

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСХОДНО-ПЕРЕПАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОРАСХОДНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

Е.Г. Кутовой

evgeni-kutovo@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрена задача теоретического обоснования линейности расходно-перепадной характеристики малорасходного центробежного насоса, для чего использована математическая 3D-модель проточной части экспериментального центробежного насоса. С помощью пакета программ STAR-CCM+ произведен расчет ряда точек расходно-перепадной характеристики насоса численными методами. Проведен анализ линейности расходно-перепадной характеристики с помощью метода наименьших квадратов. Получена усредненная аппроксимационная прямая и вычислено максимальное отклонение от нее

Ключевые слова

Малорасходный центробежный насос, лопатка, ротор, численные методы, метод наименьших квадратов, аппроксимация, расходно-перепадная характеристика

Поступила в редакцию 30.03.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

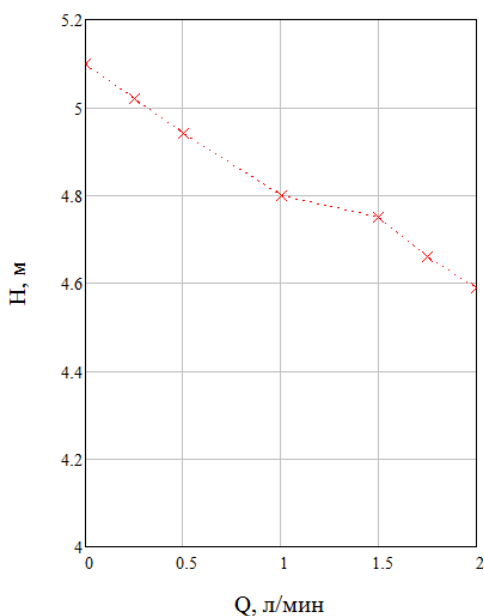
Для решения ряда научно-технических задач представляется интересным получить расходно-перепадную характеристику малорасходного центробежного насоса в виде аналитической функции. Предполагается, что в области малых величин подачи расходно-перепадная характеристика линейна, так как потери напора на трение пропорциональны квадрату расхода, и в области малых величин подач квадратом расхода можно пренебречь.

Следует отметить, что вопросы, связанные с исследованием расходно-перепадной характеристики центробежных насосов широко освещены в [1–5]. Однако вопрос аппроксимации расходно-перепадной характеристики аналитической функцией проработан недостаточно. Для решения этой задачи была разработана 3D-модель малорасходного центробежного насоса и осуществлен расчет ряда точек расходно-перепадной характеристики этого насоса численными методами с помощью пакета программ STAR-CCM+. Результаты этого расчета представлены в таблице.

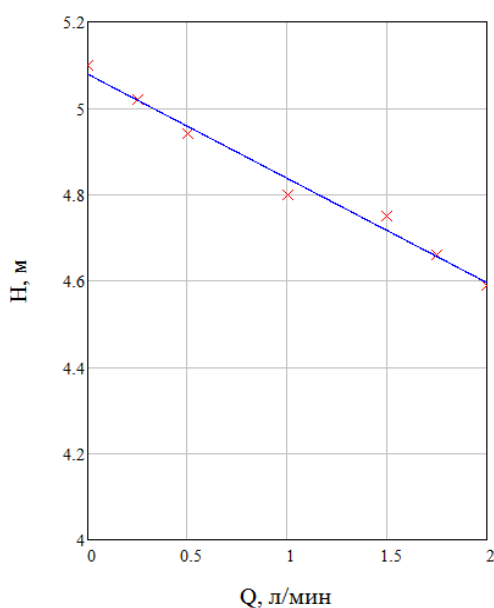
Таким образом, получаем расчетную расходно-перепадную характеристику малорасходного центробежного насоса, представленную на рисунке, часть *a*. Из рисунка видно, что характеристики малорасходного центробежного насоса приблизительно линейны, что хорошо согласуется с практикой. Однако представляется интересным проверить насколько линейна его характеристика.

