

Р. М. ХАЧАТРЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ПРИ
ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЕ m НЕОДИНАКОВЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ С n
ОДИНАКОВЫМИ НАГНЕТАТЕЛЬНЫМИ ТРУБОПРОВОДАМИ

На основании уравнений индивидуальных характеристик Q_H-H_n m неодинаковых центробежных насосов и $Q_{HT}-H_T$ n одинаковых нагнетательных трубопроводов получены уравнения суммарных характеристик насосов ΣQ_H-H_n и трубопроводов $\Sigma Q_{HT}-H_T$. В результате их совместного решения получена аналитическая зависимость для определения производительности насосной станции при параллельной работе m неодинаковых центробежных насосов с n одинаковыми нагнетательными трубопроводами.

Ключевые слова: неодинаковые центробежные насосы, одинаковые нагнетательные трубопроводы, уравнения индивидуальных характеристик, параллельная работа насосов, производительность насосной станции, аналитическая зависимость.

Уравнения индивидуальных характеристик Q_H-H_n параллельно работающих m неодинаковых центробежных насосов для области высоких КПД можно представить в следующем виде [1,2]:

$$H_{H_i} = H_{\phi_i} - S_{\phi_i} Q_{H_i}^2, \quad (1)$$

где $H_{H_i} = H_H$ - общий напор для параллельно работающих m неодинаковых насосов; H_{ϕ_i} , S_{ϕ_i} и Q_{H_i} - соответственно фиктивный напор, фиктивное сопротивление и производительность i -го насоса.

Суммарная производительность параллельно работающих m неодинаковых насосов, согласно зависимости (1), запишется в виде

$$\Sigma Q_H = \sum_{i=1}^m \sqrt{\frac{H_{\phi_i} - H_H}{S_{\phi_i}}}. \quad (2)$$

Из (2) получим

$$(\Sigma Q_H)^2 = \sum_{i=1}^m \frac{H_{\phi_i} - H_H}{S_{\phi_i}} + 2 \sum_{\substack{i=1 \\ k \neq i}}^{m-1} \sqrt{\frac{(H_{\phi_i} - H_H)(H_{\phi_k} - H_H)}{S_{\phi_i} S_{\phi_k}}} \quad (k = 2, \dots, m). \quad (3)$$

Заменяя в (3) среднеарифметическое значение напоров H_{ϕ_i} и H_{ϕ_k} их среднегеометрическим значением:

$$H_{\phi_i} + H_{\phi_k} = 2\sqrt{H_{\phi_i} H_{\phi_k}}, \quad (4)$$

-*после простых преобразований получим уравнение суммарной характеристики ΣQ_H -
 H_H параллельно работающих m неодинаковых центробежных насосов:

$$H_H = \left(\left(\sum_{i=1}^m \sqrt{H_{\phi_i} / S_{\phi_i}} \right)^2 - (\Sigma Q_H)^2 \right) / \left(\sum_{i=1}^m 1 / \sqrt{S_{\phi_i}} \right)^2. \quad (5)$$

Уравнение индивидуальной характеристики $Q_{HT} - H_T$ параллельно работающих n одинаковых трубопроводов имеет вид

$$H_T = H_\Gamma + \sum h_T, \quad (6)$$

где H_Γ – геометрическая высота подачи воды, m ; Σh_T – суммарная потеря напора во всасывающем и нагнетательных трубопроводах, m ;

$$\sum h_T = (S_{BT_i} + S'_{HT_i}) Q_{HT_i}^2 + S_{HT} Q_{HT}^2, \quad (7)$$

S_{BT_i} , S'_{HT_i} и S_{HT} – соответственно полное сопротивление всасывающего и нагнетательных трубопроводов, расположенных внутри и вне здания насосной станции, $(с/м^3)^2 \cdot м$; Q_{HT_i} и Q_{HT} – соответственно расход воды, подаваемой одним из m неодинаковых насосов и проходящей по одному из n одинаковых нагнетательных трубопроводов, $м^3/с$.

