УДК 681.3:621.34

МОДЕЛИРОВАНИЕ Q-H ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВИХРЕВЫМ ЭЛЕКТРОНАСОСОМ

MODELING OF Q-H CHARACTERISTICS OF THE ELECTRIC DRIVE WITH A VORTEX ELECTRICAL PUMP

А. М. Сагдатуллин
A. M. Sagdatullin

Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск

Ключевые слова: ***моделирование; Q-H характеристики; электропривод; вихревой электронасос; оптимальный диапазон работы***
Key words: ***modeling; Q-H characteristics; electric drive; pump with peripheral impeller; optimum operating range***

Актуальность данной работы заключается в том, что на систему сбора, транспорта и подготовки нефти и газа приходится наиболее значительная доля капитальных вло-

жений. Следовательно, исследование режимов работы насосных станций с автоматизированными электроприводами является важной задачей, позволяющей определить наиболее оптимальные расходные характеристики работы оборудования и уменьшить затраты и эксплуатационные расходы при обустройстве месторождений и вводе в действие новых месторождений [1, 2].

Цель данной работы — моделирование Q-H характеристик электропривода с вихревым электронасосом. Объект исследования — вихревой электронасос Pk 200 мощностью 1,5 кВт.

Вихревой электронасос Pk 200 (рис. 1) представляет собой устройство, включающее в себя: *1* — корпус насоса; *2* — крышку двигателя; *3* — рабочее колесо; *4* — ведущий вал; *5* — механическое уплотнение; *6* — подшипники; *7* — конденсатор; *8* — электродвигатель. PKm — однофазный 230 В — 50 Гц с тепловой защитой, встроенной в обмотку. PK — трехфазный 230/400 В — 50 Гц.

К характеристикам насосов относят зависимости главных параметров работы насоса от расхода *Q* при определенных частотах вращения n его вала, а также диаметрах рабочего колеса *D*. Одной из основных характеристик насоса является зависимость его давления (напора) от расхода (подачи), выражаемая следующим уравнением:

$$H = f(Q). \tag{1}$$

Данная характеристика (1) называется расходно-напорной или именуется Q-H характеристикой и может принимать пологую или крутую формы, быть монотонно снижающейся (устойчивой) или неустойчивой-возрастающей, а затем снижающейся.

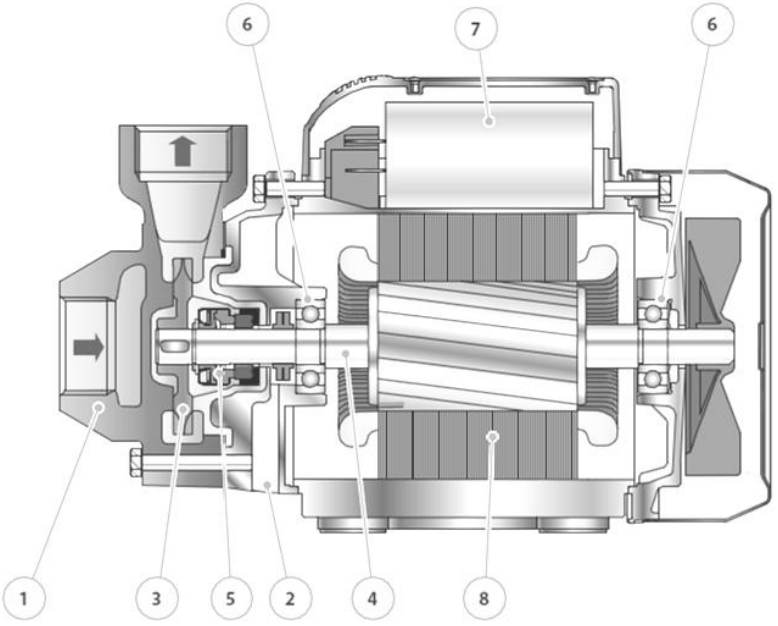


Рис. 1. ***Рассматриваемый вихревой электронасос Pk 200***

Рабочие параметры насосов могут изменяться в относительно широких пределах. Увеличение подачи ведет к снижению напора, снижение расхода, напротив, приводит к увеличению напора насоса. Квадратичная характеристика $H = f(Q)$ в оптимальных пределах может быть описана следующим выражением для рабочего участка [3–5]:

$$H_{нас} = H_{ф} + S_{ф}\ Q_{нас}^{2}\ , \tag{2}$$

где $H_ф$ — фиктивный напор при нулевой подаче, м; $S_ф$ — гидравлическое фиктивное сопротивление насоса, $с^2/м^5$.

