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

gost.e-ecolog.ru

Министерство нефтяной промышленности
ВНИИСПТнефть

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 испсльзования в инженерных расчетах.

Методика справедлива для магистральных насосов n_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 I2.0I.84г.

Срок введения с I марта I984 года

Срок действия до I марта I989 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.I. 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 η –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 < Reп) 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.

I.2. Методика составлена для ньютоновских жидкостей.

I.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 I, 4).

I.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, I0, I4, I5).

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

теристику начинается со значений вязкости: $\nu = 1{,}0 \cdot 10^{-4}$ м^2/с (для насосов с подачей 1250 м^3/ч), – $\nu = 2{,}0 \cdot 10^{-4}$ м^2/с (для насосов с подачей 10000 м^3/ч), на энергетическую характеристику ($\eta - Q$) – со значений вязкости $\nu_{ср} = 0{,}6 \cdot 10^{-4}$ м^2/с.

1.5. Изменение параметров H и Q при обточке рабочего колеса в номинальной зоне определяется по формулам 11–13, а пересчет КПД при обточке – по формуле 14.

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

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

1.7. Точность расчетов по предлагаемой методике для насосов с n_s = 60–200 находится в пределах 3–5%.

1.8. Условные обозначения

Q – подача насоса, м^3/с;

H – напор насоса, м;

$\bar{H} = \frac{H_\nu}{H_6}$ – 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, м^2/с;

η – КПД – коэффициент полезного действия;

$\bar{\eta} = \frac{\eta_\nu}{\eta_6}$ – относительный КПД;

$\varphi = \frac{Q}{nD^3}$ – обобщенная подача;

$\psi = \frac{gH}{n^2D^2}$ – обобщенный напор;

$\psi_0 = \frac{gH_0}{n^2D^2}$ – обобщенный напор при нулевой подаче;

D – наружный диаметр рабочего колеса, м;

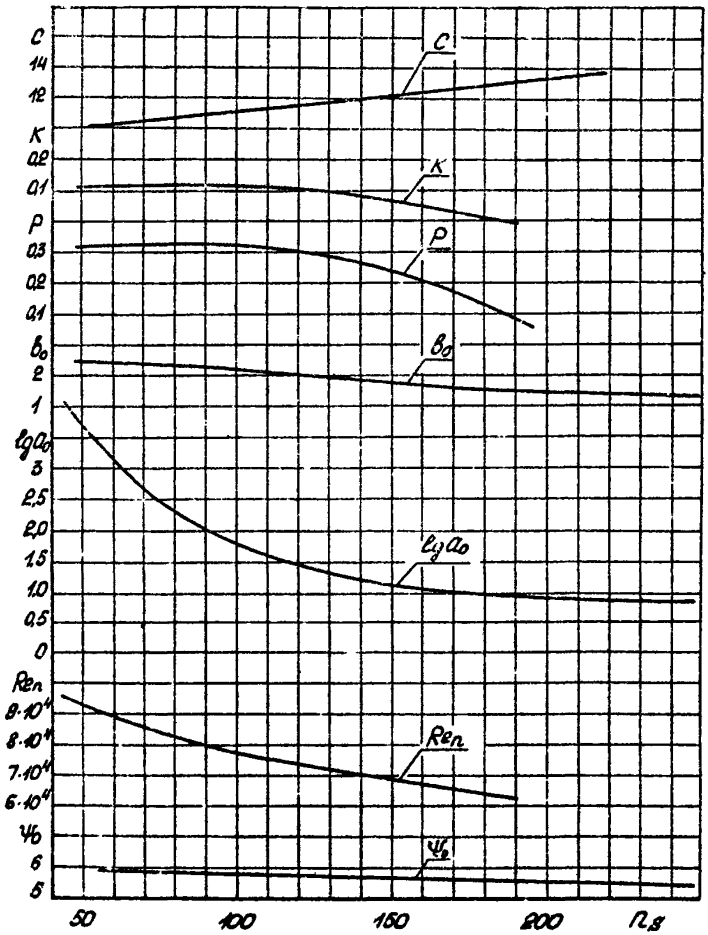

Рис. I. Зависимость показателей Re_n , ψ_0 , $lg a_0$, B_0 , p, r и C от n_s

D' – наружный диаметр обточенного рабочего колеса, м;

$L = \frac{D'}{D}$ – степень обточки рабочего колеса;

$Re = \frac{n D^2}{\nu}$ – число Рейнольдса;

Re_n, $Re_{гр}$ – 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 (Н) и КПД (η);

$\bar{Re} = \frac{Re_n}{Re}$ – относительное число Рейнольдса;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

α_H, 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 α_H = 0,128. Показатель α находится по графической зависимости $\alpha = f(n_s)$ на рис. 2;

$a_0, B_0, \rho, K, C, Re_n, Re_{гр}$ – коэффициенты и параметры, зависящие от n_s (см.рис. I и 2).

Индекс "в" – для воды, " ν " – для вязкой жидкости.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

2.I. Для выполнения расчетов напорных характеристик необходимы следующие данные:

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

значение вязкости (ν) 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: $Q_в$, $H_в$ и $\eta_в$ или Q_{η_1}, H_{η_1} и η_{η_1}.

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 [I,3,4,7].

3.I. Уравнение напорной характеристики в безразмерных координатах

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

$$\psi = \psi_0 - C(1-L) - a_0 \bar{Re}^{P} \cdot \varphi^{b_0 - \kappa \lg \bar{Re}} \qquad (I)$$

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

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

$$\psi = \psi_0 - a_0 \cdot \bar{Re}^{P} \cdot \varphi^{b_0 - \kappa \lg \bar{Re}} \qquad (2)$$

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

$$\psi = \psi_0 - a_0 \cdot \varphi^{b_0}, \qquad (3)$$

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

3.2. Уравнение напорной характеристики в размерных координатах Q – H

Уравнение напорной характеристики при $\zeta = 1$ в размерных координатах получено из выражений Ψ и φ, приведенных в условных обозначениях раздела I.8.

а) для режимов $\bar{Re} > 1$;

$$H = H_0 - A \cdot \bar{Re}^{P} \cdot Q^{b_0 - K \lg \bar{Re}}, \qquad (4)$$

где

$$A = \frac{a_0}{g} \cdot \frac{n^{2-(b_0 - K \lg \bar{Re})}}{D^{3(b_0 - K \lg \bar{Re})-2}} \qquad (5)$$

б) для режимов $\bar{Re} \leq 1$;

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

где

$$A_0 = \frac{a_0}{g} \cdot \frac{n^{2-b_0}}{D^{3b_0-2}} \qquad (7)$$

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 $(Re_n, \psi_0, \lg a_0, b_0, \rho, K, c) = f(n_s)$ определяются по рис.I.

