

**МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ**

**МЕТОДИКА**

**РАСЧЕТА УСЛОВИЙ БЕСКАВИТАЦИОННОЙ  
РАБОТЫ ПОДВОДЯЩИХ НЕФТЕПРОВОДОВ  
ПОДПОРНЫХ НАСОСОВ**

**РД 39-30-496-80**

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

## 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.

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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

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

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

1.4. 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;  
 $h_m$  - суммарные гидравлические потери напора, м;  
 $Q$  - расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;  
 $v$  - средняя скорость потока, м/с;  
 $d$  - внутренний диаметр трубопровода, м;  
 $\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  
 $g$  - ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  
 $T$  - температура перекачиваемой жидкости, град. К;  
 $\alpha_{кр}$  - 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:

- технологическая схема системы "резервуарный парк-подводящие нефтепроводы - подпорные насосы" с указанием геометрических размеров (диаметром  $d_i$ , длиной  $l_i$ ) участков трубопровода, включая диаметр прямо-раздаточного патрубка  $d_n$ ;
- данные о свойствах перекачиваемой жидкости с учетом температур перекачки (плотность, вязкость, давление насыщенных паров);
- суммарный расход жидкости и число прямо-раздаточных патрубков на откатке.

2.2. Условия бескавитационной работы подводящего нефтепровода:

$$\frac{P_a}{\rho g} + H - h_m - \frac{v^2}{2g} \geq \alpha_{кр} \frac{v^2}{2g} + \frac{P_{кр}}{\rho g} \quad (1)$$

Левая часть неравенства - располагаемый напор в расчетном сечении, складывающийся из напора, создаваемого атмосферным давлением в резервуаре и разность 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 подводного 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 залива в резервуаре. В этом случае разность нивелирных отметок уровня нефти в резервуаре и расчетной точкой трубопровода  $H_{min}$  определяется в соответствии с рис. I.

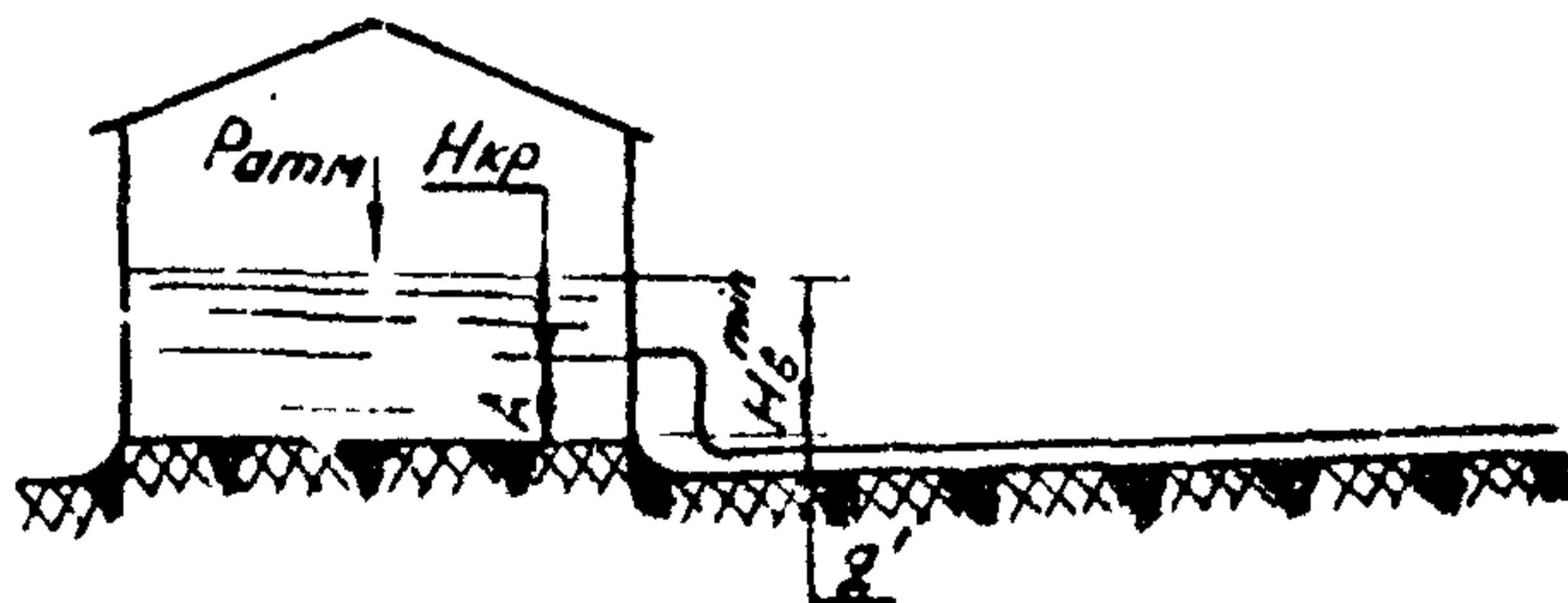


Рис. I Расчетная схема

(2)

$$H_{min} = H_{в}^{min} \pm z' = H_{кр} + A \pm z'$$



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

$x'$  - 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:

$$\frac{P_a}{\rho g} = (10,33 - 0,001 Z) \frac{\rho_0}{\rho}, \quad (3)$$

где  $Z$  - отметка насосной от уровня моря, м вод.ст.

