Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института, том XXVI, вып. I, 1952 г.

ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ВЛАГОСТОЙКОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ПОГРУЖНОГО ДВИГАТЕЛЬ-НАСОСА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ $Q = 100$ *м*³/*час* ПРИ НАПОРЕ $H = 100$ *м*

Канд. техн. наук Л. Ф. Шклярский

Настоящая работа выполнена в 1950 г. в порядке содружества кафедры горной электротехники Ленинградского горного института с одним из угольных трестов. Испытывался электродвигатель погружного двигатель-насоса, предназначенного для откачки воды из скважин в условиях Ленинградского угольного месторождения.

Как насос, так и электродвигатель при работе полностью погружены в воду, что существенно отличает конструкцию данного двигатель-насоса от всех существующих, в которых электродвигатель устанавливается наверху в устье скважины и соединяется с погруженным в воду насосом с помощью длинного вала (двигатель-насосы типа АТН и др.). Электродвигатель выполнен с влагостойкой изоляцией открытого типа без герметической оболочки.

На рис. 1 в двух проекциях представлен электродвигатель погружного двигатель-насоса без насосной части: *1* — статор двигателя; *2* — обмотка статора с влагостойкой изоляцией; *3* — короткозамкнутый ротор; *4* — опорная пята (во время работы в скважине электродвигатель и насос расположены вертикально); *5* — кабель, питающий электродвигатель. Высота электродвигателя 1280 *мм*, ширина (диаметр) 278 *мм*. Общий вес погружного двигатель-насоса (с насосной частью) $\simeq 357$ *кг*. Как электрическая, так и механическая части установки изготовлены монтажно-механическими мастерскими треста.

Проектные данные установки при соединении обмотки статора электродвигателя треугольником следующие: двигатель асинхронный трехфазный с короткозамкнутым ротором; номинальная мощность, потребляемая двигателем из сети, $P_{ном} = 45{,}5$ *квт*; номинальное напряжение $U_{ном} = 380$ *в*; номинальные обороты $n_{ном} = 2900$ об/мин; номинальная производительность насоса $Q_{ном} = 100$ *м*³ *час*; номинальный напор насоса $H_{ном} = 100$ *м*.

Цель испытания

1. Снятие рабочих характеристик двигателя.
2. Определение номинальных параметров двигателя.
3. Исследование температурного режима двигателя.

Так как непосредственное снятие характеристик электродвигателя, погруженного в воду, представляло в условиях лабораторно-промыш-

ленных испытаний определенные трудности, испытания производились с помощью построения круговой диаграммы на основании режима холостого хода и короткого замыкания.

