

**МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ВНИИСПТнефть**

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

**МЕТОДИКА
РАСЧЕТА НАПОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
И ПЕРЕСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ
НАСОСОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ
И ВЯЗКОСТИ ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ
ЖИДКОСТИ**

РД 39 - 30 - 990 - 84

1984

Министерство нефтяной промышленности
ЕНИИСПнефть

Утвержден
первым заместителем министра
нефтяной промышленности
В.И.Кремневым
29 декабря 1983 года

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

М Е Т О Д И К А
РАСЧЕТА НАПОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПЕРЕСЧЕТА
ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ
НЕФТЕПРОВОДОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ
И ВЯЗКОСТИ ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

РД 39-30-990-84

1984

В методике даны формулы для расчета напорных характеристик центробежных насосов, а также для пересчета основных параметров при изменении вязкости перекачиваемой жидкости и скорости вращения ротора насоса.

Формулы составлены на основе теории размерностей и подобия и представляют собой простые аналитические выражения удобные для использования в инженерных расчетах.

Методика справедлива для магистральных насосов $D_s = 60 - 240$, с основными, сменными и обточенными рабочими колесами.

В методике приводятся необходимые справочные данные в виде таблиц и графиков.

При разработке методики учтены замечания ВНИИАЭН, Гипротрубопровода, нефтепроводных управлений.

Методику составили: Аитова Н.З., Еронен В.И., Колпаков Л.Г.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Методика расчета напорных характеристик и пересчета параметров центробежных насосов магистральных нефтепроводов при изменении частоты вращения и вязкости перекачиваемой жидкости

РД 39-30-990-84

Взамен "Методики расчета энергетических характеристик центробежных насосов магистральных нефтепроводов"

Приказом Министерства нефтяной промышленности № 39 от 12.01.84г.

Срок введения с 1 марта 1984 года

Срок действия до 1 марта 1989 года

Настоящая методика предназначена для расчета напорных характеристик магистральных насосов и пересчета параметров Q , H и η с воды на вязкие нефти и нефтепродукты (или с одной вязкости на другую) с учетом изменения частоты вращения и обточки рабочих колес.

Методика рекомендуется для проектных, исследовательских и производственных организаций, занятых разработкой и эксплуатацией насосного оборудования перекачивающих станций, проектированием трубопроводов и насосных станций магистральных нефте- и продуктопроводов, а также промыслов, и способствует повышению экономических показателей эксплуатации трубопроводов в целом.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. При изменении вязкости перекачиваемой жидкости и частоты вращения ротора насоса его характеристики также изменяются.

При увеличении вязкости и постоянной частоте вращения кри-

вые $H - Q$ и $\eta - Q$ снижаются с перемещением оптимума в сторону малых подач. Значение напора при нулевой подаче для магистральных насосов при этом меняется незначительно, поэтому с достаточной точностью его можно принять постоянным.

При уменьшении частоты вращения при постоянной вязкости (при $Re < Re_p$) напорные кривые снижаются, а максимальное значение КПД насоса перемещается в сторону меньших подач, также уменьшаясь.

При обточке рабочего колеса насоса по наружному диаметру изменяются напор, подача, коэффициент полезного действия. Напорная характеристика $Q - H$ при обточке снижается также конгруэнтно, оптимум КПД смещается в сторону меньших подач и уменьшается в зависимости от степени обточки и коэффициента быстроходности насоса.

Основным критерием при определении напорных и энергетических кривых насоса и при пересчете параметров H , Q и η при изменении вязкости, частоты вращения и диаметра рабочего колеса является число Рейнольдса.

1.2. Методика составлена для ньютоновских жидкостей.

1.3. Методика может быть использована при расчете напорных характеристик насосов с различными значениями частоты вращения, вязкости, с основными и сменными роторами, с различной степенью обточки рабочих колес (формулы 1, 4).

1.4. В методике даны зависимости для пересчета параметров H , Q и η с воды на вязкую жидкость и с одной вязкости на другую с учетом изменения частоты вращения (формулы 8, 9, 10, 14, 15).

Для насосов типа ΠM с постоянной частотой вращения ($n = 3000$ об/мин), эксплуатируемых на нефтеперекачивающих станциях магистральных нефтепроводов, влияние вязкости на напорную харак-

теристику начинается со значений вязкости: $\nu = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ (для насосов с подачей 1250 м³/ч), - $\nu = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ (для насосов с подачей 10000 м³/ч), на энергетическую характеристику ($\eta - \varphi$) - со значений вязкости $\nu_{\text{ср}} = 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

I.5. Изменение параметров H и Q при обточке рабочего колеса в номинальной зоне определяется по формулам II-13, а пересчет КПД при обточке - по формуле I4.

I.6. Формулы 8, 9, 10, 14, 15 справедливы для режимов течения жидкости в рабочем колесе с $Re \leq Re_{\text{п}}$ (при пересчете напора и подачи) и $Re \leq Re_{\text{гр}}$ (при пересчете КПД).

Значения $Re_{\text{п}}$ и $Re_{\text{гр}}$ даны в графической зависимости от n_s (рис. 1 и 2).

I.7. Точность расчетов по предлагаемой методике для насосов с $n_s = 60-200$ находится в пределах 3-5%.

I.8. Условные обозначения

Q - подача насоса, м³/с;

H - напор насоса, м;

$\bar{H} = \frac{H}{H_0}$ - относительный напор;

n - частота вращения ротора насоса, об/с;

$n_s = 3,65 \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$ - коэффициент быстроходности;

(где n - в об/мин; в случае насоса с рабочим колесом двухстороннего входа вместо Q подставляется $Q/2$);

ν - кинематический коэффициент вязкости перекачиваемой жидкости, м²/с;

η - КПД - коэффициент полезного действия;

$\bar{\eta} = \frac{\eta}{\eta_0}$ - относительный КПД ;

$\varphi = \frac{Q}{n D^3}$ - обобщенная подача;

$\psi = \frac{H}{n^2 D^2}$ - обобщенный напор;

$\psi_0 = \frac{H_0}{n^2 D^2}$ - обобщенный напор при нулевой подаче;

D - наружный диаметр рабочего колеса, м;

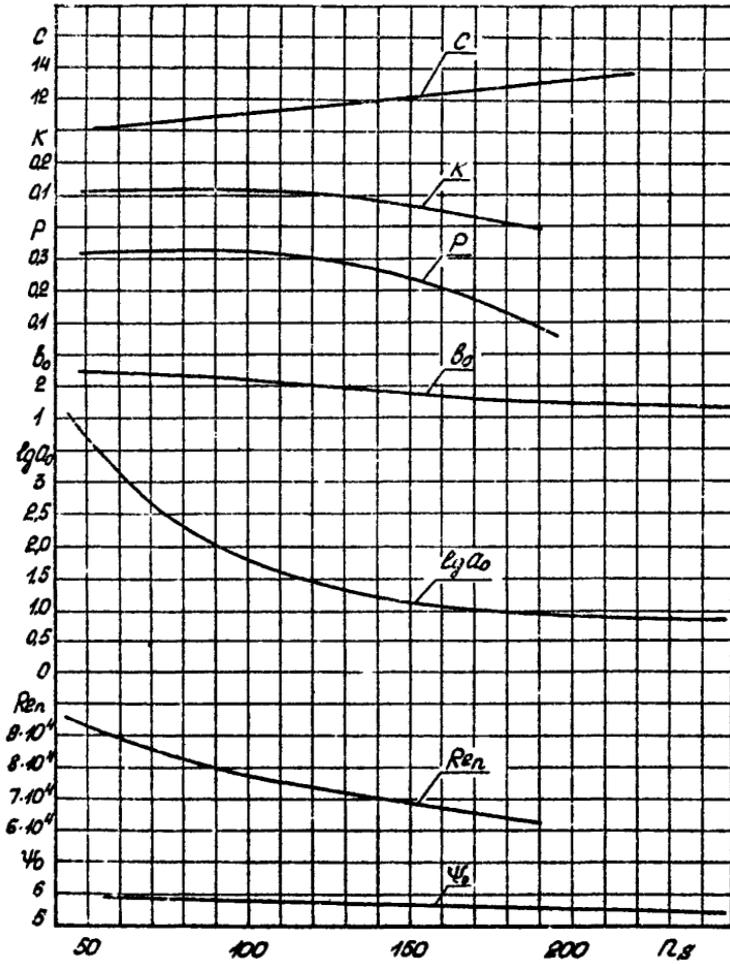


Рис. I. Зависимость показателей Re_n , ψ , $\lg a_0$, b_0 , p , r и C от n_s

- D' - наружный диаметр обточенного рабочего колеса, м;
- $L = \frac{D'}{D}$ - степень обточки рабочего колеса;
- $Re = \frac{\rho D^2}{\gamma}$ - число Рейнольдса;
- Re_n, Re_p - числа Рейнольдса, определяющие условную границу перехода режима течения жидкости из автомодельной области в область зависящих от вязкости и частоты вращения значений параметров насоса, соответственно для напора (H) и КПД (η);
- $\bar{Re} = \frac{Re_n}{Re}$ - относительное число Рейнольдса;
- g - ускорение свободного падения, м/с²;
- α_n, α - показатели степени в уравнениях пересчета соответственно напора и КПД с воды на вязкую жидкость и с одной вязкости на другую, и представляющие собой тангенсы углов наклона прямых $\bar{H} = f(Re)$ и $\bar{\eta} = f(Re)$, зависящих от конструкции насоса (n_s).
- Для центробежных насосов с $n_s = 60-200$ принято среднее значение $\alpha_n = 0,128$. Показатель α находится по графической зависимости $\alpha = f(n_s)$ на рис. 2;
- $a_0, b_0, p, k, c, Re_n, Re_p$ - коэффициенты и параметры, зависящие от n_s (см. рис. 1 и 2).

