МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

# МЕТОДИКА РАСЧЕТА УСЛОВИЙ БЕСКАВИТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПОДВОДЯЩИХ НЕФТЕПРОВОДОВ ПОДПОРНЫХ НАСОСОВ

РД 39-30-496-80

gost.e-ecolog.ru

1981

Министерство нефтяной промышленности

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПО СБОРУ, ПОДГОТОВКЕ И ТРАНСПОРТУ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ
ВНИИСПТнефть

УТВЕРЖДЕНА

первым заместителем министра
нефтяной промышленности
В.И.Кремневым
31 декабря 1980 г.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

# М Е Т О Д И К А
# РАСЧЕТА УСЛОВИЙ БЕСКАВИТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПОДВОДЯЩИХ НЕФТЕПРОВОДОВ ПОДПОРНЫХ НАСОСОВ

РД 39-30-496-80

1981

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

# Методика расчета условий бескавитационной работы подводящих нефтепроводов подпорных насосов

РД 39-30-496-80

Приказом Министерства нефтяной промышленности
от 23.01.81 № 61
Срок введения установлен с 10.02.81
Срок действия до 10.02.86

Настоящий руководящий документ устанавливает метод расчета на кавитационную устойчивость подводящих нефтепроводов подпорных магистральных насосов.

Методика разработана в дополнение к РД 39-30-39-78 и предназначена специалистам, занятым проектированием и эксплуатацией насосных станций.

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Расчет нефтепровода на кавитационную устойчивость производится с целью обеспечения бескавитационных условий при протекании жидкости по трубам и местным сопротивлениям.

I.2. Проверка нефтепровода на кавитационную устойчивость заключается в сравнении располагаемого напора в любой точке подводящего нефтепровода с допустимым.

I.3. Наиболее вероятные элементы, в которых могут иметь место кавитационные явления - отвод и приемо-раздаточный патрубок (ПРП), расположенные на надземной части подводящего нефтепровода.

I.4. Условные обозначения.

$P_a$ - атмосферное давление, Па;

$P_{кр}$ - критическое давление кавитации, Па;

$h_s \frac{P_s}{\rho g}$ - напор, соответствующий давлению насыщенных паров перекачиваемой жидкости, м;

$H_{кр}$ – критический напор, м;

$h_м$ – суммарные гидравлические потери напора, м;

$Q$ – расход жидкости, $м^3/с$;

$v$ – средняя скорость потока, м/с;

$d$ – внутренний диаметр трубопровода, м;

$\rho$ – плотность жидкости, $кг/м^3$;

$g$ – ускорение силы тяжести, $м/с^2$;

$T$ – температура перекачиваемой жидкости, град. К;

$\varkappa_{кр}$ – критическое число кавитации местного сопротивления.

## 2. РАСЧЕТ УСЛОВИЙ БЕСКАВИТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПОДВОДЯЩИХ НЕФТЕПРОВОДОВ

### 2.1. Исходные данные.

Для выполнения расчетов по настоящей методике необходимы следующие исходные данные:

а) технологическая схема системы "резервуарный парк-подводящие нефтепроводы – подпорные насосы" с указанием геометрических размеров (диаметров $d_i$, длин $\ell_i$) участков трубопровода, включая диаметр приемо-раздаточного патрубка $d_п$;

б) данные о свойствах перекачиваемой жидкости с учетом температуры перекачки (плотность, вязкость, давление насыщенных паров);

в) суммарный расход жидкости и число приемо-раздаточных патрубков на откачке.

### 2.2. Условие бескавитационной работы подводящего нефтепровода:

$$\frac{p_a}{\rho g} + H - h_м - \frac{v^2}{2g} \geq \varkappa_{кр} \frac{v^2}{2g} + \frac{p_{нп}}{\rho g}. \qquad (1)$$

Левая часть неравенства - располагаемый напор в расчетном сечении, складывающийся из напора, создаваемого атмосферным давлением в резервуаре и разностью нивелирных отметок уровня нефти в резервуаре и соответствующей (расчетной) точкой трубопровода за вычетом гидравлических потерь на участке от резервуара до рассматриваемого сечения и скоростного напора.

Правая часть неравенства - допустимый напор, представляющий сумму критического давления кавитации и кавитационного запаса местного сопротивления.

При наземной укладке подводящего трубопровода или малом его заглублении кавитация при определенных условиях может возникнуть в линейной части.

