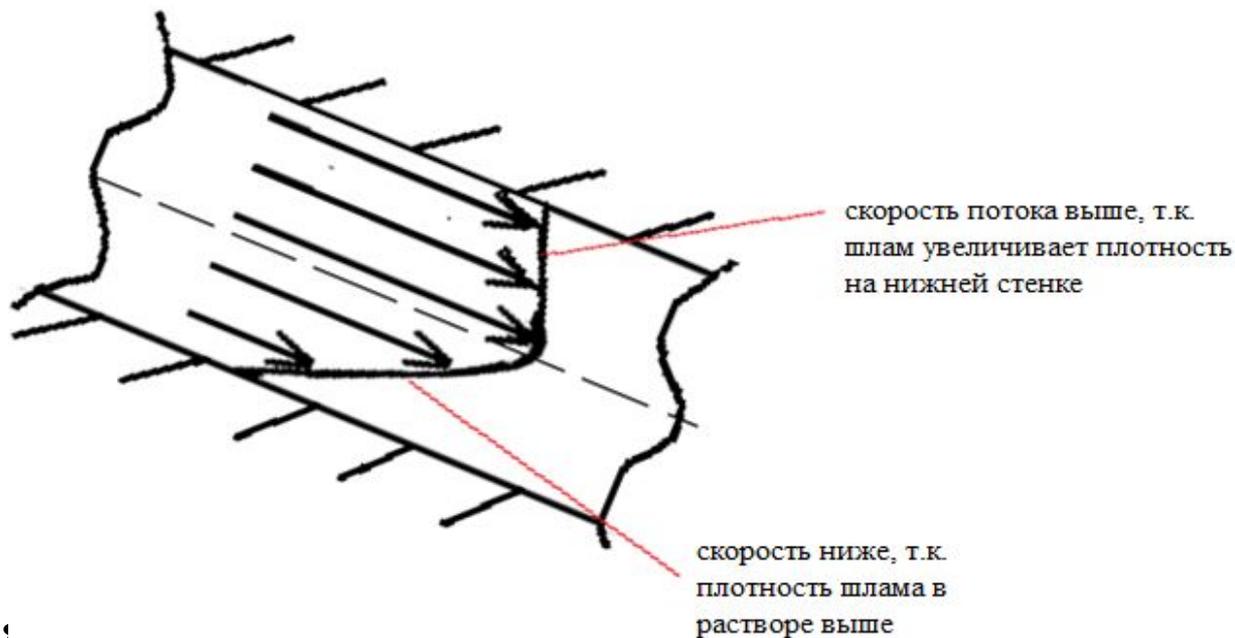
## При увеличении зенитного угла

происходят изменения условий и качества выноса шлама:

- - на нижней стенке (лежащая) ствола концентрация шлама увеличивается;
- - получается локальное переутяжеление бурового раствора ( $> 5\%$ );
- - буровой шлам уже не удерживается раствором;
- - часть шлама удерживается самим стволом скважины;
- - начинают образовываться скопления шлама;
- - стабильность выноса шлама (его транспортирование) зависит от величины зенитного угла, т.к.:



- Работает сила тяжести частиц шлама;
- Изменяется распределение шлама в потоке при его течении;
- Меняется профиль потока, получается ассиметричный поток



- Меняются свойства, концентрация шлама, профиль потока меняется;
- Влияет эксцентриситет инструмента (отклонение от центра оси скважины).