Индекс "в" - для воды, "γ" - для вязкой жидкости.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

2.1. Для выполнения расчетов напорных характеристик необходимы следующие данные:

характеристика центробежного насоса на воде $H - Q$ при известных значениях n и D или параметры насоса H, Q, n, D по заводскому паспорту или ГОСТу;

значение вязкости (γ) перекачиваемой жидкости.

2.2. Для пересчета параметров насоса с воды на вязкую жид-

кость или с одной вязкости на другую должны быть известны параметры насоса, полученные при его работе на жидкости с известным значением вязкости: Q_6, H_6 и η_6 или Q_7, H_7 и η_7 .

3. РАСЧЕТ НАПОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГИСТРАЛЬНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПРИ ПЕРЕКАЧКЕ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Напорные характеристики магистральных насосов представляют собой монотонно падающие кривые. Они могут быть выражены как в безразмерных (обобщенных) параметрах $\psi - \varphi$, так и в размерных величинах $H-Q$ [1,3,4,7].

3.1. Уравнение напорной характеристики в безразмерных координатах

Уравнение напорной характеристики центробежного насоса, перекачивающего вязкую жидкость в безразмерных координатах выражается зависимостью:

$$\psi = \psi_0 - c(1-L) - \alpha_0 \bar{Re}^p \cdot \varphi_0 - \kappa L g \bar{Re} \quad (1)$$

Она справедлива при $\bar{Re} \geq 1$.

При отсутствии обточки рабочего колеса ($L = 1$) зависимость $\psi = f(\varphi)$ имеет вид:

$$\psi = \psi_0 - \alpha_0 \cdot \bar{Re}^p \cdot \varphi_0 - \kappa L g \bar{Re} \quad (2)$$

При $\bar{Re} = 1$ уравнение (2) преобразуется в вид, соответствующий выражению напорной характеристики для автомоделного режима течения жидкости в насосе:

$$\psi = \psi_0 - \alpha_0 \cdot \varphi_0, \quad (3)$$

и справедливо для всех значений $\bar{Re} < 1$.

3.2. Уравнение напорной характеристики в размерных координатах $Q - H$

Уравнение напорной характеристики при $L = I$ в размерных координатах получено из выражений Ψ и φ , приведенных в условных обозначениях раздела I.8.

а) для режимов $\bar{Re} > I$;

$$H = H_0 - A \cdot \bar{Re}^p \cdot Q^{b_0} - \kappa L g \bar{Re} \quad (4)$$

где

$$A = \frac{a_0}{g} \cdot \frac{n^2 - (b_0 - \kappa L g \bar{Re})}{D^5 (b_0 - \kappa L g \bar{Re}) - 2} \quad (5)$$

б) для режимов $\bar{Re} \leq I$;

$$H = H_0 - A_0 Q^{b_0}, \quad (6)$$

где

$$A_0 = \frac{a_0}{g} \cdot \frac{n^2 - b_0}{D^5 b_0 - 2} \quad (7)$$

Для облегчения использования уравнений (4) и (6) значения параметров H_0 , A_0 и b_0 для магистральных насосов типа НМ даны в табл. I. Значения $(Re_n, \eta, Lg a_0, b_0, p, \kappa, C) = f(n_s)$ определяются по рис. I.

Погрешность расчетов напорной кривой насосов в автомобильном режиме в диапазоне подач $0,8 - 1,2 Q_{ном}$ не превышает 1,5%.

4. ПЕРЕСЧЕТ НАПОРА И ПОДАЧИ НАСОСА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

4.1. Пересчет значений напора и подачи с воды на вязкую жидкость в рабочей части характеристики насоса при $Re < Re_{II}$ осуществляется по формулам*

$$\begin{aligned} H'_2 &= H_2 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \cdot (1 - d_H \cdot Lg \bar{Re}), \\ Q'_2 &= Q_2 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \cdot \left(\frac{H'_2}{H_2} \right)^{3/2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Значение Re_{II} определяется по кривой $Re_{II} = f(n_s)$ на рис. I или по эмпирической зависимости $Re_{II} = 3,16 \cdot 10^5 \cdot n_s^{-0,305}$.

Зная для конкретного насоса Re_{II} , находим предельное значение вязкости, начиная с которой необходимо вести пересчет

$$\nu_n = \frac{n D^2}{Re_{II}}$$

4.2. Если изменяется только один параметр в выражении числа Рейнольдса, то пересчет производится по упрощенным формулам (также при соблюдении условия $Re < Re_{II}$):

$$\begin{aligned} \text{а) } D = Const, \quad n = Const: \\ H_{2_2} &= H_{2_1} \cdot \left(1 - d_H \cdot Lg \frac{\nu_{2_2}}{\nu_{2_1}} \right), \\ Q_{2_2} &= Q_{2_1} \cdot \left(\frac{H_{2_2}}{H_{2_1}} \right)^{3/2} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{б) } D = Const, \quad \nu = Const, \\ H_{2_2} &= H_{2_1} \cdot \left(1 - d_H \cdot Lg \frac{n_1}{n_2} \right) \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2, \\ Q_{2_2} &= Q_{2_1} \cdot \left(\frac{H_{2_2}}{H_{2_1}} \right)^{3/2} \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \end{aligned} \quad (10)$$

4.3. При $Re > Re_{II}$ пересчет параметров H и Q при изменении частоты вращения производится по известным формулам подобия [3].

* Вывод формул пересчета параметров насоса приведен в работе [2].

Таблица I

К расчету напорной характеристики
магистральных насосов

Марка насоса	Подача сменного ротора, м ³ /ч	n_s	$D, м$	H_0	A_0	b_0
HM 1250-260	1250	62,5	0,440	325	660	2,26
	1250	-	0,395	252	660	2,26
	900	64,8	0,418	296	502	2,03
HM 2500-230	2500	105,4	0,430	280	113	2,30
	2500	-	0,385	228	113	2,30
	1800	113,4	0,405	250	99	1,85
	1250	104,0	0,425	252	105	1,10
HM 3600-230	3600	113,0	0,450	210	72	2,38
	3600	-	0,405	253	72	2,38
	2500	114,4	0,430	297	90	1,30
	1800	113,0	0,450	270	216	2,40
HM 5000-210	5000	165,0	0,450	300	46	2,34
	5000	-	0,405	243	46	2,34
	3500	153,5	0,470	265	70	2,21
	2500	160,0	0,430	240	68	1,69
HM 7000-210	7000	195,7	0,475	310	37	1,5
	-	-	0,428	250	37	1,5
	5000	178,4	0,475	290	47	1,79
	3500	202,8	0,467	265	56	1,68
HM 10000-210	12500	226,2	0,520	380	25	1,63
	10000	233,0	0,495	330	27	1,52
	10000	-	0,445	275	27	1,52
	7000	232,0	0,505	340	57	1,28
	5000	222,6	0,475	280	43	1,42

5. ПЕРЕСЧЕТ НАПОРА И ПОДАЧИ НАСОСА ПРИ ОБТОЧКЕ РАБОЧЕГО КОЛЕСА

5.1. Пересчет значений напора и подачи насоса, работающего на воде или вязкой жидкости при обточке рабочего колеса осуществляется по формулам:

а) для насосов с $n_s = 80-125$:

$$\frac{H'}{H} = L^2, \quad \frac{Q'}{Q} = L, \quad (II)$$

б) для насосов с $n_s = 125-175$:

$$\frac{H'}{H} = \left(\frac{D'}{D}\right)^{2,2}, \quad \frac{Q'}{Q} = \left(\frac{D'}{D}\right)^{1,3} \quad (I2)$$

в) для насосов с $n_s = 180-230$:

$$\frac{H'}{H} = L^{2,25}, \quad \frac{Q'}{Q} = L^{1,25} \quad (I3)$$

В работе [6] приведены графические зависимости показателей степени от n_s . Целесообразные пределы допустимой обточки рабочих колес и величины снижения КПД насоса на каждые 10% обточки приведены ниже.