$\rho_0$  - плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho$  - плотность перекачиваемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

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 прямо-раздаточным патрубком, искомая величина совпадает с критическим напором, соответствующим моменту начала прорыва газовоздушной смеси в прямо-раздаточный патрубок и определяется по формуле:

$$H_{min} = H_{кр} = k_g \left( 0,4 \frac{D^{0,6}}{d_n^{1,5}} + 0,9 \right) d_n, \quad (4)$$

где  $k_g$  - коэффициент, учитывающий подкати потока, определяемый по рис. 2, для 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.

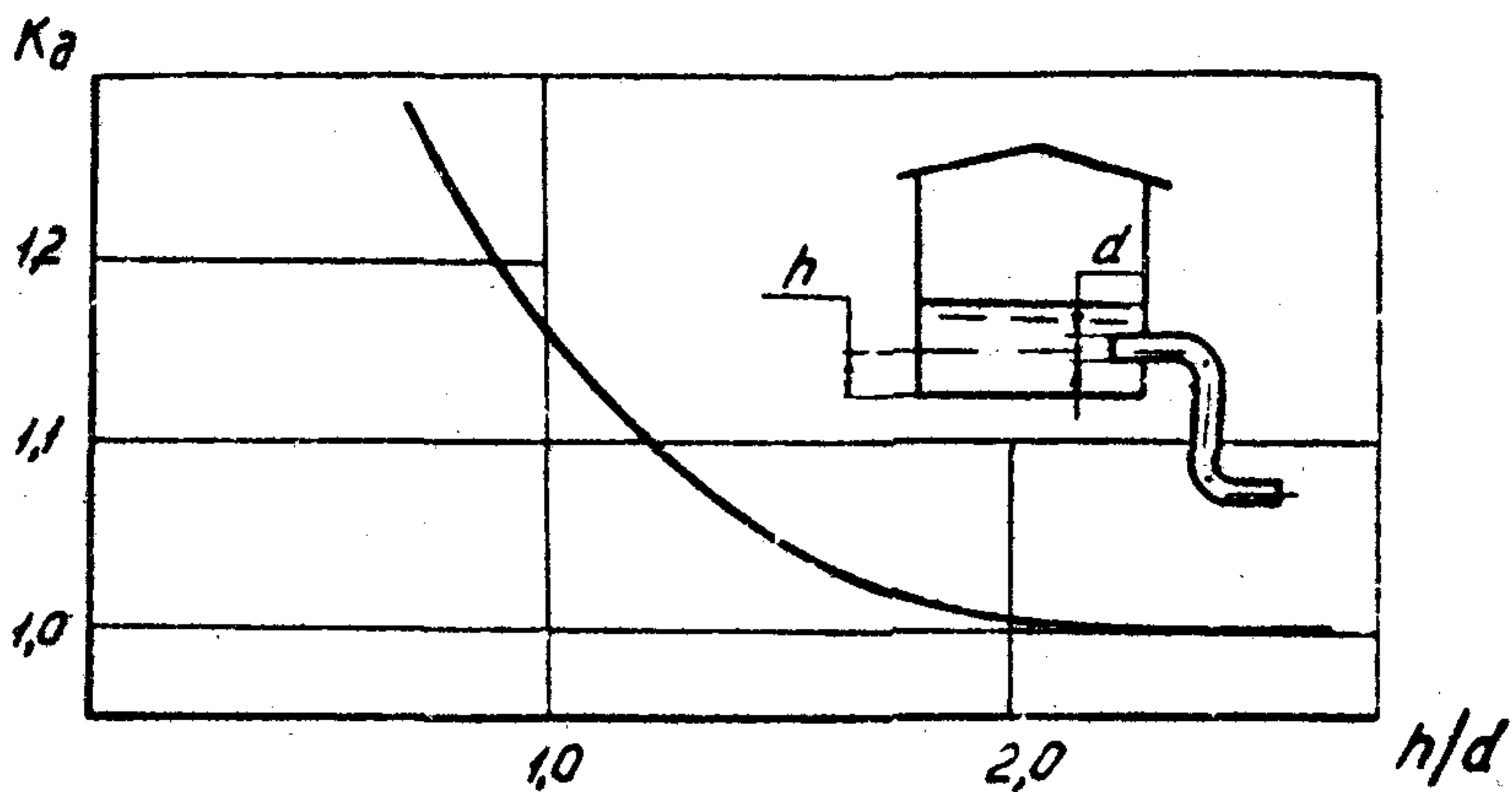


Рис. 2. Значение коэффициента  $K_d$ , учитывающего податие потока, для различных положений приемо-раздаточного патрубка

