

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК НА СЛАНЦЕВЫХ ШАХТАХ ЭСТОНИИ<sup>1</sup>**

*Е. П. Капралов*

Месторождение горючих сланцев Эстонии характеризуется большими притоками воды, достигающими в весенний паводок 6000—8000 м<sup>3</sup>/час (например, на шахте Кява II в апреле 1955 г.). Геодезическая высота подъема воды невелика: 20—40 м — для главного водоотлива и 3—4,5 м — для участковых перекачных.

Расход электроэнергии на откачку воды в отдельные месяцы достигает 60—70% от общешахтного энергопотребления при мощности электродвигателей насосов 40—60% от установочной мощности всех двигателей на шахте. Поэтому экономичность работы насосных установок в эксплуатационных условиях должна подвергаться тщательному изучению. Все шахтные водоотливные установки снабжены насосами типа 4НДВ, 5НДВ, 6НДВ, 8НДВ, 12НДС, 14НДС и 18 НДС. На участковых перекачных установках работают только насосы типа НДВ, предназначенные для геодезической высоты подъема воды большей фактической в 10—20 раз. Это ставит под сомнение экономичность и целесообразность применения такого типа насосов в условиях небольших геодезических высот, какими характеризуются Эстонские шахты.

Неизученность действительных режимов работы насосов не позволяет эксплуатационникам правильно определять фактические притоки воды, так как паспортная производительность участковых насосов и насосов главного водоотлива почти никогда не соответствует действительной. Поэтому на шахтах нет правильных статистических или расчетных удельных норм расхода электроэнергии по шахтному водоотливу. Использование паспортных данных насосов для подсчета удельных норм дает результаты, почти всегда не имеющие ничего общего с фактическими.

Рассмотрим несколько индивидуальных характеристик насосов, полученных в результате испытаний водоотливных установок на одной из обследованных шахт Эстонсланца (рис. 1, 2, 3).

Действительные индивидуальные характеристики насосов снимались при помощи концевой нормальной диафрагмы с уравнильной кольцевой камерой для отбора давлений, установленной в конце нагнетательного

---

<sup>1</sup> В основу настоящей статьи положены материалы обследования работы насосных установок двух шахт треста Эстонсланец. В проведении экспериментов принимали участие сотрудники Ленинградского горного института Г. И. Малышев, О. В. Иванов и В. Г. Бауман. Научное руководство работой осуществлял проф. С. А. Алаторцев.

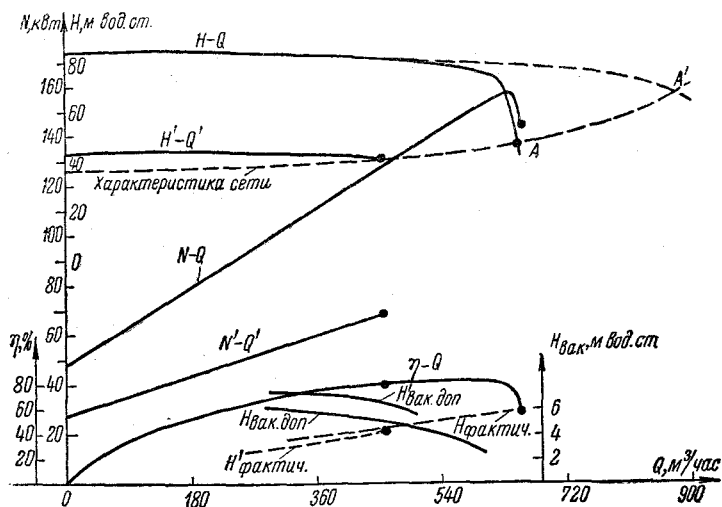


Рис. 1. Индивидуальные характеристики насоса 8НДВ при  $n = 1450$  об/мин (диаметр колеса 500 мм) и  $n = 980$  об/мин (диаметр колеса 525 мм). Точками обозначены места рабочих режимов. Знак апострофа относится к характеристикам насоса с  $n = 980$  об/мин

