*Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени Горного института том XXV, выпуск I, 1951 г.*

# ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С НОВОЙ ВЛАГОУСТОЙЧИВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ПОГРУЖНЫХ МОТОР-НАСОСОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ $Q = 30 м^3/час$

Канд. техн. наук *Л. Ф. Шклярский*

Настоящая работа является результатом творческого содружества кафедры горной электротехники Ленинградского горного института с одним из угольных трестов.

Испытывались электродвигатели двух погружных мотор-насосов. Проектные данные обоих мотор-насосов совершенно одинаковы. Незначительно отличаются лишь их электрические части: статор электродвигателя одного из них (мотор-насос № 7) [1] обладает несколько бо́льшими размерами паза, чем статор электродвигателя другого мотор-насоса (мотор-насос № 9) [1]. Поэтому в каждом пазу статора электродвигателя мотор-насоса № 7 уложено 16 проводов, а у электродвигателя мотор-насоса № 9 — 11 проводов.

Основные данные погружных мотор-насосов при соединении обмотки статора электродвигателя звездой следующие: мощность электродвигателя на валу $P_н = 9{,}2$ *квт*; напряжение $U_н = 380$ *в*; обороты $n_ц = 2900$ об/мин. Электродвигатель трехфазный асинхронный короткозамкнутый (рис. 1); производительность насоса $Q_н = 30$ *м³/час*; напор насоса $H_ц = 50$ *м*. Полная высота мотор-насоса 1400 *мм*, высота электродвигателя 930 *мм*, диаметр агрегата 183 *мм*.

Электрическая и механическая части погружных мотор-насосов изготовлены монтажно-механическими мастерскими треста.

Погружные мотор-насосы предлагаемой конструкции, служащие для откачки воды из скважин, выгодно отличаются от существующих в настоящее время следующими особенностями.

1. Применяемая новая изоляция обмотки статора электродвигателя является влагостойкой (не боится воды и масла) и очень дешевой.

2. Электродвигатель с насосом, представляя собой один агрегат, при работе погружается в скважину. У большинства современных мотор-насосов (например типа АТН) электродвигатель остается на поверхности (в устье скважины), а погружается лишь насос, что предполагает наличие длинного вертикального вала, соединяющего электродвигатель с насосом. Это крайне неудобно и обусловливает дополнительные потери на трение в многочисленных подшипниках вала. Кроме того, возможно искривление вала, вызываемое искривлением скважины.

3. Новая конструкция не требует специального нагнетательного става труб, так как откачиваемая вода подается по обсадным трубам скважины.

4. При расположении электродвигателя над насосом диаметральный размер установки сокращается, так как питание электродвигателя осуществляется сверху; в противном случае кабель располагался бы между

[1] На основании нумерации треста.