Погрешность расчетов напорной кривой насосов в автомодельном режиме в диапазоне подач 0,8 – I,2 $Q_{ном}$ не превышает I,5%.

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

4.I. Пересчет значений напора и подачи с воды на вязкую жидкость в рабочей части характеристики насоса при $Re < Re_п$ осуществляется по формулам*

$$H_ν' = H_в\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cdot (1 - d_H \cdot Lg\,\overline{Re}),$$
$$Q_ν' = Q_в\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{H_ν'}{H_в}\right)^{3/2}. \qquad (8)$$

Значение $Re_п$ определяется по кривой $Re_п = f(n_s)$ на рис.I или по эмпирической зависимости $Re_п = 3{,}I6 \cdot I0^5 \cdot n_s^{-0{,}305}$.

Зная для конкретного насоса $Re_п$, находим предельное значение вязкости, начиная с которой необходимо вести пересчет

$$ν_п = \frac{n D^2}{Re_п}.$$

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

а) $D = Const$, $n = Const$:

$$H_{ν_2} = H_{ν_1} \cdot \left(1 - d_H \cdot Lg\,\frac{ν_2}{ν_1}\right),$$
$$Q_{ν_2} = Q_{ν_1} \cdot \left(\frac{H_{ν_2}}{H_{ν_1}}\right)^{3/2} \qquad (9)$$

б) $D = Const$, $ν = Const$,

$$H_{n_2} = H_{n_1} \cdot \left(1 - d_H \cdot Lg\,\frac{n_1}{n_2}\right)\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2,$$
$$Q_{n_2} = Q_{n_1}\left(\frac{H_{n_1}}{H_{n_2}}\right)^{3/2}\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \qquad (I0)$$

4.3. При $Re > Re_п$ пересчет параметров H и Q при изменении частоты вращения производится по известным формулам подобия [8].

---

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

Таблица I

К расчету напорной характеристики магистральных насосов

Марка насоса	Подача сменного ротора, м³/ч	n_s	D, м	H_o	A_o	B_o
НМ 1250-260	1250	62,5	0,440	325	660	226
	1250	-	0,395	252	660	226
	900	64,8	0,418	296	502	2,03
НМ 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
НМ 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
НМ 5000-210	5000	165,0	0,450	300	46	2,34
	5000	-	0,405	243	46	2,34
	3500	153,5	0,470	285	70	2,21
	2500	160,0	0,430	240	68	1,69
НМ 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
НМ 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	1,26
	5000	222,6	0,475	280	43	1,42

5. ПЕРЕСЧЕТ НАПОРА И ПОДАЧИ НАСОСА ПРИ ОБТОЧКЕ РАБОЧЕГО КОЛЕСА

5.I. 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–I25:

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

б) для насосов с n_s= I25–I75:

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

в) для насосов с n_s= I80–230:

$$\frac{H'}{H} = L^{2,35}, \quad \frac{Q'}{Q} = L^{1,85} \qquad (I3)$$

В работе [6] приведены графические зависимости показателей степени от n_s. Целесообразные пределы допустимой обточки рабочих колес и величины снижения КПД насоса на каждые I0% обточки приведены ниже.

Коэффициент быстроходности, n_s	Допустимая обточка колеса в % от $D_{ном}$	Снижение КПД насоса на каждые I0% обточки колеса,%
70 – I25	20 – I5	I,0 – I,5
I25 – I75	I5 – II	I,5 – 2,5
I75 – 230	II – 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*:

$$1) \quad \eta_в = \eta_в \left[1 - \alpha \cdot lg \left(\frac{Re_{гр}}{Re} \right) \right], \qquad (I4)$$

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

$\alpha = n_s^{-0,456}$, $Re_{гр} = z \cdot n_s^{\varepsilon}$ где $z = 9,1 \cdot 10^3$, $\varepsilon = 0,573$ при $n_s > 100$

$z = 6,7 \cdot 10^4$, $\varepsilon = 0,137$ при $60 < n_s < 100$

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

$$\nu_{гр} = \frac{n D^2}{Re_{гр}}$$

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

$$2) \quad \eta_2 = \eta_1 \left[1 - \alpha \cdot lg \frac{Re_1}{Re_2} \right] \qquad (I5)$$

Пересчет КПД при обточке осуществляется по формуле I4. 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".

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{\eta_1 + (1-\eta_1)(n_1/n_2)^{0,17}} \qquad (I6)$$

Наименьшую погрешность (2-3%) формулы (I2-I4) дают в диапазоне подач 0,8-I,2 $Q_{ном}$.

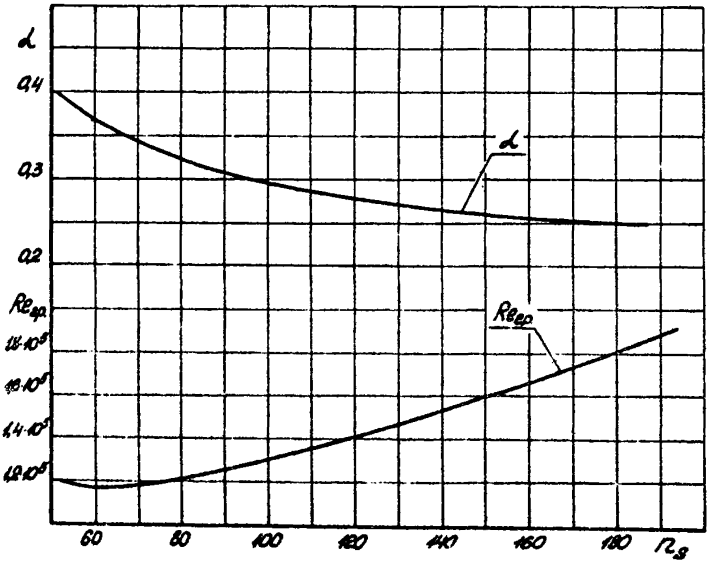

Рис.2. Зависимость коэффициентов λ и Re_{ep} от n_s

Л И Т Е Р А Т У Р А

I. Аитова Н.З., Колпаков Л.Г. Уравнение напорной характеристики центробежного насоса, перекачивающего вязкие жидкости с учетом изменения частоты вращения. Сб.трудов Трубопроводный транспорт нефти. - Уфа: ВНИИСПТнефть, I98I.

