



УДК 621.313

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ НЕФТЕДОБЫЧЕ

INVESTIGATION OF THE ENERGY PERFORMANCE OF BRUSHLESS ELECTRIC MOTORS IN OIL PRODUCTION

Иванова Татьяна Николаевна

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры Бурения нефтяных и газовых скважин,
Удмуртский государственный университет
nf-itn@udsu.ru

Ковалев Дмитрий Юрьевич

аспирант,
Удмуртский государственный университет
главный инженер,
ООО «РИМЕРА-сервис»

Аннотация. Вентильные электродвигатели наиболее энергоэффективны за счет пусковых характеристик, наличия постоянных магнитов на роторе и специальной схемы подачи питающего напряжения на обмотке статора. Проведены исследования технических и энергетических показателей после ремонта погружных синхронных односекционных вентильных. Из экспериментальных данных следует, что технические и энергетические показатели отремонтированного двигателя ВЭДТ1-32-177М-3000Э соответствуют заявленным в ТУ 27.11.2-107-20340362-2020 и годны к внедрению на скважины.

Ключевые слова: вентильные двигатели, мощность, статор, ротор, магниты.

Ivanova Tatyana Nikolaevna

Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor, Professor
of the Department of Oil
and Gas Well Drilling
Udmurt State University
nf-itn@udsu.ru

Kovalev Dmitry Yuryevich

Postgraduate student,
Udmurt State University,
Chief Engineer,
RIMERA-service LLC

Annotation. Valve motors are the most energy efficient due to starting characteristics, the presence of permanent magnets on the rotor and a special scheme for supplying voltage to the stator winding. Researches of technical and power indicators after repair of submersible synchronous one-section valve are carried out. It follows from the experimental data that the technical and energy indicators of the repaired VEDT1-32-177M-3000E engine correspond to those stated in TU 27.11.2-107-20340362-2020 and are suitable for implementation in wells.

Keywords: brushless motors, power, stator, rotor, magnets.

Вентильные электродвигатели погружные синхронные односекционные с диаметром корпуса 117 мм, длиной 2,8 м (рис. 1) предназначены для эксплуатации в качестве привода погружных центробежных насосов и откачки пластовой жидкости (смеси нефти, пластовой воды, попутного газа) из нефтяных скважин, имеющих угол отклонения по вертикали не более 60 градусов и внутренним диаметром обсадных труб не менее 123,7 мм. Управление двигателем осуществляется от станции управления с трехпроводной линией питания. Номинальная частота ВЭД $f = 1000$ Гц, частота вращения вала $n = 3000$ об/мин, число пар полюсов $p = 2$. Рабочее направление вращения вала со стороны головки, как правило, по часовой стрелке. Вал погружного электродвигателя соединяется через шлицевую муфту с валом гидрозащиты непосредственно при монтаже на скважине. Внутренняя полость двигателя герметична и заполнена диэлектрическим маслом. В головке электродвигателя имеется разъем для электрического и механического соединения с питающим электрическим кабелем. Верхняя часть гидрозащиты состыковывается с погружным насосом. При подаче напряжения по кабелю, вал двигателя приводится во вращение и через шлицевую муфту вращает вал насоса. Статор выполнен из трубы, в которой запрессован магнитопровод, изготовленный из листовой электротехнической стали (рис. 1, б). В пазы статора установлена пазовая гильза из фторопластовой трубки и уложена протяжная трехфазная обмотка из специального обмоточного провода (рис. 1, в). Фазы обмотки соединены в звезду. Внутри статора размещается ротор, состоящий из взаимно ориентированных наборных магнитных пакетов из 28 шт., выполненных из редкоземельных металлов самарий-кобальт. Между пакетами установлены подшипники из немагнитного чугуна «нирезист» с запрессованными бронзографитовыми втулками, закрепленными стопорными кольцами от проворота в расточке статора. Вал ротора имеет отверстие в центре для циркуляции масла по длине вала, в нижней части ротора расположен фильтр для очистки масла от механических примесей. Верхняя часть статора соединена с узлами опорного подшипника и токоввода – элемента электрического разъема для подсоединения кабеля, обратными клапанами для закачки масла, гидрозащитой для защиты внутренней полости двигателя от попадания пластовой жидкости, герметичности ЭД и термоиндикатором для контроля перегрева двигателя.