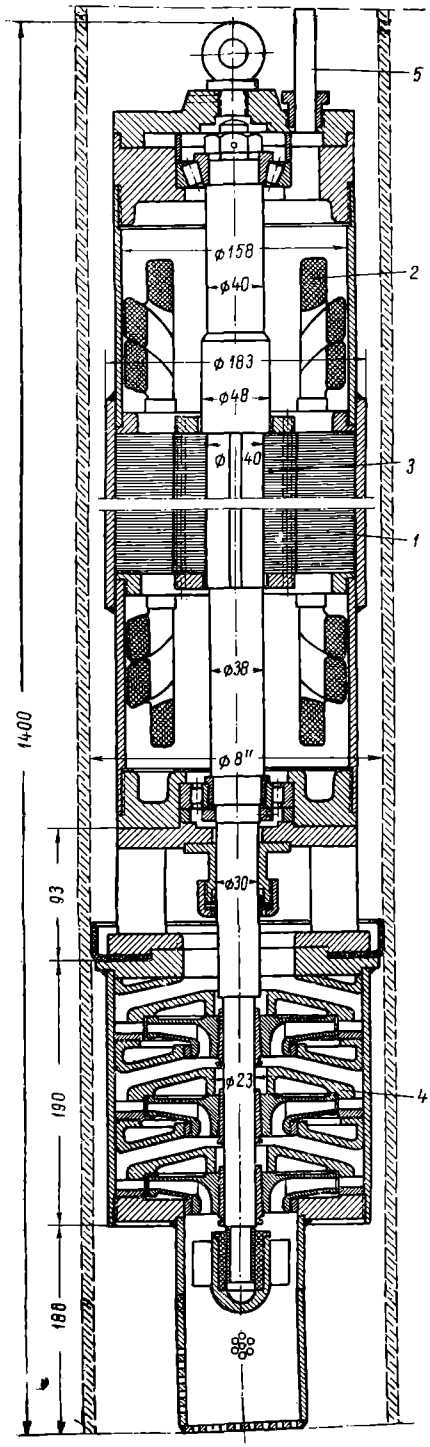



Рис. 1. Разрез погружного мотор-насоса:

*1* — статор электродвигателя, *2* — обмотка статора, *3* — короткозамкнутый ротор, *4* — насос, *5* — кабель, питающий электродвигатель

насосом и скважиной, что увеличивало бы поперечный размер мотор-насоса.

5. Заполнение веретенным маслом самого электродвигателя благоприятно сказывается на работе его подшипников. Необходимо отметить, что при испытании электродвигателей погружных мотор-насосов не была обнаружена заметная утечка масла в воду. На поверхности перекачиваемой воды наблюдались лишь незначительные масляные пятна.

6. Статор электродвигателя облегчен — статорное железо открыто (рис. 1) и укреплено к ребрам, приваренным к лобовым частям моторной части. Это обстоятельство благоприятно отражается на охлаждении двигателя, уменьшает его вес и упрощает его изготовление.

Предлагаемые мотор-насосы отличаются от более мощных мотор-насосов [1], изготовленных теми же монтажно-механическими мастерскими, тем, что электродвигатель последних располагается ниже насосной части и не заполнен веретенным маслом.

Электродвигатели погружных мотор-насосов № 7 и 9 испытывались на стенде непосредственной нагрузкой путем перекачивания воды мотор-насосом и по методу холостого хода и короткого замыкания для построения круговой диаграммы.

Цель испытания заключалась в снятии рабочих характеристик электродвигателей и в установлении их номинальных параметров.

Данные из круговых диаграмм обоих электродвигателей сведены табл. 1 и 2. На основании данных табл. 1 построены рабочие характеристики и кривые $n_2 = f(M)$ и $n_2 = f(I)$ электродвигателя мотор-насоса № 7, которые представлены на рис. 2 и 3. Для электродвигателя мотор-насоса № 9 подобные кривые не построены, т. к. они мало чем отличаются от приведенных. Кроме того, в табл. 3

[1] Производительность насоса $Q = 100$ *м³/час*, напор $H = 100$ *м*, мощность электродвигателя, потребляемая из сети, $P = 45{,}5$ *квт*.