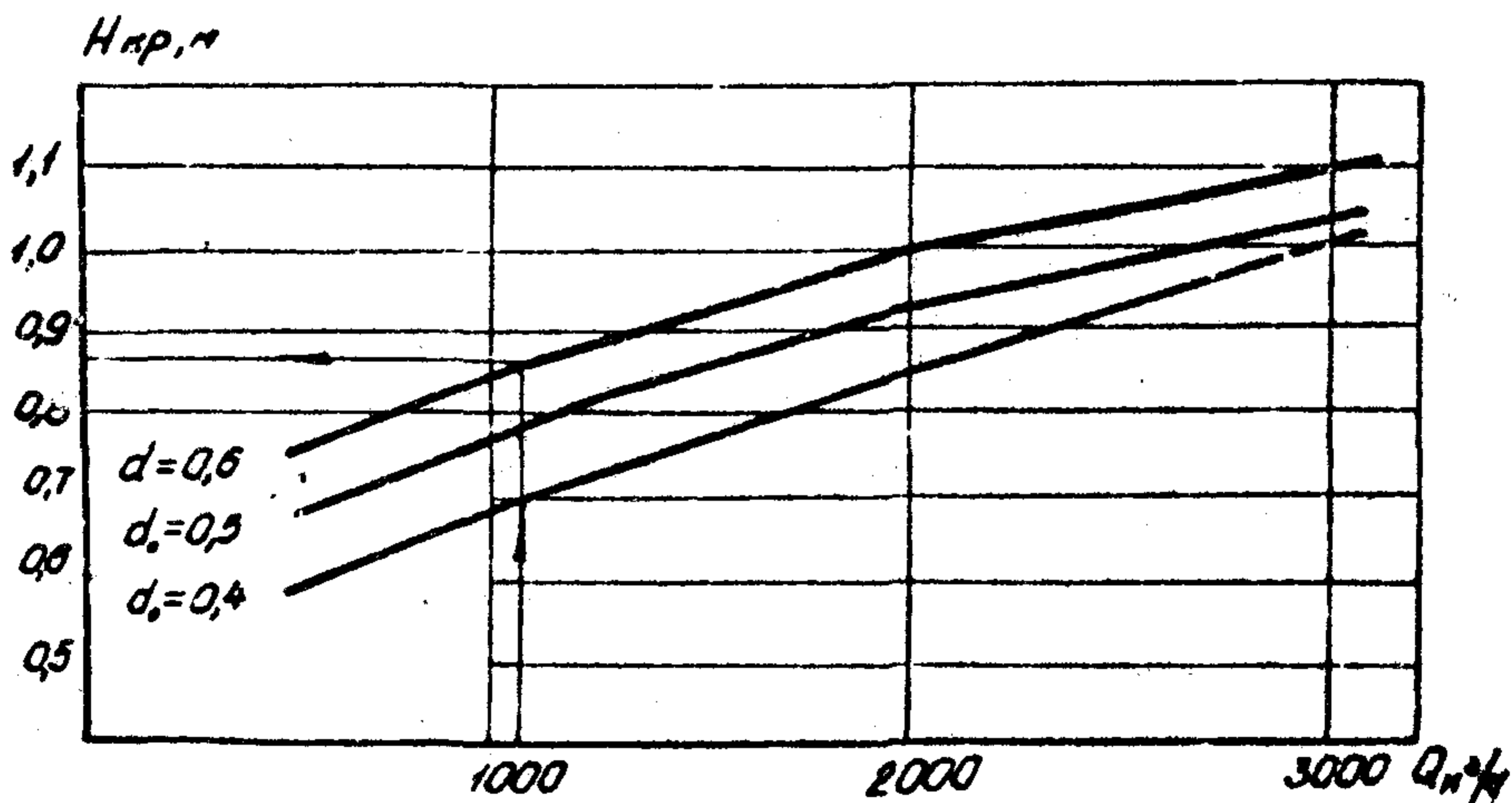


Рис. 3. Зависимость критического напора от расхода через приемо-раздаточный патрубок различного диаметра.