2. Аитова Н.З., Колпаков Л.Г. Приближенный метод пересчета напорных характеристик центробежных насосов с воды на вязкую жидкость в оптимальной зоне подач. РНТС Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - М: ВНИИОЭНГ, I982, № 2.

3. Колпаков Л.Г., Еронен В.И. О расчете напорных характеристик центробежных насосов при перекачке вязких жидкостей. Труды НИИтранснефть, вып.УП. - Уфа, I970.

4. Колпаков Л.Г. Напорные характеристики магистральных насосов в обобщенных координатах. - Нефтяное хозяйство, № II,I973.

5. Аитова 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: ВНИИСПТнефть, I980.

6. Усовершенствование узлов насосных агрегатов НПС /Володин В.Г. и др. - РНТС Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. М., ВНИИОЭНГ, I977.

7. Филиппович С.А. Безразмерные характеристические коэффициенты для гидравлических машин. - Энергомашиностроение, № 3, I965.

8. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. - М.: Машиностроение, I966.

Приложение

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ПО МЕТОДИКЕ

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

Пример I Расчет напорной характеристики при работе на вязкой жидкости при известной характеристике Q - H на воде, (модельный насос НМ 2500-230М-I2).

Пример 2 То же в безразмерных координатах (насос I6НД-I0хIМ).

Пример 3 Пересчет характеристик в диапазоне подач 0,8÷ I,2 $Q_{ном}$ с воды на различные вязкости при $n = const$ (насос I6 НД-I0хIМ).

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

Пример 5 То же при изменении только частоты вращения.

Пример 6 То же при изменении только вязкости (насос 1Л-2I).

Пример 7 Построение напорной характеристики Q - H натурного насоса НМ 3600-230.

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

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

Пример I

Требуется построить напорную характеристику модельного насоса НМ 2500-230М-I2 с диаметром рабочего колеса $Д_2$ = 0,262м, при n = I450 об/мин и ν_1 = I,0·I0^{-4} м^2/с и ν_2 = 2,5·I0^{-4} м^2/с при наличии характеристики Q – H, полученной при испытании насоса на воде.

Номинальные значения напора и расхода:

$H_{ном}$ = I9,6 м, H_0 = 24 м

$Q_{ном}$ = 300 м^3/ч = 0,0833 м^3/с

n = I450 об/мин = 24,I7 об/с.

I. Вычисляем n_s по формуле:

$$n_s = 3{,}65 \cdot n \cdot \frac{\sqrt{Q/2}}{H^{3/4}} = 3{,}65 \cdot 1450 \cdot \sqrt{\frac{0{,}04165}{12{,}64^{3/4}}} = 120$$

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

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

где $$A_0 = \frac{a_0}{g} \cdot \frac{n^{2-(b_0 - \kappa \lg \overline{Re})}}{D^{3(b_0 - \kappa \lg \overline{Re})-2}}$$

3. По графикам на рис. I определяем:

$\lg a_0$ = I,45; a_0 = 28,2; b_0 = 2,I; Re_2 = 7,3·I0^4;

κ = 0 I; p = 0,29.

4. Определяем $\overline{Re}$ при ν_1 = I·I0^{-4} м^2/с и ν_2=2,5·I0^{-4} м^2/с

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

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

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

5. Вычисляем A_{0_1} и A_{0_2}:

$$A_{0_1} = \frac{28{,}2}{9{,}81} \cdot \frac{24{,}17^{2-(2{,}1 - 0{,}1 \lg 4{,}4)}}{0{,}262^{3(2{,}1 - 0{,}1 \lg 4{,}4)-2}} = 630{,}6$$

$$A_{02} = \frac{22,2}{9,81} \cdot \frac{24,17^{2-(2,1-0,1\lg 10,89)}}{0,268^{3(2,1-0,1\lg 10,99)}} = 608,2$$

6. Вычисляем $H = f(Re, Q)$

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

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

7. Определяем напор для нескольких значений Q.

Расчет удобно производить в табличной форме:

а)

φ м³/с :	0,02 :	0,04 :	0,06 :	0,08 :	0,I :	0,II
Q м³/ч	72	I44	2I6	288	360	396
H, м	23,66	22,6	20,84	I8,33	I5,07	I3,I6
$H_{эксп.}$, м	23,60	22,4	20,8	I8,45	I5,00	I3,9
δ_H, %	0,25	0,89	0,28	0,65	0,47	5,3

б)

Q м³/с	0,02	0,04	0,06	0,08	0,I	0,II
Q м³/ч	72	I44	2I6	288	360	396
H_2, м	23,5	22,05	I9,6I	I6,20	II,8	9,25
$H_{эксп.}$, м	23,I	22,05	I9,I	I6,I5	I2,3	-
δ_{H_2}, %	I,73	0	2,67	0,3I	4,06	-

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

На рис. 3 представлены экспериментальные кривые Q-H и Q - ? модельного насоса с n_s = I20 и расчетные (пунктиром) для вязкостей $1,0 \cdot 10^{-4}$ м²/с и $2,5 \cdot 10^{-4}$ м²/с.

Пример 2

Требуется построить напорную характеристику в безразмерных координатах для модельного насоса I6 НД-I0xIM при следующих зна-