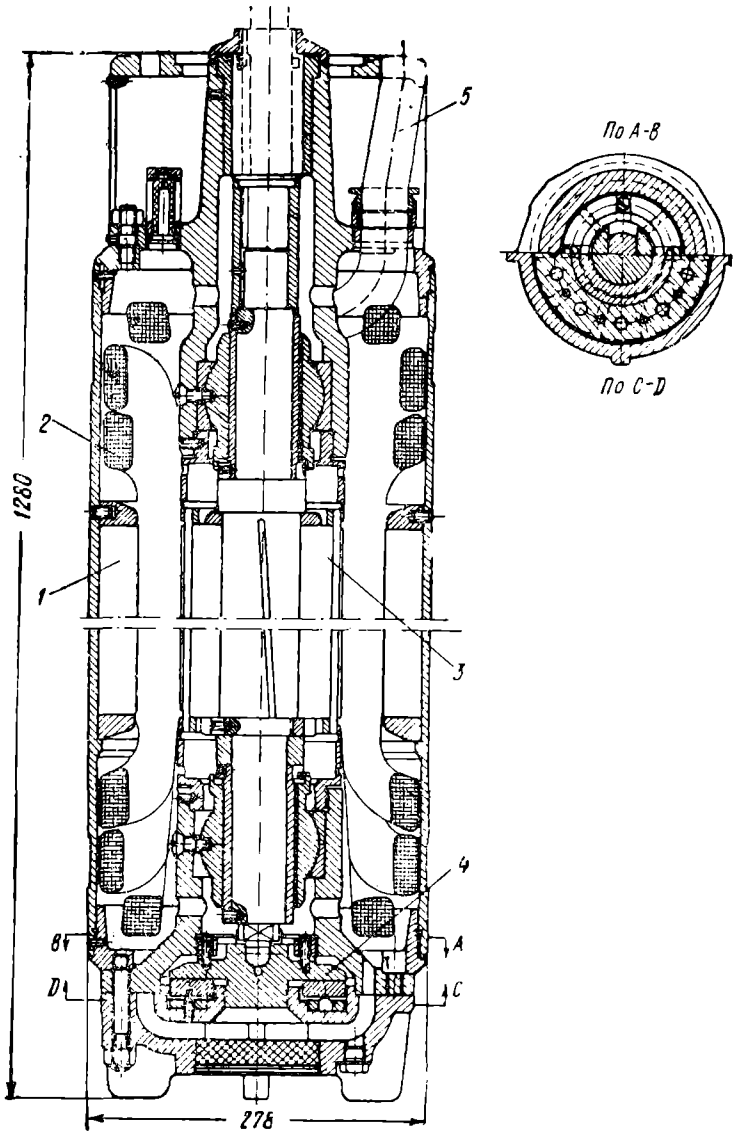


Рис. 1

Испытание производилось на стенде, где вся установка погружалась полностью в воду (температура воды $+12^{\circ}$ С), благодаря чему создавались условия работы, близкие к естественным. Двигатель обтекался водой, перекачиваемой насосом, причем вся вода протекала

как по пазам железа статора, омывая проводники обмотки последнего, так и в междужелезном пространстве, создавая благоприятные условия охлаждения двигателя. Ниже приводятся данные испытания.

I. Рабочие характеристики двигателя

1. Режим холостого хода

Схема соединения представлена на рис. 2.
Данные опыта холостого хода сведены в табл. 1.

Таблица 1

W_1	W_2	$P_1 = W_1 - W_2$	I_1	U_1	$\cos\varphi$
15 000	8500	6500	60	370	0,17

Принятые обозначения:
W_1 и W_2 — показания ваттметров, *вт*;
P_1 — мощность, потребляемая двигателем из сети, *вт*;
I_1 — сила тока двигателя, *а*;
U_1 — напряжение на зажимах двигателя, *в*;
$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}\, I_1 U_1}$ — коэффициент мощности двигателя.

2. Режим короткого замыкания

Схема соединения представлена на рис. 3. Для понижения напряжения двигателя были использованы индукционные катушки (с железными сердечниками), обозначенные на схеме рис. 3 K_{L_1}, K_{L_2}, K_{L_3}.
Данные опыта короткого замыкания сведены в табл. 2.

Таблица 2

W_1	W_2	$P'_к = W_1 + W_2$	$I'_к$	$U'_к$	$\cos\varphi_к$	$I_к$	$U_{ном}$
8830	1500	10 330	100	115	0,52	330	380

Принятые обозначения:
W_1 и W_2 — показания ваттметров, *вт*;
$U'_к$ — напряжение короткого замыкания, *в*;
$I'_к$ — ток короткого замыкания, соответствующий напряжению $U'_к$, *а*;
$P'_к$ — мощность, потребляемая двигателем при напряжении $U'_к$, *вт*;
$\cos\varphi_к = \frac{P'_к}{\sqrt{3}\, U'_к I'_к}$ — коэффициент мощности;
$I_к = I'_к \frac{U_{ном}}{U'_к}$ — действительный ток короткого замыкания двигателя при номинальном напряжении $U_{ном} = 380$ *в*.