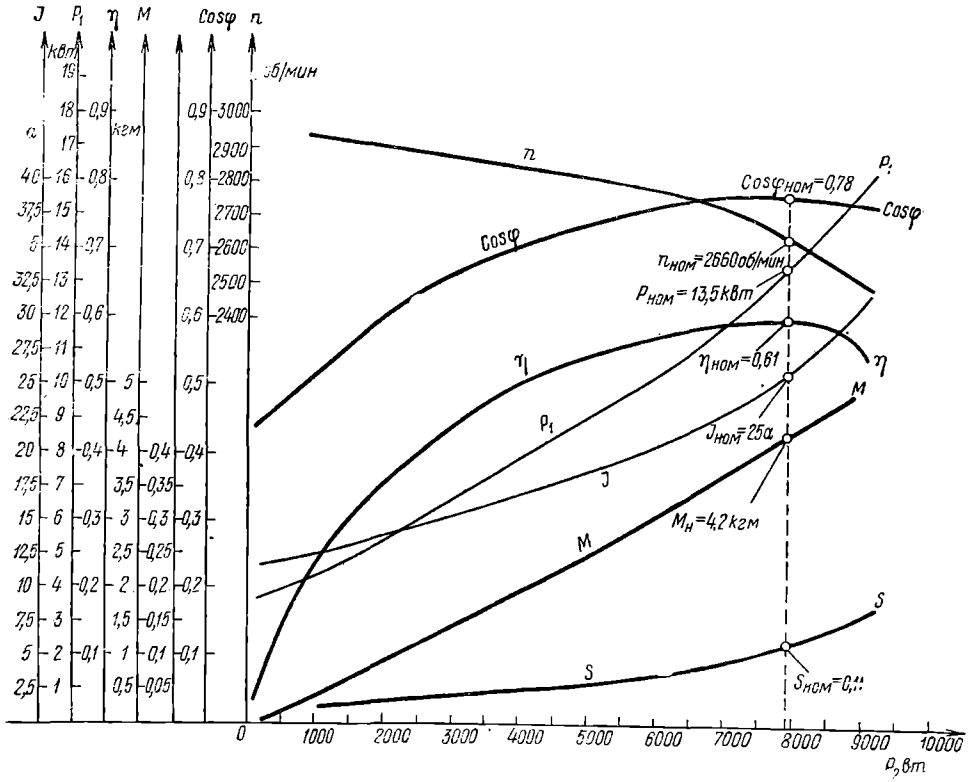



Рис. 2. Рабочие характеристики двигателя погружного мотор-насоса № 7

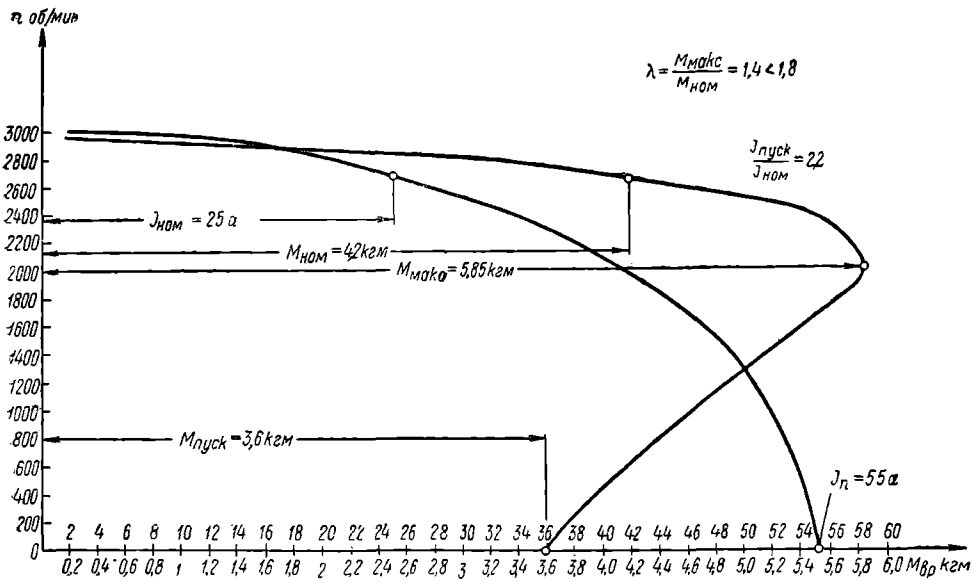



**Рис. 3. Кривые $n_2 = f(M)$ и $n_2 = f(I_1)$ электродвигателя погружного мотор-насоса № 7**

Таблица 1

| $I_1$ | $P_1$ | $P_2$ | $\eta_{дв} = \frac{P_2}{P_1}$ | $M$ | $\cos\varphi$ | $S$ | $n_2 = n_1 (1 - S)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 3 700 | 0 | 0 | 0 | 0,44 | — | — |
| 13 | 4 740 | 1 315 | 0,280 | 0,60 | 0,55 | 0,03 | 2 910 |
| 15 | 6 300 | 2 630 | 0,420 | 1,31 | 0,65 | 0,04 | 2 890 |
| 17 | 8 000 | 4 075 | 0,510 | 2,00 | 0,71 | 0,05 | 2 850 |
| 20 | 10 100 | 5 800 | 0,570 | 3,00 | 0,77 | 0,07 | 2 800 |
| 23 | 11 800 | 6 825 | 0,580 | 3,62 | 0,78 | 0,09 | 2 730 |
| 26 | 13 500 | 7 900 | 0,610 | 4,25 | 0,78 | 0,12 | 2 640 |
| 29 | 15 000 | 8 550 | 0,570 | 4,80 | 0,78 | 0,15 | 2 550 |
| 32 | 16 300 | 9 060 | 0,556 | 5,20 | 0,77 | 0,17 | 2 500 |
| 35 | 17 600 | 9 200 | 0,523 | 5,50 | 0,76 | 0,21 | 2 400 |
| 38 | 18 530 | 9 060 | 0,490 | 5,70 | 0,73 | 0,25 | 2 250 |
| 42 | 19 600 | 8 350 | 0,426 | 5,83 | 0,70 | 0,32 | 2 050 |
| 46 | 20 100 | 6 900 | 0,343 | 5,64 | 0,66 | 0,41 | 1 770 |
| 49 | 20 100 | 5 400 | 0,270 | 5,20 | 0,62 | 0,52 | 1 440 |
| 52 | 19 600 | 2 960 | 0,150 | 4,52 | 0,56 | 0,70 | 900 |
| 55 | 18 400 | 0 | 0 | 3,60 | 0,50 | 1,00 | 0 |

Таблица 2