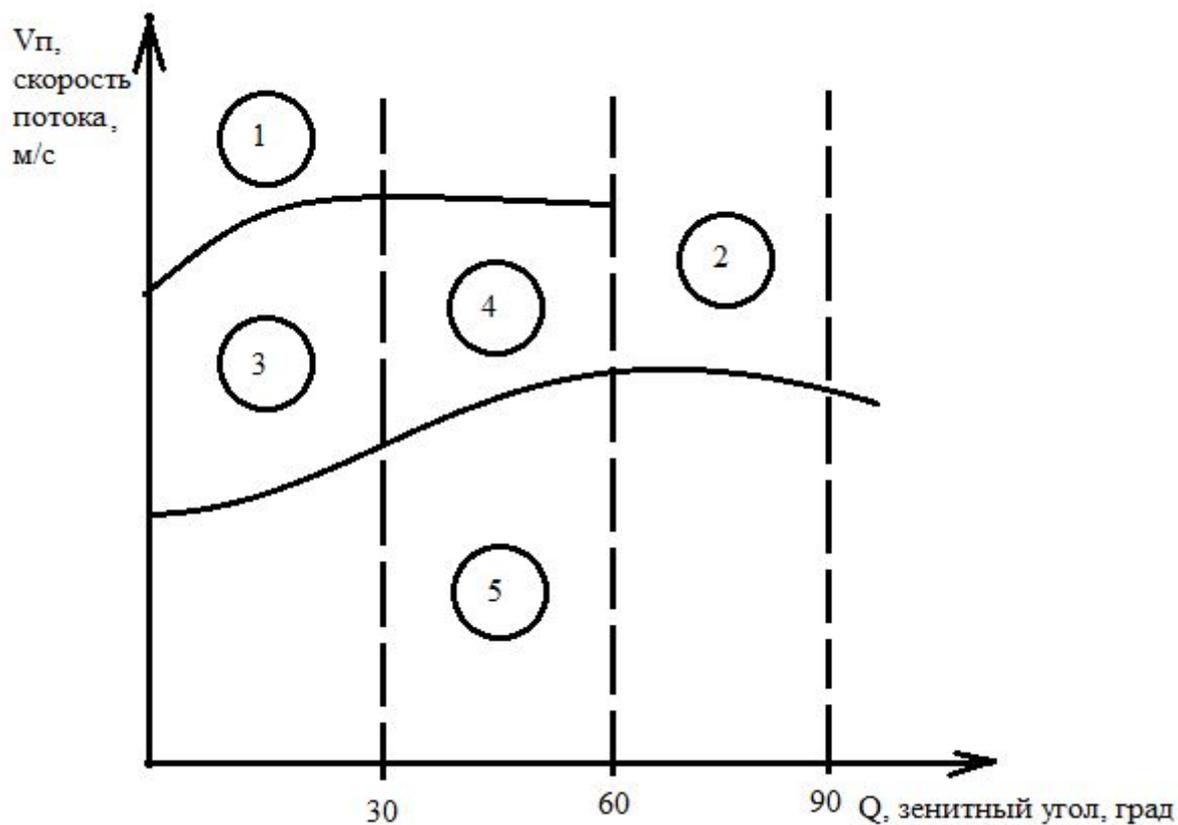
ie



## Механизм транспортирования шлама

Эффективность выноса шлама зависит от величины зенитного угла скважины.

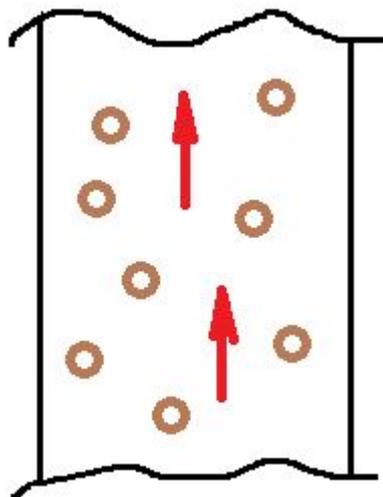
Диаграмма распределения областей выноса шлама в кольцевом пространстве при различных значениях зенитного угла:



При зенитном угле  $0 - 30^\circ$ :