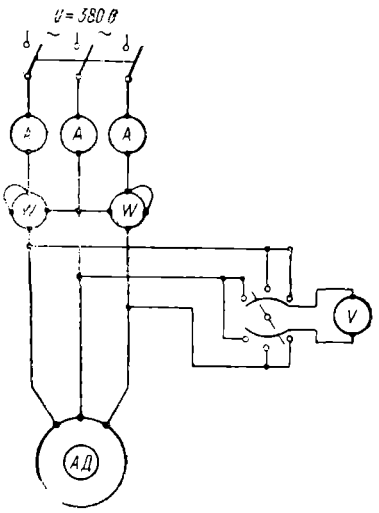


Рис. 2

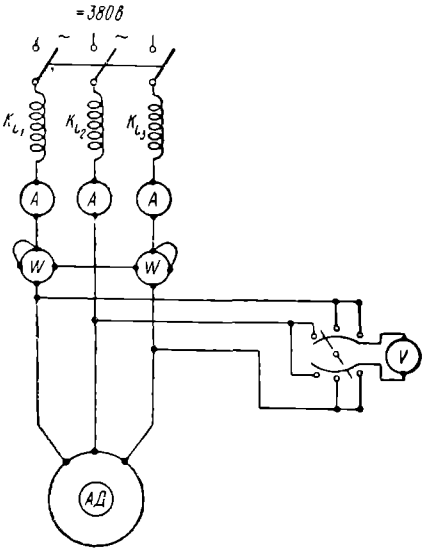


Рис. 3

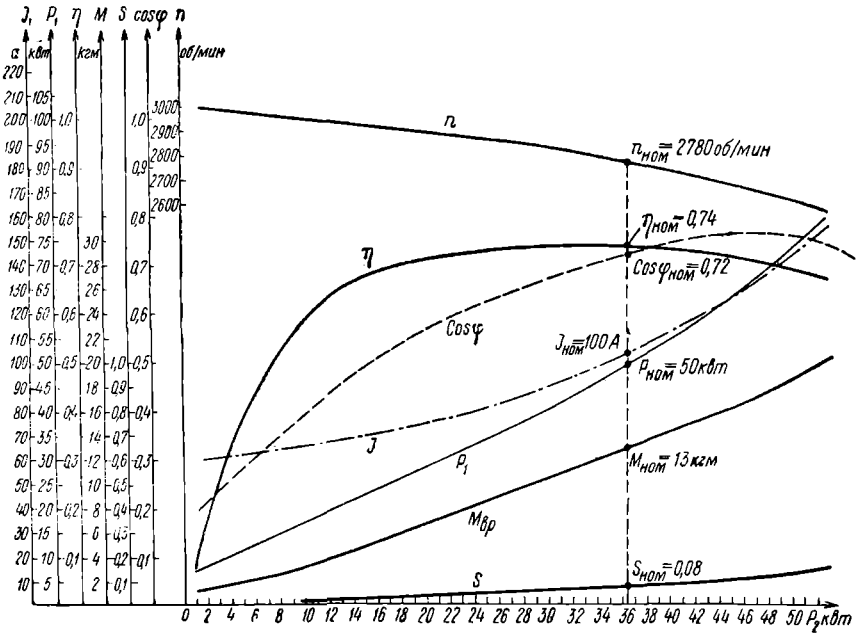


Рис. 4

На основании данных режима холостого хода и короткого замыкания произведено построение круговой диаграммы, для ряда точек, по которой определены основные параметры двигателя, сведенные в табл. 3.

Таблица 3

I_1	P_2	P_1	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$	M	S	$\cos\varphi$	$n_2 = n_1(1-s)$
60	0	6 700	0	—	—	0,17	—
66	10 500	17 700	0,59	3,40	0,02	0,40	2 940
72	17 700	25 700	0,69	5,95	0,04	0,53	2 880
85	27 000	36 700	0,74	9,16	0,05	0,64	2 850
104	36 800	50 000	0,74	13,00	0,08	0,72	2 760
120	43 400	59 200	0,73	15,50	0,10	0,75	2 700
135	47 800	68 300	0,70	17,65	0,12	0,76	2 640
155	52 500	79 000	0,67	20,2	0,15	0,77	2 550
180	55 800	91 000	0,615	22,6	0,19	0,75	2 530
200	56 600	100 000	0,57	24,2	0,23	0,74	2 310
220	55 800	106 500	0,526	25,0	0,27	0,72	2 200
240	52 000	112 000	0,463	25,5	0,33	0,70	2 000
260	46 000	117 000	0,39	25,0	0,40	0,67	1 800
280	37 400	119 000	0,314	24,0	0,50	0,62	1 500
300	28 000	119 000	0,235	22,6	0,60	0,59	1 200
315	15 800	118 000	0,135	20,5	0,75	0,56	750
330	0	114 000	0	17,5	1,00	0,52	0