Уравнение суммарной характеристики $\Sigma Q_{HT} - H_T$ параллельно работающих всасывающих и нагнетательных трубопроводов насосной станции можно представить в следующем виде [3, 4]:

$$H_T = H_\Gamma + S_{\Sigma} (\Sigma Q_{HT})^2, \quad (8)$$

где S_{Σ} – эквивалентное сопротивление всех всасывающих и нагнетательных трубопроводов насосной станции, $(с/м^3)^2 \cdot м$,

$$S_{\Sigma} = \left(\sum_{i=1}^m 1 / \sqrt{S_{BT_i} + S'_{HT_i}} \right)^{-2} + S_{HT} / n^2, \quad (9)$$

ΣQ_{HT} – суммарный расход воды, подаваемой n одинаковыми нагнетательными трубопроводами, $м^3/с$.

Имея в виду, что для режимной точки А совместной параллельной работы насосов и трубопроводов (рис.) имеют место равенства

$$H_H = H_T = H_A, \\ \Sigma Q_H = \Sigma Q_{HT} = Q_A, \quad (10)$$

и приравняв правые части уравнений (5) и (8) с учетом (9) и (10), получим аналитическое выражение для определения суммарного расхода воды, подаваемой m неодинаковыми центробежными насосами при параллельной их работе с n одинаковыми нагнетательными трубопроводами:

$$Q_A = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^m \sqrt{H_{\phi_i}/S_{\phi_i}}\right)^2 / \left(\sum_{i=1}^m 1/\sqrt{S_{\phi_i}}\right)^2 - H_r}{\left(\sum_{i=1}^m 1/\sqrt{S_{\phi_i}}\right)^{-2} + \left(\sum_{i=1}^m 1/\sqrt{S_{BT_i} + S'_{HT_i}}\right)^{-2} + S_{HT}/n^2}}. \quad (11)$$

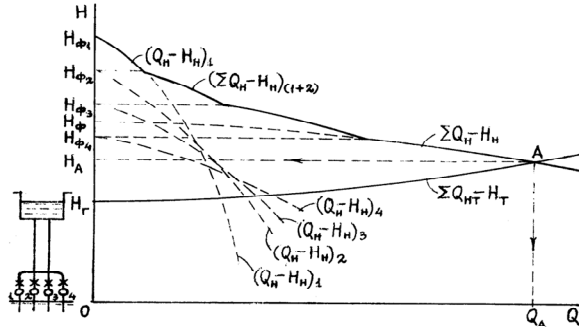


Рис.

Чтобы несколько уменьшить хотя и незначительное увеличение про-изводительности насосной станции, вызванное принятием допущения (4), введем поправочный коэффициент K_m при совместной параллельной работе m неодинаковых одиночных насосов, имеющий вид

$$K_m = \frac{2\sqrt{H_{\phi_1} H_{\phi_2}}}{H_{\phi_1} + H_{\phi_2}} \cdot \frac{2\sqrt{H_{\phi_2} H_{\phi_3}}}{H_{\phi_2} + H_{\phi_3}} \dots \frac{2\sqrt{H_{\phi_{(m-1)}} H_{\phi_m}}}{H_{\phi_{(m-1)}} + H_{\phi_m}}. \quad (12)$$

При совместной параллельной работе двух неодинаковых центро-бежных насосов поправочный коэффициент K_2 равен первой дроби зависимости (12); при параллельной работе трех насосов K_3 равен произведению первых двух дробей и т.д.

С учетом поправочного коэффициента K_m зависимость (11) примет следующий вид:

$$Q_A = \sqrt{\frac{K_m \left(\sum_{i=1}^m \sqrt{H_{\phi_i}/S_{\phi_i}}\right)^2 / \left(\sum_{i=1}^m 1/\sqrt{S_{\phi_i}}\right)^2 - H_r}{\left(\sum_{i=1}^m 1/\sqrt{S_{\phi_i}}\right)^{-2} + \left(\sum_{i=1}^m 1/\sqrt{S_{BT_i} + S'_{HT_i}}\right)^{-2} + S_{HT}/n^2}}. \quad (13)$$

В частном случае, при параллельной работе m одинаковых центро-бежных насосов с n одинаковыми нагнетательными трубопроводами, зависи-мости (11) и (13) примут вид, полученный нами ранее [5]:

$$Q_A = \sqrt{\left(H_{\phi} - H_r\right) / \left(\frac{S_{\phi} + S_{BT} + S'_{HT}}{m^2} + \frac{S_{HT}}{n^2}\right)}, \quad (14)$$

так как в этом случае имеют место равенства:

$$\begin{aligned} H_{\phi_1} &= H_{\phi_2} = \dots = H_{\phi_m} = H_{\phi}, \\ S_{\phi_1} &= S_{\phi_2} = \dots = S_{\phi_m} = S_{\phi}, \end{aligned} \quad (15)$$

и, согласно (12) и (15), поправочный коэффициент равен единице ($K_m=1$).