Параметры $S_ф$ и $H_ф$ могут быть определены по каталожным или экспериментальным характеристикам насоса. Для их определения по экспериментальным характеристикам насоса возьмем координаты двух точек рабочей части характеристики $H = f(Q)$, например, точек 1 и 2 (рис. 2).

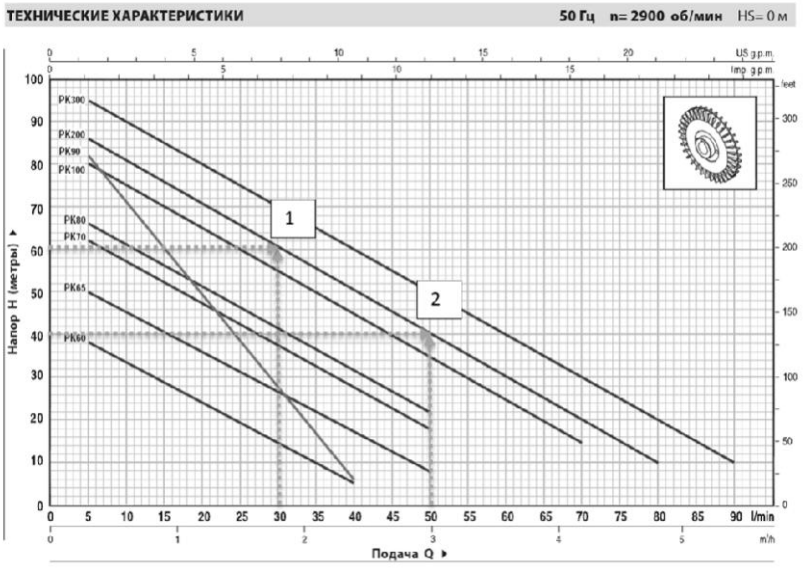


Рис. 2. ***Характеристики вихревого электронасоса Pk***

Данным точкам 1 и 2 соответствуют расходы Q_1 и Q_2($м^3/с$) и напоры H_1 и H_2 (м), по которым возможно определение фиктивных гидравлических сопротивлений насоса и его напора при нулевой подаче:

$$S_ф \quad \frac{H_1 \quad H_2}{Q_2^2 \quad Q_1^2}. \tag{3}$$

При этом значения фиктивного напора зависят от конструктивных параметров насоса и могут быть представлены выражением:

$$H_ф = H_1 + S_ф Q_1^2 . \tag{4}$$

Согласно технической характеристике (см. рис. 2) и полученным экспериментальным данным при работе вихревого электронасоса построим математическую модель рабочих Q-H характеристик для данного типа насоса. Применим метод наименьших квадратов для аппроксимации экспериментальных данных [6, 7]. Используем функции slope и intercept для определения коэффициентов линейной регрессии (аппроксимация данных прямой линией). Функция slope определяет угловой коэффициент прямой, а функция intercept – точку пересечения графика с вертикальной осью [2, 5, 8].

A : = intercept (x1,y1) B : = slope (x1,y1).

Определяем аппроксимирующую функцию: fl (z) : = A + B · z.

Коэффициенты линейной регрессии —

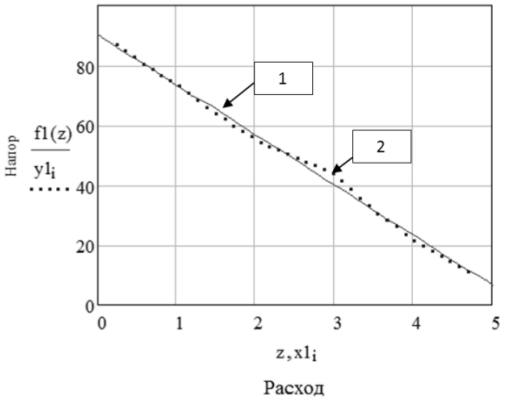
$$\mathrm{line}(x1, y1) = \begin{pmatrix} 90.465 \\ -16.732 \end{pmatrix}.$$

Вычислим стандартное отклонение

$$s1 := \sqrt{\left[\frac{1}{n-2}\cdot\left[\sum_i \left(f1\left(x1_i\right) - y1_i\right)^2\right]\right]} = 1.858$$

На рис. 3 представлена математическая модель рабочих Q-H характеристик вихревого электронасоса Pk 200, где 1 – аппроксимируемая характеристика, 2 — характеристика, построенная по экспериментальным данным.