По данным табл. 3 построены характеристики двигателя (рис. 4 и 5). Необходимо заметить, что данные, полученные в последующем

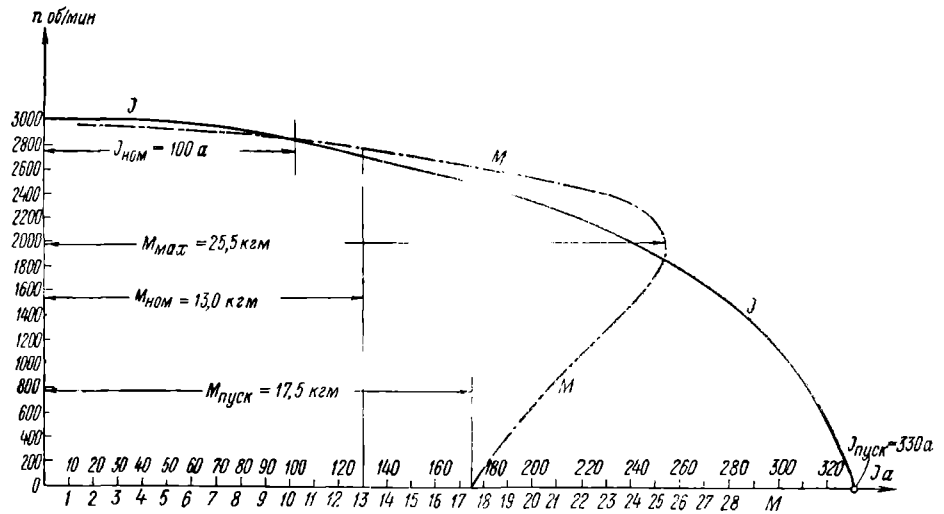


Рис. 5.

непосредственной нагрузкой двигателя, в основном совпадают с данными, полученными из круговой диаграммы (показателями являлись обороты двигателя, сила тока и потребляемая мощность).

Обозначения, принятые в табл. 3:

I_1 — сила тока, потребляемая двигателем, *а*;

P_2 — мощность на валу двигателя, *вт*;

P_1 — мощность, потребляемая двигателем из сети, *вт*;

η — к. п. д. двигателя;

M — вращающий момент, *кгм*;
s — скольжение;
$\cos\varphi$ — коэффициент мощности;
n_2 — асинхронные обороты двигателя в 1 мин.
n_1 — синхронные обороты в 1 мин.

Таким образом, на основании испытания электродвигателя погружного двигатель-насоса можно вывести следующее заключение (табл. 3, рис. 4 и 5):

1. Номинальная мощность, потребляемая двигателем из сети, составляет приблизительно 50 *квт*, что немногим отличается от проектной (45,5 *квт*).

2. Номинальный ток двигателя $I_{ном} = 100$ *а*, а пусковой $I_{пуск} = 330$ *а*; следовательно, кратность пускового тока составляет $\frac{I_{пуск}}{I_{ном}} = 3{,}3$, что является вполне приемлемым.

3. Скольжение, соответствующее номинальной мощности, составляет $s_{ном} = 0{,}08$, что обусловливает несколько пониженные номинальные обороты $n_{ном} = 2800 \div 2780$ об/мин (при проверке непосредственной нагрузкой двигателя оказалось, что $I_{ном} = 100$ *а*, $Q = 110$ *м³/час*, $n_{ном} = 2820 \div 2830$ об/мин). Как видно, данный двигатель представляет собой двигатель с повышенным скольжением (для большинства нормальных асинхронных короткозамкнутых двигателей $s_{ном} = 0{,}03 \div 0{,}04$).