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  $h_s^p (V_n/V_n = 4:1)$ , пересчитывается по формуле:

$$h_s = h_s^p [1,558 + 0,0053(T - 273)], \quad (5)$$

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

Для некоторых нефтей можно ориентировочно пользоваться графиком

$$h_s = f(T) \quad (\text{приложение I}).$$

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

На рис. 6  $F$  - площадь проходного сечения задвижки,  $\text{м}^2$ ;

$F_{тр}$  - площадь проходного сечения трубы,  $\text{м}^2$ .

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

Для тройника

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

где  $Q_1$  и  $Q_{сб}$ ,  $F_1$  и  $F_{сб}$  - расходы и сечения рассчитываемой ветки, по которой подводится жидкость, и обьорного трубопровода соответственно;

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



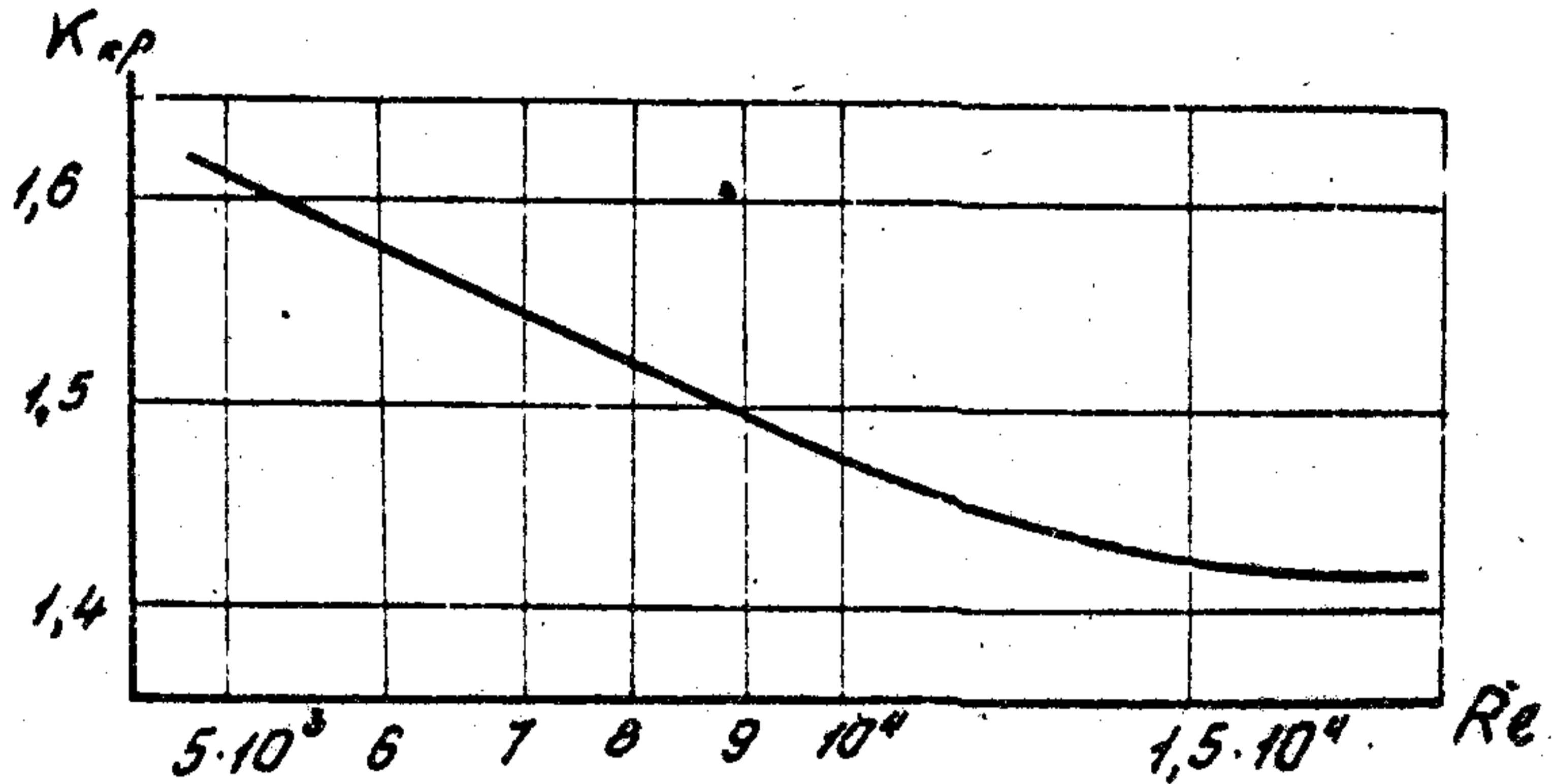


Рис. 4. Критическое число кавитации прямо-  
раздаточного патрубка в зависимости от  
числа Рейнольдса