Для таких трубопроводов по формуле (I) определяется располагаемый напор в любой точке трубопровода (наименьший напор будет перед подпорным насосом), который должен быть больше величины $P_{кр}/\rho g$ во избежание кавитации перекачиваемой жидкости. При этом проверочный расчет следует производить для условий минимально допустимого налива в резервуаре. В этом случае разность нивелирных отметок уровня нефти в резервуаре и расчетной точкой трубопровода $H_{min}$ определяется в соответствии с рис. I.

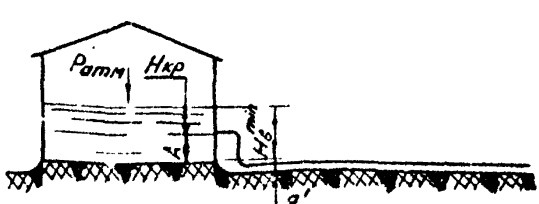



Рис. I Расчетная схема

$$H_{min} = H_{\text{в}}^{min} \pm Z' = H_{кр} + A \pm Z', \qquad (2)$$

где $A$ – расстояние от оси приемо-раздаточного патрубка до дна резервуара;

$z'$ – расстояние от оси наземного трубопровода до дна резервуара. Знак "+" относится к случаю расположения оси трубопровода ниже дна резервуара и "–" при расположении оси трубопровода выше дна резервуара.

2.2.1. Атмосферное давление на свободную поверхность принимается в зависимости от абсолютной отметки насосной :

$$\frac{P_a}{\rho g} = (10{,}33 - 0{,}001\,z)\frac{\rho_в}{\rho}, \qquad (3)$$

где $z$ – отметка насосной от уровня моря, м вод.ст.

$\rho_в$ – плотность воды, кг/м$^3$;

$\rho$ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м$^3$;

2.2.2. Определение разницы нивелирных отметок уровня нефти в резервуаре и рассматриваемой точки нефтепровода зависит от расположения расчетного сечения.

Для надземной части нефтепровода, расположенной соосно с приемо-раздаточным патрубком, искомая величина совпадает с критическим напором, соответствующим моменту начала прорыва газовоздушной смеси в приемо-раздаточный патрубок и определяется по формуле:

$$H_{min} = H_{кр} = K_д\left(0{,}4\,\frac{Q^{0{,}6}}{d_п^{1{,}5}} + 0{,}9\right)d_п, \qquad (4)$$

где $K_д$ – коэффициент, учитывающий подпитие потока, определяемый по рис.2., или для существующих конструкций резервуаров по рис. 3 определяется непосредственно величина $H_{кр}$.

В общем случае $H_{min}$ определяется по формуле (2).

2.2.3. Гидравлические потери на участке от резервуара до рассматриваемой точки трубопровода определяются в соответствии с РД 39-30-39-78.

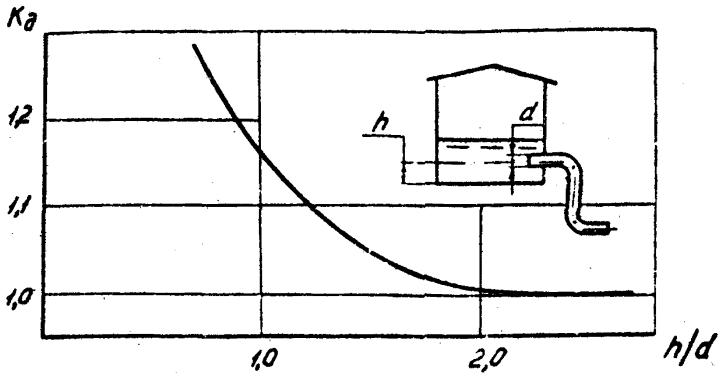



Рис. 2. Значение коэффициента $K_д$, учитывающего подкатие потока, для различных положений приемо-раздаточного патрубка

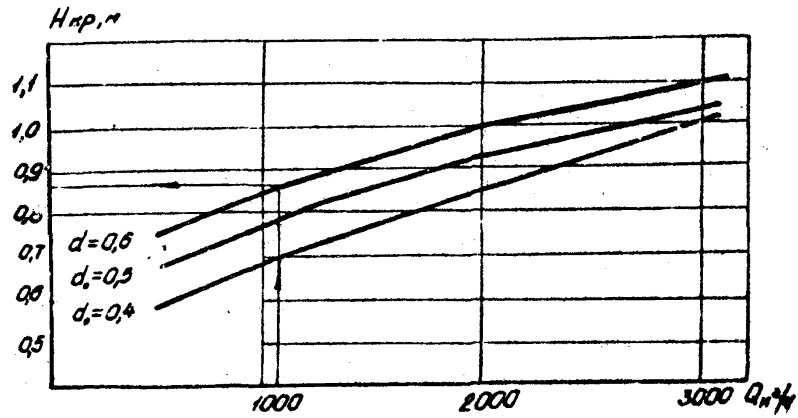



Рис. 3. Зависимость критического напора от расхода через приемо-раздаточный патрубок различного диаметра.

