

УДК 62-1/-9

**А.В. Ившин, А.В. Терёхин****A.V. Ivshin, A.V. Teryokhin**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Perm National Research Polytechnic University

## **СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОСТУПЕНЧАТЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА БАЗЕ СИНХРОННОГО БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ И СИНХРОННОГО КОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

### **COMPARISON OF THE CHARACTERISTICS OF SINGLE-STAGE CENTRIFUGAL PUMPS BASED ON A SYNCHRONOUS BRUSHLESS MOTOR AND A SYNCHRONOUS COLLECTOR MOTOR**

Целью статьи является изучение характеристик одноступенчатых центробежных насосов на базе синхронного бесколлекторного двигателя и синхронного коллекторного двигателя для последующего сравнительного анализа. Сравнение требуется для демонстрации большей энергоэффективности бесколлекторного мотора в качестве привода насоса. В ходе экспериментов измерялись: напор, объем жидкости, время перекачивания жидкости, электрический ток и напряжение электромоторов. На основе полученных данных были произведены расчеты и получены следующие характеристики: расход, мощность и КПД. С помощью данных характеристик были построены графики, наглядно демонстрирующие полученные результаты и позволяющие провести сравнительный анализ. Полученные данные подтвердили превосходство бесколлекторного мотора в энергоэффективности относительно коллекторного. Результаты данной работы могут быть применены для создания аналогичной полномасштабной установки с целью проведения экспериментов, демонстрирующих преимущества применения бесколлекторных двигателей в качестве привода центробежных насосов.

**Ключевые слова:** бесколлекторный электродвигатель, коллекторный электродвигатель, центробежный насос, магистральные трубопроводы, транспорт жидкости, энергоэффективность, КПД.

The purpose of the article is to study the characteristics of single-stage centrifugal pumps based on a synchronous brushless motor and a synchronous collector motor for the subsequent comparative analysis. The comparison obtained is required to demonstrate the greater energy efficiency of the brushless motor as a pump drive. During the experiments we measured: head, volume of liquid, pumping time, electric current and voltage of electric motors. On the basis of the received data, calculations were made and the following characteristics were obtained: flow rate, power, and efficiency. With the help of these characteristics, graphs were constructed that clearly demonstrate the results obtained and allow for a comparative analysis. The obtained data confirmed the superiority of the brushless motor in energy efficiency with respect to the collector motor. The results of this work can be applied to create a

similar full-scale installation for the purpose of carrying out experiments demonstrating the advantages of using brushless motors as a drive for centrifugal pumps.

**Key words:** brushless electric motor, collector electric motor, centrifugal pump, main pipelines, liquid transport, energy efficiency, efficiency.

## Введение

В современном мире большинство нефтеперекачивающих станций используют в качестве привода центробежного насоса различные типы коллекторных двигателей. Это обусловлено многими факторами, такими как: отлаженная автоматизированная технология производства, низкая стоимость и широкая номенклатура данных двигателей.

Но современный мир не стоит на месте, и с развитием технического прогресса во все большее количество отраслей, в том числе в нефтяную, приходит использование бесколлекторных электродвигателей. Выбор в пользу данного типа электродвигателей совершается из-за ряда преимуществ относительно коллекторных.

Рассмотрим на примере собранных стендов, есть ли преимущества у бесколлекторного двигателя по сравнению к коллекторным в качестве привода одноступенчатого центробежного насоса.

## 1. Коллекторный насос

На рис. 1 представлен стенд, где в качестве привода используется коллекторный двигатель.