4. Номинальный вращающий момент $M_{ном} = 13$ *кгм*, пусковой $M_{пуск} = 17{,}5$ *кгм*, т. е. $\frac{M_{пуск}}{M_{ном}} = 1{,}35 > 1$, что обусловливает нормальный пуск установки.

Опрокидывающий (максимальный) момент $M_{опр} = 25{,}5$ *кгм*; следовательно, перегрузочная способность двигателя $\lambda = \frac{M_{опр}}{M_{ном}} = 1{,}95 \cong 2$, что является вполне достаточным.

5. Ток холостого хода I_0 составляет 60 *а*, т. е. равен 60% от номинального, в то время как для большинства нормальных асинхронных короткозамкнутых двигателей данной мощности он не превосходит $40 \div 50\%$ от номинального. Несколько повышенный ток холостого хода обусловлен значительным зазором между листами железа статора и ротора, а также недостаточно тщательно выполненной сборкой железа статора и, по всей вероятности, недостаточной приработкой всех вращающихся частей установки.

6. Номинальный к. п. д. двигателя $\eta_{ном} = 0{,}74$, т. е. несколько занижен по сравнению с значением к. п. д. двигателей подобной мощности, для которых $\eta_{ном} \cong 0{,}9$. Последнее обстоятельство, как указано выше, обусловлено повышенным скольжением двигателя и увеличенными железными потерями (повышенный магнитный поток двигателя).

7 Номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi_{ном} = 0{,}72$. Обычно при некоторой перегрузке асинхронных двигателей $\cos\varphi$ имеет тенденцию к возрастанию, что наблюдается и в данном случае при $P = 80$ *квт*, $\cos\varphi_{макс} = 0{,}77$

Несколько пониженный $\cos\varphi_{ном} = 0{,}72$ по сравнению с $\cos\varphi = 0{,}85 \div 0{,}88$ для нормальных асинхронных короткозамкнутых двигателей объясняется, как указывалось выше, значительным током холостого хода и повышенной индуктивностью обмотки ротора.

II. Исследование температурного режима

В связи с тем, что плотность тока в обмотке статора составляет 10 $а/мм^2$ ($I_{ном} = 100$ $а$, $q = 10$ $мм^2$), что выше допускаемой по нормам для обычных условий охлаждения в воздушной среде двигателя с обычной невлагостойкой изоляцией, представилось необходимым исследовать температурный режим данного двигателя, работающего не в воздушной среде, а в проточной воде.

Определение температуры обмотки статора двигателя производилось косвенным методом, на основании измерения постоянным током сопротивления обмотки перед работой двигателя и после полуторачасовой его работы под нагрузкой (принципиальная схема представлена на рис. 6).

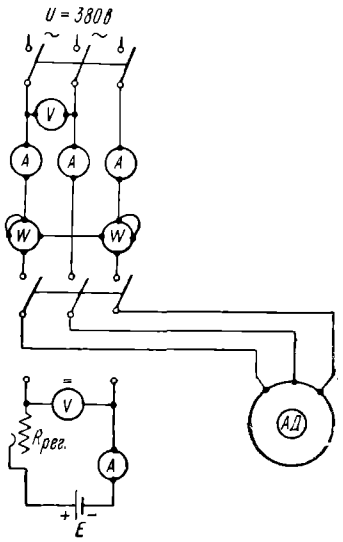


Рис. 6

1. Двигатель в холодном состоянии

Показания приборов сведены в табл. 4.

Таблица 4

I а	U в	$R_1' = \frac{U}{I}$ ом
4,3	0,4	0,093

Так как обмотка статора двигателя соединена треугольником, то сопротивление одной фазы обмотки статора R_1 равно:

$$R_1 = \frac{3}{2} R_1' = \frac{3}{2} \quad 0{,}093 \approx 0{,}139 \text{ ом}.$$

2. Двигатель в нагретом состоянии (после полуторачасовой работы при номинальной нагрузке)

Показания приборов сведены в табл. 5.