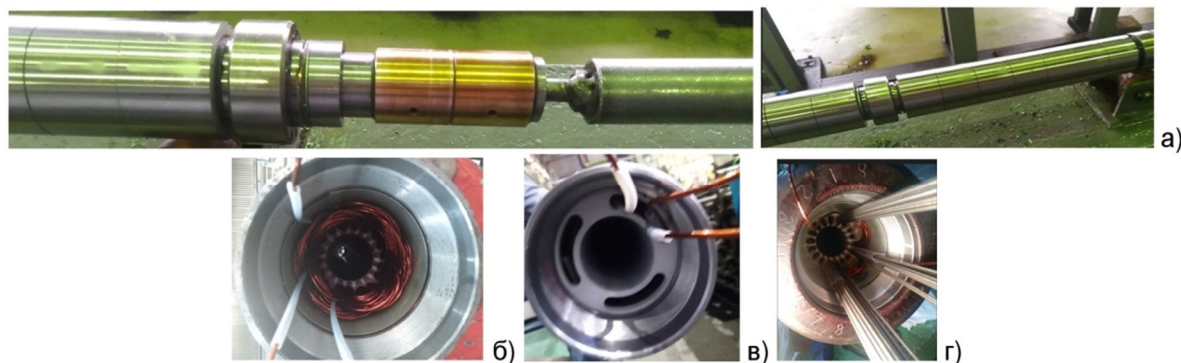


Рисунок 1 – Вентильный погружной односекционный электродвигатель производства ООО «Ремера-Алнас»: а) общий вид; б) статор с запрессованным магнитопроводом; в), г) пазы статора с пазовой гильзой из фторопластовой трубки и протяжной трехфазной обмоткой

Цель исследований: определение технических и энергетических показателей вентильного электродвигателя после ремонта и повышение надежности вентильного привода при эксплуатации в составе погружного центробежного насоса.

Объект испытаний: вентильный электродвигатель ВЭДТ1-32-117М-3000Э производства ООО «Ремера-Алнас» после ремонта ротора, замены кабельных линий и обмотки предприятием ООО «РИМЕРА-Сервис» г. Нижневартовск.

Опытные испытания соответствовали ГОСТ 11828-86, ГОСТ Р 56830-2015, ГОСТ IEC 60034-1-2014, ТУ 27.11.2-107-20340362-2020.

Определение показателей ВЭД после ремонта проводились на стенде СИ ЭППА ООО «ЭПУ-ИТЦ» (рис. 2 [1]), аттестованного ВНИИМС. Двигатель подвешен вертикально, заполнен электроизоляционным маслом МДПН, электроснабжение от вентильной станции управления СИСУ ВД-125А с шести пульсной системой управления через повышающий трансформатор ТМПНГ-125/3 УХЛ1.

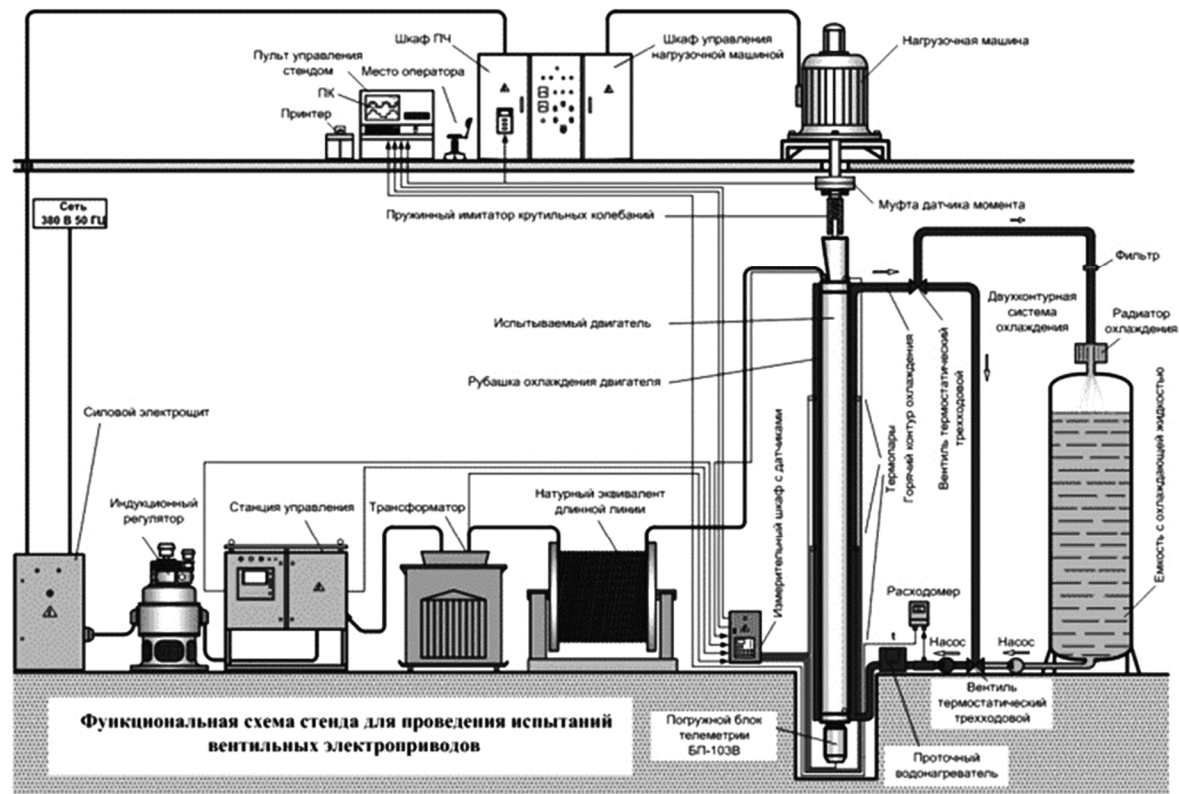


Рисунок 2 – Структурная схема стенда для проведения исследований вентильных электроприводов

