

Министерство нефтяной промышленности  
ВНИСПНефть

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МИНИМАЛЬНО  
ДОПУСТИМЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ НЕФТИ В  
РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ УПРАВЛЕНИЙ  
МАГИСТРАЛЬНЫМИ НЕФТЕПРОВОДАМИ ГЛАВТРАНСНЕФТИ

РД 39-0147103-393-87

**Министерство нефтяной промышленности  
ВНИСИПТнефть**

**УТВЕРЖДЕН**  
**начальником Главного**  
**технического управления МПИ**  
**Г.И.Григорашенко**  
**1 сентября 1987 года**

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ**  
**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МИНИМАЛЬНО**  
**ДОПУСТИМЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ НЕФТИ В**  
**РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ УПРАВЛЕНИЙ**  
**МАГИСТРАЛЬНЫМИ НЕФТЕПРОВОДАМИ ГЛАВТРАНСНЕФТИ**  
**РД 39-0147103-393-87**

Настоящие Методические указания вводятся взамен РД 39-30-599-81. Изложенные в РД рекомендации по определению технологических и минимально допустимых остатков нефти в резервуарных парках Управлений магистральными нефтепроводами базируются на результатах исследований по кавитации нефтяных насосов, гидравлики подводных коммуникаций насосных станций, воронкообразования в резервуарах. В новой редакции РД учтены замечания и предложения Управлений МН, последовавшие в результате накопленного опыта при применении РД 39-30-599-81.

Настоящий руководящий документ разработан Ш.И.Рахматуллиным, А.С.Пеговым, И.С.Беркутовым (ВНИИСПТнефть), Н.А.Сафоновым, М.А.Тигашовым (Объединенное диспетчерское управление Главтранснефти).

## РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Методические указания по определению минимально допустимых и технологических остатков нефти в резервуарных парках насосных станций управлений магистральными нефтепроводами Главтранснефти

РД 39-0147103-393-67

Вводится взамен

РД 39-30-599-81

Срок введения установлен с 01.II.87 г.

Срок действия до 01.II.92 г.

Настоящие методические указания предназначены для определения технологических и минимально допустимых остатков нефти в резервуарных парках управлений магистральными нефтепроводами Главтранснефти.

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Минимально допустимый остаток - остаток, определяемый уровнем нефти в резервуарах, уменьшение которого приведет к изменению режима работы магистрального нефтепровода и насосно-силовых агрегатов насосных станций, связанного с сокращением проектного объема перекачки.

Технологический остаток - остаток, позволяющий вести откачку до минимально допустимого уровня из расчета двухчасовой пропускной способности нефтепровода или в течение времени, необходимого для ликвидации простоев, связанных с отказами оборудования и средств автоматики и КИП (например, срабатывание автоматики по максимальному и минимальному давлению перекачки) и с аварийным отключением насосных станций с резервуарными парками (при наличии достаточной резервуарной емкости).

## I.2. Условные обозначения

- $h_a$  - напор, определяемый атмосферным давлением, м.ст.ж.;  
 $\rho_s$  - давление насыщенных паров перекачиваемой жидкости, м.ст.ж.;  
 $Z$  - заглубление подпорного насоса (разность нивелирных отметок дна резервуара и оси входного патрубка насоса), м ;  
 $h_w$  - гидравлические потери напора на участке резервуарный парк - подпорная насосная, м.ст.ж.;  
 $d$  - диаметр трубопровода, м ;  
 $D$  - диаметр резервуаров, м ;  
 $l$  - длина трубопровода, м ;  
 $Z$  - отметка насосной от уровня моря, м ;  
 $H_{min}$  - минимально допустимый уровень нефти в резервуаре, м ;  
 $G_{вход}$  - проектная производительность нефтепровода, млн.т/год ;  
 $G$  - остаток нефти в натуральном выражении, т ;  
 $H_T$  - технологический уровень нефти в резервуаре, м ;  
 $v$  - средняя скорость потока, м/с;  
 $g$  - ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup> ;  
 $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости жидкости, м<sup>2</sup>/с;  
 $\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  
 $Q$  - проектный расход перекачиваемой жидкости, м<sup>3</sup>/с;  
 $\Delta h_{кр}$  - критический кавитационный запас насоса, м.ст.ж.;  
 $T$  - температура перекачиваемой жидкости, град К ;  
 $n$  - число оборотов ротора насоса, об/мин;  
 $m$  - количество работающих резервуаров в резервуарном парке НПС.

I.3. Проектный расход перекачиваемой жидкости  $Q$  м<sup>3</sup>/с определяется путем пересчета проектной производительности нефтепровода, задаваемой в млн.т/год, по соотношению

$$Q = \frac{33,07 G^5}{\rho} \text{ год} \quad (1)$$

1.4. Остатки нефти в натуральном выражении ( тоннах ) для насосной станции определяются по формуле

$$G = 10^{-3} \sum_1^m W \rho, \quad (2)$$

где  $W$  - объем остатка нефти в резервуаре.

Величина  $W$  в  $\text{м}^3$  определяется по градуировочной характеристике резервуара для высоты  $H$ , характерной для определяемого остатка.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО УРОВНЯ НЕФТИ В РЕЗЕРВУАРЕ

### 2.1. Исходные данные

Для выполнения расчетов, связанных с определением остатков нефти, необходимы следующие исходные данные:

технологическая схема системы "резервуарный парк-подводящие нефтепроводы-подпорные насосы" с указанием геометрических размеров (диаметров и длин) участков трубопроводов, включая диаметр приемо-раздаточного патрубка резервуара

данные о физических свойствах нефти, закачиваемой в трубопровод при максимальной температуре на рассматриваемом участке (плотность, вязкость, удельный вес, давление насыщенных паров);

техническая характеристика подпорных насосов (подача, допустимый кавитационный запас, диаметр входного патрубка, число оборотов ротора, наружный диаметр входной кромки центробежного насоса или шнека для шнекоцентробежного насоса).

2.2. Величина минимально допустимого уровня при откачке нефти из резервуаров определяется из условий обеспечения бескавитационной работы подпорных насосов ( $H_{минк}$ ) или прохвата воздуха при воронкообразовании ( $H_{минв}$ ).

2.3. При наличии в резервуаре понтона или плавающей крышки величина минимально допустимого уровня рассчитывается только по кавитации, но принимается не менее 210 см. / 1, 2 /.

2.4. Величину минимально допустимого уровня по кавитации для каждого резервуара ( $H_{минк}$ ) определяют исходя из заданной (проект-

ной) производительности нефтепровода по формуле:

$$H_{\min k} = h_s + \Delta h_{\text{дон}} - h_{\sigma} - z + h_w \quad (3)$$

2.4.1. Давление насыщенных паров определяется по формуле:

$$h_s^p = h_s^p [1,558 + 0,0063(T - 273)], \quad (4)$$

где  $h_s^p$  - давление насыщенных паров нефти при соотношении объемов пара и жидкости 4:1 и температуре, равной максимальной температуре перекачиваемой нефти.