| $I_1$ | $P_1$ | $P_2$ | $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ | $\cos\varphi$ | $S$ | $M$ | $n_2 = n_1 (1 - S)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 4 100 | — | — | 0,430 | — | 0 | — |
| 15 | 4 850 | 920 | 0,190 | 0,500 | 0,02 | 0,50 | 2 940 |
| 17 | 6 820 | 2 820 | 0,415 | 0,620 | 0,04 | 1,44 | 2 900 |
| 19 | 8 520 | 4 200 | 0,494 | 0,680 | 0,05 | 2,13 | 2 850 |
| 21 | 9 840 | 5 250 | 0,534 | 0,720 | 0,06 | 2,75 | 2 800 |
| 23 | 11 250 | 6 300 | 0,560 | 0,750 | 0,08 | 3,30 | 2 760 |
| 25 | 12 450 | 7 220 | 0,580 | 0,770 | 0,09 | 3,82 | 2 730 |
| 27 | 13 630 | 8 000 | 0,590 | 0,780 | 0,10 | 4,32 | 2 700 |
| 29 | 14 700 | 8 650 | 0,590 | 0,790 | 0,11 | 4,70 | 2 680 |
| 32 | 16 400 | 9 450 | 0,576 | 0,790 | 0,13 | 5,25 | 2 610 |
| 38 | 19 150 | 10 500 | 0,550 | 0,776 | 0,18 | 6,20 | 2 460 |
| 42 | 20 830 | 10 450 | 0,500 | 0,760 | 0,23 | 6,58 | 2 310 |
| 46 | 22 200 | 10 220 | 0,460 | 0,740 | 0,28 | 6,85 | 2 160 |
| 50 | 23 100 | 9 460 | 0,410 | 0,710 | 0,34 | 6,90 | 1 980 |
| 54 | 23 800 | 8 140 | 0,340 | 0,675 | 0,42 | 6,70 | 1 740 |
| 59 | 23 900 | 5 570 | 0,230 | 0,620 | 0,57 | 6,10 | 1 300 |
| 62 | 23 400 | 2 820 | 0,120 | 0,575 | 0,75 | 5,32 | 750 |
| 65 | 22 430 | 0 | 0 | 0,534 | 1 | 4,45 | 0 |

для сравнения представлены данные непосредственной нагрузки мотор-насоса № 7; причем данные из круговой диаграммы (табл. 1) и данные непосредственной нагрузки в основном совпадают. Некоторое расхождение между ними обусловлено погрешностями, характеризующими два указанных метода испытания.