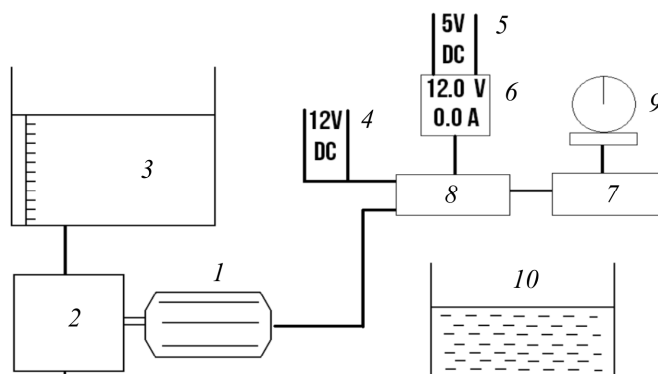


Рис. 1. Принципиальная схема стенда с коллекторным электродвигателем:  
 1 – электромотор; 2 – центробежный одноступенчатый насос; 3 – емкость для подачи воды и измерения напора; 4 – источник питания 12 В;  
 5 – источник питания 5 В; 6 – цифровой вольтметр-амперметр; 7 – плата с микроконтроллером; 8 – MOSFET-модуль; 9 – потенциометр;  
 10 – емкость с водой

*Описание установки:* управление скоростью вращения электромотора 1 осуществляется с помощью шим-сигнала, получаемого с микроконтроллера 7 и передаваемого MOSFET-модулю 8, соединенному с электромотором 1 и источником питания 4. Информацию о регулировании микроконтроллер получает от потенциометра 9. Источник питания 4 служит для запитывания электромотора, 5 – для запитывания вольтметра-амперметра 6. При повороте ручки потенциометра 9 рабочее колесо насоса 2 приводится в действие. Из емкости 10 в насос начинает поступать вода, из него она поднимется вертикально вверх в емкость 3, где мы можем измерить напор.

В собранной установке не представлялось возможным произвести измерение времени расхода жидкости, а также напора на максимальных оборотах, диапазон регулировки ручки потенциометра был равен 90°. Измерения производились 5 раз, в табл. 1 приведены результаты.

Таблица 1

Результаты измерений, полученные опытным путем для 1-го стенда

| Измерения | Напор, м | Объем, м <sup>3</sup> | Ток, А | Напряжение, В | Время, с |
|-----------|----------|-----------------------|--------|---------------|----------|
| 1         | 0,155    | 0,0008                | 0,7    | 12            | 11,3     |
| 2         | 0,148    | 0,0008                | 0,83   | 12            | 12,5     |
| 3         | 0,127    | 0,0008                | 1,1    | 12            | 13,4     |
| 4         | 0,103    | 0,0008                | 1,53   | 12            | 16,9     |
| 5         | 0,095    | 0,0008                | 1,8    | 12            | 19,1     |

Расход рассчитывался по формуле

$$Q = \frac{V}{t}.$$

Мощность рассчитывалась по формуле

$$N = \sqrt{3}UI\cos\varphi n_{дв}.$$

Для используемого коллекторного электродвигателя:  $\cos\varphi$  – коэффициент мощности,  $\cos\varphi = 0,85$ ;  $n_{дв}$  – КПД электродвигателя,  $n_{дв} = 0,8$ .

Полный КПД насоса рассчитывался по формуле

$$\eta = \frac{\rho_g \cdot Q \cdot H}{N \cdot 1000}.$$

Результаты расчетов по данным формулам приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов по формулам

| Измерения | Напор, м | Расход, м <sup>3</sup> /с | Мощность, Вт | КПД      |
|-----------|----------|---------------------------|--------------|----------|
| 1         | 0,155    | 0,00007079646             | 9,893474213  | 0,01087  |
| 2         | 0,148    | 0,00006400000             | 11,73083371  | 0,007913 |
| 3         | 0,127    | 0,00005970149             | 15,54688805  | 0,004779 |
| 4         | 0,103    | 0,00004733728             | 21,62430792  | 0,00221  |
| 5         | 0,095    | 0,00004188482             | 25,44036226  | 0,001533 |

По данным табл. 2 были построены графики, приведенные на рис. 2–4.