Выбор максимальной температуры определяет остаток нефти, обеспечивающий устойчивую работу нефтепровода во всем диапазоне возможных температур нефти на данном участке. Методика определения  $h_s^p$  соответствует ГОСТ 1756-52<sup>к</sup>/3/ с учетом следующих отклонений:

температура водяной бани поддерживается равной максимальной температуре перекачиваемой нефти;

поправка  $\Delta \rho$  на изменение давления воздуха и насыщенных паров воды в воздушной камере вычисляется по формуле:

$$\Delta \rho = \frac{(\rho_{\sigma} - \rho_{T_B})(T_B - T)}{T_B} - (\rho_T - \rho_{T_B}), \quad (5)$$

где  $T$  - максимальная температура перекачиваемой нефти, град К;

$T_B$  - исходная температура воздуха в воздушной камере, град К;

$\rho_T, \rho_{T_B}$  - давление насыщенных паров воды при температуре  $T$  и  $T_B$  соответственно;

$\rho_{\sigma}$  - атмосферное давление.

Вводится поправка, учитывающая растворение воздуха  $\Delta \rho_{\rho}$ , которая в среднем принимается равной 50 мм рт.ст. С учетом фактс-ров

$$h_s^p = h_s^p + \Delta \rho + \Delta \rho_{\rho},$$



где  $h'_s$  - "неисправленное давление насыщенных паров" по показаниям манометра.

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

2.4.2. Допустимый кавитационный запас центробежных подпорных насосов определяется по формуле

$$(\Delta h_{доп})_{неф} = (\Delta h_{доп})_{вод} - K(\Delta H_{кр} - \delta h_v), \quad (6)$$

где  $(\Delta h_{доп})_{вод}$  - паспортное значение допустимого кавитационного запаса, полученное для воды при заданном режиме, м.вод.ст. (приложение 2);

$K$  - коэффициент запаса согласно ГОСТ 6134-71 (приложение 3);

$\delta h_v$  - поправка на влияние вязкости жидкости.

$$\delta h_v = \frac{\zeta_{ан} \cdot U_{вх}^2}{2g}, \quad (7)$$

где  $\zeta_{ан}$  - коэффициент гидравлического сопротивления на входе в насос находится по графику (приложение 4) в зависимости от числа Рейнольдса.

$$Re = \frac{d_{вх} \cdot U_{вх}}{\nu}, \quad (8)$$

где  $d_{вх}$  - диаметр входного патрубка насоса, м;

$U_{вх}$  - скорость течения во входном патрубке насоса, м/с;

Термодинамическая поправка  $\Delta H_{кр}$  определяется из зависимости

$$\lg B \Delta H_{кр} = \lg R_a + \lg \frac{1}{1 + k_7 B}, \quad (9)$$

где  $B$  - критерий тепловой кавитации.

$$B = \left( \frac{29.5}{h_s} \right)^{1.9}, \quad (10)$$

где  $R\alpha$  - критерий фазового перехода.

$$R\alpha = \beta h_s, \quad (11)$$

где  $\theta$  - критерий парообразования.

$$\theta = \frac{\beta U_{МК}^2}{g}, \quad (12)$$

где  $U_{МК}$  - скорость жидкости в межлопаточном канале насоса в области пониженного давления;

а) для центробежного насоса

$$U_{МК} = \frac{\pi D_1 \cdot n}{60}, \quad (13)$$

где  $D_1$  - периферийный диаметр входной кромки центробежного колеса.

б) для шнекоцентробежных насосов

$$U_{МК} = \frac{\pi D_{ш} n}{60}, \quad (14)$$

где  $D_{ш}$  - наружный диаметр шнека.

В приложении 5 приведены значения скоростей для некоторых подпорных насосов в режиме, соответствующем номинальной подаче.

$K_T$  - коэффициент температурной неравновесности фазовых переходов (приложение 6).

Для центробежных насосов типа НДв, НДСН и шнекоцентробежных насосов типа НШП и других подобных насосов, число оборотов которых не превышает 1000 об/мин для диапазона подач  $0,8 Q_{ном} < Q < 1,2 Q_{ном}$ , величина  $\Delta H_{кр}$  может быть определена также по эмпирической формуле

$$\Delta H_{кр} = \frac{8,708}{\beta^{0,46} \cdot h_s^{0,41}}, \quad (15)$$

или по графику (приложение 7).

2.4.3. Напор, определяемый атмосферным давлением над свободную поверхность жидкости в резервуаре в зависимости от абсолютной вы-

сотной отметки насосной  $Z$  над уровнем моря, равен

$$h_a = (10,33 - 0,0012Z) \frac{\rho_g}{\rho}, \quad (16)$$

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

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

2.4.4. Гидравлические потери в подводящем нефтепроводе определяются в соответствии с РД 39-30-39-78/4/. В случае отсутствия данных по диаметрам и длинам участков трубопроводов гидравлические потери можно приближенно определять по формуле:

$$h_w = K_w \cdot h_x, \quad (17)$$

где  $h_x$  - потери на трение на участке от резервуарного парка до подпорной насосной

$$h_x = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \cdot \frac{\rho}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (18)$$

где  $l$  и  $d$  - соответственно длина и диаметр участка трубопровода от резервуарного парка до насосной, м;

$v$  - скорость течения жидкости в рассматриваемом участке трубопровода, м/с;

$K_w$  - коэффициент, учитывающий гидравлические потери в местных сопротивлениях в подводящем нефтепроводе (табл. I).

Таблица I.

Значение коэффициента  $K_w$

Относительная длина участка $l/d$	$K_w$
менее 200	4,0
200÷600	2,0
600÷1200	1,4
более 1200	1,2

2.5. Величина минимально допустимого уровня по воронкообразованию  $H_{minB}$  определяется условием недопустимости прохвата воздуха в зависимости от конструктивного расположения приемного патрубка ( приложение 8 ).

Для резервуаров с донным отводом жидкости ( типа ЖБР ) она определяется непосредственно из графика.

Для наземных резервуаров типа РВС и ЖБР с боковым сливом она определяется как сумма величины  $H_{кр}$ , взятой из графика, и  $A$  - расстояния от дна резервуара до оси прямо-раздаточного патрубка.

2.6. Полученные величины  $H_{minK}$  и  $H_{minB}$  сравниваются с целью выявления определяющего фактора и наибольшую из них принимают в качестве эксплуатационной величины минимально допустимого уровня. При эксплуатации резервуаров с пантонами или плавающими крышами высота минимально допустимого остатка устанавливается согласно п. 2.3.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ

3.1. Технологический уровень - уровень, определяющий величину технологического остатка нефти в резервуаре и определяемый по формуле

$$H_T = H_{min} + \frac{Q \cdot \tau}{\sum_i S_i},$$

где  $S_i$  - площадь зеркала нефти в  $i$ -ом резервуаре;

$Q$  - производительность перекачки, м<sup>3</sup>/с;

$\tau$  - время, необходимое для ликвидации отказов на насосных станциях с резервуарными парками ( при наличии достаточной емкости принимается равным двум часам )

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6,$$

где  $\tau_1$  - время сообщения о полной остановке участка нефтепровода;  
 $\tau_2$  - время установления причин простоя;  
 $\tau_3$  - время ликвидации причин простоя;  
 $\tau_4$  - время для подготовки к запуску (открытие задвижек);  
 $\tau_5$  - время, необходимое для сообщения о готовности к пуску;  
 $\tau_6$  - время, необходимое для пуска и вывода участка на режим.

Ориентировочные значения составляющих времени ликвидации отказов приведены в приложении 9.

3.2. При определении технологического уровня следует учесть, что на каждой НПС с резервуарным парком необходимо предусмотреть наличие свободной емкости для приема нефти из расчета двухчасовой пропускной способности нефтепровода / 5 /, т.е. должно соблюдаться условие

$$H_T \leq H_{max} - \frac{Q \cdot 7200}{\sum_i S_i}, \quad (21)$$

где  $H_{max}$  - максимально допустимая высота заполнения резервуара нефтью.