Коэффициент быстроходности, n_s	: Допустимая обточка : колеса в % от $D_{ном}$: Снижение КПД на- : соса на каждые 10% : обточки колеса, %
70 - 125	20 - 15	1,0 - 1,5
125 - 175	15 - 11	1,5 - 2,5
175 - 230	11 - 5	2,5 - 3,5

6. ПЕРЕСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ
ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВЯЗКОСТИ
И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Пересчет значений КПД в рабочей зоне подач центробежного насоса с воды на вязкую жидкость при $Re < Re_{гр}$ может производиться по следующим формулам*:

$$1) \quad \eta_2 = \eta_1 \left[1 - \alpha \cdot \lg \left(\frac{Re_{гр}}{Re} \right) \right], \quad (14)$$

где $\alpha = f(n_s)$ и $Re_{гр} = f(n_s)$ даны на рис. 2 или могут быть определены из выражений:

$$\alpha = n_s^{-0,265}, \quad Re_{гр} = z \cdot n_s^\epsilon \quad \left. \begin{array}{l} \text{где } z = 9,1 \cdot 10^3 \\ \epsilon = 0,573 \end{array} \right\} \text{ при } n_s > 100$$

$$\left. \begin{array}{l} z = 6,7 \cdot 10^4 \\ \epsilon = 0,137 \end{array} \right\} \text{ при } 60 < n_s < 100$$

Предельное значение вязкости, начиная с которой необходимо вести пересчет КПД, определяется из выражения:

$$\eta_{гр} = \frac{n D^2}{Re_{гр}}$$

По аналогичной формуле можно производить пересчет значений КПД с одной вязкости на другую:

$$2) \quad \eta_2 = \eta_1 \left[1 - \alpha \cdot \lg \frac{Re_1}{Re_2} \right] \quad (15)$$

Пересчет КПД при обточке осуществляется по формуле 14. При этом $Re_{гр}$ определяется по n_s , соответствующего параметрам насоса с первоначальным значением диаметра рабочего колеса, а в выражение Re подставляется диаметр обточенного колеса.

Если изменяется только один или два параметра в Re , то отношение Re_1/Re_2 можно заменить соответственно отношением переменных параметров.

Для малых вязкостей ($Re > Re_{гр}$) при изменении частоты

* Вывод формул пересчета КПД приведен в работе [5].

вращения пересчет КПД производится по формуле "Sulzer".

$$\xi_e = \frac{\eta_1}{\eta_1 + (1 - \eta_1)(n_1/n_2)^{4.17}} \quad (16)$$

Наименьшую погрешность (2-3%) формулы (12-14) дают в диапазоне подач 0,8-1,2 $Q_{ном}$.

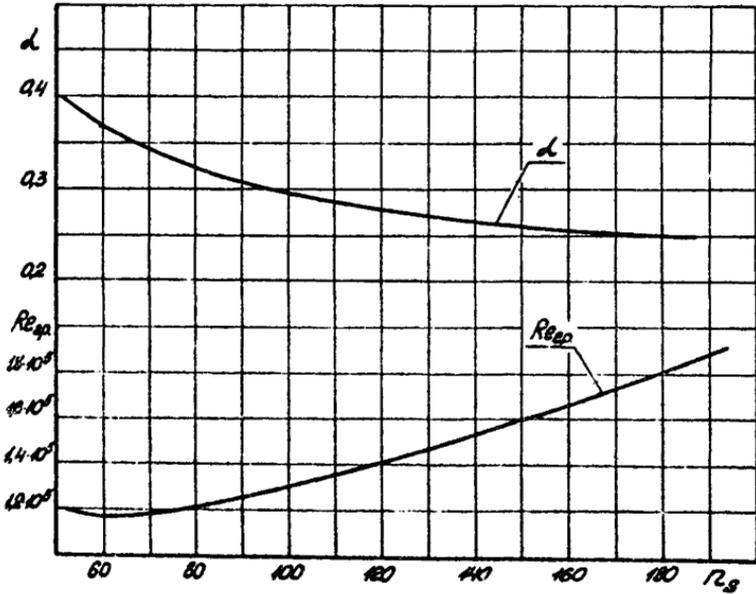


Рис.2. Зависимость коэффициентов α и Re_{sp} от n_g

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Айтова Н.З., Колпаков Л.Г., Уравнение напорной характеристики центробежного насоса, перекачивающего вязкие жидкости с учетом изменения частоты вращения. Сб. трудов Трубопроводный транспорт нефти. - Уфа: ВНИСПТнефть, 1981.

2. Айтова Н.З., Колпаков Л.Г. Приближенный метод пересчета напорных характеристик центробежных насосов с воды на вязкую жидкость в оптимальной зоне подачи. НТС Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - М.: ВНИИОЭНГ, 1982, № 2.

3. Колпаков Л.Г., Еронен В.И. О расчете напорных характеристик центробежных насосов при перекачке вязких жидкостей. Труды НИИТранснефть, вып. УП. - Уфа, 1970.

4. Колпаков Л.Г. Напорные характеристики магистральных насосов в обобщенных координатах. - Нефтяное хозяйство, № II, 1973.

5. Айтова Н.З. Анализ зависимости коэффициента полезного действия магистральных насосов от вязкости перекачиваемой жидкости с учетом частоты вращения ротора насоса. Сб. трудов Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - Уфа: ВНИСПТнефть, 1980.

6. Усовершенствование узлов насосных агрегатов НПС /Володин В.Г. и др. - НТС Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. М., ВНИИОЭНГ, 1977.

7. Филиппович С.А. Безразмерные характеристические коэффициенты для гидравлических машин. - Энергомашиностроение, № 3, 1965.

8. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. - М.: Машиностроение, 1966.

Приложение

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ПО МЕТОДИКЕ

Приведены следующие примеры расчетов напорных характеристик и пересчета параметров H , Q и n магистральных центробежных насосов при различных значениях вязкости, частоты вращения и обточки колес.

Пример 1 Расчет напорной характеристики при работе на вязкой жидкости при известной характеристике $Q - H$ на воде, (модельный насос ИМ 2500-230М-12).

Пример 2 То же в безразмерных координатах (насос ИБНД-10х1М).

Пример 3 Пересчет характеристик в диапазоне подач $0,8 + 1,2 Q_{\text{ном}}$ с воды на различные вязкости при $n = \text{const}$ (насос ИБНД-10х1М).

Пример 4 То же при изменении частоты вращения и изменении вязкости (насос ИМ в.о. 2500-750М-1).

Пример 5 То же при изменении только частоты вращения.

Пример 6 То же при изменении только вязкости (насос ИМ-21).

Пример 7 Построение напорной характеристики $Q - H$ натурального насоса ИМ 3600-230.

Пример 8 Построение характеристики $Q - H$ в безразмерных координатах при перекачке вязкой жидкости для модельного насоса. ИМ 2500-230М с обточными колесом.

Расчеты сопр. выполняются экспериментальными кривыми, позволяющими оценить величину погрешностей по предлагаемым в методике формулам.

Пример I

Требуется построить напорную характеристику модельного насоса НМ 2500-230М-12 с диаметром рабочего колеса $D_2 = 0,262$ м, при $n = 1450$ об/мин и $\gamma_1 = 1,0 \cdot 10^{-4}$ м²/с и $\gamma_2 = 2,5 \cdot 10^{-4}$ м²/с при наличии характеристики $Q - H$, полученной при испытании насоса на воде.

Номинальные значения напора и расхода:

$$H_{\text{НОМ}} = 19,6 \text{ м}, \quad H_0 = 24 \text{ м}$$

$$Q_{\text{НОМ}} = 300 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0833 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$n = 1450 \text{ об/мин} = 24,17 \text{ об/с.}$$

1. Вычисляем n_s по формуле:

$$n_s = 3,65 \cdot n \cdot \frac{\sqrt{Q/R}}{H^{3/4}} = 3,65 \cdot 1450 \cdot \sqrt{\frac{0,04165}{19,6^4}} = 120$$

2. Определяем H по нескольким значениям Q , пользуясь формулами (4) и (5):

$$H = H_0 - A_0 \cdot \bar{Re}^p \cdot Q^{b_0 - \kappa \lg \bar{Re}}$$

$$\text{где } A_0 = \frac{a_0}{g} \cdot \frac{n^2 \cdot (b_0 - \kappa \lg \bar{Re})}{\eta^2 (b_0 - \kappa \lg \bar{Re})^2}$$

3. По графикам на рис. I определяем:

$$\lg a_0 = 1,45; \quad a_0 = 28,2; \quad b_0 = 2,1; \quad Re_R = 7,3 \cdot 10^4;$$

$$\kappa = 0,1; \quad p = 0,29.$$

4. Определяем \bar{Re} при $\gamma_1 = 1 \cdot 10^{-4}$ м²/с и $\gamma_2 = 2,5 \cdot 10^{-4}$ м²/с

$$Re_1 = \frac{24,17 \cdot 0,262^2}{1 \cdot 10^{-4}} = 1,66 \cdot 10^4$$

$$Re_2 = \frac{24,17 \cdot 0,262^2}{2,5 \cdot 10^{-4}} = 0,664 \cdot 10^4$$

$$\bar{Re}_1 = \frac{7,3 \cdot 10^4}{1,66 \cdot 10^4} = 4,4; \quad \bar{Re}_2 = \frac{7,3 \cdot 10^4}{0,664 \cdot 10^4} = 10,99$$

5. Вычисляем A_{01} и A_{02} :

$$A_{01} = \frac{28,2}{9,81} \cdot \frac{24,17^2 \cdot (2,1 - 0,1 \lg 4,4)}{0,282^2 (2,1 - 0,1 \lg 4,4)^2} = 630,6$$

$$A_{02} = \frac{22,2}{9,81} \cdot \frac{24,17^2 - (2,1 - 2,1 \lg 10,99)}{0,222^3 (2,1 - 2,1 \lg 10,99)} = 608,2$$

6. Вычисляем $H = f(Re, Q)$

$$H_1 = 24 - 630,6 \times 4,4^{0,29} \times Q^{2,0356} = 24 - 969,1 \times Q^{2,0356}, \text{ м}$$

$$H_2 = 24 - 608,2 \times 10,99^{0,29} \times Q^{2,0} = 24 - 1218,8 \times Q^2, \text{ м}$$

7. Определяем напор для нескольких значений Q .