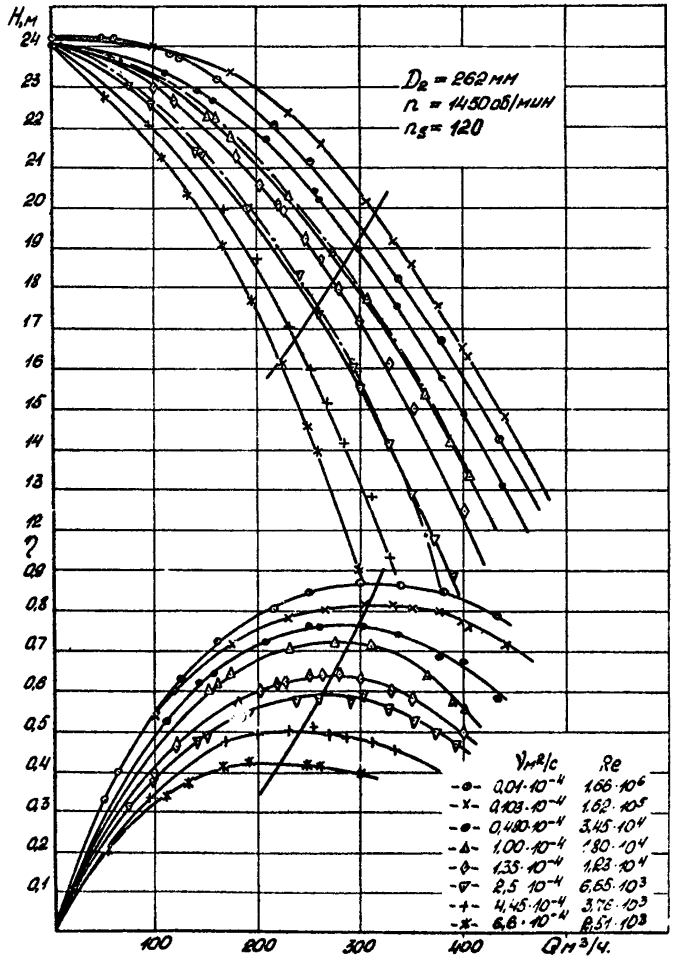

Рис. 3 . Характеристики насоса НМ 2500-230М-I2

чениях вязкости: $\nu_1 = 0{,}01 \cdot 10^{-4}$ м^2/с; $\nu_2 = 0{,}9 \cdot 10^{-4}$ м^2/с;

$\nu_3 = 1{,}8 \cdot 10^{-4}$ м^2/с; $\nu_4 = 4{,}3 \cdot 10^{-4}$ м^2/с

n = 1450 об/мин = 24,17 об/с; Д = 0,3 м; n_s = 100

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

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

По графикам на рис. 1 находим параметры для n_s = 100;

$\psi_0 = 5{,}8$; $Re_п = 7{,}8 \cdot 10^4$; $\lg a_0 = 1{,}85$; $a_0 = 71$; $b_0 = 2{,}1$;

$\rho = 0{,}31$; $k = 0{,}12$.

В данном случае используется формула (3) для автомодельного режима ($Re > Re_п$):

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

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 (3): $\psi = \psi_0 - a_0 \bar{Re}^{\rho} \cdot \varphi^{b_0} - k \lg \bar{Re}$

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

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

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

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

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

φ :	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
ψ расч.	5,75	5,59	5,34	5,00	4,535	3,98	3,1
ψ эксп.	5,72	5,58	5,40	5,10	4,53	3,82	2,85
δ %	0,52	0,18	1,1	1,96	0,11	4,19	8,7

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

φ :	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,11
ψ расч.	5,72	5,49	5,12	4,60	3,94	3,56
ψ эксп.	5,67	5,47	5,18	4,68	3,93	3,43
δ %	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 примене $\delta_{ср} = 1{,}76\%$.

В размерные величины параметры φ и ψ пересчитываются по формулам:

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

Пример 3

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

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

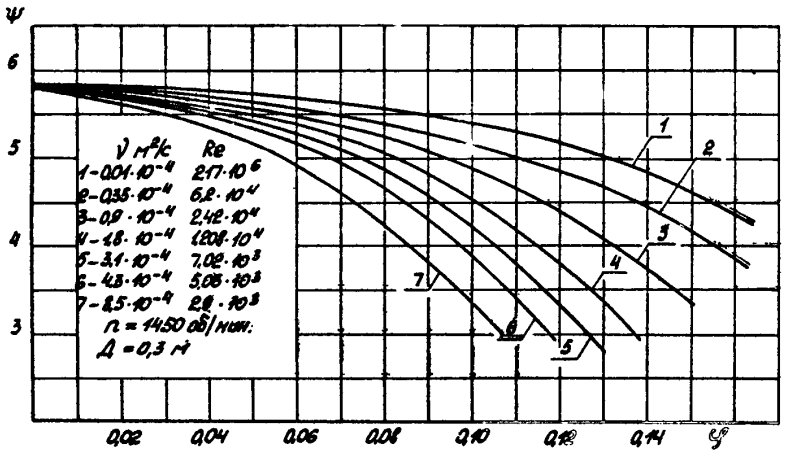

Рис. 4. Характеристики насоса 16НД-10х1М в безразмерных координатах n_s =100

Исходные данные для расчета:

D = 0,3 м; n = 1450 об/мин = 24,17 об/с = $Const$; n_s = 98

$Q_{max\,в}$ = 300 м³/ч 0,8 $Q_{нв}$ = 240 м³/ч 1,2 $Q_{ном\,в}$ = 360 м³/ч

$H_{max\,в}$ = 23 м $H_{в}$ = 26,5 м $H_{в}$ = 18,2

$\eta_{max\,в}$ = 0,62 $\eta_{в}$ = 0,605 $\eta_{в}$ = 0,58

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

По зависимостям на рис. 1 и 2 находим Re_n = 7,8·10⁴;

$Re_{пр}$ = 1,3·10⁵; α = 0,3; α_N = 0,128;

3.1. ν = 0,6·10⁻⁴ м²/с; Re = 3,62·10⁴;

а) для $Q_{ном}$ = 300 м³/ч:

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

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

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

б) 0,8 $Q_{ном}$ = 240 м³/ч

Для режимов $0{,}8Q_{ном}$ и $1{,}2Q_{ном}$ параметры $H_э$, $Q_э$ и $\eta_э$ определяются простым пересчетом этих параметров, полученных на номинальном режиме:

$H_э$ = 25,37 м

$Q_э$ = 224,6 м³/ч

$\eta_э$ = 0,505

в) Q = 1,2 $Q_{ном}$ = 360 м³/ч

$H_э$ = 17,42 м

$Q_э$ = 337 м³/ч

η = 0,48

3.2. ν = 3,7·10⁻⁴ м²/с; Re = 0,588·10⁴

а) $Q_{ном\,в}$ = 300 м³/ч:

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

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

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

б) Q = 0,8 $Q_{ном}$ = 240 м^3/ч.