2.2.4. Критическое давление кавитации $P_{кр}$ можно определять с помощью кавитационной трубки, установленной в системе трубопроводной обвязки насосов НПС.

Ввиду отсутствия стандартных методов определения критического давления кавитации за $P_{кр}/\rho g$ можно приближенно принимать давление насыщенных паров перекачиваемой жидкости $h_s$ при температуре перекачки, имея при этом ввиду, что расчет в этом случае будет соответствовать условиям начальной кавитации. Давление насыщенных паров следует принимать по данным лабораторных исследований при соотношении паровой и жидкой фаз близком к нулю. Давление насыщенных паров, замеренное по методу Рейда $h_s^P (V_n/V_ж = 4:1)$, пересчитывается по формуле:

$$h_s = h_s^P [1{,}558 + 0{,}0053(T-273)], \qquad (5)$$

где $T$ – температура перекачиваемой жидкости, град. К.

Для некоторых нефтей можно ориентировочно пользоваться графиком $h_s = f(T)$ (приложение I.).

2.2.5. Критическое число кавитации приемо-раздаточного патрубка, отвода и задвижки определяется в соответствии с рис. 4, 5 и 6.

На рис. 6 $F$ – площадь проходного сечения задвижки, м$^2$;

$F_{тр}$ – площадь проходного сечения трубы, м$^2$.

Для полностью открытой задвижки $(F/F_{тр} = 1)$ $\chi_{кр} = 1{,}2$.

Для тройника

$$\chi_{кр} = \zeta_{в.с} + 2 - \frac{Q_1^4}{Q_{сб}^4} \cdot \frac{F_{сб}^2}{F_1^2}, \qquad (6)$$

где $Q_1$ и $Q_{сб}$, $F_1$ и $F_{сб}$ – расходы и сечения рассчитываемой ветви, по которой подводится жидкость, и сборного трубопровода соответственно;

$\zeta_{в.с.}$ – коэффициент сопротивления на внезапное сужение, определяемый по таблице.

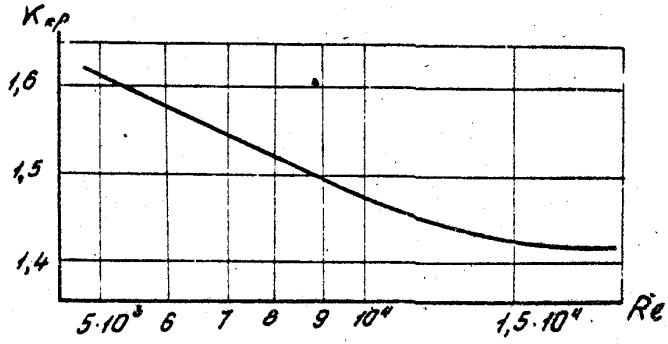



Рис. 4. Критическое число кавитации приемо-раздаточного патрубка в зависимости от числа Рейнольдса

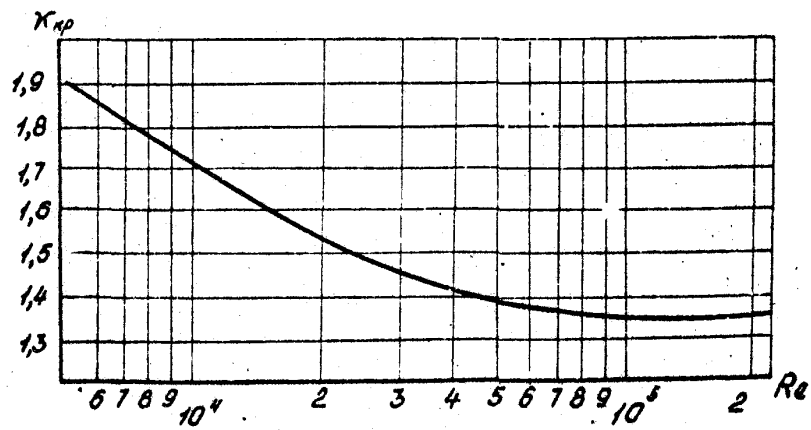



Рис. 5. Критическое число кавитации отвода $\delta = 90$ $R/d = 1{,}5$ в зависимости от числа Рейнольдса