Расчет удобно производить в табличной форме:

а)

$Q \text{ м}^3/\text{с}$:	0,02	:	0,04	:	0,06	:	0,08	:	0,1	:	0,11
$Q \text{ м}^3/\text{ч}$		72		144		216		288		360		396
$H, \text{ м}$		23,66		22,6		20,84		18,33		15,07		13,16
$H_{\text{эсп.}}, \text{ м}$		23,60		22,4		20,8		18,45		15,00		13,9
$\delta_H, \%$		0,25		0,89		0,28		0,65		0,47		5,3

б) $Q \text{ м}^3/\text{с}$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,11
$Q \text{ м}^3/\text{ч}$	72	144	216	288	360	396
$H_2, \text{ м}$	23,5	22,05	19,61	16,20	11,8	9,25
$H_{\text{эсп.}}, \text{ м}$	23,1	22,05	19,1	16,15	12,3	-
$\delta_{H_2}, \%$	1,73	0	2,67	0,31	4,06	-

Последние 2 строки в таблицах - значения напора при заданных подачах, взятые с экспериментальных кривых ($H_{\text{эсп.}}$) и величина погрешности расчетов по формуле, в процентах.

На рис. 3 представлены экспериментальные кривые $Q-H$ и $Q-\eta$ модельного насоса с $Re = 120$ и расчетные (пунктиром) для вязкостей $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ и $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Пример 2

Требуется построить напорную характеристику в безразмерных координатах для модельного насоса 16 НД-10Х1М при следующих зна-

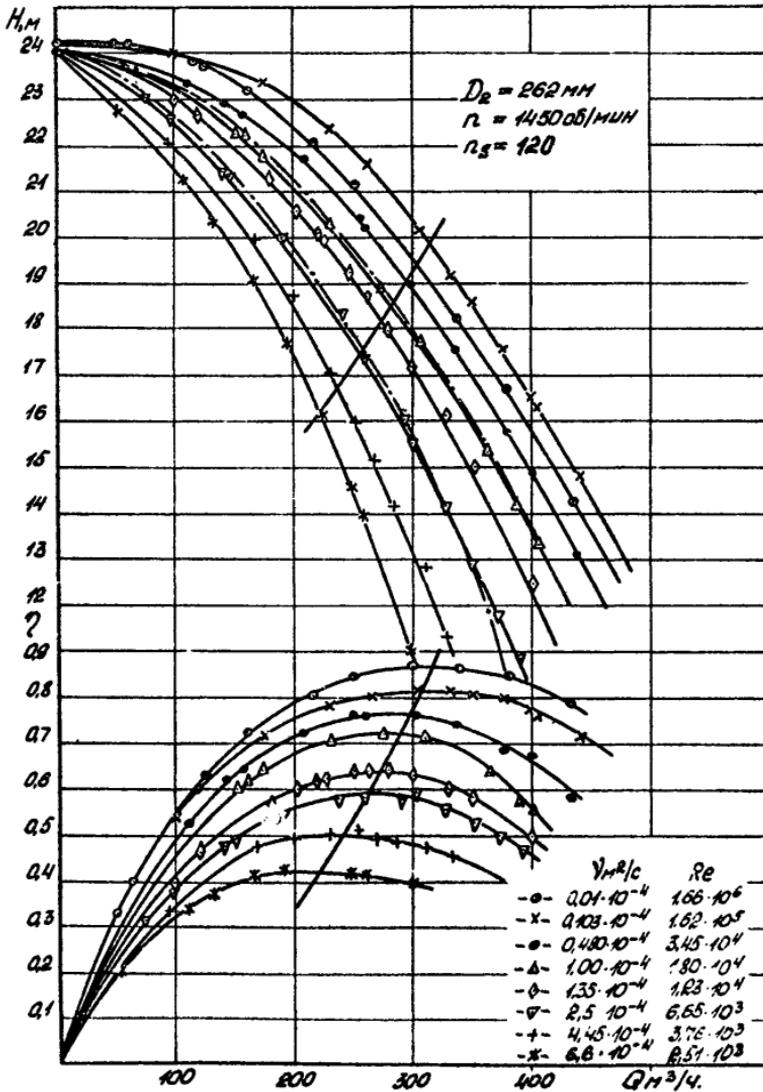


Рис. 3 . Характеристики насоса HM 2500-230M-12

чениях вязкости: $\gamma_1 = 0,01 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; $\gamma_2 = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$;

$$\gamma_3 = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \gamma_4 = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$n = 1450 \text{ об/мин} = 24,17 \text{ об/с}; \quad D = 0,3 \text{ м}; \quad n_s = 100$$

а) Расчет характеристики $\psi = f(\varphi)$ для

$$\gamma = 0,01 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с} \text{ (вода)}$$

По графикам на рис. I находим параметры для $n_s = 100$;

$$\psi_0 = 5,8; \quad Re_n = 7,8 \cdot 10^4; \quad Lg a_0 = 1,85; \quad a_0 = 71; \quad b_0 = 2,1;$$

$$\rho = 0,31; \quad k = 0,12.$$

В данном случае используется формула (3) для автономно-го режима ($Re > Re_{II}$):

$$\psi = \psi_0 - a_0 \cdot \varphi^{b_0}$$

Находим ψ для нескольких значений φ :

φ	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
ψ расч.	5,78	5,72	5,61	5,45	5,23	4,97	4,66
ψ эксп.	5,78	5,76	5,70	5,55	5,38	5,15	4,82
δ %	0	0,69	1,58	1,83	2,78	3,49	3,32

б) Для расчета напорных характеристик $\psi = f(Re, \varphi)$ используется формула (4): $\psi = \psi_0 - a_0 \bar{Re}^{\rho} \cdot \varphi^{b_0 - k Lg \bar{Re}}$

$$\gamma = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \bar{Re} = \frac{Re_n}{Re}; \quad Re = \frac{n D^2}{\gamma} = \frac{24,17 \cdot 0,3^2}{0,9 \cdot 10^{-4}} = 2,42 \cdot 10^4$$

$$\bar{Re} = \frac{7,8 \cdot 10^4}{2,42 \cdot 10^4} = 3,223; \quad Lg \bar{Re} = 0,508;$$

$$\psi = 5,8 - 71 \cdot 3,223^{0,31} \cdot \varphi^{2,1 - 0,12 \cdot 0,508} = 5,8 - 102 \cdot \varphi^{1,04};$$

φ	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
ψ расч.	5,77	5,66	5,47	5,21	4,87	4,45	3,95
ψ эксп.	5,75	5,68	5,46	5,26	4,90	4,40	3,75
δ %	0,34	0,35	0,18	0,95	0,61	1,13	5,33

$$\begin{aligned} \text{в) } \nu &= 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \quad Re = 1,209; \quad \bar{Re} = 6,4; \\ \lg \bar{Re} &= 0,809; \quad \psi = 5,8 - 71 \cdot 6,45^{0,31} \cdot \varphi^{2,2-0,12 \cdot 0,809} = \\ &= 5,8 - 126,5 \cdot \varphi^2. \end{aligned}$$

φ	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
$\psi_{\text{расч.}}$	5,75	5,59	5,34	5,00	4,535	3,98	3,1
$\psi_{\text{эксп.}}$	5,72	5,58	5,40	5,10	4,53	3,82	2,85
$\delta \%$	0,52	0,18	1,1	1,96	0,11	4,19	8,7

$$\begin{aligned} \text{г) } \nu &= 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \quad Re = 5,06 \cdot 10^3; \quad \bar{Re} = 15,42; \\ \lg \bar{Re} &= 1,188; \\ \psi &= 5,8 - 7,2 \cdot 15,42^{0,31} \cdot \varphi^{2,1-0,12 \cdot \lg 15,42} = \\ &= 5,8 - 168,1 \cdot \varphi^{1,957} \end{aligned}$$

φ	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,11
$\psi_{\text{расч.}}$	5,72	5,49	5,12	4,60	3,94	3,58
$\psi_{\text{эксп.}}$	5,67	5,47	5,18	4,68	3,93	3,43
$\delta \%$	0,90	0,36	1,16	1,71	0,25	3,79

Средняя величина отклонений расчетных значений безразмерного напора от экспериментальных (см. рис. 4) составляет в данном примере $\delta_{\text{ср}} = 1,76\%$.