На основании испытаний электродвигателей погружных мотор-насосов можно сделать следующее заключение.

1. Номинальная мощность, потребляемая электродвигателями из сети, выше проектной, что объясняется пониженным к. п. д. двигателей. Номинальная мощность электродвигателя мотор-насоса № 7, например,

Таблица 3

| $P_1$ | $I_1$ | $U$ | $\cos\varphi$ | $H$ | $Q_c$ | $N=\frac{HQ}{102}$ | $\eta_{общ}=\frac{N}{P_1}$ | $\eta_{нас}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 700 | 14 | 380 | — | — | — | — | — | |
| 10 000 | 21 | 380 | 0,725 | 60 | 5,13 | 3,00 | 0,300 | |
| 10 400 | 21,5 | 380 | 0,735 | 57,5 | 6,00 | 3,38 | 0,325 | |
| 10 800 | 22 | 380 | 0,745 | 55 | 6,81 | 3,67 | 0,340 | |
| 11 300 | 23 | 380 | 0,745 | 52,5 | 7,35 | 3,77 | 0,333 | |
| 11 600 | 23,5 | 380 | 0,750 | 50 | 7,85 | 3,85 | 0,331 | — |
| 11 900 | 24 | 380 | 0,755 | 47,5 | 8,52 | 3,97 | 0,333 | 0,55 |
| 12 150 | 24,5 | 380 | 0,755 | 42,5 | 9,40 | 3,92 | 0,322 | |
| 12 300 | 25 | 380 | 0,750 | 40 | 9,47 | 3,72 | 0,305 | |
| 12 450 | 25 | 380 | 0,756 | 37,5 | 10,20 | 3,75 | 0,300 | |
| 12 550 | 25,5 | 380 | 0,745 | 35 | 10,80 | 3,71 | 0,296 | |
| 12 700 | 26 | 380 | 0,745 | 32,5 | 11,10 | 3,54 | 0,280 | |
| 12 800 | 26 | 380 | 0,750 | 30 | — | — | — | |
| 12 850 | 26 | 380 | 0,755 | 27,5 | 11,73 | 3,17 | 0,247 | |
| 12 950 | 26 | 380 | 0,760 | 22,5 | 12,40 | 2,74 | 0,212 | — |
| 13 100 | 26,5 | 380 | 0,752 | 20 | 12,60 | 2,47 | 0,1885 | |
| 13 200 | 26,5 | 380 | 0,756 | 10 | 13,85 | 1,36 | 0,103 | |

составляет $P'_{1н}=13{,}5$ *квт*, а мотор-насоса № 9 — $P''_{1н}=14$ *квт*, в то время как проектная мощность их $P_{1н}=11$ *квт*.

2. Номинальный ток электродвигателя мотор-насоса № 7 составляет $I'_н=25$ *а*, а мотор-насоса № 9 — $I''_н=27$ *а*; пусковой ток, соответственно, $I'_п=55$ *а* и $I''_п=65$ *а*, поэтому кратность пускового тока для электродвигателя мотор-насоса № 7 составит $\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}=2{,}2$, а для электродвигателя мотор-насоса № 9 — $\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}=2{,}4$, т. е. у обоих электродвигателей вполне приемлемая, что обусловлено большим активным сопротивлением обмотки ротора.

3. Номинальные обороты электродвигателя мотор-насоса № 7 $n'=2660$ об/мин., электродвигателя мотор-насоса № 9 $n''=2700$ об/мин. Обороты являются заниженными по сравнению с проектными ($n=2900$ об/мин.), что объясняется повышенным активным сопротивлением обмотки ротора (номинальное скольжение завышено — $S_н=0{,}11\div 0{,}1$).