Слайд 17

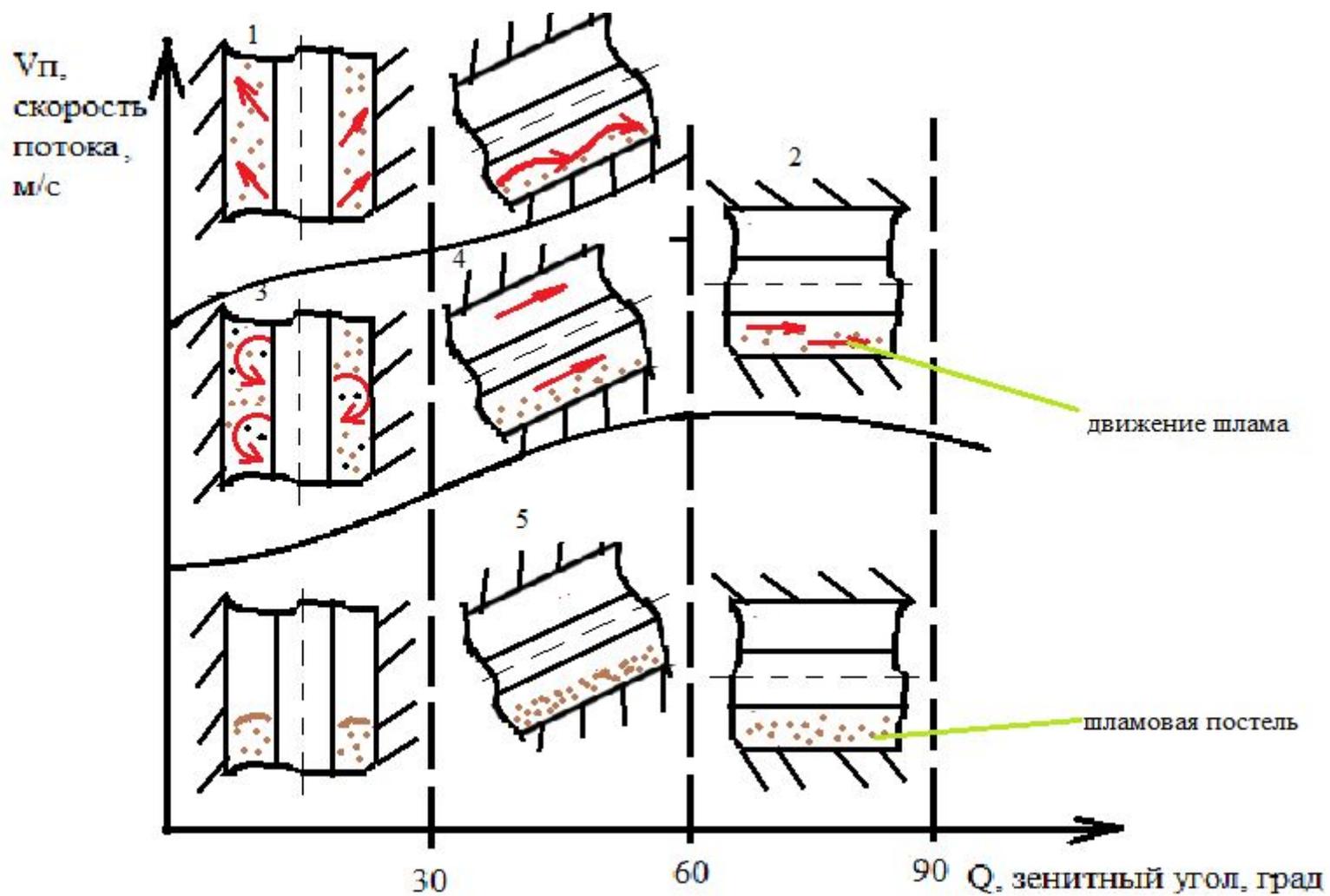
Область 1.



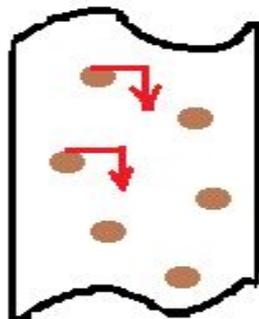
Наблюдается  
эффективный  
вынос шлама по  
стволу скважины

Режим потока бурового раствора и шлама в искривленных интервалах  
(данные Бритиш Петролеум – ВР)



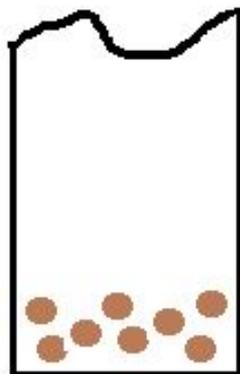


Область 3.



При низких скоростях потока.

Медленный вынос шлама, при этом возможно оседание наиболее крупных частиц шлама, в том случае, если скорость потока или реологические параметры недостаточны (например вода без глинистых частиц или полимеры).

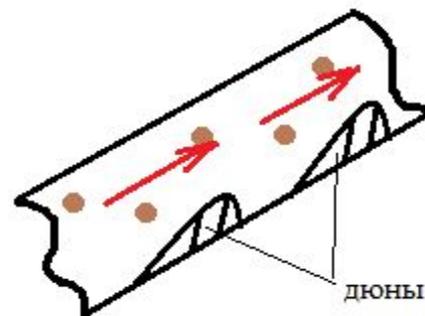


Выноса шлама нет



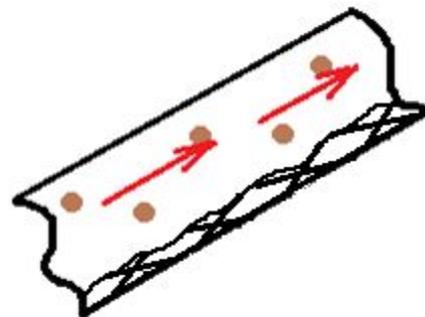
При зенитном угле  $30 - 60^\circ$

Область 4.



Шлам поднимается вверх вдоль оси скважины в виде ряби (дюн). Дюны перемещаются вверх на нижней (лежащей) стенке.