В размерные величины параметры φ и ψ пересчитываются по формулам:

$$H = \frac{\psi \cdot \rho^2 D^5}{g}; \quad Q = \varphi \cdot \rho \cdot D^3$$

Пример 3

Дана характеристика модельного насоса 16 НД-10х1К-2 на воде. Пересчитать параметры Q , H и η в диапазоне подач $0,8 Q_{\text{ном}} - 1,2 Q_{\text{ном}}$ для следующих значений вязкости перекачиваемой жидкости.

$$\begin{aligned} \nu_1 &= 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \nu_2 = 3,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \nu_3 = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \\ \nu_4 &= 7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \nu_5 = 10 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}. \end{aligned}$$

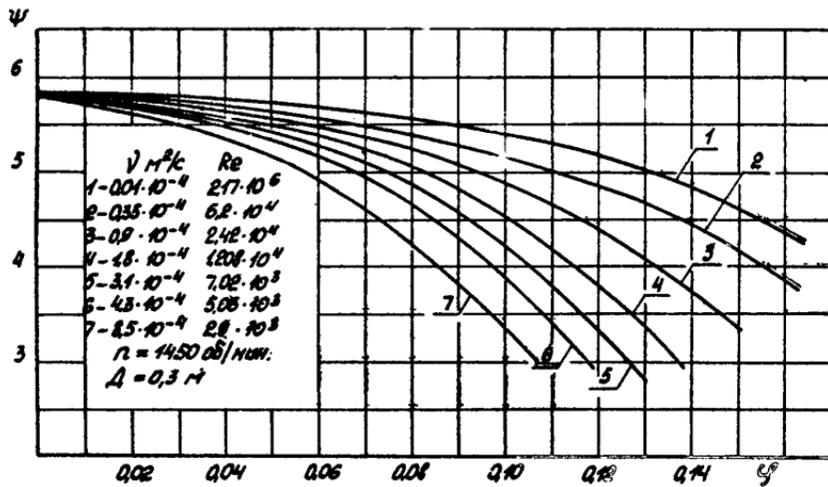


Рис. 4. Характеристики насоса 16НД-10Х1М в безразмерных координатах $n_3 = 100$

Исходные данные для расчета:

$$\begin{aligned}
 D &= 0,3 \text{ м}; \quad n = 1450 \text{ об/мин} = 24,17 \text{ об/с} = \text{const}; \quad n_2 = 98 \\
 Q_{\text{ном}g} &= 300 \text{ м}^3/\text{ч} & 0,8 Q_{\text{н}g} &= 240 \text{ м}^3/\text{ч} & 1,2 Q_{\text{ном}g} &= 360 \text{ м}^3/\text{ч} \\
 H_{\text{ном}g} &= 23 \text{ м} & H_g &= 26,5 \text{ м} & H_g &= 18,2 \\
 \eta_{\text{м}g} &= 0,62 & \eta_g &= 0,605 & \eta_g &= 0,58
 \end{aligned}$$

Пересчет параметров производим по формулам (8,9 и 14)

По зависимостям на рис. 1 и 2 находим $Re_{\text{н}} = 7,8 \cdot 10^4$;

$$Re_{\text{р}} = 1,3 \cdot 10^5; \quad \alpha = 0,3; \quad \alpha_{\text{н}} = 0,128;$$

$$3.1. \quad \nu = 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \quad Re = 3,62 \cdot 10^4;$$

а) для $Q_{\text{ном}} = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$:

$$H_2 = 23 \left(1 - 0,128 \lg \frac{7,8 \cdot 10^4}{3,62 \cdot 10^4} \right) = 22,02 \text{ м};$$

$$Q_2 = 300 \cdot 0,957^{1,5} = 280,8 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$\eta = 0,62 \left(1 - 0,3 \lg \frac{13 \cdot 10^4}{3,62 \cdot 10^4} \right) = 51,7 \%$$

б) $0,8 Q_{\text{ном}} = 240 \text{ м}^3/\text{ч}$

Для режимов $0,8 Q_{\text{ном}}$ и $1,2 Q_{\text{ном}}$ параметры H_2 , Q_2 и η_2 определяются простым пересчетом этих параметров, полученных на номинальном режиме:

$$H_2 = 23,37 \text{ м}$$

$$Q_2 = 224,6 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$\eta_2 = 7,505$$

в) $Q = 1,2 Q_{\text{ном}} = 360 \text{ м}^3/\text{ч}$

$$H_2 = 17,42 \text{ м}$$

$$Q_2 = 337 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$\eta = 0,48$$

$$3.2. \quad \nu = 3,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \quad Re = 0,588 \cdot 10^4$$

а) $Q_{\text{ном}g} = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$:

$$H_2 = 23 \left(1 - 0,128 \cdot \lg \frac{7,8 \cdot 10^4}{0,588 \cdot 10^4} \right) = 19,62 \text{ м},$$

$$Q_2 = 300 \cdot 0,856^{1,5} = 237,6 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$\eta = 0,62 \left(1 - 0,3 \lg \frac{13 \cdot 10^4}{0,588 \cdot 10^4} \right) = 0,565;$$

$$б) Q = 0,8 Q_{\text{НОМ}} = 240 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

$$H = 22,6 \text{ м,}$$

$$Q_{\text{г}} = 190,1 \text{ м}^3/\text{ч,}$$

$$\eta = 0,357$$

$$в) Q = 1,20 Q_{\text{НОМ}} = 360 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$H = 15,53 \text{ м,}$$

$$Q_{\text{г}} = 285 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$\eta = 0,333$$

Результаты вычислений параметров для других значений вязкости и сравнение с экспериментальными точками (см.рис.5) приведены в таблице.

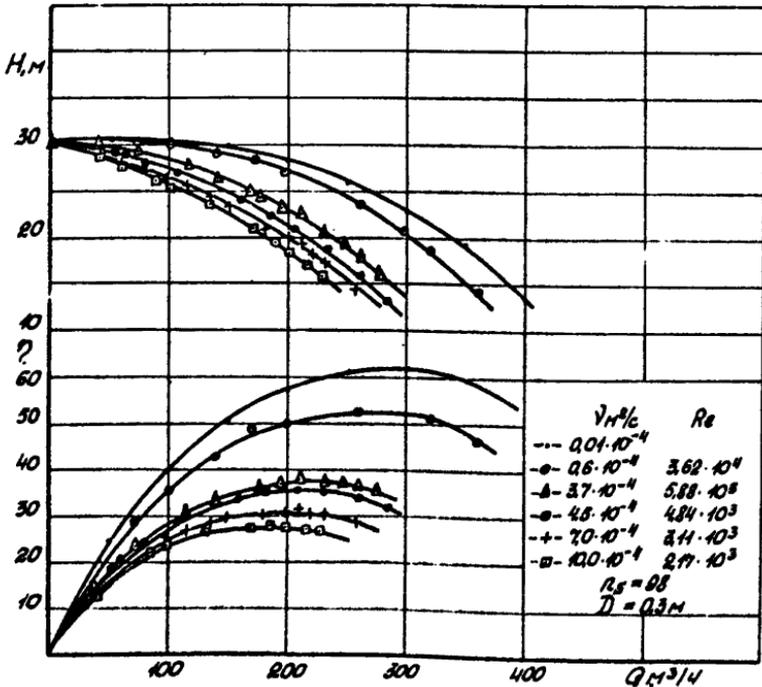


Рис. 5. Характеристики насоса 16НД-10ХИМ-2 в координатах Q-H $n_s = 98$ (сменный ротор)

γ м ² /с	Q м ³ /ч	$H_{\text{г.м.}}$	$H_{\text{эксп.}}$	δ_H %	$Q_{\text{г.м.}}$	$Q_{\text{эксп.}}$	δ_Q %	η %	$\eta_{\text{эксп.}}$	δ_{η} %
0,6 · 10 ⁻⁴	$Q_{\text{НОМ}}$	22,02	22	0,10	280,8	280	0,28	51,7	52,6	1,71
	0,8 $Q_{\text{НОМ}}$	25,37	25,8	1,67	224,6	224	0,27	50,5	51,2	1,37
	1,2 $Q_{\text{НОМ}}$	17,42	17,5	0,45	337	330	2,13	48	50	4,0
3,7 · 10 ⁻⁴	$Q_{\text{НОМ}}$	19,62	20	1,90	237,6	238	0,17	36,5	37,2	1,89
	0,8 $Q_{\text{НОМ}}$	22,6	23,2	1,72	190,1	195	2,5	35,7	36	0,83
	1,2 $Q_{\text{НОМ}}$	15,53	15,2	2,17	285	285	0	33,3	34	2,06
4,5 · 10 ⁻⁴	$Q_{\text{НОМ}}$	19,44	19	2,32	233	230	1,30	35,4	35,8	1,11
	0,8 $Q_{\text{НОМ}}$	22,3	22,4	0,44	186,4	185	0,76	34,5	35,0	1,43
	1,2 $Q_{\text{НОМ}}$	15,4	15,0	2,67	280	270	3,7	33,12	33,3	0,54
7 · 10 ⁻⁴	$Q_{\text{НОМ}}$	18,88	18,5	2,05	223,2	220	1,45	31,8	31,0	2,58
	0,8 $Q_{\text{НОМ}}$	21,75	21,6	0,69	178,6	180	0,78	31,0	30,8	0,65
	1,2 $Q_{\text{НОМ}}$	14,94	14,5	3,03	268,0	260	3,08	29,7	29,0	2,4
	$Q_{\text{НОМ}}$	18,42	18,0	2,3	215	205	4,87	28,6	27,5	4,8
	0,8 $Q_{\text{НОМ}}$	21,22	21	1,05	172	170	1,18	28,2	27,5	2,54
	1,2 $Q_{\text{НОМ}}$	14,58	14,0	4,14	258	250	3,2	26,5	25,0	6,03
	Величина средней погрешности			2,09			1,61			2,42
	по режимам			1,114			1,10			1,37
				2,49			2,42			2,99
	Общая средняя погрешность			1,9			1,71			2,26

Пример 4

Пересчитать параметры насоса НМв.о.2500-750М-I с характеристики, полученной при испытаниях на воде* с частотой вращения $n_1 = 6000$ об/мин (см. рис. 6), на вязкость $\nu = 0,52 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ при частоте вращения $n_2 = 4000$ об/мин для режимов $0,8 Q_{\text{номб}}$, $Q_{\text{номб}}$ и $1,2 Q_{\text{номб}}$.