Таблица 5

I а	U в	$R_2' = \frac{U}{I}$ ом
4,3	0,475	0,11

Сопротивление одной фазы:

$$R_2 = \frac{3}{2} R_2' = \frac{3}{2} 0{,}11 \approx 0{,}165 \text{ ом}.$$

Увеличение сопротивления за это время составляет:

$$\Delta R = R_2 - R_1 = 0{,}165 - 0{,}139 = 0{,}026 \text{ ом}.$$

Увеличение температуры обмотки (температура воды $t^\circ_{воды} + 12^\circ$ С) определяется из выражения:

$$\Delta t^\circ = \frac{\Delta R}{R_1} (234{,}5 + t^\circ_{воды}) = \frac{0{,}026}{0{,}165} (234{,}5 + 12) \approx 40^\circ$$

Таким образом, температура обмотки будет:

$$t^\circ_{обм} = \Delta t^\circ + t^\circ_{воды} = 40 + 12 = +52^\circ \text{ С}.$$

Таким образом, за полтора часа работы двигателя при номинальной нагрузке ($I_{ном} = 100$ *а*) температура обмотки статора оказалась вполне допустимой и тенденции к дальнейшему повышению при более продолжительной работе двигателя не обнаруживала. По данным испытания предлагаемая изоляция сохраняет свою механическую прочность в воде до 100° С, поэтому никакого нарушения изоляции при номинальной нагрузке ожидать не приходится. Испытывавшийся двигатель находился в воде при температуре + 12° С. В производственных условиях температура воды в скважине еще ниже, порядка + 5 ÷ 6° С. Следовательно, при данной повышенной плотности тока в обмотке статора перегрева ее ожидать тем более не приходится. Условия охлаждения двигателя можно считать вполне приемлемыми.

Выводы

Электродвигатель погружного двигатель-насоса с влагостойкой изоляцией для работы в жидкой среде (вода, масло) представляет значительный интерес как с точки зрения новизны идеи, так и удачного практического решения проблемы откачки воды из скважин.

Электродвигатель не только не боится влаги, а наоборот, циркулирующая по самому двигателю жидкость является хорошей охлаждающей средой, допускающей значительные перегрузки двигателя.

Как показали испытания, электродвигатель обладает достаточной перегрузочной способностью ($\lambda \cong 2$) и небольшим пусковым током ($I_{пуск} = 3{,}3 I_{ном}$).

Несколько пониженные значения номинальных к. п. д., коэффициента мощности, числа оборотов, а также несколько повышенное значение тока холостого хода объясняются стадией освоения создания конструкции нового механизма. В дальнейшем при серийном производстве погружных двигатель-насосов желательно было бы уменьшить активное сопротивление обмотки ротора на $\sim 40\%$, в результате чего номинальные обороты возросли бы до 2900 об/мин против ~ 2800 об мин в настоящей конструкции. Соответственно возрос бы и к. п. д. двигателя.

Ток холостого хода можно снизить с 60% от номинального до $40 \div 50\%$ путем более тщательной обработки и сборки всех вращающихся деталей, железа статора, а также более тщательной изоляции железных листов статора.

В заключение необходимо отметить, что приведенные критические замечания не снижают указанных положительных сторон электродвигателя с влагостойкой изоляцией при работе его в проточной воде.

Обслуживание данного двигателя во время эксплуатации при эффективной электрической его защите сводится к минимуму. Принятая изоляция влагостойка и дешева.

Область применения погружных двигатель-насосов в горной практике весьма широка: откачка воды из скважин, перекачной водоотлив, откачка воды из затопленных выработок и пр.

Погружные двигатель-насосы являются удачно сконструированным агрегатом, а их электродвигатель после ряда незначительных усовершенствований будет отвечать своему назначению.

Поступило 10. V. 1951 г.