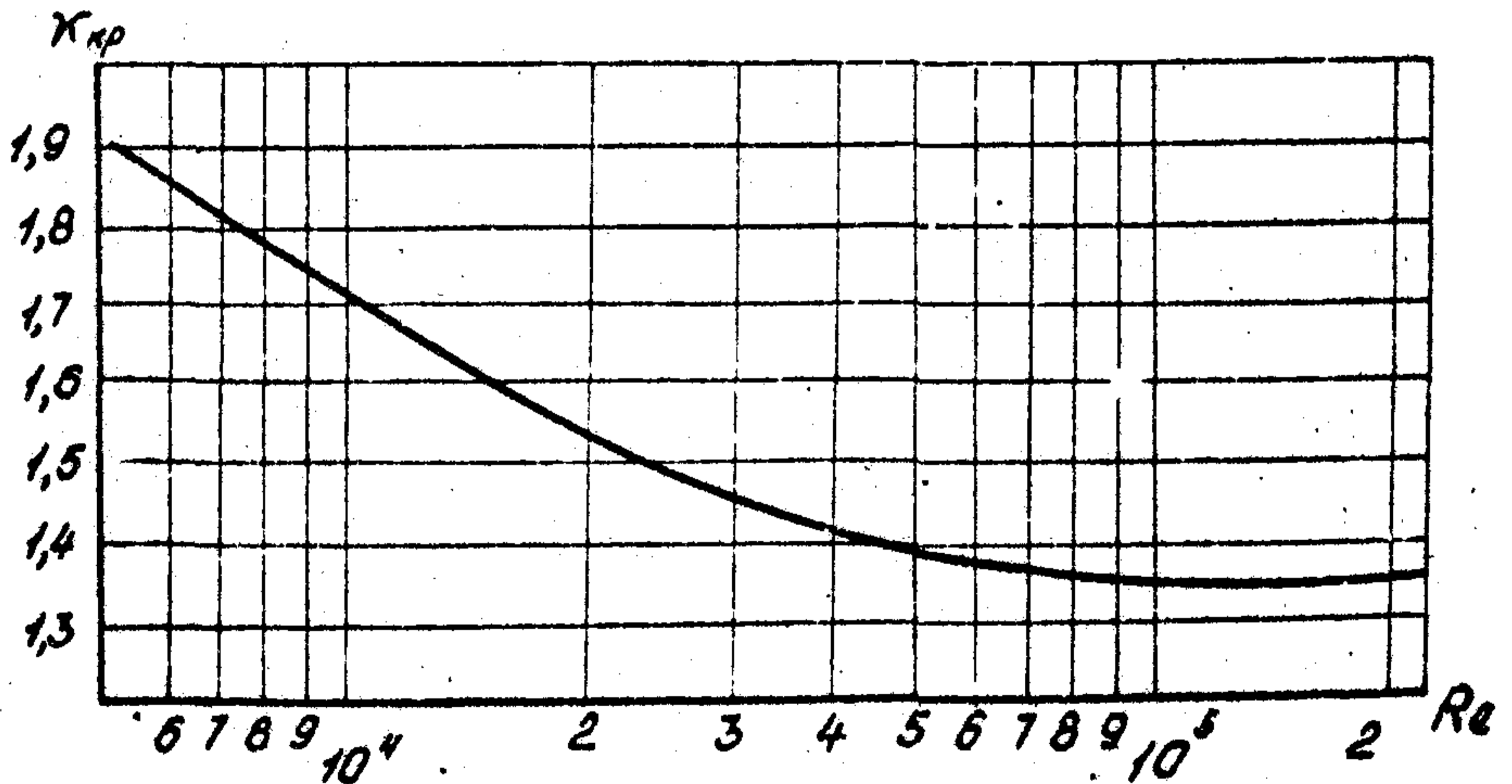


Рис. 5. Критическое число кавитации отвода  
 $\delta = 90$   $R/d = 1,5$  в зависимости от  
числа Рейнольдса