H_y = 22,6 м,

Q_y = I90,I м^3/ч,

η = 0,357

в) Q = I,20 $Q_{ном}$ = 360 м^3/ч

H_y = I5,53 м,

Q_y = 285 м^3/ч

η = 0,333

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

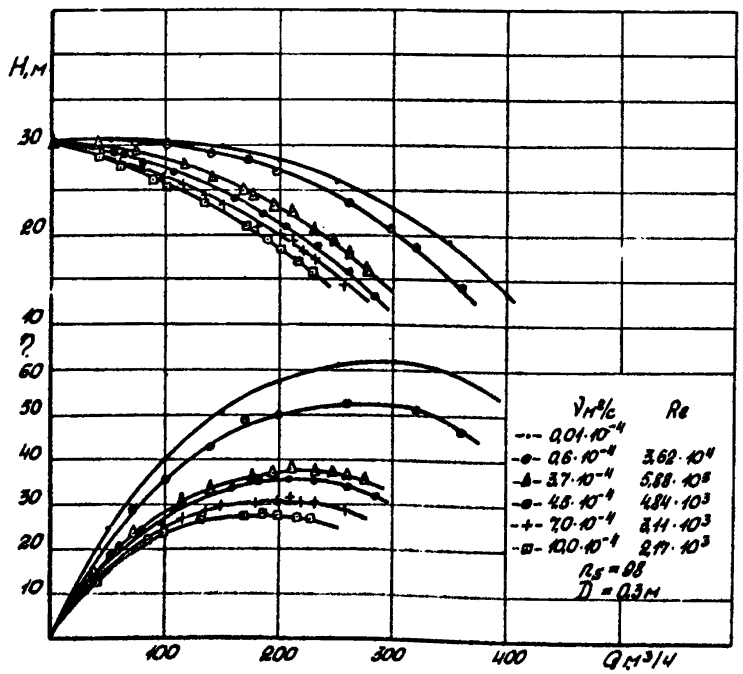

Рис. 5. Характеристики насоса I6НД-IOxIM-2 в координатах Q-H n_s=98 (сменный ротор)

ν м^2/с	Q м^3/ч	H, м	$H_{эксп}$ м	δ_H %	Q_{ν} м^3/ч	$Q_{эксп}$ м^3/ч	δQ%	η_{ν} %	$\eta_{эксп.}$ %	δ_{η} %
$0{,}6 \cdot 10^{-4}$	$Q_{ном}$	22,02	22	0,10	280,8	280	0,28	51,7	52,6	1,71
	$0{,}80\ Q_{ном}$	25,37	25,8	1,67	224,6	224	0,27	50,5	51,2	1,37
	$1{,}2\ Q_{ном}$	17,42	17,5	0,45	337	330	2,13	48	50	4,0
$3{,}7 \cdot 10^{-4}$	$Q_{ном}$	19,62	20	1,90	237,6	238	0,17	36,5	37,2	1,89
	$0{,}8\ Q_{ном}$	22,6	23,2	1,72	190,1	195	2,5	35,7	36	0,83
	$1{,}2\ Q_{ном}$	15,53	15,2	2,17	285	285	0	33,3	34	2,06
$4{,}5 \cdot 10^{-4}$	$Q_{ном}$	19,44	19	2,32	233	230	1,30	35,4	35,8	1,11
	$0{,}8\ Q_{ном}$	22,3	22,4	0,44	186,4	185	0,76	34,5	35,0	1,43
	$1{,}2\ Q_{ном}$	15,4	15,0	2,67	280	270	3,7	33,12	33,3	0,54
$7 \cdot 10^{-4}$	$Q_{ном}$	18,88	18,5	2,05	223,2	220	1,45	31,8	31,0	2,58
	$0{,}8\ Q_{ном}$	21,75	21,6	0,69	178,6	180	0,78	31,0	30,8	0,65
	$1{,}2\ Q_{ном}$	14,94	14,5	3,03	268,0	260	3,08	29,7	29,0	2,4
	$Q_{ном}$	18,42	18,0	2,3	215	205	4,87	28,6	27,5	4,8
	$0{,}8\ Q_{ном}$	21,22	21	1,05	172	170	1,18	28,2	27,5	2,54
	$1{,}2\ Q_{ном}$	14,58	14,0	4,14	258	250	3,2	26,5	25,0	6,03
	Величина средней погрешности по режимам			2,09			1,61			2,42
				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 ν = 0,52·I0^{-4}м^2/с при частоте вращения n_2 = 4000 об/мин для режимов 0,8 $Q_{ном\,б}$, $Q_{ном\,б}$ и I,2 $Q_{ном\,б}$.

4.I. $Q_{ном\,б}$ = I90 м^3/ч; $H_{ном\,б}$ = 80 м; $\eta_{max\,б}$ = 83%; Re = 2,I7·I0^4; Re_n = 7,I·I0^4; α = 0,27; α_N = 0,I28; $Re_{тр}$ = I5,I·I0^4.

Пересчет ведем по формулам (8 и I4)

$$H_y = 80\left(\frac{4000}{6000}\right)^2\cdot\left[1-0{,}128\cdot lg\frac{7{,}1\cdot10^4}{2{,}17\cdot10^4}\right]=33{,}2\ м\ (31{,}8м)^{**},$$

$$Q_y = 190\left(\frac{6000}{4000}\right)^2\cdot\left(\frac{33{,}2}{80}\right)^{1{,}5} = 114{,}3\ м^3/ч\ \ (110\ м^3/ч),$$

$$\eta = 83\left(1-0{,}27\,lg\frac{15{,}1\cdot10^5}{2{,}17\cdot10^4}\right) = 64{,}12\ \%\ \ (62\%)$$