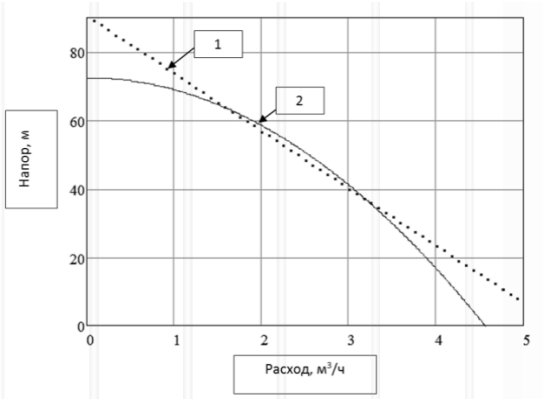
Рис. 3. ***Математическая модель рабочих Q-H характеристик вихревого электронасоса Pk 200***



Полученная модель адекватна, так как значения, выведенные по математической модели, не отличаются более, чем на 5 % от экспериментальных.

На рис. 4 представлена математическая модель квадратичной характеристики $H = f(Q)$ в оптимальных рабочих пределах (1), а также математическая модель рабочих Q-H характеристик для вихревого электронасоса Pk 200.

Рис. 4. ***Математическая модель квадратичной характеристики H = f(Q) в оптимальных рабочих пределах (2), а также математическая модель рабочих Q-H характеристик для вихревого электронасоса Pk 200 (1)***



Согласно полученным данным можно сделать вывод о том, что представленная формула (2) справедлива для вихревого электронасоса Pk 200 и может быть применена в определенном диапазоне значений — расход от Q_1 (1,5) до Q_2 (3,5) и напор – от H_1 (67) до H_2 (30).

Таким образом, построена математическая модель квадратичной характеристики $H = f(Q)$ в соответствии с общим выражением для рабочего участка; построена математическая модель рабочих Q-H характеристик для вихревого электронасоса Pk 200 в соответствии с полученными экспериментальными данными;

Для исследования и поиска оптимальных режимов вихревого электронасоса Pk 200 модель квадратичной характеристики $H = f(Q)$ в соответствии с общим выражением для рабочего участка может быть применена в определенном диапазоне значений рас-

ход (от Q_1 (1,5) до Q_2 (3,5)) и напор (от H_1 (67) до H_2 (30)) либо определена путем экспериментальных замеров и аппроксимации функции в соответствии с полученными данными.

Список литературы

1. Emekeev A. A., Sagdatullin A. M., Muravyeva E. A. Representation of process parameters pump stations by term set with a rectangular shape of the membership function // Proceedings of the 16th International Worcshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2014, Sheffield, England, September 16-22, 2014). – 2014. – Vol. 1. – Pp. 138-141.
2. Сагдатуллин А. М. Анализ фонда добывающих скважин и степени разработанности нефтегазовых месторождений // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014. – № 5 (107). – С. 46-50.
3. Сагдатуллин А. М., Емекеев А. А., Муравьева Е. А. Интеллектуальное логическое управление электроприводом насосной станции // Современные технологии в нефтегазовом деле. Сборник трудов международной научно-технической конференции: в 2 т. Т. 2. – Уфа: Аркаим, 2014. – С. 218–221.
4. Artur Sagdatullin. Multidimensional Fuzzy Control System Development of Oil Transportation and Treatment Technological Processes Based on the Input/Output Parameters Model in the Precise Terms Set Form // Applied Mechanics and Materials. – Vol. 756 (2015). – Pp. 626-632. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.756.626.
5. Сагдатуллин А. М. Анализ и синтез структуры системы управления электроприводом насоса процесса подготовки нефти // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014. – № 6 (108). – С. 106-112.
6. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. — М.: Машиностроение, 2013. – 176 с.
7. Artur Sagdatullin, Alexander Emekeev, Elena Muravyova. Intellectual Control of Oil and Gas trans-portation system by Multidimensional Fuzzy Controllers with Precise Terms // Applied Mechanics and Materials. Vol. 756 (2015). pp. 633-639. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.756.633.
8. Kayashev, Alexander; Muravyova, Elena; Sharipov, Marsel; Emekeev, Alexander; Sagdatullin, Artur, «Verbally defined processes controlled by fuzzy controllers with input/output parameters represented by set of precise terms» Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), 2014 International Conference on , Vol., no., pp.1,5, 16-18 Oct. 2014.doi: 10.1109/MEACS.2014.6986847.

Сведения об авторе

Сагдатуллин Артур Маратович, *аспирант кафедры «Автоматизация и информационные технологии», Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск, e-mail: saturn-s5@mail.ru*

Information about the author

Sagdatullin A. M., *postgraduate of the chair «Automation and information technologies», Almetiev State Petroleum Institute, Almetievsk, e-mail: saturn-s5@mail.ru*