3.3. Для резервуаров работающих в режиме прием-откачка и товарных парков величина технологического остатка определяется с учетом времени заполнения резервуара, отстоя нефти, ее доподготовки, проведения анализов проб нефти, переключения резервуаров.

В приложениях 10, 11 приводятся примеры, связанные с определением технологических остатков нефти в резервуарных парках насосных станций участка нефтепровода.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ТОВАРО-КОММЕРЧЕСКИХ ЗАПАСОВ НЕФТИ

4.1. Поставка нефти потребителям осуществляется тремя основными видами транспорта: магистральными нефтепроводами, железной дорогой, речными и морскими наливными судами.

Для бесперебойной работы всей транспортной системы необходимо на конечных пунктах сдачи нефти потребителям иметь определенный товаро-коммерческий запас.

4.2. Морские и речные перевалочные базы должны располагать товаро-коммерческим запасом, позволяющим осуществлять налив одного судна в полном объеме и в срок. При расчете товаро-коммерческого запаса необходимо учитывать следующие основные факторы: объемы перевалки нефти, ассортимент нефтей, грузоподъемность нефтеналивных судов, ритмичность подачи судов под погрузку, характер перевалочного процесса (непрерывный в течение года, с межнавигационным перерывом и т.п.) и др.

4.3. Резервуарный парк пункта налива в железнодорожные цистерны должен располагать товаро-коммерческим запасом, позволяющим осуществлять налив одного маршрута в полном объеме в установленные сроки.

4.4. Резервуарный парк конечного пункта нефтепровода (при сдаче нефти НПЗ, на экспорт) должен располагать товаро-коммерческим запасом, позволяющим осуществлять приемо-сдаточные операции согласно договорным обязательствам (необходимо предусмотреть и время для восстановления качества нефти в случае несоответствия ее ГОСТам). Ориентировочно товаро-коммерческий запас должен обеспечить непрерывную поставку нефти потребителям в течение восьми часов.

## П Е Р Е Ч Е Н Ь

нормативно-технических документов,  
применяемых в методических указаниях

1. РД 39-0147103-385-87. Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов. - Уфа: ВНИИСПТнефть, 1987.

2. Проект № Ю-Ф 1418-1-КМ, - М.: ЦНИИпроектстальконструкция, 1980.

3. ГОСТ 1756-52\* [СТ СЭВ 3654-82]. Топливо моторное. Методы определения давления насыщенных паров. - Переизд. Янв. 1984 с изм. 1,2. - Взамен ГОСТ 1756-52; 06.05.83 до 01.01.92. - М.: Изд-во стандартов, 1984.

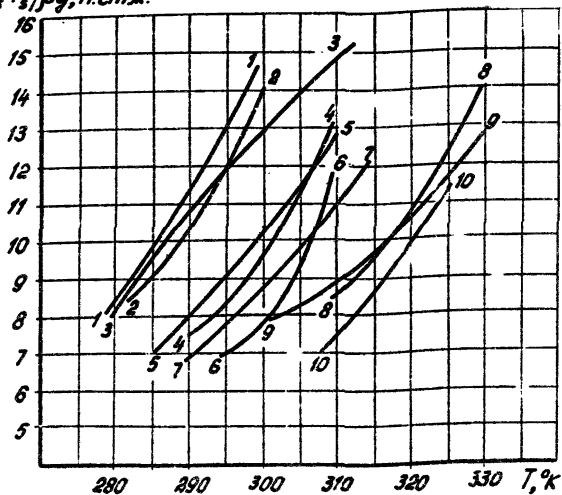
УДК 662.6.001.4:621.43:006.354. Группа Б19 СССР.

4. РД 39-30-39-78. Методика гидравлического расчета подводящих нефтепроводов подпорных насосов НПС с резервуарными парками. - Уфа: ВНИИСПТнефть, 1978.

5. РД 39-30-114-78. Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов. - М.: Нефтя, 1979.

6. РД 39-0147103-349-86. Руководство по разработке типового состава разделов "показатели надежности" в проектной документации на магистральные нефтепроводы. - Уфа: ВНИИСПТнефть, 1986.

## Давление насыщенных паров нефтей

$$h_s = \rho_s / \rho g, \text{ м.ст.ж.}$$


- |                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. Бавлинская нефть   | 6. Ромашкинская нефть   |
| 2. Туймазинская нефть | 7. Усть-Балыкская нефть |
| 3. Самоглорская нефть | 8. Мангышлакская нефть  |
| 4. Мухановская нефть  | 9. Сургутская нефть     |
| 5. Орланская нефть    | 10. Небитдагская нефть  |



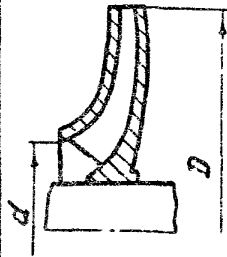
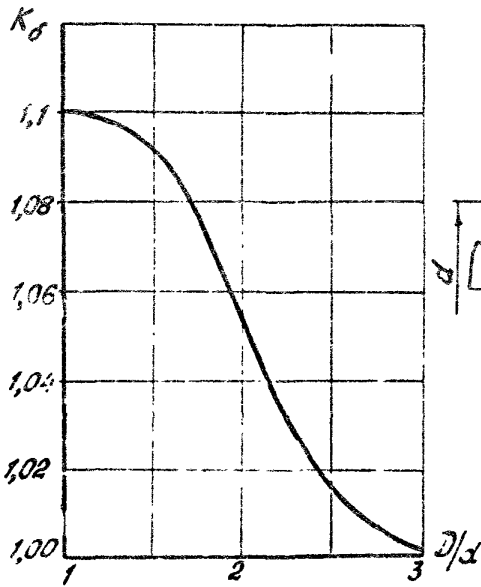
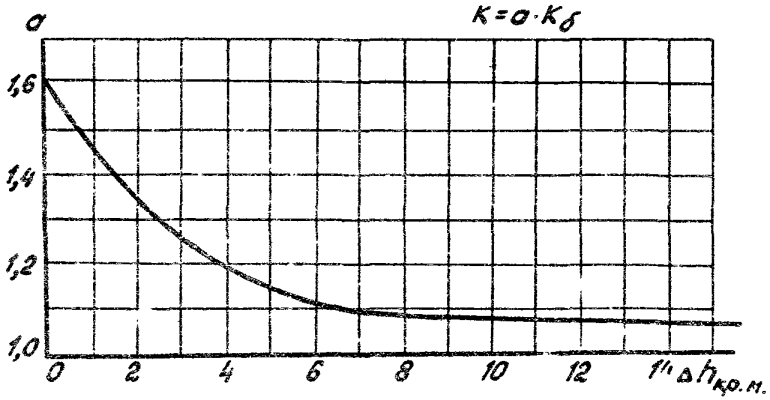
## Приложение 2