4. Перегрузочная способность обоих электродвигателей несколько недостаточна, для мотор-насоса № 7 она составляет $\frac{M_{макс}}{M_{ном}}=\frac{5{,}85}{4{,}2}=1{,}4$, а для мотор-насоса № 9 — 1,6, что объясняется значительной индуктивностью обмотки ротора.

5. Ток холостого хода электродвигателя мотор-насоса № 7 $I'_0=12$ *а*, т. е. 48% от номинального тока, а электродвигателя № 9 — $I''_0=14$ *а*, т. е. 52% от номинального тока. Несколько больший ток холостого хода второго электродвигателя по сравнению с первым объясняется, повидимому, худшей приработкой всех его деталей, так как во всем остальном оба двигателя вполне идентичны. Вообще же ток холостого хода этих электродвигателей небольшой и, примерно, соответствует их мощности.

6. Номинальный к. п. д. двигателей равен 0,6, — ниже его значения для электродвигателей подобной мощности. Это объясняется повышенными потерями в обмотке ротора и в железе статора (недостаточно

тщательное изготовление, сборка и изоляция железа статора). Коэфициент мощности холостого хода равен $\cos\varphi_0 = 0{,}44$, т. е. является завышенным, что вызвано повышенным активным сопротивлением обмотки ротора двигателя и возможно еще недостаточной приработкой его частей.

7. Номинальный коэфициент мощности для обоих электродвигателей $\cos\varphi_н = 0{,}78$, т. е. почти не отличается от значений его для электродвигателей подобной мощности. Тем не менее улучшить его можно еще за счет уменьшения индуктивности обмотки ротора при одновременном улучшении качества сборки и изготовления железа статора.

## Выводы

Как показали испытания электродвигателей погружных мотор-насосов № 7 и 9, электрическая часть их сконструирована в общем правильно. Имеющиеся недостатки могут быть сравнительно просто ликвидированы, так как они не носят принципиального характера и представляют собой обычное явление процесса освоения любой новой конструкции. Для увеличения к. п. д. электродвигателей необходимо уменьшить приблизительно на 30% активное сопротивление обмотки ротора, а также более тщательно собрать и изолировать, и, быть может, отшлифовать железо статора.

Уменьшение активного сопротивления обмотки ротора благоприятно отразится также на повышении оборотов двигателя.

С целью увеличения перегрузочной способности электродвигателя за счет увеличения опрокидного (максимального) вращающего момента необходимо, примерно, на 30% увеличить воздушный зазор. Это не должно увеличивать ток холостого хода, так как должны быть повышены тщательность и качество изготовления, сборки и изоляции железа статора.

Таким образом, имея в виду конструктивные особенности погружных мотор-насосов, а также результаты испытания их на стенде с учетом сделанных выше замечаний, предлагаемые погружные мотор-насосы следует признать заслуживающими внимания. Фаза их промышленного испытания непосредственно в производственных условиях окончательно подскажет те изменения, которые необходимо будет еще внести.

## *ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ*

$I_1$ — сила тока обмотки статора, *а*.
$P_1$ — мощность, потребляемая двигателем из сети, *вт*.
$P_2$ — мощность на валу двигателя, *вт*.
$\eta$ — к. п. д. двигателя.
$\eta_{м-н}$ — к. п. д. мотор-насоса.
$\eta_{нас}$ — к. п. д. насоса.
$\cos\varphi$ — коэфициент мощности двигателя.
$S$ — скольжение двигателя.
$M$ — вращающий момент на валу двигателя, *кгм*.
$n_2$ — асинхронные обороты двигателя.
$n_1$ — синхронные обороты двигателя.
$U$ — напряжение на зажимах двигателя, *в*.
$H$ — напор насоса, *м*.
$Q_с$ — производительность насоса, *л/сек*.
$N$ — мощность на валу насоса, *квт*.