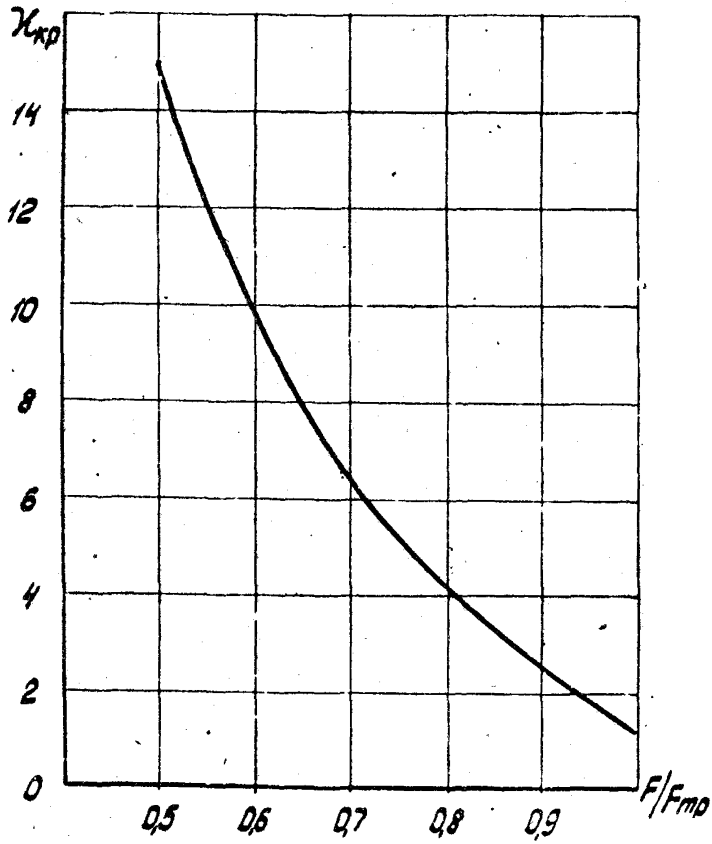



Рис.6. Критическое число кавитации задвижки в зависимости от степени ее открытия

Таблица

Коэффициенты сопротивления $\zeta_{в.с.}$

| $\frac{F_{сб}}{F'_{сб}}$ | 0,01 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\zeta_{в.с.}$ | 0,5 | 0,47 | 0,45 | 0,38 | 0,34 | 0,3 | 0,25 | 0,2 | 0,15 | 0,09 | 0 |

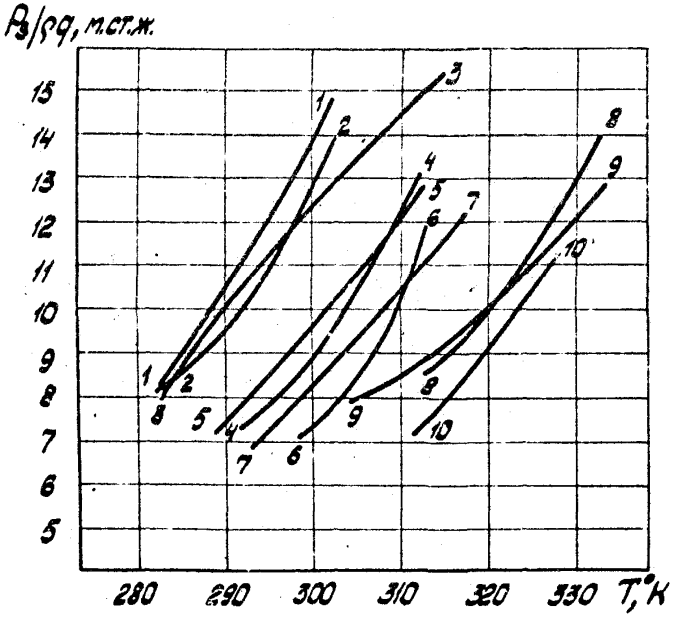
$F'_{сб}$ – площадь сборного трубопровода, соответствующая скорости в сборном тройнике для условий минимальных гидравлических потерь при смешении потоков:

$$F'_{сб} = \frac{Q^2_{сб}}{Q_1 \cdot V_1} \qquad (7)$$

В приложении 2 дается пример расчета отвода на кавитационную устойчивость.