Рассмотрим численные примеры параллельной работы двух, трех и четырех центробежных насосов различных марок, характеристики которых сведены в табл.1.

Таблица 1

Колич. паралл. работ. насосов m , штук	Марка насоса		Фиктивный напор насоса H_{ϕ} , м	Фиктивное сопротивление насоса S_{ϕ} , (с/л) ² /м	Расходы воды опт. области работы насоса Q , л/с	Суммарный расход воды опт. области работы насосов ΣQ , л/с
	нынешняя	прежняя				
2	Д 320-70	6НДс	92,6	0,0033	60-92	171-259
	Д 500-65	10Д-6	80,7	0,00084	111-167	
3	Д 320-70	6НДс	92,6	0,0033	60-92	190,4-292,4
	Д 500-65	10Д-6	80,7	0,00084	111-167	
	К 90/55	4К-8	67,3	0,0217	19,4-33,4	
4	Д 200-95	4НДв	121,0	0,0096	37,5-55	226,5-351,5
	К 90/85	4К-6	105,6	0,0237	18-37,5	
	Д 320-70	6НДс	92,6	0,0033	60-92	
	Д 500-65	10Д-6	80,7	0,00084	111-167	

В табл.2 приведены значения производительности насосной станции, подсчитанные теоретическим способом по зависимостям (11), (13) настоящей статьи и (7) из [3], а также графическим способом, в случае подачи воды по двухниточному одинаковому нагнетательному трубопроводу при различных его длинах и прочих равных условиях.

Приведены также проценты отклонений от значений производительности насосной станции, подсчитанных методом последовательных приближений по зависимости (2).

Как видно из табл.2, предлагаемые зависимости обеспечивают достаточно высокую, с практической точки зрения, точность окончательных результатов, полученных с гораздо меньшими затратами времени и труда, чем при графическом способе решения задач.

Таблица 2

Кол. нас. разл. марок т, штук	Геом. высота подачи Н _г , м	Двухнит. одинак. нагнет. трубопровода			Производительность насосной станции, Q _д , л/с				
		диаметр d, мм	уд. сопрот. S _{сопр.} , (с/м ⁵) ²	длина L _{ит} , м	методом посл. прикл. по зав. (2)	графичес. способом	процент отклонения	теоретичес. способом по зав. (11)	процент отклонения
2	45	350	0,4365	500	304,526	304,6	+0,024	305,011	+0,16
				1000	286,608	288,6	+0,695	287,161	+0,19
				1500	271,505	271,8	+0,109	272,118	+0,226
				2000	258,547	258,5	-0,018	259,216	+0,259
				4000	220,584	221,2	+0,279	221,436	+0,386
3	45	350	0,4365	500	328,347	328,8	+0,138	329,783	+0,437
				1000	304,7	305,4	+0,230	306,427	+0,567
				1500	285,405	286,3	+0,314	287,420	+0,706
				2000	269,245	270,3	+0,392	271,562	+0,861
				4000	222,96	223,4	+0,197	227,153	+1,881
4	50	400	0,2189	500	412,77	413,4	+0,153	416,254	+0,844
				1000	390,467	391,0	+0,137	394,361	+0,997
				1500	371,33	371,8	+0,127	375,594	+1,148
				2000	354,672	355,5	+0,233	359,275	+1,298
				4000	304,627	305,0	+0,122	310,360	+1,882