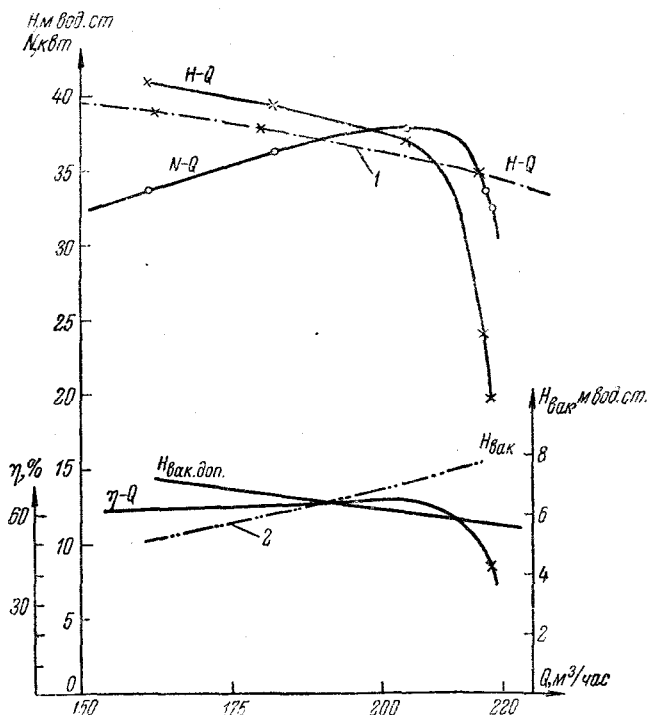


Рис. 2. Индивидуальная характеристика насоса 5НДВ при  $n = 1460$  об/мин:

1 — заводская характеристика насоса; 2 — фактическая характеристика высоты всасывания ( $H_{\text{вак}}$ )

става. В качестве пьезометра применялся дифференциальный манометр типа ДТ-60, одно из колен которого соединялось с полостью кольцевой камеры, а второе с атмосферой. Давление замерялось образцовым пружинным манометром класса 0,35, вакуум определялся техническим вакуумметром пружинного типа. Электрические замеры производились при помощи комплекта КМП. Число оборотов электродвигателя бралось по показаниям ручного тахометра типа ИО-10. Дросселирование осуществлялось задвижками, установленными у насосов.

Из анализа рис. 1, где показаны совмещенные индивидуальные характеристики насоса 8НДВ при  $n = 980$  и  $1450$  об/мин, следует:

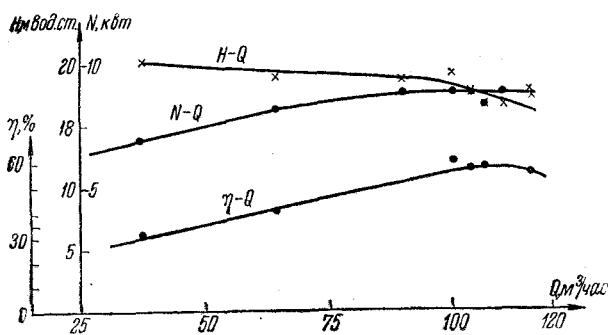


Рис. 3. Индивидуальная характеристика насоса 5НДВ при  $n = 980$  об/мин

1. Режим работы высоконапорного насоса определяется не точкой  $A'$  (точка пересечения паспортной характеристики насоса с характеристикой сети), что должно быть при работе насоса на сеть, соответствующую его напорной характеристике, а точкой  $A$  (точка пересечения характеристики сети с действительной характери-

стикой насоса, работающего в данных условиях), которая находится в режиме неустойчивости работы, обусловленной явлением кавитации (рис. 1, кривые допускаемого и фактического вакуумов). Поэтому вместо увеличения номинальной производительности насоса в 1,5—2 раза за счет малой фактической геодезической высоты подъема воды производительность возрастает на 10—15%, а к. п. д. насоса падает на 20%.

2. Насос с пониженной, против паспортной, скоростью вращения работает устойчиво и в зоне экономичной работы. Явления кавитации не наблюдаются, полученный к. п. д. насоса равен паспортному.

3. Фактические удельные расходы электроэнергии на откачку воды составляют  $0,159 \frac{\text{квт-ч}}{\text{м}^3}$  ( $4,42 \frac{\text{квт-ч}}{\text{т км}}$ ) — для насоса с  $n = 980$  об/мин и  $0,233 \frac{\text{квт-ч}}{\text{м}^3}$  ( $6,43 \frac{\text{квт-ч}}{\text{т км}}$ ) — для насоса с  $n = 1450$  об/мин., т. е. относительный перерасход электроэнергии примерно равен 30% на тоннокилометр откачиваемой воды.