$$4.1. Q_{\text{номб}} = 190 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad H_{\text{номб}} = 80 \text{ м}; \quad \eta_{\text{maxб}} = 83\%; \\ Re = 2,17 \cdot 10^4; \quad Re_n = 7,1 \cdot 10^4; \quad \alpha = 0,27; \quad \alpha_n = 0,128; \\ Re_{\text{гп}} = 15,1 \cdot 10^4.$$

Пересчет ведем по формулам (8 и 14)

$$H_2 = 80 \left(\frac{4000}{6000} \right)^2 \cdot \left[1 - 0,128 \cdot \lg \frac{7,1 \cdot 10^4}{2,17 \cdot 10^4} \right] = 33,2 \text{ м} \quad (31,8 \text{ м})^{**},$$

$$Q_2 = 190 \left(\frac{6000}{4000} \right)^2 \cdot \left(\frac{23,2}{80} \right)^{4,5} = 114,3 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (110 \text{ м}^3/\text{ч}),$$

$$\eta = 83 \left(1 - 0,27 \cdot \lg \frac{15,1 \cdot 10^5}{2,17 \cdot 10^4} \right) = 64,12 \% \quad (62 \%)$$

$$4.2. 0,8 Q_{\text{номб}} = 152 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad H_{\text{номб}} = 85,7 \text{ м}; \quad \eta_{\text{maxб}} = 80\%$$

$$H_2 = 53,2 \cdot \frac{85,7}{80} = 55,57 \text{ м} \quad (34,9 \text{ м}),$$

$$Q_2 = 114,3 \cdot \frac{152}{190} = 91,44 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (90 \text{ м}^3/\text{ч}),$$

$$\eta_2 = 64,12 \cdot \frac{80}{83} = 61,8 \% \quad (60,2 \%)$$

$$4.3. 1,2 Q_{\text{номб}} = 228 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad H_{\text{номб}} = 72,3 \text{ м}; \quad \eta_{\text{maxб}} = 80\%$$

$$H_2 = 33,2 \cdot \frac{72,3}{80} = 30 \text{ м} \quad (28 \text{ м}),$$

$$Q_2 = 114,3 \cdot \frac{228}{190} = 137,2 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (130 \text{ м}^3/\text{ч}),$$

$$\eta_2 = 64,12 \cdot \frac{80}{83} = 61,8 \% \quad (58,5 \%)$$

* При пересчете с ν_1 на ν_2 вместо Re_n и $Re_{\text{гп}}$ вычисляются и подставляются соответственно значения Re при ν_1 (исходная вязкость).

**2 в скобках приведены значения параметров с экспериментальных кривых.

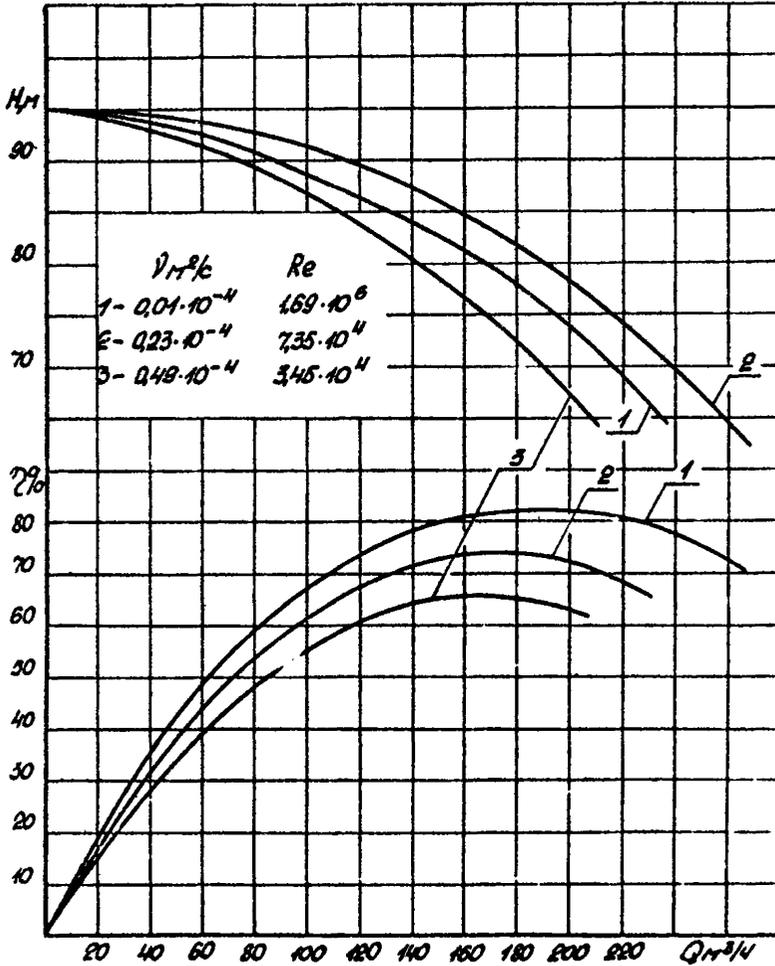


Рис. 6. Характеристики насоса НМв.о.2500-750М-I при изменении вязкости жидкости $n = 6000$ об/мин

Средняя погрешность при пересчете всех параметров на режиме $Q_{\text{ном}}$ составляет 4,33%; на режиме $0,8 Q_{\text{ном}}$ - 2,06%; на режиме $1,2 Q_{\text{ном}}$ - 6,2%, или в среднем на всех режимах - 4,19%.

В скобках даны значения параметров по эксперименту (см. рис. 7).

Пример 5

Пересчитать параметры насоса НМв.о.2500-750М-I при увеличении частоты вращения с 3000 об/мин (см.рис. 8) на 5000 об/мин. Вязкость перекачиваемой жидкости остается при этом без изменения $\nu = 0,28 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$. Пересчет произвести для режимов $Q_{\text{ном}}$, $0,8 Q_{\text{ном}}$ и $1,2 Q_{\text{ном}}$.

Исходные данные для расчета:

$$d_H = 0,128; \quad d = 0,27;$$

$$H_1 = 18,1 \text{ м}; \quad Q_{\text{ном},1} = 84,0 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad \eta_{\text{max},1} = 65,5\%$$

Пересчет осуществляем по упрощенным формулам, преобразованным из (8 и 14):

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \cdot \left(1 - d_H \cdot \lg \frac{n_1}{n_2} \right);$$

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \cdot \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{1,5},$$

$$\eta_2 = \eta_1 \cdot \left(1 - d \cdot \lg \frac{n_1}{n_2} \right)$$

5.1. Режим $Q_{\text{ном},1} = 84 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H_1 = 18,1 \text{ м}$; $\eta_{\text{max},1} = 65,5\%$

$$H_2 = 18,1 \cdot 1,667^2 \cdot (1 - 0,128 \cdot \lg 0,6) = 51,7 \text{ м} \quad (53 \text{ м}),$$

$$Q_2 = 84 \cdot 0,6^3 \cdot \left(\frac{51,7}{18,1} \right)^{1,5} = 146 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (146 \text{ м}^3/\text{ч}),$$

$$\eta = 65,5 \cdot (1 - 0,27 \cdot \lg 0,6) = 69,42\% \quad (71\%)$$

5.2. Режим $0,8 Q_{\text{ном},1} = 67,2 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H_1 = 20 \text{ м}$; $\eta_1 = 62\%$

$$H_2 = 20 \cdot \frac{50}{30} = 57,13 \text{ м} \quad (58,2 \text{ м}),$$

$$Q_2 = 67,2 \cdot \frac{67,2}{34} = 116,8 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (112 \text{ м}^3/\text{ч}),$$