Приложение I

Зависимость давления насыщенных паров нефтей от температуры



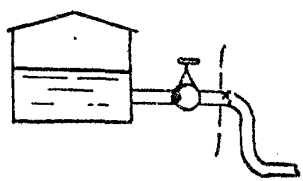

I - барлинская нефть
2 - туймазинская нефть
3 - самотлорская нефть
4 - мухановская нефть
5 - орланская нефть
6 - ромашкинская нефть
7 - усть-балыкская нефть
8 - мангышлакская нефть
9 - сургутская нефть
I0 - небитдагская нефть

Приложение 2

Пример расчета отвода на кавитационную устойчивость.

П.2.I. Исходные данные:

П.2.I.I. Схема надземной части трубопровода.



П.2.I.2. Диаметр приемо-раздаточного патрубка - $d_п$ = 0,6м;

П.2.I.3. Расход жидкости через один приемо-раздаточный патрубок Q = 2500 м³/ч = 0,695 м³/с.

П.2.I.4. Свойства перекачиваемой жидкости для максимальной температуры перекачки ( $t$ = 303°К):

плотность $\rho$ = 860 кг/м³;

вязкость кинетическая $\nu$ = 0,I5 $I0^{-4}$ м²/с;

давление насыщенных паров $h_s = \frac{p_s}{\rho g}$ = I0 м.ст.ж.

П.2.2. Напор, определяемый атмосферным давлением

$h_{атм} = \frac{P_{атм}}{\rho g} = (I0{,}33 - 0{,}00I \cdot I00)\frac{I000}{860} = II{,}7$ м

П.2.3. Критический напор, соответствующий началу прорыва газовоздушной смеси в приемораздаточный патрубок $H_{к.р}$ = I,05м (по рис. 3).

П.2.4. Гидравлические потери. Скорость течения жидкости в трубопроводе $v = \frac{4 \cdot Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0{,}695}{3{,}I4 \cdot 0{,}6^2} = 2{,}46$ м/с ;

число Рейнольдса

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{2,46 \cdot 0,6}{0,15 \cdot 10^{-4}} = 9,8 \cdot 10^4 ;$$

коэффициент гидравлического сопротивления

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{9,8 \cdot 10^4}} = 0,018 ;$$

коэффициенты местных сопротивлений

на выходе из резервуара $\zeta_{вых} = 0,5$ ;

задвижки $\zeta_{зад} = 0,15$

Гидравлические потери на участке от резервуара до отвода (сеч. I-I)

$$h_w = (\lambda \frac{\ell}{d} + \Sigma \zeta) \frac{V^2}{2g} = (0,018 \frac{6}{0,6} + 0,65) \frac{2,46^2}{2 \cdot 9,8} = 0,25 \text{ м}$$

II.2.5. Критическое число кавитации отвода

$$\chi_{кр}^{отв} = 1,36 \quad (\text{по рис. 5})$$

II.2.6. Располагаемый напор в расчетном сечении

$$h_{расп} = \frac{p_{атм}}{\rho g} + H_{кр} - h_w - \frac{V^2}{2g} = 11,7 + 1,05 - 0,25 = 12,5 \text{ м}$$

II.2.7. Допустимый по условиям кавитации напор в расчетном сечении

$$h_{доп} = \chi_{кр} \frac{V^2}{2g} + \frac{p_s}{\rho g} = 1,36 \frac{2,46^2}{2 \cdot 9,8} + 10 = 10,4 \text{м}$$

II.2.8. За основания обеспечения условия $h_{расп} > h_{доп}$ следует, что откачка при указанных конструктивных параметрах свойств нефти в принятом режиме откачки будет происходить без кавитации.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

# М Е Т О Д И К А
# РАСЧЕТА УСЛОВИЙ БЕСКАВИТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ПОДБОДЯЩИХ НЕФТЕПРОВОДОВ ПОДПОРНЫХ НАСОСОВ

РД 39-30-496-80

Издание ВНИИСПТнефти
450055, г.Уфа-55, пр.Октября, 144/3

Подписано к печати 7.04.81 П02111
Формат 60х90 1/16 Уч.изд.л. 0,7. Тираж 160 экз. Заказ 84

gost.e-ecolog.ru