## Основные данные подпорных нефтяных насосов

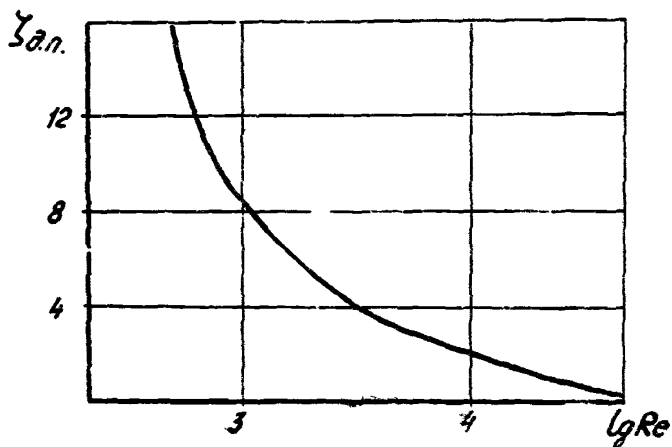
Марка насоса	Подача: м <sup>3</sup> /ч	Поя- : на- : пор, : Н, м	Число : обор. : об/ : об/мин	Допусти- : мый ка- : вит. за- : плас, : Δ/доп. Н	Н доп : вак' : м. вод. ст.	Диаметр ра- : бочего колеса : Д мм
<b>Вертикальные насосы</b>						
НПВ 12500-60	1250	60	1500	2,2	-	-
НПВ 2500-80	2500	80	1500	3,2	-	-
НПВ 3600-90	3600	90	1500	4,8	-	-
НПВ 15000-120	5000	120	1500	5,0	-	-
<b>Шнекоцентробежные насосы</b>						
НМП 2500-74	2500	74	1000	3,0	-	-
НМП 3600-78	3600	78	1000	3,0	-	-
НМП 5000-115	5000	115	1000	3,5	-	-
<b>Центробежные горизонтальные насосы</b>						
12НДсН	1000	24	960	-	5,0	460
	900	18	960	-	6,0	400
	800	23	960	-	6,0	400
14НДсН	1260	37	960	-	5,0	540
	1080	35	960	-	5,0	510
	900	42	960	-	5,0	480
18НДсН	1980	34	730	-	4,3	700
	1600	38	730	-	5,0	700
20НДсН	2300	34	730	-	4,8	765
	2700	39	730	-	4,8	765
32НД-8х1	2000	76	735	-	3,9	935
24НДсН	4000	69	590	-	5,5	1100

## Приложение 3.

Графики определения коэффициента кавитационного  
запаса центробежных насосов при работе на  
холодной воде



Зависимость коэффициента  
гидравлического сопротивления  
от числа Рейнольдса

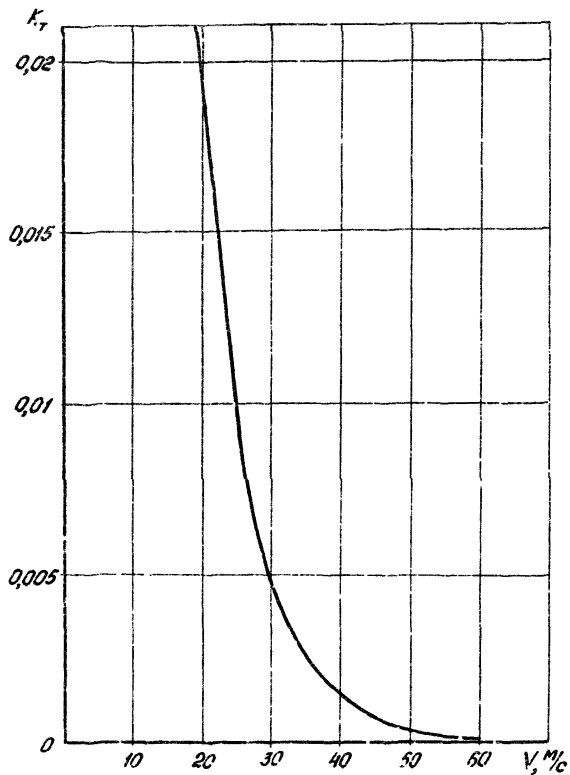


## Приложение 5

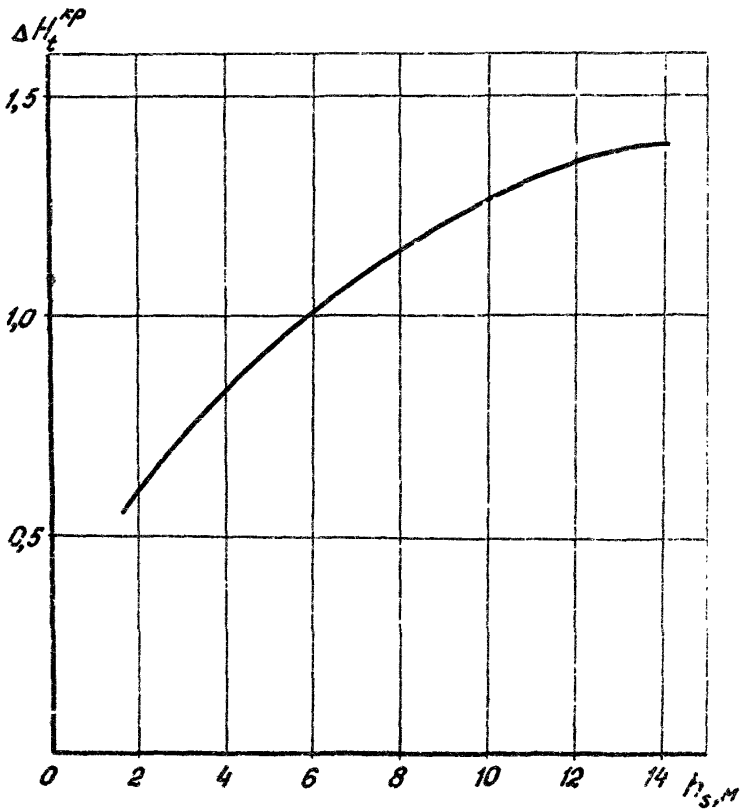
## Скорость в межлопаточных каналах насосов

Марка насоса	:Относитель- :ная ско- :рость, : $U_{мк}$ , м/с	:Число обо- :ротов рото: :ра, : $n$ , об/мин	: Тип насоса
НМП 3600-78/2500-74	28,9	980	горизонтального типа, шнекоцентробежный, двухстороннего всасы- вания
НМП 5000-115	31,5	980	-"-
НПВ 2500-80	30,0	1500	вертикального типа, шнекоцентробежный, двухстороннего вса- сывания
НПВ 3600-90	35,2	1500	-"-
НПВ 5000-115	38,6	1500	-"-
НМ 12500-195	60,0	3000	горизонтального типа, центробежный, двухсто- роннего всасывания
"Ворлингтон" 25 <i>Q</i> см/2	22,3	980	вертикального типа, центробежный, двухсто- роннего всасывания.