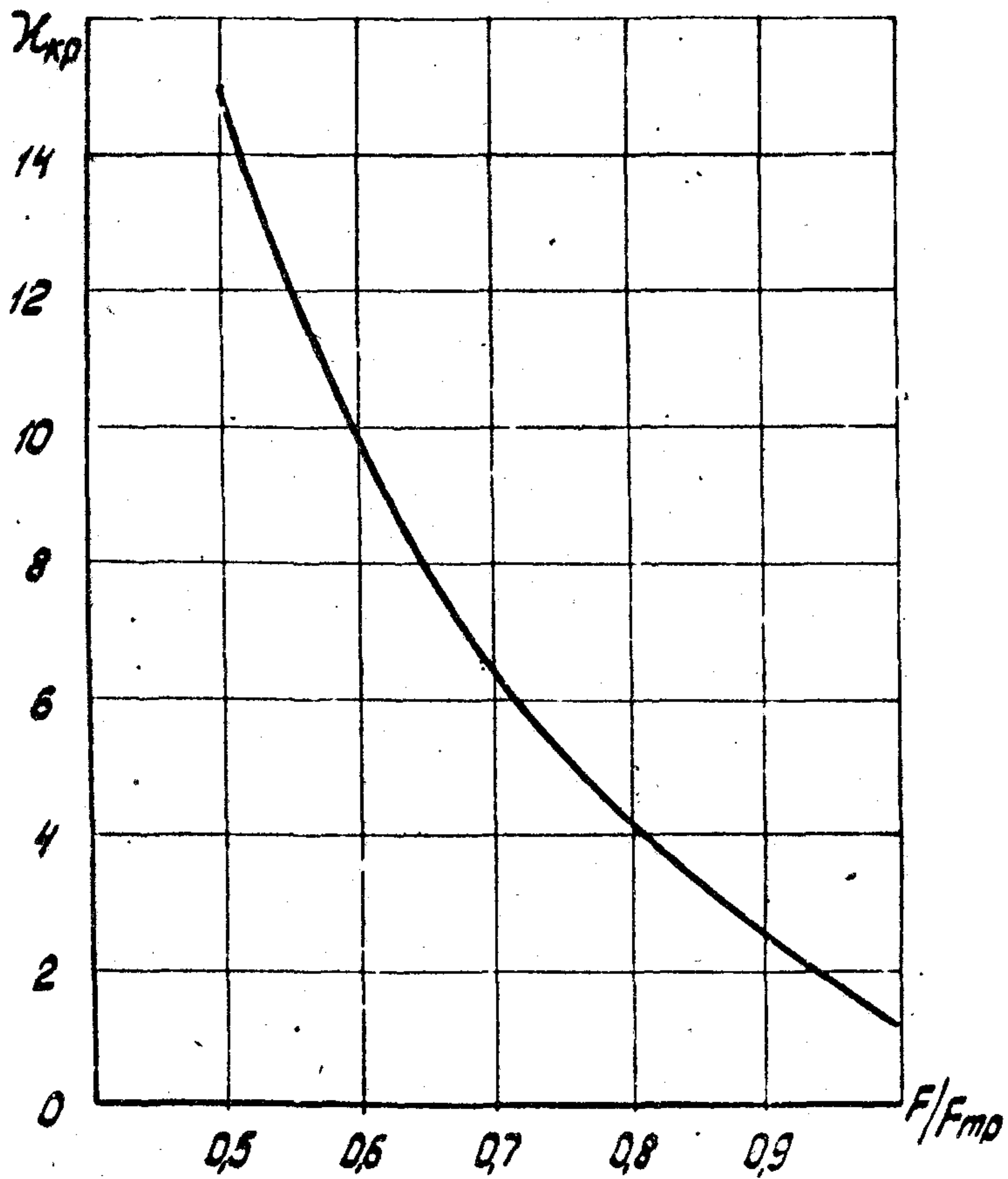


Рис.6. Критическое число кавитации задвижки  
в зависимости от степени ее открытия

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
$\zeta_{в.с.}$	10,5	0,47	0,45	0,38	0,34	0,3	0,25	0,2	0,15	0,09	0