4.2. 0,8 $Q_{ном\,б}$ = I52 м^3/ч; $H_{ном\,б}$ = 85,7 м; $\eta_{max\,б}$ = 80%

$$H_y = 33{,}2\cdot\frac{85{,}7}{80} = 35{,}57\ м\ \ (34{,}9м),$$

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

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

4.3. I,2 $Q_{ном\,б}$ = 228 м^3/ч; $H_{ном\,б}$ = 72,3 м; $\eta_{max\,б}$ = 80%

$$H_y = 33{,}2\,\frac{72{,}3}{80} = 30\ м\ \ (29м),$$

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

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

---

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

** В скобках приведены значения параметров с экспериментальных кривых.

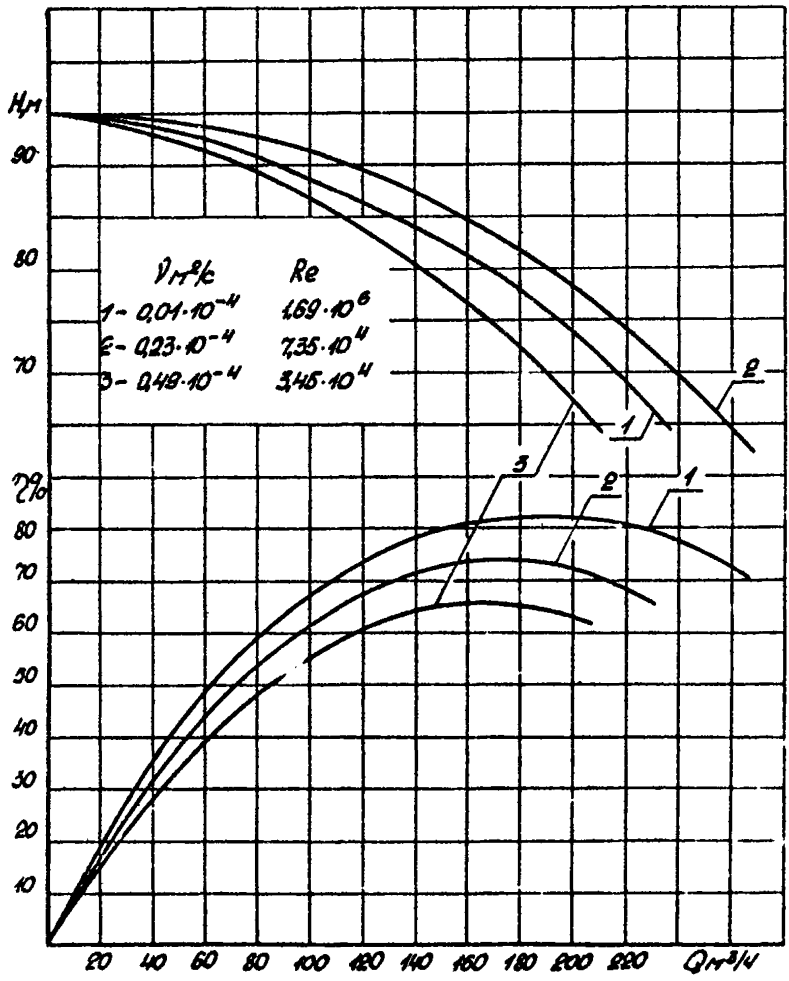

Рис.6. Характеристики насоса НМв.о.2500-750М-I при изменении вязкости жидкости n =6000 об/мин

Средняя погрешность при пересчете всех параметров на режиме $Q_{ном}$ составляет 4,33%; на режиме 0,8 $Q_{ном}$ - 2,06%; на режиме I,2 $Q_{ном}$ - 6,2%, или в среднем на всех режимах - 4,I9%.

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 $\vartheta = 0{,}28 \cdot 10^{-4}$ м^2/с. Пересчет произвести для режимов Q ном, 0,8 Q ном и I,2 Q ном.

Исходные данные для расчета:

$d_н = 0{,}I28$; $\alpha = 0{,}27$;

$H_1 = I8{,}I$ м; $Q_{ном_1} = 84{,}0$ м^3/ч; $\eta_{max_1} = 65{,}5\%$

Пересчет осуществляем по упрощенным формулам, преобразованным из (8 и I4):

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

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^{1,5},$$

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

5.I. Режим Q ном$_1$ = 84 м^3/ч; H_I = I8,I м; η_{max_1} = 65,5%

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

$Q_2 = 84 \cdot 0{,}6^2 \left(\frac{51{,}7}{18{,}1}\right)^{1,5} = 146$ м^3/ч (146 м^3/ч),