Коэффициент температурной неравновесности

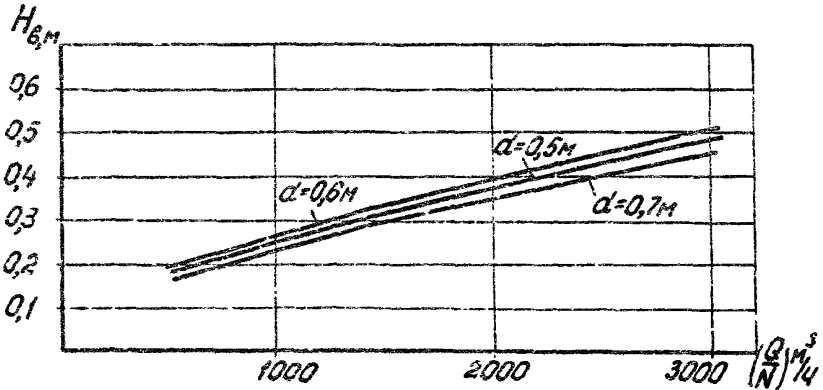


Зависимость термодинамической поправки  
от давления насыщенных паров

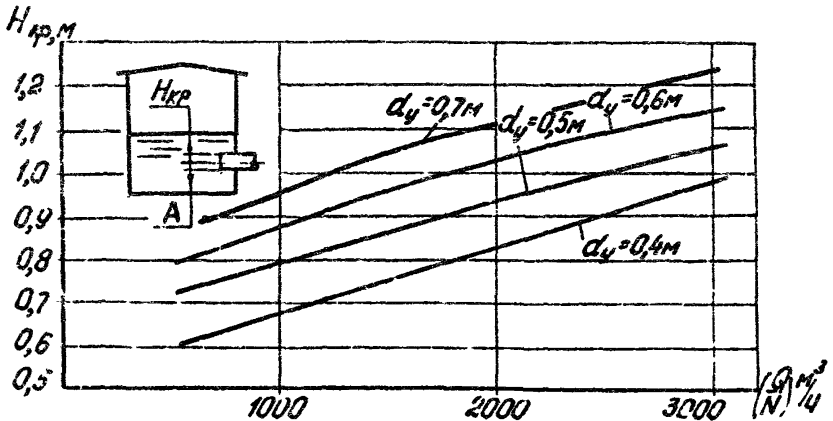


## Приложение 8.

Зависимость минимально допустимого влива от производительности откачки при воронкообразовании для резервуаров типа Ж Б Р (донный слив )



Зависимость минимально допустимого влива от производительности откачки через один патрубок при воронкообразовании для резервуаров типа Р В С и ЖБР с боковым сливом



$N$  - число патрубков, из которых одновременно производится откачка

## Приложение 9.

Значения составляющих времени, необходимого  
для ликвидации отказов

В качестве ориентировочных значений для определения технологического уровня нефти в резервуаре могут быть приняты следующие значения

$$\tau_1 = 1 + 2 \text{ мин}$$

$$\tau_2 = 5 + 10 \text{ мин}$$

Для простоев, связанных с ложным срабатыванием автоматики

$$\tau_3 = 0.$$

При наличии значительных объемов резервуарных парков время  $\tau_3$  для случаев отказов по причине отключения энергоснабжения или вспомогательного оборудования, а также отказов линейной части определяется в соответствии с РД 39-014103-349-86 / 6 /.

Время  $\tau_4$ , связанное с подготовкой к запуску (открытие задвижек), зависит от типа применяемой арматуры и приводов. Ввиду значительного количества применяемых зарубежных типов задвижек и приводов, отсутствия единых схем подключения для составляющей  $\tau_4$  при расчетах могут быть приняты значения  $\tau_4 = 5-10$  мин. Для задвижек отечественного производства типа ЗКПЭ технические характеристики имеют следующие значения:

Ду	Тип привода	Время открытия (закрытия)
300	ЭПВ-150	1 мин 30 сек
500	ЭПВ-850	3 мин 26 сек
100	ЭПВ-1000	3 мин 59 сек
800	ЭПВ-1000	4 мин 25 сек
1000	ЭПВ-1000	6 - 7 мин

Время для сообщения о готовности к пуску  $\tau_5 = 2-3$  мин.

Время  $\tau_6$  определяется для каждого нефтепровода индивидуально на основе данных и опыта эксплуатации с учетом диаметра



нефтепровода, количества оборудования, количества и объемов резервуарных парков на насосных станциях, режима работы нефтепровода и других параметров, влияющих на его пуск.

Расчет технологических остатков нефти  
в резервуарных парках участка нефтепровода

10.1. Определение минимально допустимых остатков на насосной станции № 1.

10.1.1. Исходные данные:

10.1.1.1. Технологическая схема откачки представлена на рис. 1.

10.1.1.2. Технологическая характеристика насосного оборудования.

марка подпорного насоса - НМТ 5000-115

количество - 2 работающих, 1 резервный

подача -  $5000 \text{ м}^3/\text{ч} = 1,4 \text{ м}^3/\text{с}$

допустимый кавитационный запас - 3,5 м.вод.ст.

диаметр входного патрубка - 1,0 м.

10.1.1.3. Резервуарное оборудование

тип резервуара - РВС-20000 (без понтонов)

количество резервуаров - 4

10.1.1.4. Физические свойства и показатели перекачиваемой жидкости.

перекачиваемый продукт - смесь нефтей

температура перекачки максимальная  $T = 311 \text{ }^\circ\text{K}$

плотность  $\rho = 840 \text{ кг/м}^3$  (при  $T = 311 \text{ }^\circ\text{K}$ )

вязкость  $\nu = 0,05 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  (при  $T = 311 \text{ }^\circ\text{K}$ )

давление насыщенных паров смеси  $h_s = 10 \text{ м.ст.ж.}$  (при  $T = 311 \text{ }^\circ\text{K}$ ).

10.1.1.5. Заглубление подпорных насосов относительно наиболее удаленного резервуара № 5

$$Z = 7,63 \text{ м}$$

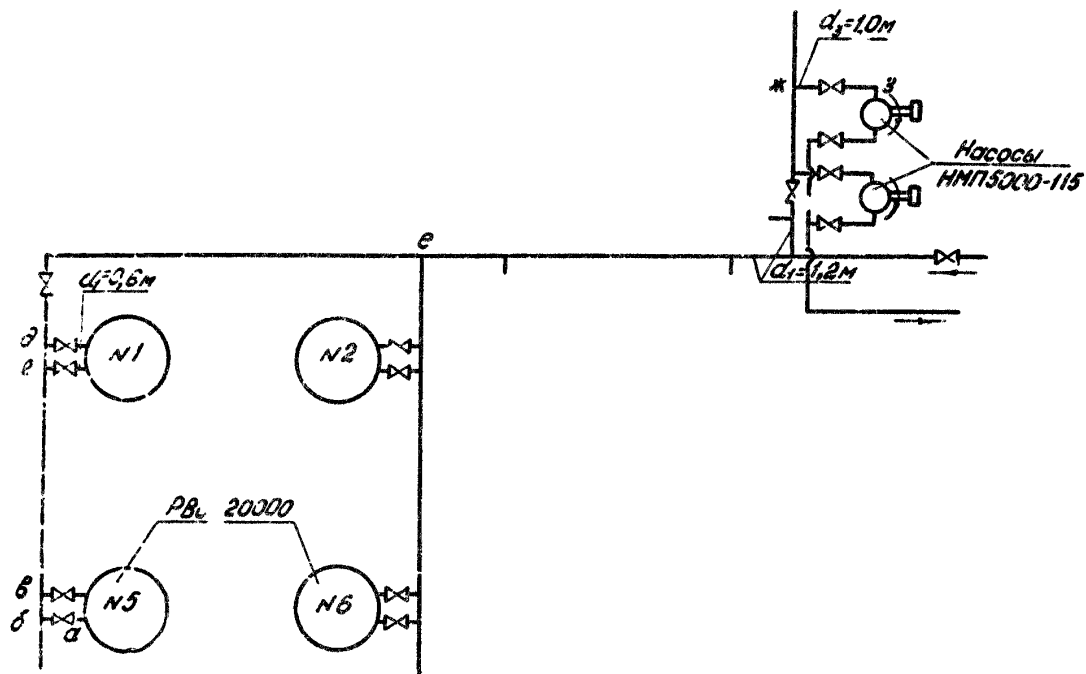


Рис. I. Технологическая схема откачки на насосной станции № I

10.1.2. Допустимый кавитационный запас при перекачке нефти с проектным расходом  $Q = 2,8 \text{ м}^3/\text{с}$  (подача насоса