$$\eta_2 = 69,42 \cdot \frac{62}{65,5} = 65,18\% \quad (66\%)$$

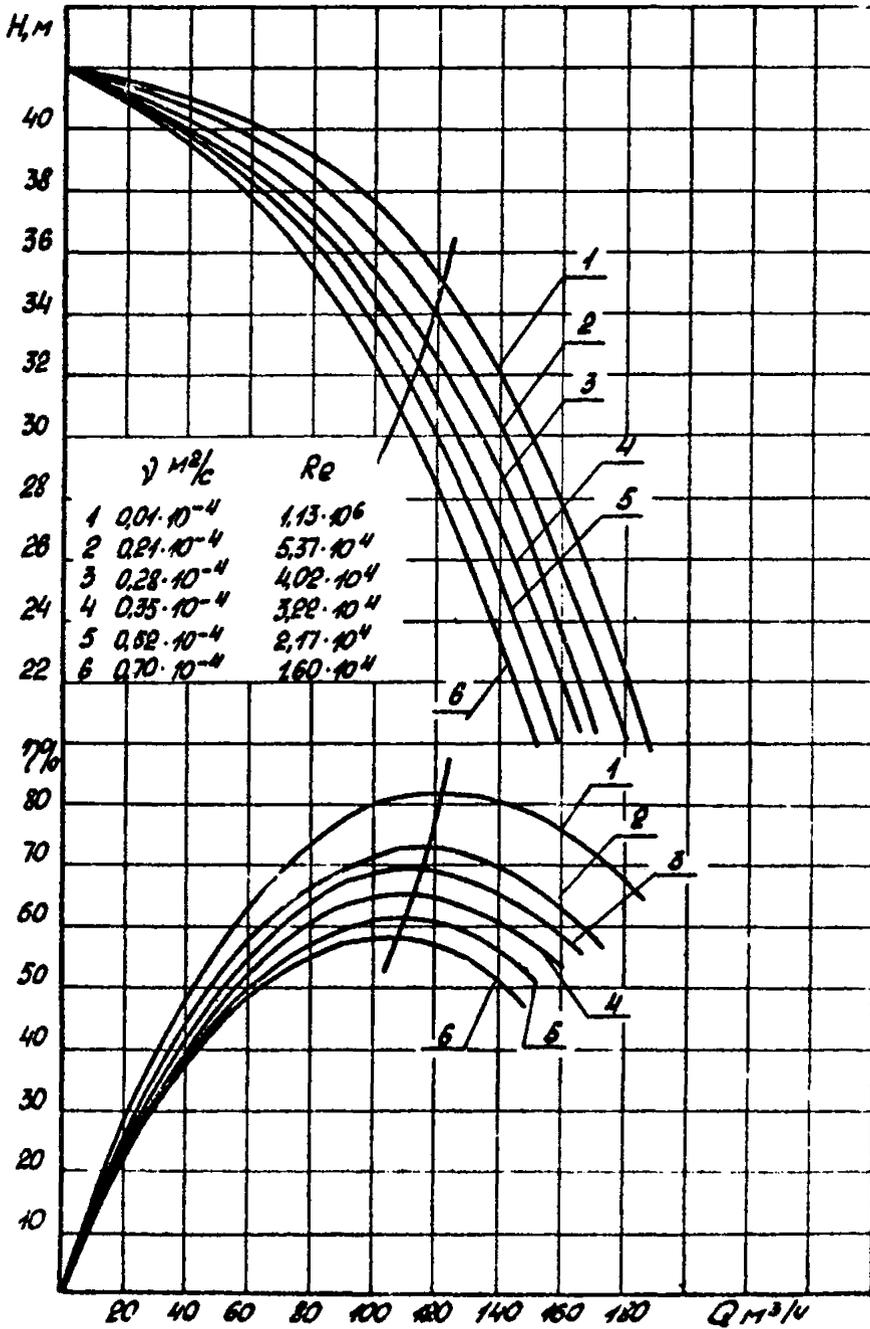


Рис. 7. Характеристики насоса HMv.o. 2500-750M-I при изменении вязкости жидкости $n = 4000 \text{ об/мин}$

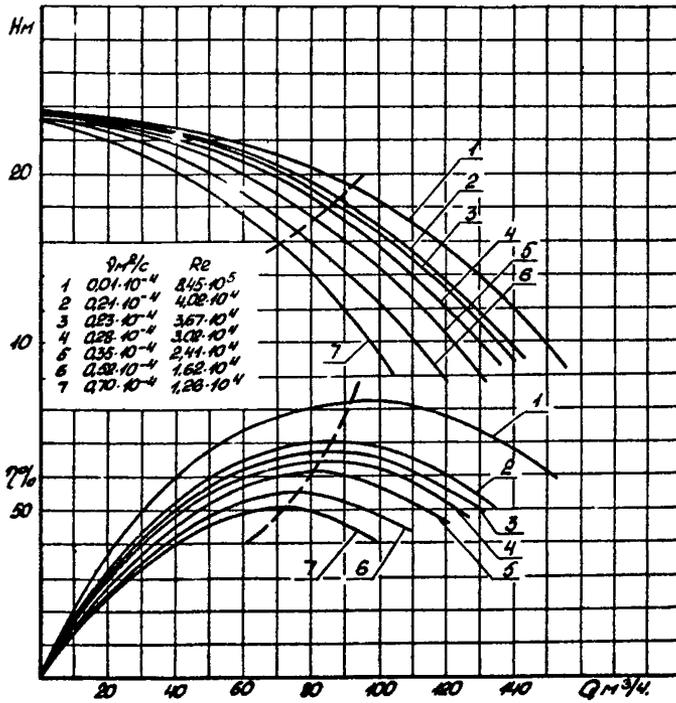


Рис.8. Характеристики насоса НМв.о. 2500-750-М при изменении вязкости жидкости $n = 3000 \text{ об/мин}$

5.3. Режим I, 2 Q ном = 100,8 м³/ч; Н_I = 15,6 м, η_I = 61,5%

$$H_2 = 51,7 \frac{15,6}{18,1} = 44,56 \text{ м (45,5 м)},$$

$$Q_2 = 146 \frac{100,8}{84} = 175,2 \text{ м}^3/\text{ч (178 м}^3/\text{ч)},$$

$$\eta_2 = 69,42 \frac{61,5}{65,5} = 65,18\% (66\%)$$

В скобках даны значения параметров по эксперименту (см. рис.9)

Пример 6

Пересчитать параметры Q, H и η насоса 1/1 - 2I (рис. 10) с вязкости γ₁ = 0,154 · 10⁻⁴ м²/с на вязкости γ₂ = 1,29 · 10⁻⁴ м²/с и γ₃ = 4,27 · 10⁻⁴, n = 1896 об/мин; D = 0,129 м; r₂ = 186.

6.1. Пересчет производим по упрощенным формулам (10 и 14):

$$H_2 = H_1 \left(1 - \alpha_H \cdot \lg \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right),$$

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{1,5}$$

$$\eta_2 = \eta_1 \left(1 - \alpha_\eta \cdot \lg \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right)$$

6.2. Исходные данные для расчета:

α_H = 0,128; α = 0,25 (см.рис.2) Н_I = 21,3 м; Q_I = 280 м³/ч
η = 73%

Расчет проводим для оптимального режима:

$$6.3. H_2 = 21,3 \left[1 - 0,128 \lg \frac{1,29 \cdot 10^{-4}}{0,154 \cdot 10^{-4}} \right] = 18,8 \text{ м (19,6 м)},$$

$$Q_2 = 280 \left(\frac{18,8}{21,3} \right)^{1,5} = 248,8 \text{ м}^3/\text{ч (256 м}^3/\text{ч)},$$

$$\eta_2 = 73 \left[1 - 0,25 \lg \frac{1,29 \cdot 10^{-4}}{0,154 \cdot 10^{-4}} \right] = 56,6\% (58\%)$$

$$6.4. H_3 = 21,3 \left[1 - 0,128 \lg \frac{4,27 \cdot 10^{-4}}{0,154 \cdot 10^{-4}} \right] = 17,4 \text{ м (18 м)},$$

$$Q_3 = 280 \left(\frac{17,4}{21,3} \right)^{1,5} = 221,5 \text{ м}^3/\text{ч (230 м}^3/\text{ч)},$$

$$\eta_3 = 73 \left[1 - 0,25 \lg \frac{4,27 \cdot 10^{-4}}{0,154 \cdot 10^{-4}} \right] = 46,6\% (46\%)$$

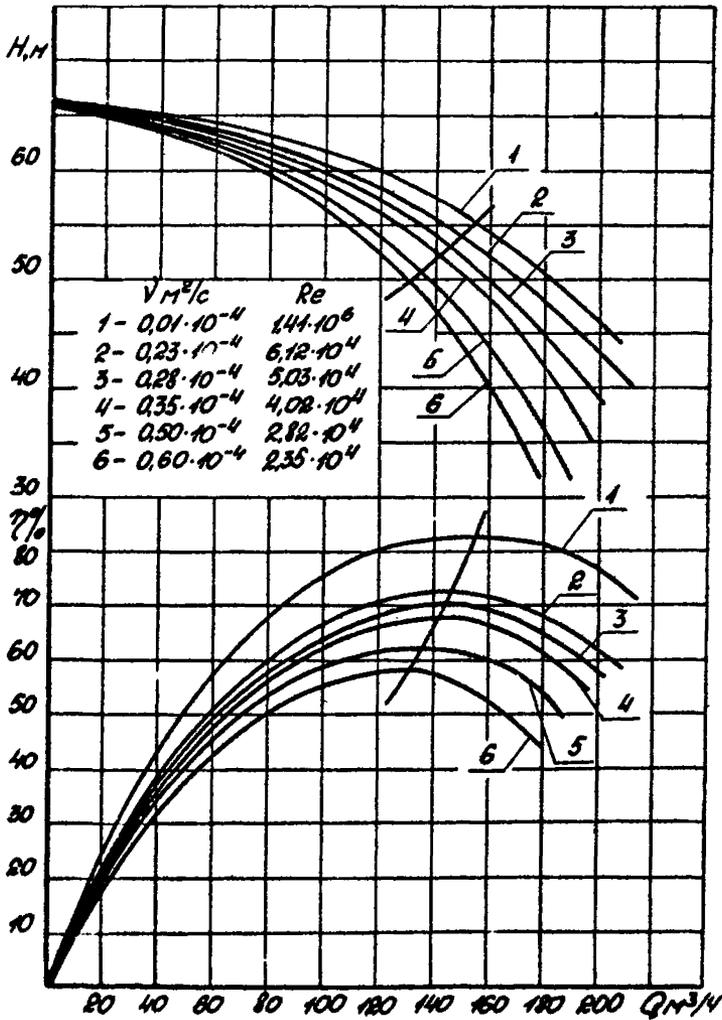


Рис. 9. Характеристики насоса НМв.о. 2500-750 М-І при изменении вязкости жидкости. $n = 5000 \text{ об/мин}$.