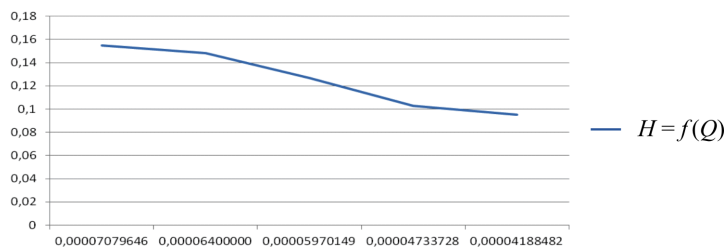


Рис. 2. График зависимости напора от расхода центробежного насоса с коллекторным электродвигателем

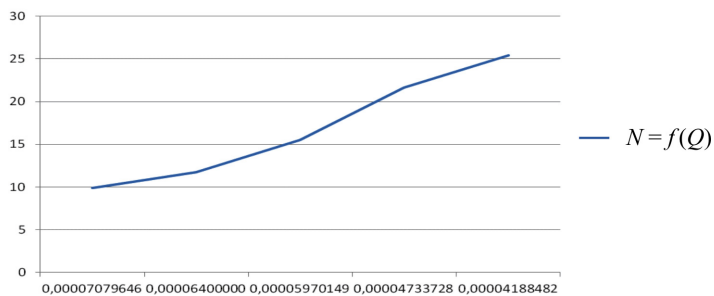


Рис. 3. График зависимости мощности от расхода центробежного насоса с коллекторным электродвигателем

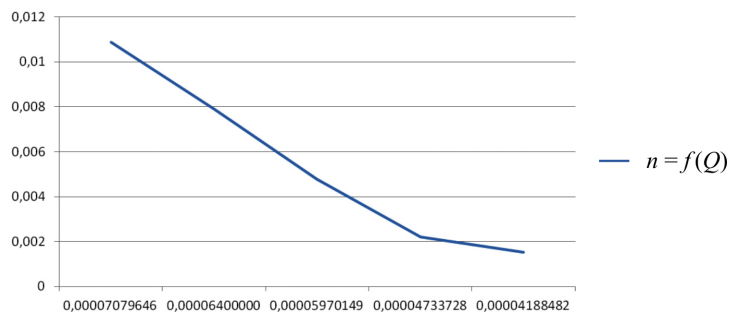


Рис. 4. График зависимости КПД от расхода центробежного насоса с коллекторным электродвигателем

Из графиков на рис. 2–4 мы можем увидеть, что с увеличением расхода напор уменьшается, мощность увеличивается, КПД уменьшается.

Полученные характеристики, зависимости и графики сопоставимы с параметрами промышленных центробежных насосов.

## 2. Бесколлекторный насос

На рис. 5 представлен стенд, где в качестве привода используется бесколлекторный двигатель.

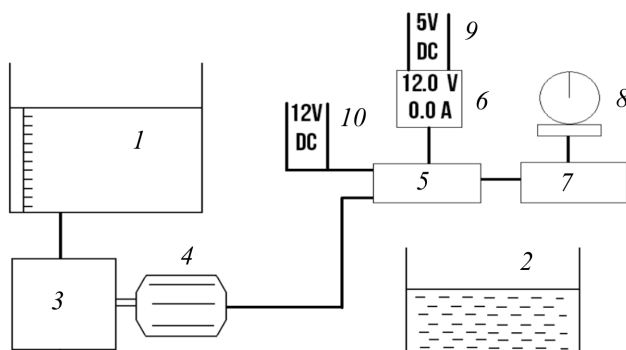


Рис. 5. Принципиальная схема стенда с бесколлекторным электродвигателем:  
 1 – емкость для подачи воды и измерения напора; 2 – емкость с водой;  
 3 – центробежный одноступенчатый насос; 4 – бесколлекторный мотор;  
 5 – регулятор скорости; 6 – цифровой вольтметр-амперметр; 7 – плата с микроконтроллером; 8 – потенциометр; 9 – источник питания 5 В;  
 10 – источник питания 12 В

Данная установка работает по тому же принципу, что и первая.

Измерения производились 5 раз. В табл. 3 приведены результаты измерений.