$$Q_1 = 1,4 \text{ м}^3/\text{с})$$

$$V_{\text{кр}} = \frac{4Q_1}{\pi d_{\text{кр}}^2} = \frac{4 \cdot 1,4}{3,14 \cdot 1^2} = 1,78 \text{ м/с}$$

$$\text{для } Re = \frac{d_{\text{кр}} \cdot V_{\text{кр}}}{\nu} = \frac{1 \cdot 1,78}{0,05 \cdot 10^{-4}} = 3,56 \cdot 10^5;$$

$$\zeta = 0 \text{ и } \delta h_v = 0$$

по графику находим  $\Delta H_{\text{кр}} = 1,25 \text{ м}$

$$\begin{aligned} (\Delta h_{\text{доп}})_{\text{неф}} &= (\Delta h_{\text{доп}})_{\text{вод}} - K(\Delta H_{\text{кр}} - \delta h_v) = \\ &= 3,5 - 1,15(1,25 - 0) = 2,05 \text{ м.ст.ж.} \end{aligned}$$

II.10.1.3. Напор, определяемый атмосферным давлением,

$$h_d = (10,33 - 0,001 Z) \frac{P_0}{\rho} = (10,33 - 0,001 \cdot 300) \frac{1000}{840} = 11,9 \text{ м.}$$

10.1.4. Гидравлические потери в подводящем нефтепроводе определяются на участке от дальнего резервуара до подпорной насосной при одновременной откачке из 4-х резервуаров с учетом одинакового расхода жидкости по каждому приемо-раздаточному патрубку.

$$\text{Скорость потока } V = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

$$V_{\text{дд}} = \frac{4 \cdot 0,35}{3,14 \cdot 0,6^2} = 1,23 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{дв}} = \frac{4 \cdot 1,06}{3,14 \cdot 1,2^2} = 0,93 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{дб}} = \frac{4 \cdot 0,35}{3,14 \cdot 1,2^2} = 0,31 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{дс}} = \frac{4 \cdot 1,4}{3,14 \cdot 1,2^2} = 1,23 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{бз}} = \frac{4 \cdot 0,7}{3,14 \cdot 1,2^2} = 0,62 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{дн}} = \frac{4 \cdot 2,8}{3,14 \cdot 1,2^2} = 2,46 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{дз}} = \frac{4 \cdot 1,4}{3,14 \cdot 1,0^2} = 1,77 \text{ м/с}$$

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{V d}{\nu}$$

$$Re_{od} = \frac{1,23 \cdot 0,6}{0,05 \cdot 10^{-4}} = 15 \cdot 10^4 \quad Re_{ed} = \frac{0,93 \cdot 1,2}{0,05 \cdot 10^{-4}} = 22 \cdot 10^4$$

$$Re_{de} = \frac{0,31 \cdot 1,2}{0,05 \cdot 10^{-4}} = 7,3 \cdot 10^4 \quad Re_{de} = \frac{1,23 \cdot 1,2}{0,05 \cdot 10^{-4}} = 30 \cdot 10^4$$

$$Re_{e2} = \frac{0,62 \cdot 1,2}{0,05 \cdot 10^{-4}} = 14,5 \cdot 10^4 \quad Re_{ex} = \frac{2,46 \cdot 1,2}{0,05 \cdot 10^{-4}} = 60 \cdot 10^4$$

$$Re_{кз} = \frac{1,77 \cdot 1,0}{0,055 \cdot 10^{-4}} = 35,4 \cdot 10^4$$

Коэффициент гидравлического трения  $\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$

$$\lambda_1 = 0,016 \quad \lambda_4 = 0,0145 \quad \lambda_5 = 0,0114$$

$$\lambda_2 = 0,0192 \quad \lambda_3 = 0,0135 \quad \lambda_7 = 0,013$$

$$\lambda_3 = 0,0162$$

Гидравлические потери

$$\begin{aligned} h_{гв} = & \zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{отб}} + \zeta_{\text{зод}} + \lambda_1 \frac{\rho_{od}}{d_1} \frac{V_{od}^2}{2g} + (\zeta_{\text{мп}}^{\text{ноб}} + \lambda_2 \frac{\rho_{de}^2}{d_2} \frac{V_{de}^2}{2g} + (\zeta_{\text{мп}}^{\text{пр}} + \lambda_3 \frac{\rho_{e2}}{d_2} \frac{V_{e2}^2}{2g} + \\ & + \frac{V_{e2}^2}{2g} + (\zeta_{\text{мп}}^{\text{нс}} + \lambda_4 \frac{\rho_{ed}}{d_2} \frac{V_{ed}^2}{2g} + (\zeta_{\text{мп}}^{\text{нс}} + \zeta_{\text{зод}} + \zeta_{\text{отб}} + \lambda_3 \frac{\rho_{de}}{d_2} \frac{V_{de}^2}{2g} + (\zeta_{\text{мп}}^{\text{нс}} + \zeta_{\text{мп}}^{\text{нос}} + \\ & + \zeta_{\text{зод}} + 4\zeta_{\text{мп}}^{\text{пр}} + \lambda_5 \frac{\rho_{ex}}{d_2} \frac{V_{ex}^2}{2g} + (\zeta_{\text{мп}}^{\text{од}} + \zeta_{\text{зод}} + \zeta_{\text{отб}} + \lambda_7 \frac{\rho_{кз}}{d_3} \frac{V_{кз}^2}{2g} = \\ & = (0,9 + 0,35 + 0,2 + 0,016 \frac{12}{0,6}) \frac{1,23^2}{2 \cdot 9,8} + (6,5 + 0,0192 \frac{6}{1,2}) \frac{0,31^2}{2 \cdot 9,8} + \\ & + (0,62 + 0,0162 \frac{70}{1,2}) \frac{0,62^2}{2 \cdot 9,8} + (0,55 + 0,0145 \frac{6}{1,2}) \frac{0,93^2}{2 \cdot 9,8} + \\ & (0,48 + 0,2 + 0,35 + 0,0135 \frac{120}{1,2}) \frac{1,23^2}{2 \cdot 9,8} + (0,6 + 1,4 + 0,2 + 0,1 + 0,0114 \frac{550}{1,2}) \\ & \frac{1,46^2}{209,8} + (0,94 + 0,2 + 0,2 + 0,35 + 0,013 \frac{15}{1}) \frac{1,77^2}{2 \cdot 9,8} = 3,05 \text{ м.} \end{aligned}$$

10.1.5. Минимально допустимый уровень по кавитации

$$H_{\min k} = h_s + \Delta h_{\text{доп}} - h_a - Z + h_w =$$

$$= 10 + 2,05 - 11,9 - 7,63 + 3,05 = - 3,4 \text{ м,}$$

т.е. откачка по кавитации может производиться без ограничения уровня нефти.

10.1.6. Минимально допустимый уровень по воронке  $H_{\min B} =$   
 $= 1,6 \text{ м}$  (по графику для  $Q/N = 1250 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $d = 0,6 \text{ м}$ ,  $A = 0,7 \text{ м}$ ), который как наибольший и принимается в качестве эксплуатационного минимально допустимого уровня.