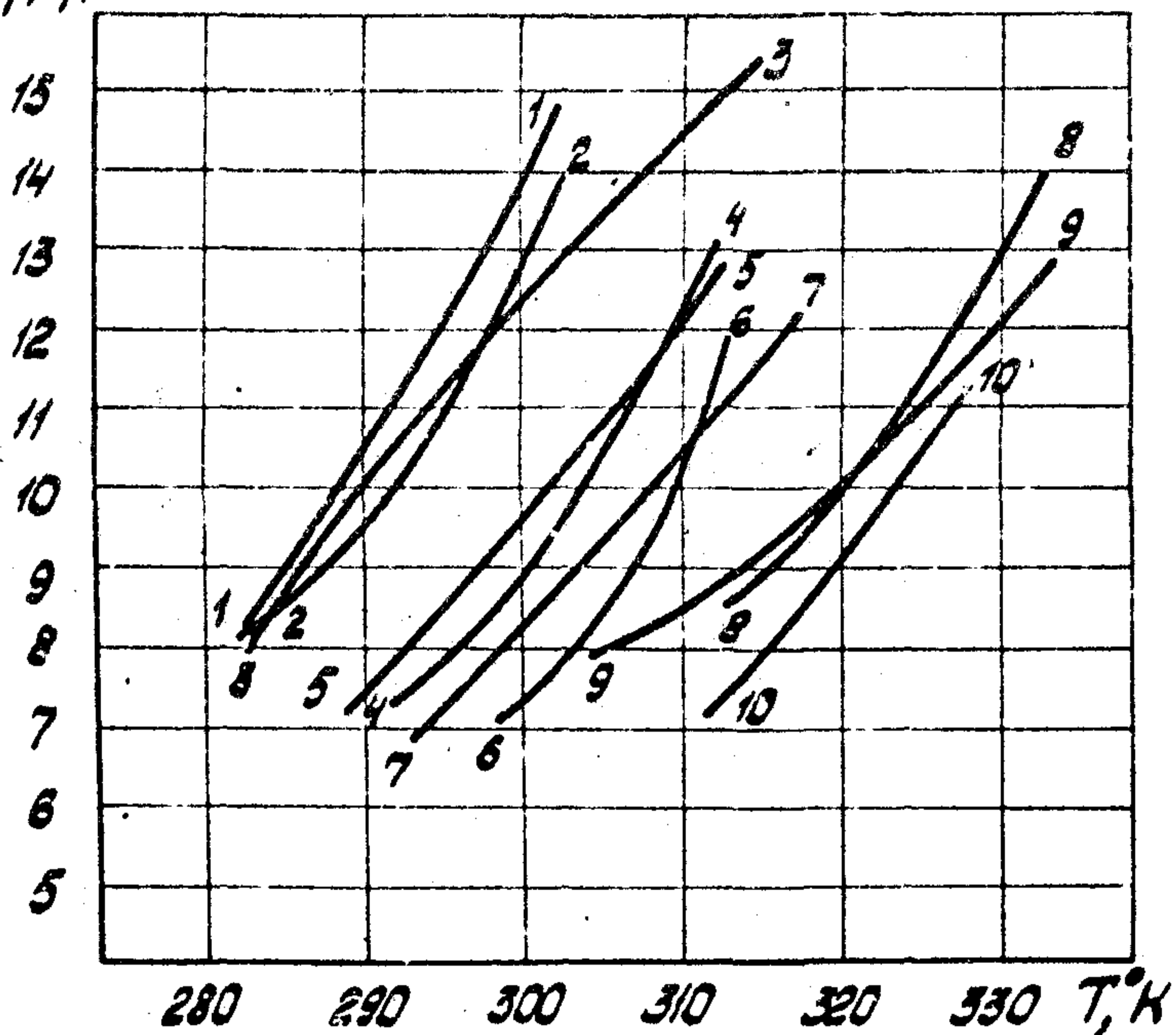
$F'_{сб}$  - площадь оборного трубопровода, соответствующая скорости в сборном тройнике для условий минимальных гидравлических потерь при смешении потоков:

$$F'_{сб} = \frac{Q_{сб}^2}{Q_1 \cdot v_1} \quad (7)$$

В приложении 2 дается пример расчета отбоя на кавитационную устойчивость.