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

5.2. Режим 0,8 Q ном$_1$ = 67,2 м^3/ч; H_I = 20 м; η_1 = 62%

$H_2 = 51{,}7 \frac{20}{18{,}1} = 57{,}13$ м (58,2 м),

$Q_2 = 146 \frac{67{,}2}{84} = 116{,}8$ м^3/ч (118 м^3/ч),

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

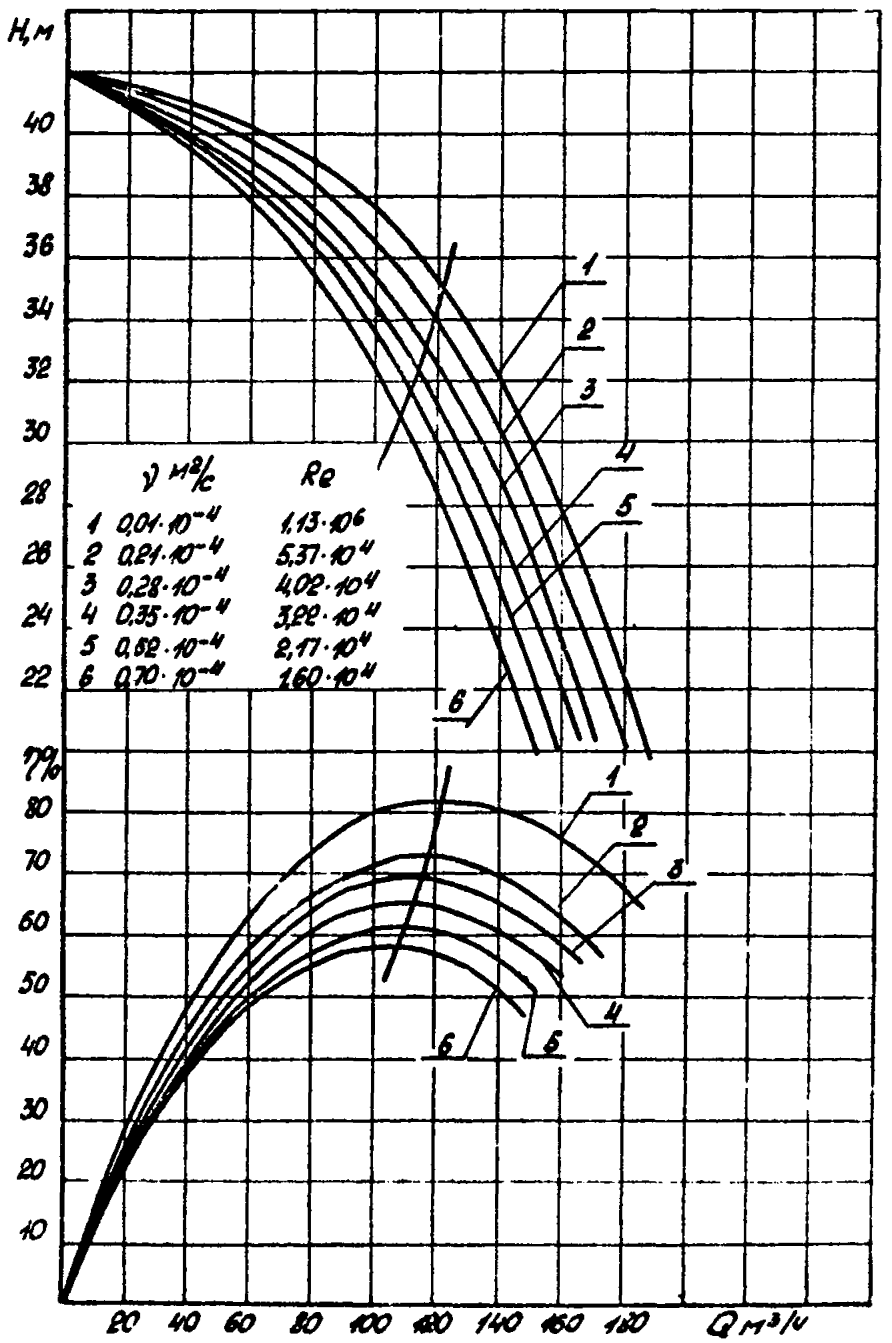

Рис.7. Характеристики насоса НМв.о. 2500-750М-I при изменении вязкости жидкости n =4000об/мин

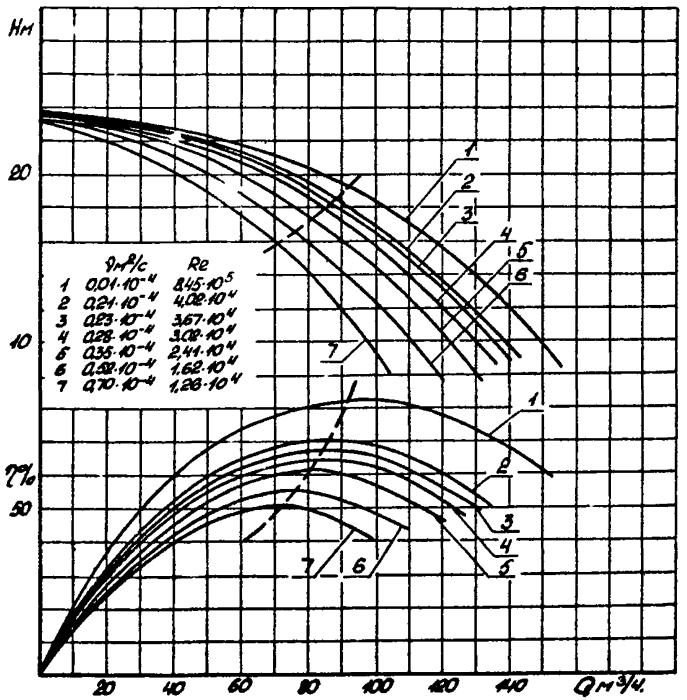

Рис.8. Характеристики насоса НМв.о. 2500-750-М
при изменении вязкости жидкости n =3000об/мин

5.3. Режим I,2 Q ном = I00,8 м³/ч; H_I = I5,6 м, η_1 = 6I,5%

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

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

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

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

Пример 6

Пересчитать параметры Q, H и η насоса 1Д – 2I (рис. I0) с вязкости $\nu_1 = 0,154 \cdot 10^{-4}$ м²/с на вязкости $\nu_2 = 1,29 \cdot 10^{-4}$ и $\nu_3 = 4,27 \cdot 10^{-4}$, n = I896 об/мин; D = 0,I29 м; n_s = I86.

6.I. Пересчет производим по упрощенным формулам (I0 и I4):

$$H_2 = H_1 \left(1 - \alpha_H \cdot lg \frac{\nu_2}{\nu_1}\right),$$

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

$$\eta_2 = \eta_1 \left(1 - \alpha lg \frac{\nu_2}{\nu_1}\right)$$

6.2. Исходные данные для расчета:

α_H = 0,I28; α = 0,25 (см.рис.2) H_I = 2I,3 м; Q_1 = 280 м³/ч η = 73%

Расчет проводим для оптимального режима:

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

$$Q_2 = 300\left(\frac{18,8}{21,3}\right)^{1,5} = 248,8\ м^3/ч \quad (256\ м^3/ч),$$

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

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

$$Q_3 = 300\left(\frac{17,4}{21,8}\right)^{1,5} = 221,5\ м^3/ч \quad (230\ м^3/ч),$$

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

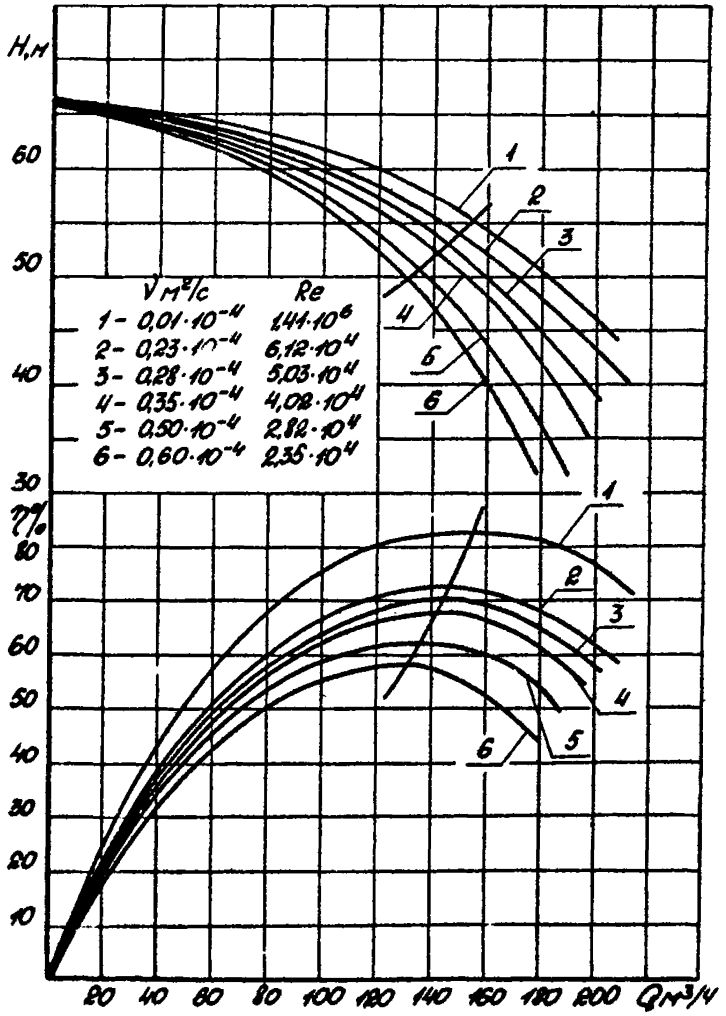

Рис. 9. Характеристики насоса НМв.о. 2500-750 М-I при изменении вязкости жидкости. n = 5000об/мин.