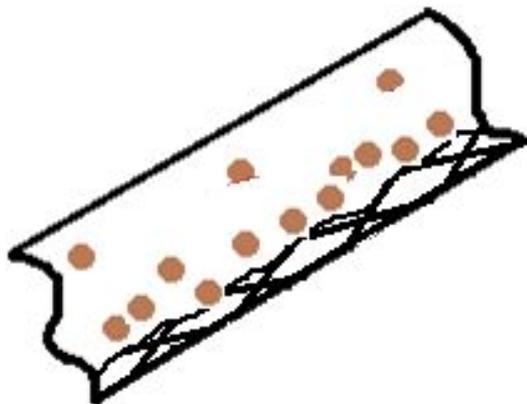
Область 4.



Может наблюдаться плохой вынос шлама — на нижней стенке образуется шламовая постель.



## Область 5.



Выноса шлама нет ( $30 - 60^\circ$ ) – при низких скоростях потока  
При ламинарном режиме – практически выноса шлама нет,  
образуется устойчивая шламовая постель – есть контакт  
шламовой подушки и бурового раствора (при маловязком  
растворе).



При зенитном угле 60-90°:

Область 5.



Выноса шлама нет (60-90°)

Образуется контакт шламовой подушки и бурового раствора, возможны затяжки.

- Таким образом:
- -в области 1 – и угле до 30° высокая скорость течения обеспечивает эффективный вынос шлама по стволу скважины.
- -в области 2 – и зенитных углах 30-60° и 60-90° - шлам выносится шорошо, но оскевший шлам образует движущиеся вверх «дюны».
- -в области 3 – и зенитных углах 0-30° наблюдается медленный вынос шлама.
- -в области 4 – и зенитных углах 30-60° - наблюдается плохой вынос шлама, образуется шламовая постель.
- -в области 5 – минимальная скорость потока раствора, выноса шлама нет в интервалах зенитных углов: 0-30°; 30-60°; 60-90°. Шлам оседает в виде осадка или постели.

Надо контролировать и ограничивать механическую скорость проходки в наклонных скважинах, т.к. толстый слой осевшего шлама трудно удалять из скважины (т.е. более высокая КЩ в кольцевом пространстве).

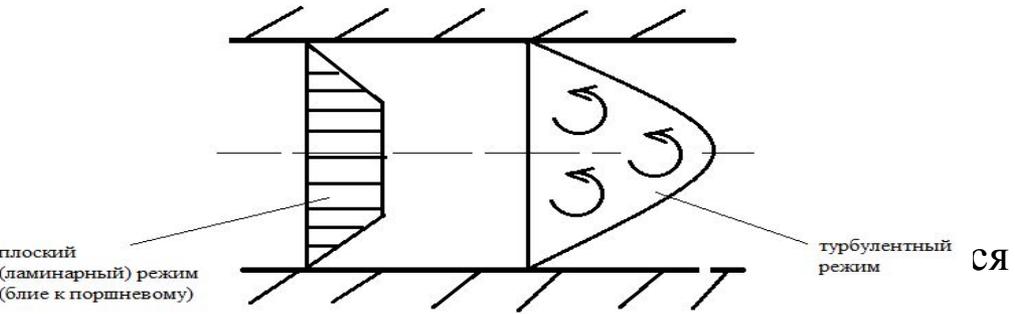


#### 4. Влияние реологических свойств бурового раствора на вынос шлама.

- -скорость осаждения шлама в буровом растворе зависит от его вязкости – в вертикальных скважинах;
- -при образовании шламовой постели на лежащей стенке скважины с зенитным углом более  $30^\circ$  изменение реологических свойств мало влияет на вынос шлама – мало улучшает вынос шлама;
- -маловязкие жидкости наиболее эффективны в скважинах с зенитным углом более  $30^\circ$ , т.к. режим течения этих жидкостей турбулентный и завихрения потока способствуют выносу шлама;



-для уменьшения гидравлических сопротивлений и обеспечения более плоского профиля скоростей в затрубном пространстве пластическую вязкость надо понижать до минимума, т.к.



при минимальной вязкости и одной скорости течения его в наружной скважины.

Установлены три диапазона зенитных углов по эффективности:

- 0-45° - шлам выносится эффективнее при ламинарном режиме течения. Транспортирование шлама улучшается при повышении реологических свойств – особенно д.н.с.;
- 45-55° - режим течения не влияет, преимущественно наблюдается соскальзывание шламового осадка вниз;
- 55-90° - увеличение отношения не приводит к улучшению выноса

$$\frac{\tau_0}{\mu}$$

шлама. Ствол лучше очищается и в турбулентном режиме.

Кроме того:

- повышение реологических свойств не влияет на несущую способность при турбулентном режиме в любом диапазоне зенитного угла;
- при малых зенитных углах и ламинарном режиме течения повышение улучшает вынос шлама - уменьшается концентрация шлама в кольцевом пространстве.

$$\tau_0$$