Продолжение табл. 2

Кол. нас. разл. марок т, штук	Геом. высота подачи Н _г , м	Двухнит. одинак. нагнет. трубопровода			Производительность насосной станции, Q _д , л/с				
		диаметр d, мм	уд. сопрот. S _{сопр.} , (с/м ⁵) ²	длина L _{ит} , м	поправочный коэф. K _п по зав. (12)	теоретическим способом по зав. (13)	процент отклонения	теоретическим способом по зав. ст. [3]	процент отклонения
2	45	350	0,4365	500	0,99764	304,241	+0,093	304,147	-0,124
				1000		286,436	-0,060	286,151	-0,160
				1500		271,431	-0,027	271,185	-0,118
				2000		258,561	+0,005	258,561	+0,005
				4000		220,877	+0,133	220,714	+0,059
3	45	350	0,4365	500	0,99354	327,431	-0,279	-	-
				1000		304,242	-0,150	-	-
				1500		285,371	-0,012	-	-
				2000		269,625	+0,141	-	-
				4000		225,533	+1,154	-	-
4	50	400	0,2189	500	0,99319	413,119	+0,085	-	-
				1000		391,391	+0,237	-	-
				1500		372,765	+0,386	-	-
				2000		356,569	+0,535	-	-
				4000		308,023	+1,115	-	-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Прегер Е.А.** Аналитическое исследование параллельной работы насосов // Научные труды ЛИСИ.- 1953.- Вып. 16. - С. 32-46.
2. **Ильин В. Г.** Расчет совместной работы насосов, водопроводных сетей и резервуаров. - Киев: Госстройиздат УССР, 1963.- 136 с.
3. **Хачатрян Р.М.** Определение производительности насосной станции при параллельной работе двух неодинаковых центробежных насосов с n одинаковыми нагнетательными трубопроводами: Бюллетень строителей Армении. Специальный выпуск.-1997. - №12(17).- С.28-32 (на арм.).
4. **Хачатрян Р.М.** Определение эквивалентного сопротивления трубопроводов насосной станции // Изв. НАН РА и ГИУА.Сер.ТН.-1999. - Т.52, №3. - С. 410 - 414.
5. **Хачатрян Р. М.** Определение коэффициента редукции производительности параллельно работающих одинаковых центробежных насосов // Исследование по гидротехнике и сантехнике: Межвуз.сб.научн.тр. / ЕрПИ. - Ереван, 1984.- С. 64-70.

ЕрГУАС. Материал поступил в редакцию 02.08.2000.

Ռ. Մ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

**ՊՈՍՏԱՎԱՅԱՆԻ ԱՐՏԱԴՐՈՂԱՎԱԾՆՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՏԱՐԲԵՐ ՄԱԿՆԻՇՆԵՐԻ m ԿԵՆՏՐՈՆԱԽՈՒՑՄ ՊՈՍՏՆԵՐԻ
 n ՄԻԱՆՄԱՆ ՄՂՄԱՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԱՐԵՐԻ ՀԵՏ ԶՈՒԳԱՀԵՈ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԴԵՊՈՒՄ**

Տարբեր մակնիշների m կենտրոնախույս պոմպերի անհատական $Q_{\text{պ}}-H_{\text{պ}}$ և n միանման մղման խողովակաշարերի $Q_{\text{մղ}}-H_{\text{մ}}$ բնութագրերի հավասարումների հիման վրա ստացվել են պոմպերի $\Sigma Q_{\text{պ}}-H_{\text{պ}}$ և խողովակաշարերի $\Sigma Q_{\text{մղ}}-H_{\text{մ}}$ գումարային բնութագրերի հավասարումները: Նրանց համատեղ լուծման արդյունքում ստացվել է տարբեր մակնիշների m կենտրոնախույս պոմպերի n միանման մղման խողովակաշարերի հետ գուգահեռ աշխատանքի դեպքում պոմպակայանի արտադրողականությունը որոշելու վերլուծական առնչություն:

R. M. KHACHATRYAN

DETERMINATION OF PUMPING STATION CAPACITY IN PARALLEL OPERATION OF m IDENTICAL CENTRIFUGAL PUMPS WITH n IDENTICAL DELIVERY PIPELINES

Based on the equations of individual characteristic curves Q_p-H_p for m identical centrifugal pumps and $Q_{dp}-H_{pl}$ for n identical delivery pipelines, the equations of total characteristic curves ΣQ_p-H_p and $\Sigma Q_{dp}-H_{pl}$ are obtained. Owing to their joint solution, an analytical expression for determination of pumping station capacity in parallel operation of m identical centrifugal pumps with n identical delivery pipelines is obtained.