10.1.7. Количество минимально допустимого остатка нефти в резервуарах насосной станции № 1.

$$G_{\min} = 10^{-3} \sum_1^4 W \rho = 10^{-3} \cdot 10448 \cdot 840 = 8776 \text{ т.}$$

10.2. Определение минимально допустимых остатков на насосной станции № 2.

10.2.1. Исходные данные.

10.2.1.1. Технологическая схема откачки представлена на рис. 2.

10.2.1.2. Технологическая характеристика насосного оборудования:

марка подпорного насоса - НМП 5000х115

количество - 3 работающих, 1 резервный.

10.1.3. Резервуарное оборудование:

тип резервуаров РВС 20000 (без понтонов)

количество - 4.

10.2.1.4. Свойства перекачиваемой нефти:

перекачиваемый продукт - смесь нефтей

максимальная температура перекачки  $T = 311 \text{ }^\circ\text{К}$ .

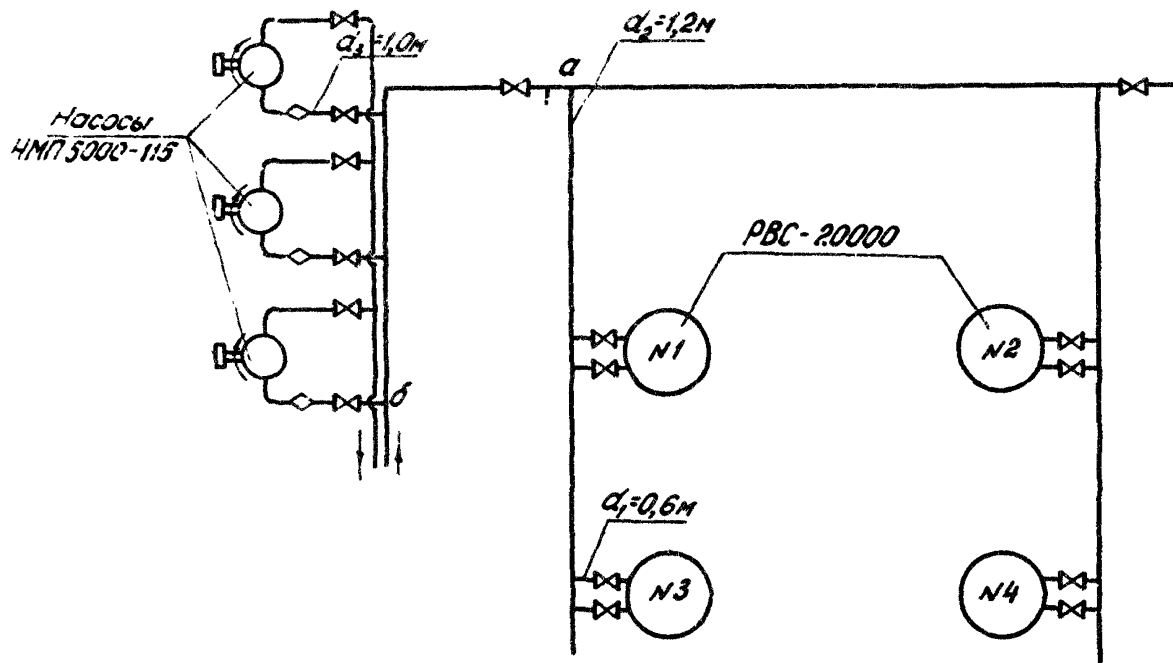


Рис. 2. Технологическая схема откачки на насосной станции № 2

10.2.1.5. Заглубление подпорных насосов  $Z = 5,87$  м.

10.2.2. Допустимый кавитационный запас насоса НМП 5000х115 на подаче  $Q_1 = 1,16$  м<sup>3</sup>/с

$$(\Delta h_{доп})_{вод} = 3,4 \text{ м. вад. ст.}$$

$$(\Delta h_{доп})_{неф} = 1,95 \text{ м. ст. ж.}$$

10.2.3. Потери на трение на сборном участке подводящего нефтепровода длиной 80 м.

$$h_A = \lambda \frac{v_{доп}}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,011 \frac{80}{1,2} \cdot \frac{3,1^2}{2 \cdot 9,8} = 0,4 \text{ м}$$

Суммарные гидравлические потери

$$h_W = K_W \cdot h_A = 4 \cdot 0,4 = 1,6 \text{ м}$$

10.2.4. Минимально допустимый уровень по кавитации

$$H_{минк} = h_s + \Delta h_{доп} - h_d - Z + h_W =$$

$$= 10 + 1,95 - 11,9 - 5,87 + 1,6 = - 4,22$$

10.2.5. Минимально допустимый уровень по воронке  $H_{минс} = 1,7$  м (по графику для  $Q/N = 1687$  м<sup>3</sup>/ч,  $d = 0,6$  м).

Принимается минимально допустимый уровень в резервуарах  $H_{мин} = 1,7$  м.

10.2.6. Количество минимально допустимого остатка нефти в резервуарах насосной станции № 2

$$G_{мин} = 10^{-3} \frac{4}{7} W \rho = 10^{-3} \cdot 11100 \cdot 840 = 9324 \text{ т}$$

10.3. Определение минимально допустимых остатков на насосной станции № 3.

Условия работы, технология откачки и оборудование на насосной станции № 3 идентичны условиям работы, технологии и оборудованию на насосной станции № 2. Отличие состоит в трубопроводной обвязке резервуарно-насосного оборудования. Поэтому определяем



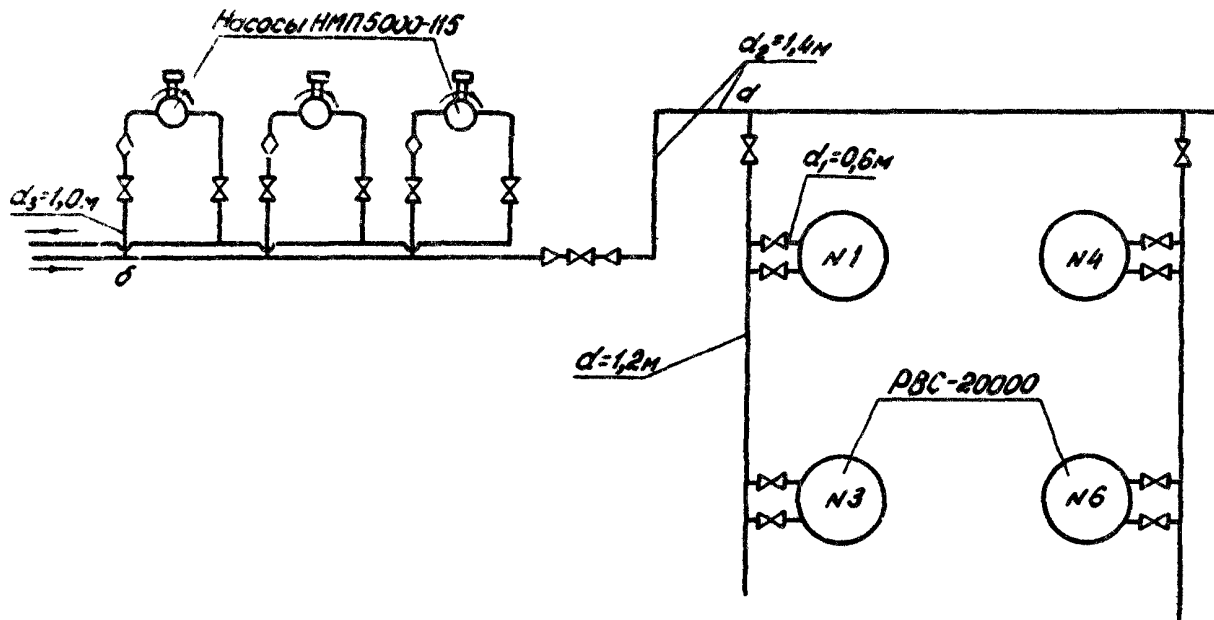


Рис. 3. Технологическая схема откачки на насосной станции № 3

минимально допустимый уровень из условия возможности кавитации насосов.