Таблица 3

Результаты измерений, полученные опытным путем для 2-го стенда

| Измерения | Напор, м | Объем, м <sup>3</sup> | Ток, А | Напряжение, В | Время, с |
|-----------|----------|-----------------------|--------|---------------|----------|
| 1         | 0,235    | 0,0008                | 0,8    | 12            | 7,9      |
| 2         | 0,208    | 0,0008                | 1,1    | 12            | 8,3      |
| 3         | 0,184    | 0,0008                | 1,35   | 12            | 9,4      |
| 4         | 0,151    | 0,0008                | 1,73   | 12            | 10,3     |
| 5         | 0,134    | 0,0008                | 1,95   | 12            | 11,1     |

Для используемого коллекторного электродвигателя коэффициент мощности  $\cos\varphi = 0,85$ , КПД электродвигателя  $n_{\text{дв}} = 0,9$ .

Результаты расчетов работы бесколлекторного двигателя по формулам, аналогичным для расчетов работы коллекторного двигателя, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов работы бесколлекторного двигателя

| Измерения | Напор, м | Расход, м <sup>3</sup> /с | Мощность, Вт | КПД      |
|-----------|----------|---------------------------|--------------|----------|
| 1         | 0,235    | 0,00010126582             | 12,72018113  | 0,018334 |
| 2         | 0,208    | 0,00009638554             | 17,49024905  | 0,011233 |
| 3         | 0,184    | 0,00008510638             | 21,46530566  | 0,007149 |
| 4         | 0,151    | 0,00007766990             | 27,5073917   | 0,004178 |
| 5         | 0,134    | 0,00007207207             | 31,00544151  | 0,003053 |

По данным табл. 4 были построены графики, представленные на рис. 6–8.

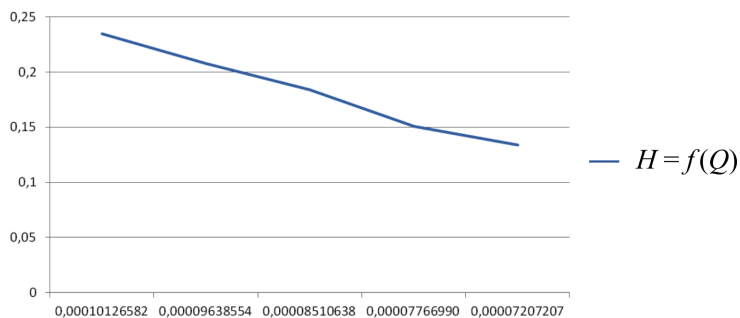


Рис. 6. График зависимости напора от расхода центробежного насоса с бесколлекторным электродвигателем

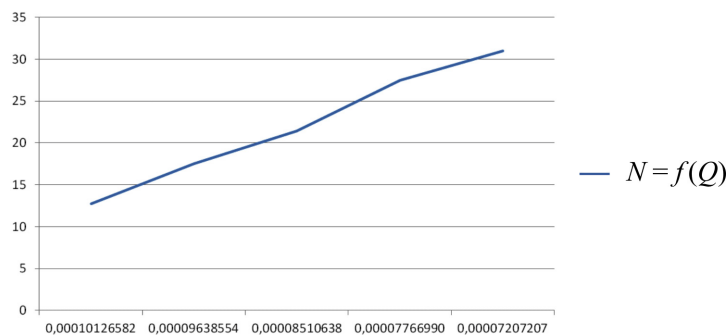


Рис. 7. График зависимости мощности от расхода центробежного насоса с бесколлекторным электродвигателем