На рис. 2 и 3 приведены характеристики насосов 5НДВ, работающих при числах оборотов соответственно 1460 и 980 об/мин. Насосы установлены на участковых перекачных станциях и работают с геодезической высотой подъема  $H_r = 4$  и  $4,7$  м. Вид напорных кривых и режимы работы аналогичны соответствующим характеристикам насосов главного водоотлива. Максимальный к. п. д. насоса 5НДВ с  $n = 1460$  об/мин ниже паспортного на 12%. Для насоса 5НДВ, работающего при  $n = 980$  об/мин, заводских характеристик нет.

В результате аналитической обработки экспериментальных данных были получены фактические показатели работы некоторых насосных установок (табл. 1).

Таблица 1

Тип насоса	n, об/мин	H <sub>г</sub> , м	η <sub>тр</sub>	η <sub>нас</sub>	η <sub>дв</sub>	η <sub>н. у</sub>	Фактические удельные расходы <sup>1</sup>	
							квт-ч/м <sup>3</sup>	квт-ч/ткм
12НДС	1485	35,5	0,81	0,735	0,90	0,538	0,182	5,05
8НДВ	980	35,4	0,85	0,790	0,92	0,618	0,159	4,42
8НДВ	1450	35,6	0,75	0,612	0,92	0,425	0,233	6,43
5НДВ	980	4,0	0,24	0,590	0,87	0,123	0,0925	22,5
5НДВ	1460	4,7	0,23	0,428	0,87	0,086	0,148	31,0

n — скорость вращения двигателя;  
H<sub>г</sub> — общая геодезическая высота подъема воды;  
η<sub>нас</sub> — к. п. д. насоса в рабочей точке;

η<sub>тр</sub> — общий к. п. д. трубопровода;  
η<sub>дв</sub> — номинальный к. п. д. двигателя;  
η<sub>н. у</sub> = η<sub>нас</sub> η<sub>тр</sub> η<sub>дв</sub> — к. п. д. насосной установки.

Очень низкие к. п. д. насосных установок участковых перекачных в значительной мере объясняются состоянием и размерами линий всасывания и нагнетания. Фактические скорости движения воды в трубопроводах насосов 5НДВ равны 4,1 — 4,93 м/сек, т. е. в два раза больше обычно принимаемых скоростей.

Для сравнения существующих норм и выявления резервов снижения расхода электроэнергии на шахтный водоотлив были определены расчетные удельные нормы.

#### 1. Манометрический напор

$$H_m = H_g + \lambda \frac{L_T}{d} \frac{c^2}{2g} + \sum \xi \frac{c^2}{2g}, \text{ м вод. ст.}, \quad (1)$$

где H<sub>г</sub> — общая геодезическая высота подъема воды (20—40 м для главного водоотлива и 3—5 м для участковых перекачных), м;

λ — коэффициент Дарси, равный в среднем 0,03;

L<sub>т</sub> — суммарная длина трубопровода (примерно 130 м для главного водоотлива и 30 м для участковых станций), м;

∑ξ — суммарный коэффициент местных сопротивлений (12—15 для насосов главного водоотлива и 7—9 для перекачных насосов);

c — средняя скорость движения воды в трубопроводе, равная 1,5—3 м/сек;

d — внутренний диаметр трубы, м;

g — ускорение силы тяжести, м/сек<sup>2</sup>.

#### 2. К. п. д. трубопроводов

$$\eta_{тр. \min} = \frac{H_g}{H_{м. \max}} \text{ и } \eta_{тр. \max} = \frac{H_g}{H_{м. \min}}, \quad (2)$$

где H<sub>м. max</sub> и H<sub>м. min</sub> — максимальный и минимальный манометрические напоры, зависящие от пределов колебания величин, входящих в формулу (1).

<sup>1</sup> При установлении удельных расходов электроэнергии потери в электрической сети не учитывались.

Средний расчетный к. п. д. трубопровода

$$\eta_{\text{тр. расч}} = \frac{\eta_{\text{тр. min}} + \eta_{\text{тр. max}}}{2} \quad (3)$$

3. Общий расчетный к. п. д. насосной установки

$$\eta_{\text{н. у}} = \eta_{\text{нас}} \eta_{\text{тр. расч}} \eta_{\text{дв.}} \quad (4)$$

В формулу (4) подставлялась фактическая величина к. п. д. насоса для получения реальных норм, учитывающих действительную работу насоса, так как на всех шахтах, работающих в аналогичных условиях, нельзя сразу пойти на понижение чисел оборотов имеющихся установок или произвести замену их низконапорными насосами. Это во многих случаях ограничивается возможной величиной притоков воды. Используя результаты испытаний насосов и приводимую методику, уже можно получить реальные расчетные величины удельных норм расхода электроэнергии на шахтный водоотлив.