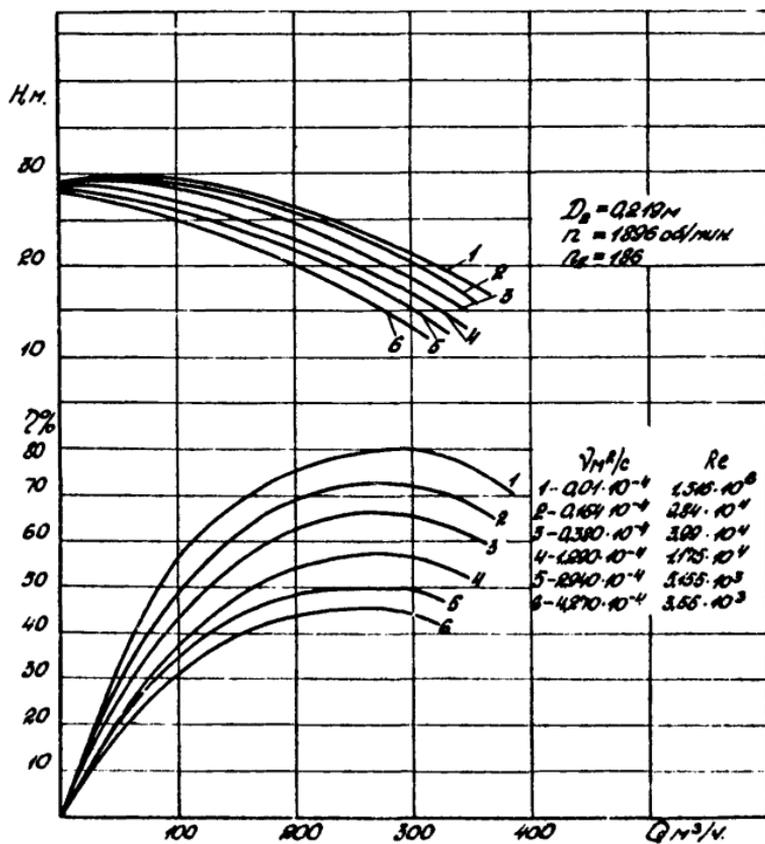


Рис. 10. Характеристики насоса JL -21

Погрешность пересчета параметров Q и H составляет $\approx 4\%$,
 НДС - 2% .

Пример 7

Построить напорную характеристику $Q - H$ натурального насоса ИМ 3600-230 с полным рабочим колесом. Перекачиваемая жидкость - нефть с вязкостью $0,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Исходные данные для расчета:

$H = 230 \text{ м}$; $Q = 3600 \text{ м}^3/\text{ч}$; $n = 3000 \text{ об/мин}$; $J = 0,45 \text{ м}$; $R_2 = 131$;
 $Re_n = 7,2 \cdot 10^4$; $l_{a_0} = 1,32$; $l_0 = 1,9$; $\psi_0 = 5,72$;

$$7.1. \text{ Находим } H_0 = \frac{\psi_0 \cdot n^2 \cdot D^2}{g} = 295 \text{ м.}$$

$$Re = \frac{n \cdot D^2}{\nu} = \frac{50 \cdot 0,45^2}{0,2 \cdot 10^{-4}} = 5,06 \cdot 10^5$$

Так как $Re > Re_n$, характеристика $Q - H$ не будет отличаться от напорной характеристики на воде.

Для расчета пригодна формула (6):

$$H = H_0 - A_0 \cdot Q^{b_0},$$

где $A_0 = \frac{a_0}{g} \cdot \frac{n^2 \cdot l_0}{D^{3b_0 - 2}} = \frac{21}{0,81} \cdot \frac{1,48}{0,45^{3,7}} = 60,9$

7.2. Определяем H для нескольких значений Q

$Q \text{ м}^3/\text{ч}$	1000	2000	3000	3600	4300
$\text{м}^3/\text{с}$	0,278	0,555	0,833	1,00	1,194
$H_{\text{расч.}, \text{м}}$	289,6	275,1	252,0	234,1	209,7
$H_{\text{эксп.}, \text{м}}$	298,0	282,0	258,0	230,0	200,0
$\delta, \%$	2,68	2,44	2,32	1,78	4,85

Значения точек $H_{\text{эксп.}}$ для заданных значений Q взяты с характеристики $Q - H$ насоса ИМ 3600-230, приведенной в каталоге "Центробежные нефтяные магистральные и подпорные насосы". (М.-ЦИНТИ-химнефтемаш, 1973).

Средняя величина погрешности расчета составляет $2,81 \%$.

Пример 8

Требуется построить напорные характеристики модельного насоса НМ 2500-230М в безмерных координатах при перекачке вязкой жидкости ($\nu = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$) и обточке рабочего колеса на 5% и 10% от номинального диаметра.

8.1. Расчет ведется по формуле (1):

8.2. Исходные данные для расчета:

$$n_3 = 122; D = 0,268 \text{ м}; C = 12; Re_n = 7,31; \psi_0 = 5,75;$$

$$\lg a_0 = 144; a_0 = 28; \rho = 0,29; \kappa = 0,1; b_0 = 2,05;$$

$$Re = 1,736 \cdot 10^4; \bar{Re} = Re_n / Re = 4,21; \lg Re_n = 0,624;$$

$$\psi_1 = 5,75 - 12 \cdot 0,05 - 28 \cdot 4,21^{0,29} \cdot \psi^{2,05} - 0,1 \cdot 0,624 =$$

$$= 5,75 - 0,6 - 42,48 \cdot \psi^{1,99} = 5,15 - 42,48 \cdot \psi^{1,99}$$

$$= 5,15 - 0,6 - 42,48 \cdot \psi^{1,99} = 4,55 - 42,48 \cdot \psi^{1,99}$$

8.3. Расчет значений ψ производим в табличной форме для нескольких значений ψ .

Расчетные данные можно сравнить с экспериментальными на рис. II.

ψ	0,04	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
$\psi_1 \rho$	5,07	4,87	4,715	4,52	4,3	4,04
$\psi_1 \varepsilon$	5,08	4,81	4,68	4,48	4,27	3,95
$\Delta \delta_1 \%$	0,2	1,2	0,75	0,89	0,70	2,28
$\psi_2 \rho$	4,47	4,27	4,115	3,92	3,7	3,34
$\psi_2 \varepsilon$	4,48	4,20	4,05	3,84	3,53	3,19
$\Delta \delta_2 \%$	0,2	1,67	2,72	2,08	4,21	4,7

Средняя величина погрешности составляет $\delta_{\text{ср}} = 1,8$

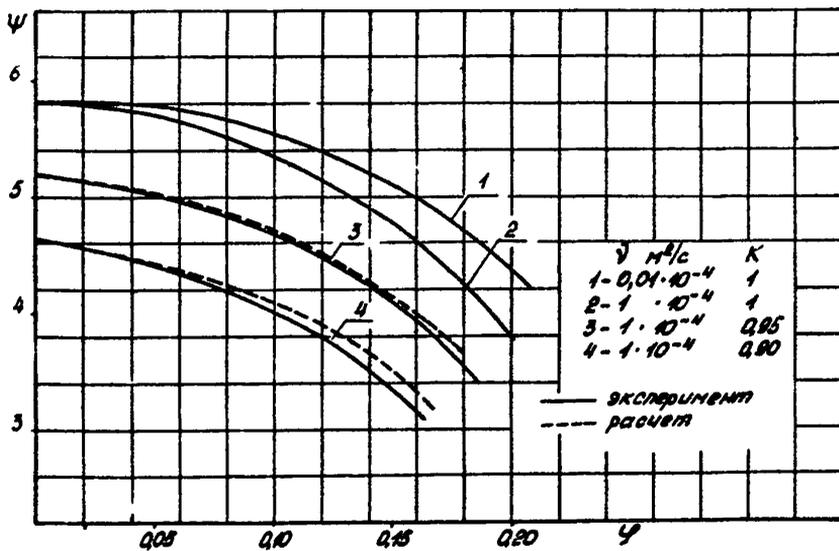


Рис. II. Характеристики модельного насоса HM 2500-230M в безразмерных координатах при перекачке вязкой жидкости ($\nu = 1 \times 10^{-4}$ м²/с) и обточке рабочего колеса на 5% и 10%

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
1. Общие положения	<u>3</u>
2. Исходные данные для расчета	<u>7</u>
3. Расчет напорных характеристик магистральных центробежных насосов при перекачке вязких жидкостей	<u>8</u>
3.1. Уравнение напорной характеристики в безразмерных координатах	<u>8</u>
3.2. Уравнение напорной характеристики в размерных координатах $H - Q$	<u>9</u>
4. Пересчет напора и подачи насоса в рабочей зоне при изменении вязкости жидкости и частоты вращения	<u>10</u>
5. Пересчет напора и подачи при обточке рабочего колеса	<u>12</u>
6. Пересчет коэффициента полезного действия центробежного насоса при изменении вязкости и частоты вращения	<u>13</u>
Литература	<u>15</u>
Приложение. Примеры расчетов по методике	<u>16</u>

Подписано к печати 09.04.84 г. П03429
 Формат 60x90/16. Уч.-изд.л.2,9. Тираж 250 экз.
 Заказ 82

Ротапринт ЕНИИСТнефти