Измерение сопротивления изоляции обмотки статора относительно корпуса ЭД проводилось мегомметром MI 3200 при температуре корпуса + 23,6 °С. Сопротивление изоляции обмотки статора относительно корпуса ЭД составило 36312 МОм, что соответствует техническим условиям ТУ 27.11.2-



107-20340362-2020 по показателю > 2000 МОм. Индекс поляризации составил 2,23 при норме в технических условиях > 2,0. Омическое сопротивление обмотки по фазам 2,540/2,551/2,548 Ом – норма.

Сопротивление фаз обмотки статора в холодном состоянии, измеренные микроомметром С.А6250 и приведенные к 20 °С: междофазные сопротивления измеренные непосредственно на клеммах ЭД 1,503/1,506/1,484 Ом; сопротивления фаз на клеммах двигателя 1,325/1,324/1,320 Ом. Сопротивления фаз обмотки статора при постоянном токе в холодном состоянии должно быть в диапазоне 1,283 ± 0,064 Ом. Установлено, чем больше частота вращения, тем выше межфазное ЭДС.

Для определения сопротивления обмотки статора ЭД в нагретом состоянии использовалось устройство УПСО-1, позволяющее измерять сопротивление обмотки в момент остановки двигателя. Сопротивление фаз обмоток статора при постоянном токе в холодном состоянии соответствует диапазону ТУ.

Проведение экспериментов холостого хода состояло из определения характеристик ЭД при работе на холостом ходу в диапазоне частот вращения 1000 – 3500 об/мин. Движение холостого хода проводилось с воздушным естественным охлаждением при величине отпайки трансформатора 1240 В, при этом измерялись: фазное значение напряжения и междофазное напряжение на клеммах двигателя, ток двигателя I_{хх}, потери холостого хода Р_{хх} и S_{хх}. Результаты даны в таблице 1, на рисунке 3.

Таблица 1 – Экспериментальные характеристики ВЭД при работе на холостом ходу

n, об/мин	1000	1500	2000	2500	3000	3500
U _ф , В	225	350	450	580	670	800
U _{мф} , В	390	600	800	1000	1200	1350
I, А	0,55	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
ΣP, Вт	260	480	720	1000	1400	1800
ΣS, ВА	330	570	850	1200	1600	2000
km	0,78	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
Тобм, °С	75	82	83	84	85	86

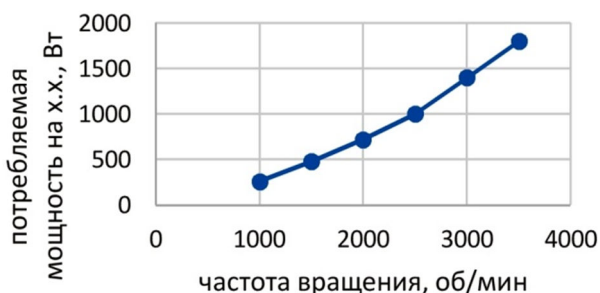


Рисунок 3 – Зависимость потребляемой мощности двигателя на холостом ходу от изменения частоты вращения

Определение рабочих характеристик вентильного двигателя проводилось в нагретом состоянии (температура обмотки ЭД 72–78 °С) в диапазоне нагрузок на валу ЭД от 28–120 % от номинальной мощности, при величине отпайки трансформатора 1420–1600 В. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальные характеристики ВЭДТ1-32-177М-3000Э

Частота вращения ротора двигателя n, об/мин	2990	3000	3002	3016
Крутящий момент на валу двигателя M, Нм	48,5	91,5	96,2	98,7
Активная потребляемая мощность двигателя P ₁ , кВт	31,28	31,688	33,68	34,73
Коэффициент полезного действия КПД	0,866	0,907	0,898	0,905

Измеренные величины U_n, I_n, КПД, km ВЭДТ1-32-177М-3000Э соответствуют заявленным техническим и энергетическим параметрам ТУ 27.11.2-107-20340362-2020 и вентильный двигатель годен к внедрению на скважины.

Опытно-промышленные исследования ВЭД на месторождениях Сибири позволили установить показатели надёжности: средняя наработка на отказ 22000 ч, средний ресурс до капитального ремонта 25000 ч, средний срок службы до списания 5,5 лет.

Список литературы / List of references:

1. <https://lukoil-epu.ru/businesses/sieppa>