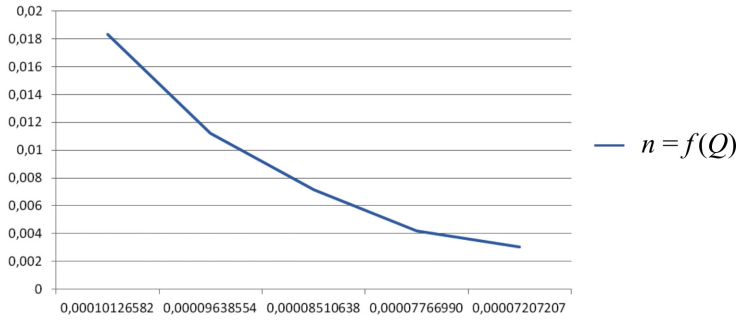


Рис. 8. График зависимости КПД от расхода центробежного насоса с бесколлекторным электродвигателем

Данные, полученные из графиков на рис. 6–8, не представляется возможным сравнить с параметрами реальных промышленных центробежных насосов, приводом в которых выступает бесколлекторный электродвигатель, ввиду отсутствия такого рода установок. Но полученные данные более чем сопоставимы с параметрами центробежных насосов, в которых приводом выступает коллекторный электродвигатель.

### 3. Сравнительный анализ

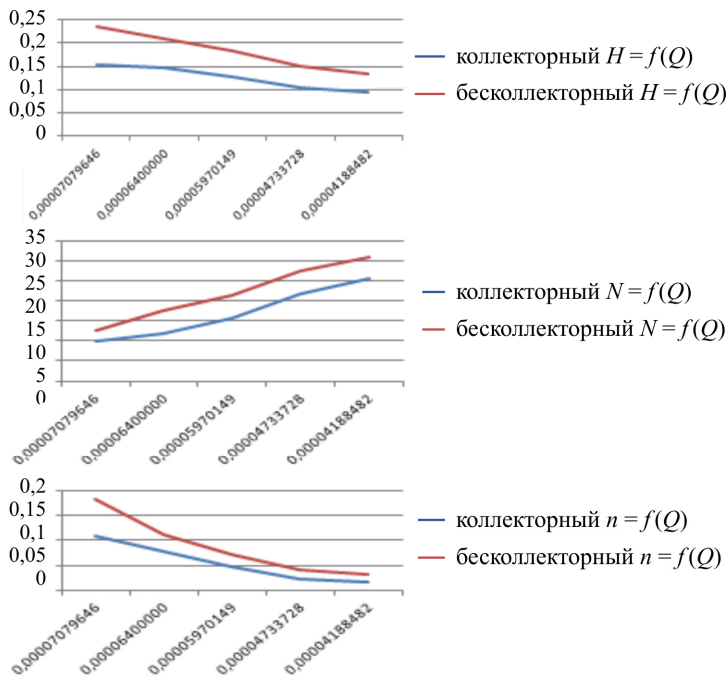


Рис. 9. Сравнение графиков работы коллекторного и бесколлекторного двигателя

Сравнив полученные данные (рис. 9), можно сделать вывод о том, бесколлекторный электромотор превосходит коллекторный по всем энергетическим характеристикам.

Также в ходе работы были сделаны следующие наблюдения:

1) скорость вращения коллекторного мотора очень сложно регулировать, тогда как регулирование скорости вращения бесколлекторного мотора не вызывает никаких нареканий;

2) вибрации, создаваемые при работе бесколлекторного двигателя, больше, чем при работе коллекторного.

### **Выводы**

На сегодняшний момент коллекторные двигатели благодаря своему массовому производству имеют наименьшую стоимость на рынке. Тем не менее бесколлекторные моторы превосходят их по энергетическим характеристикам и возможности плавного регулирования. Данные параметры за определенный период эксплуатации позволят окупить материальные средства, вложенные в приобретение бесколлекторных моторов. Кроме того, смогут прослужить дольше по сравнению с коллекторными моторами, поскольку способ переключения обмоток бесколлекторного двигателя бесконтактный, а значит, не подвергает износу его составные части и является более безопасным.

Получено 5.03.2018

**Терёхин А.В.** – студент, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: logtrik@gmail.com.

**Ившин А.В.** – старший преподаватель, кафедра «Нефтегазовые технологии», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alexey.v.ivshin@gmail.com.