Для насосов, подходящих по характеристикам для работы в аналогичных условиях (например, насос 8НДВ с  $n = 980$  об/мин), нужно подставлять  $\eta_{\text{нас}} = 0,9\eta_{\text{max}}$ , т. е. пределы зоны «экономичной работы» насоса и средний расчетный к. п. д. трубопровода<sup>1</sup>.

В табл. 2 приведены расчетные величины, характеризующие работу насосов, указанных в табл. 1, для средних условий при  $H_r = 35,5$  м — насосы главного водоотлива и  $H_r = 4,0 - 4,7$  м — участковые насосы.

Таблица 2\*

Тип насоса	n, об/мин	$\eta_{\text{дв}}$	$\eta_{\text{тр}}$	$\eta_{\text{нас}}$	$\eta_{\text{н. у}}$	Расчетные удельные расходы		Диаметр колеса, мм
						квт-ч/м <sup>3</sup>	квт-ч/ткм	
12НДС	1485	0,90	0,90	0,735	0,594	0,161	4,35	430
8НДВ	980	0,92	0,90	0,790	0,653	0,151	4,23	525
8НДВ	1450	0,92	0,90	0,612	0,507	0,196	5,48	500
5НДВ	980	0,87	0,50	0,590	0,257	0,0443	11,00	350
5НДВ	1460	0,87	0,50	0,428	0,186	0,0685	14,60	350

\* Обозначения те же, что и в табл. 1.

### Выводы и рекомендации

1. Фактическая работа высоко- и средненапорных насосов типа НД при известной геодезической высоте подъема воды характеризуется кавитационными режимами, что в значительной мере снижает экономические показатели этих насосов.

2. Почти все насосы работают на границе или с превышением допустимого вакуума, что усугубляется небольшой допустимой высотой всасывания у насосов типа НД.

3. Скорости в нагнетательных трубопроводах насосов типа 5НДВ в 2—2,5 раза превышают экономически допустимые.

4. С хорошими показателями работают установки с пониженной (против паспортной) скоростью вращения или с обточенными в определенных пределах диаметрами рабочих колес.

<sup>1</sup> По предварительным подсчетам средний расчетный к. п. д. трубопроводов главного водоотлива колеблется в пределах 0,84—0,90 при изменении  $H_r$  от 20 до 36 м.

5. Разнообразие условий работы насосных агрегатов и различие конструкций насосов, работающих на шахтном водоотливе, обязывает подходить дифференцированно к установленным удельным нормам расхода электроэнергии на откачку воды.

При снижении  $H_r$  до 18—20 м кавитационные явления еще в большей мере будут снижать экономичность работы насосов, что нужно учитывать при определении норм для других условий.

Для участкового водоотлива расчетные нормы (табл. 2) практически должны оставаться постоянными (так как  $H_r \approx \text{const}$ ), однако фактическая величина их в два раза выше расчетной. Это объясняется в основном плохим состоянием и малыми размерами хрупков, всасывающей и нагнетательной линий и кавитацией насосов в условиях эксплуатации.

6. С целью снижения удельных расходов электроэнергии на участковом водоотливе необходимо внедрение пропеллерных и центробежных насосов типа ПрВ, К, НФ и т. д., предназначенных для работы с подачей воды на небольшую высоту.

На главном и участковом водоотливе, где позволяют максимальные притоки, нужно перейти на понижение скорости вращения или произвести подрезку колес с последующим снятием индивидуальных характеристик, полученных таким образом новых насосов, имея в виду, что уменьшение диаметра колеса приведет к снижению всех параметров насоса (производительности, напора и к. п. д.).

7. При проектировании новых сланцевых шахт для этого же района необходимо поставить вопрос о применении на участковом водоотливе вертикальных насосов пропеллерного типа, что позволит проще осуществить автоматизацию перекачных установок и обеспечить экономичную работу одного из самых энергоемких процессов — участкового водоотлива.