10.3.1. Потери на трение на сборном участке подводящего трубопровода диаметром 1,4 м и длиной 145 м.

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 3,5}{3,14 \cdot 1,4^2} = 2,26 \text{ м/с}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{2,26 \cdot 1,4}{0,05 \cdot 10^{-4}} = 63 \cdot 10^4$$

$$\lambda = 0,0115$$

$$h_{\lambda} = \lambda \frac{L_{сб}}{d} \frac{v^2}{2g} = 0,0115 \frac{145}{1,4} \cdot \frac{2,26^2}{2 \cdot 9,8} = 0,31 \text{ м}$$

10.3.1. Суммарные гидравлические потери

$$h_w = K_w \cdot h_{\lambda} = 4 \cdot 0,31 = 1,24 \text{ м}$$

10.3.2. Минимально допустимый уровень по кавитации

$$H_{минк} = 10 + 1,95 - 11,9 - 3,8 + 1,24 = - 2,5,$$

т.е. откачка по кавитации может производиться без ограничения.

Минимально допустимый уровень  $H_{мин} = 1,7 \text{ м}$ .

10.3.3. Количество минимально допустимого остатка нефти в резервуарах насосной станции № 3.

$$G = 9324 \text{ т}$$

10.4. Определение технологического запаса

10.4.1. Время, необходимое для ликвидации простоев на участке нефтепровода.

Время сообщения о полной остановке  $\tau_1 = 2 \text{ мин}$ .

Время установления причины простоя  $\tau_2 = 10 \text{ мин}$ .

Время ликвидации неисправности  $\tau_3$ . Для ложных отказов

$\tau_3 = 0$ . Подготовка к запуску  $\tau_4 = 8 \text{ мин}$ .

Сообщение о готовности к пуску (включая подтверждение о готовности всех НПС одного перегона)  $\tau_5 = 3 \text{ мин}$ .

10.4.2. Технологический уровень в одном резервуаре насосной станции № I

$$H_T = H_{\text{min}} + \frac{4QT}{\pi D^2 m} = \frac{4 \cdot 1000 \cdot 43}{3,14 \cdot 45,6^2 \cdot 4} = 2,65 \text{ м}$$

по насосным станциям № 2 и № 3

$$H_T = 1,7 + \frac{4 \cdot 13500 \cdot 43}{3,14 \cdot 45,6^2 \cdot 4} = 3,15 \text{ м}$$

10.4.3. Количество технологических остатков нефти на насосной станции № I

$$G_T = 10^{-3} \sum W \rho = 10^{-3} \cdot 6855,6 \cdot 840 = 5759 \text{ т}$$

на насосной станции № 2 (№ 3)

$$G_T = 10^{-3} \cdot 9467,2 \cdot 840 = 7952 \text{ т.}$$

## Приложение II

Пример расчета поправки  $\Delta H_{кр}$  для вертикального подпорного насоса Н1В 5000-120

Рабочая жидкость - нефть с температурой  $T = 313 \text{ }^\circ\text{K}$

$$h_s = 11,4 \text{ м.ст.ж.}$$

II.1. Критерий тепловой кавитации

$$B = \frac{(29,5)^{1,9}}{h_s} = \frac{(29,5)^{1,9}}{11,4} = 6,05$$

II.2. Относительная скорость в межплаточном канале

$$V_{НК} = 38,6 \text{ м/с (по таблице)}$$

II.3. Критерий парообразования

$$Q = \frac{BV_{НК}^2}{g} = \frac{6,05 \cdot 38,6^2}{9,81} = 9014,3$$

II.4. Коэффициент температурной неравновесности для

$$V_{НК} = 38,6 \text{ м/с - Кт} = 0,0018 \text{ (по графику прилож.)}$$

II.5. Критерий фазового перехода

$$Ra = B h_s = 6,05 \cdot 11,4 = 68,97$$

II.6. Определяем поправку  $\Delta H_{кр}$

$$\lg B \Delta H_{кр} = \lg Ra + \lg \frac{1}{1 + K_T Q} = \\ = \lg 68,97 + \lg \frac{1}{1 + 0,0018 \cdot 9014,3} = 0,6$$

$$B \Delta H_{кр} = 3,981$$

$$\Delta \text{ пкр.} = \frac{3,981}{6,05} = 0,66 \text{ м.}$$

## Приложение I2.

Пояснения и дополнения к основным  
положениям методики

1. Для оперативной работы в технологической карте по эксплуатации резервуаров должны быть указаны следующие уровни взливов:

## 1.1. Допустимые взливы:

минимально допустимый взлив при проектной максимальной и минимальной производительности, м;

максимально допустимый взлив (с учетом температуры окружающего воздуха).

## 1.2. Технологические взливы в транзитных резервуарах:

минимальный взлив при проектной, максимальной и минимальной производительности, м;

максимальный взлив (с учетом температуры окружающего воздуха), м.

1.3. Максимально разрешенный эксплуатационный уровень - уровень нефти в момент окончания закрытия приемной задвижки, м.

1.4. Минимально разрешенный эксплуатационный уровень - уровень нефти в момент закрытия раздаточной задвижки, м.

2. При определении минимальных и максимальных уровней групп резервуаров с различными геодезическими отметками их дниц необходимо вносить соответствующие коррективы.

3. Для оперативных расчетов величину минимально допустимого остатка емкости резервуарных парков системы магистральных нефтепроводов определяют как часть от общей емкости

$$W_{min} = \bar{K}_{min} \cdot W_0,$$

где  $W_{min}$  - минимально допустимый остаток (тыс.куб.м);

$\bar{K}_{min}$  - коэффициент использования резервуарной емкости;

$W_0$  - общая емкость резервуарных парков системы (тыс.куб.м)

В табл. 2 представлены ориентировочные значения  $\bar{K}_{min}$

Таблица 2

Тип резервуара	: Коэффициент использования резервуарной емкости, $\bar{K}_{min}$ для резервуаров емкостью, тыс.куб.м				
	: до 5	: 10	: 20	: 30	: 50
РВС	0,12	0,15	0,19	-	0,16
МБР	0,17	0,23	-	0,25	-

Коэффициент использования резервуарной емкости определяется из выражения

$$\bar{K}_{min} = \frac{\sum K_i W_i}{W_0}$$

**РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ**  
**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МИНИМАЛЬНО**  
**ДОПУСТИМЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ НЕФТИ В**  
**РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ УПРАВЛЕНИЙ**  
**МАГИСТРАЛЬНЫМИ НЕФТЕПРОВОДАМИ ГЛАВТРАНСНЕФТИ**  
**РД 39-0147103-393-87**

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

---

Подписано к печати 13.10.87г. ПКО253  
Формат 24х60/16. Уч.-изд.л. 1,9. Тираж 50 экз.

Заквз 235

---

Ротепринт ВНИИСПНефти