Зависимость давления насыщенных паров  
нефтей от температуры

$P_{\text{н.п.}}, \text{ м.ст.ж.}$

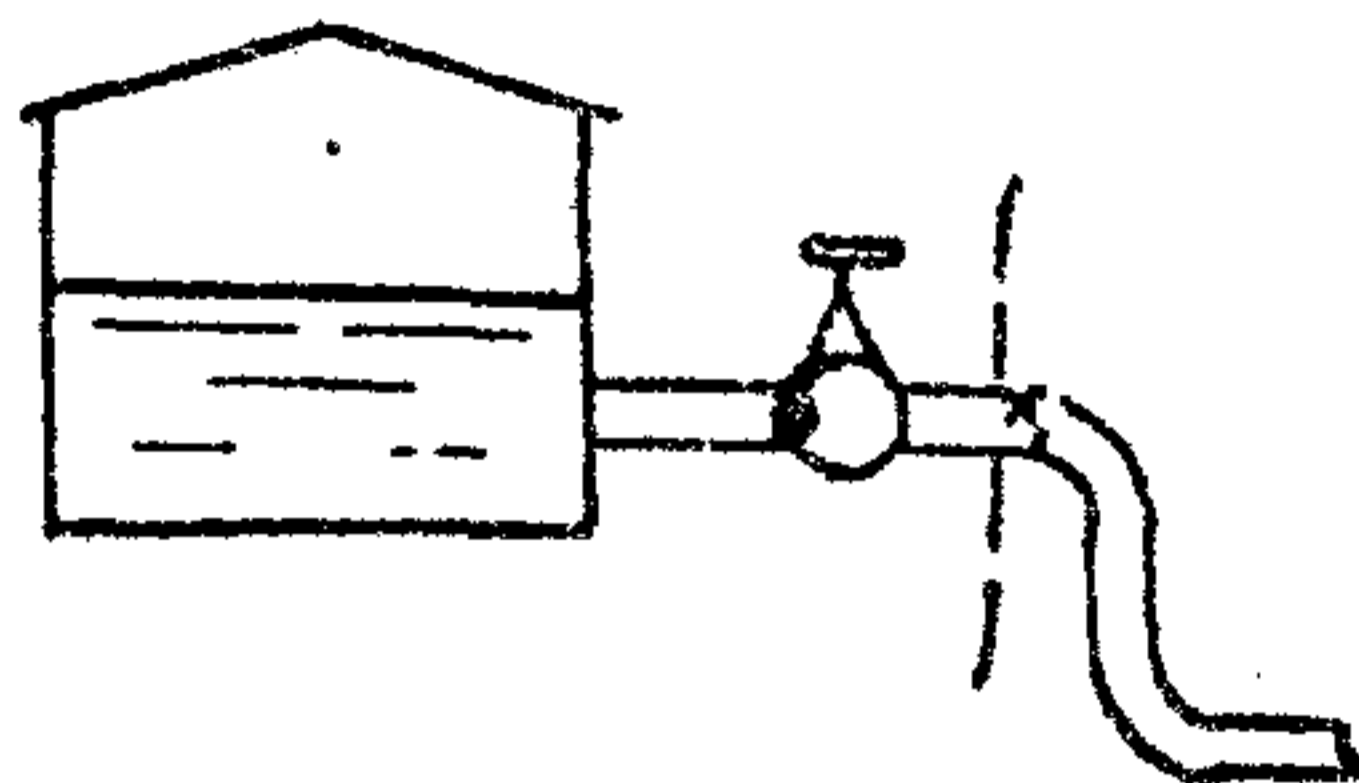


- |                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| 1 - барлинская нефть   | 6 - ромашкинская нефть   |
| 2 - туймазинская нефть | 7 - усть-балннская нефть |
| 3 - самотлорская нефть | 8 - мангышлакская нефть  |
| 4 - мухановская нефть  | 9 - сургутская нефть     |
| 5 - орланская нефть    | 10 - небитдагская нефть  |

Пример расчета отвода на кавитационную устойчивость.

П.2.1. Исходные данные:

П.2.1.1. Схема надземной части трубопровода.



П.2.1.2. Диаметр приемо-раздаточного патрубка -  $d_n = 0,6\text{ м}$ ;

П.2.1.3. Расход жидкости через один приемо-раздаточный патрубок  $Q = 2500 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,695 \text{ м}^3/\text{с}$ .

П.2.1.4. Свойства перекачиваемой жидкости для максимальной температуры перекачки ( $t = 303^\circ\text{К}$ ):

плотность  $\rho = 860 \text{ кг/м}^3$ ;

вязкость кинематическая  $\nu = 0,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ;

давление насыщенных паров  $h_s = \frac{p_s}{\rho g} = 10 \text{ м.от.ж.}$

П.2.2. Напор, определяемый атмосферным давлением

$$h_{\text{атм}} = \frac{p_{\text{атм}}}{\rho g} = (10,33 - 0,001 \cdot 100) \frac{1000}{860} = 11,7 \text{ м}$$

П.2.3. Критический напор, соответствующий началу прорыва газожидкостной смеси в приемораздаточный патрубок  $h_{\text{кр}} = 1,05\text{ м}$  (по рис. 3).

П.2.4. Гидравлические потери. Скорость течения жидкости

$$\text{в трубопроводе } v = \frac{4 \cdot Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,695}{3,14 \cdot 0,6^2} = 2,46 \text{ м/с}$$



число Рейнольдса

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

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  $\zeta_{\text{вых}} = 0,5 ;$

задвижки  $\zeta_{\text{зод}} = 0,15$

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

$$h_w = \left( \lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2g} = \left( 0,018 \frac{6}{0,6} + 0,65 \right) \frac{2,46^2}{2 \cdot 9,8} = 0,25 \text{ м}$$

П.2.5. Критическое число кавитации отвода

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

П.2.6. Располагаемый напор в расчетном сечении

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

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

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

П.2.8. За основании обеспечения условия  $h_{\text{расп}} > h_{\text{доп}}$  следует, что откачка при указанных конструктивных параметрах свойств нефти в принятом режиме откачки будет проходить без кавитации.

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ**

**М Е Т О Д И К А  
РАСЧЕТА УСЛОВИЯ БЕСКАВИТАЦИОННОЙ  
РАБОТЫ ПОДБОЛЯЩИХ НЕУТЕПРОВЕДОВ  
ПОДПОРНЫХ НАСОСОВ  
РД 39-30-496-80**

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

---

Подписано в печати 7.04.81 ПО2111

Формат 60x90 1/16 Уч.изд.л. 0,7. Тираж 160 экз. Заказ 84

---