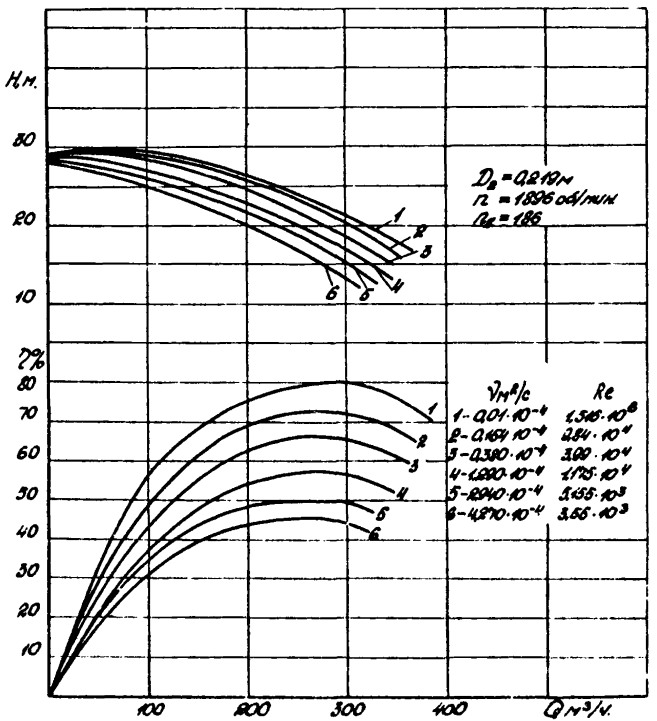

Рис. 10. Характеристики насоса 7Л -21

Погрешность пересчета параметров Q и H составляет ≈4%, КПД - 2%.

Пример 7

Построить напорную характеристику Q - H натурного насоса НМ 3600-230 с полным рабочим колесом. Перекачиваемая жидкость - нефть с вязкостью $0{,}2\cdot10^{-4}$ м^2/с.

Исходные данные для расчета:

H = 230 м; Q = 3600 м^3/ч; n = 3000 об/мин; D = 0,45 м; n_s = 131;

$Re_n = 7{,}2\cdot10^4$; $\lg a_0 = 1{,}32$; $b_0 = 1{,}9$; $\psi_0 = 5{,}72$;

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

$Re = \dfrac{n \cdot D^2}{\nu} = \dfrac{50\cdot0{,}45^2}{0{,}2\cdot10^{-4}} = 5{,}06\cdot10^5$

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

7.2. Определяем H для нескольких значений Q

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

Значения точек $H_{эксп.}$ для заданных значений Q взяты с характеристики Q - H насоса НМ 3600-230, приведенной в каталоге "Центробежные нефтяные магистральные и подпорные насосы". (М.-ЦИНТИхимнефтемаш, 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 ($\nu = 1 \cdot 10^{-4}$ м^2/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:

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

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

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

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

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

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

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

Расчетные данные можно сравнить с экспериментальными на рис. 11.

φ	0,04	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
ψ_1 р	5,07	4,87	4,715	4,52	4,3	4,04
ψ_1 э	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
ψ_2 р	4,47	4,27	4,115	3,92	3,7	3,34
ψ_2 э	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 $\delta_{ср} = 1{,}8$

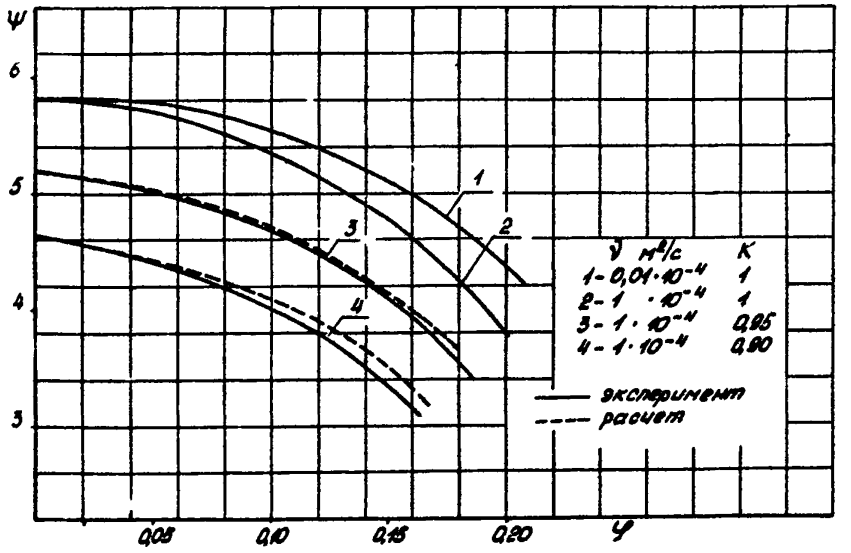

Рис.II. Характеристики модельного насоса НМ 2500-230М в безразмерных координатах при перекачке вязкой жидкости ($\nu = 1 \times 10^{-4} м^2/с$) и обточке рабочего колеса на 5% и 10%

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Общие положения	3
2. Исходные данные для расчета	7
3. Расчет напорных характеристик магистральных центробежных насосов при перекачке вязких жидкостей	8
3.I. Уравнение напорной характеристики в безразмерных координатах	8
3.2. Уравнение напорной характеристики в размерных координатах H - Q	9
4. Пересчет напора и подачи насоса в рабочей зоне при изменении вязкости жидкости и частоты вращения	I0
5. Пересчет напора и подачи при обточке рабочего колеса	I2
6. Пересчет коэффициента полезного действия центробежного насоса при изменении вязкости и частоты вращения	I3
Литература	I5
Приложение. Примеры расчетов по методике	I6

Подписано к печати 09.04.84 г. П03429
Формат 60x90/I6. Уч.-изд.л.2,9. Тираж 250 экз.
Заказ 82

Ротапринт ВНИИСПТнефти

gost.e-ecolog.ru