**Расчетные точки расходно-перепадной характеристики
экспериментального малорасходного центробежного насоса**

Номер расчетной точки п/п	Напор H , м	Производительность компрессора Q , л/мин
1	5,1	0
2	5,02	0,25
3	4,94	0,5
4	4,8	1
5	4,75	1,5
6	4,66	1,75
7	4,59	2



a



б

Расчетная расходно-перепадная характеристика малорасходного центробежного насоса (а) и аппроксимационная прямая, отклоняющаяся от расчетных точек (б)

Для этого воспользуемся методом наименьших квадратов. Осуществим аппроксимацию расчетной расходно-перепадной характеристики с помощью следующей функции:

$$y = a + bx. \tag{1}$$

Как известно из [6], в случае, если функция имеет вид (1), методом наименьших квадратов получаем формулы

$$b = \frac{\sum_{t=1}^n x_t y_t - \sum_{t=1}^n \frac{x_t}{n} \sum_{t=1}^n \frac{y_t}{n}}{\sum_{t=1}^n \frac{x_t^2}{n} - \left(\sum_{t=1}^n \frac{x_t}{n} \right)^2};$$

$$a = \sum_{t=1}^n \frac{y_t}{n} - b \sum_{t=1}^n \frac{x_t}{n},$$

где x_t — t -е (текущее) значение расхода (см. табл.); y_t — t -е значение напора (см. табл.); n — число точек, $n = 7$. Подставив значения из таблицы в уравнения (2) и (3), получим $b = -0,241(\text{м} \cdot \text{мин}) / \text{л}$; $a = 5,079$ м.

Далее подставим значения коэффициенты a и b в формулу (1) и получим следующую аппроксимационную функцию:

$$H(Q) = 5,079 - 0,241Q. \quad (2)$$

Из рисунка, часть б, видно, что максимальное расхождение между аппроксимационной кривой и расчетными точками наблюдается в точке (4,8 м; 1 л/мин) и составляет 0,037 м. Определим максимальную погрешность этого расхождения:

$$\sigma = \frac{4,837 - 4,8}{4,837} = 0,76 \text{ \%}.$$

В заключение отметим, что в области малых величин подачи расходно-перепадная характеристика малорасходного центробежного насоса линейна с точностью до 1 %. Полученный результат можно использовать в научно-практической деятельности в ходе математического моделирования малорасходных центробежных насосов.

Литература

1. Ломакин В.О., Петров А.И., Кулешова М.С. Исследование двухфазного течения в осецентрированном колесе методами гидродинамического моделирования // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 9. С. 45–64.
URL: <http://technomag.edu.ru/jour/article/view/677> DOI: 10.7463/0914.0725724
2. Ломакин В.О., Артемов А.В., Петров А.И. Определение влияния основных геометрических параметров отвода насоса НМ 10000-210 на его характеристики // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 8. С. 71–84.
URL: <http://old.technomag.edu.ru/doc/445666.html> DOI: 10.7463/0812.0445666
3. Ломакин В.О., Петров А.И. Верификация результатов расчета в пакете гидродинамического моделирования STAR-CCM+ проточной части центробежного насоса АХ 50-32-200 // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2012. № 5. С. 6–9.
4. Ломакин В.О., Петров А.И., Щербачев П.С. Разработка бокового полуспирального подвода с увеличенным моментом скорости жидкости на входе в рабочее колесо // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2012. № 5. С. 3–5.
5. Опыт разработки стенда для испытаний крупных центробежных насосов / А.И. Петров, Н.Д. Мартынов, П.А. Покровский, В.И. Пашенко, П.Ю. Устюжанин, П.В. Королев,

А.В. Артемов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. № 11. С. 1–6. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/163848.html>

6. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. 2-е изд. М.: Физматгиз. 1962. 336 с.

Кутовой Евгений Григорьевич — магистрант кафедры «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — А.А. Протопопов, ассистент кафедры «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

INVESTIGATING DISCHARGE DROP CHARACTERISTICS OF A LOW-DISCHARGE CENTRIFUGAL PUMP USING NUMERICAL TECHNIQUES

E.G. Kutovoy

evgeni-kutovo@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The study deals with the problem of theoretical justification of discharge drop characteristic linearity in low-discharge centrifugal pumps. We use a 3D mathematical model of the blading section from our experimental centrifugal pump. We numerically calculated a number of points on the discharge drop characteristic of our pump by means of the STAR-CCM+ software package. We analysed the linearity of the discharge drop characteristic using the least-squares method. We derive an average linear fit and compute its maximum deviation

Keywords

Low-discharge centrifugal pump, blade, rotor, numerical techniques, least-squares method, fitting, discharge drop characteristics

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Lomakin V.O., Petrov A.I., Kuleshova M.S. Investigation of two-phase flow in axial centrifugal impeller by hydrodynamic modeling methods. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education. BMSTU], 2014, no. 9, pp. 45–64. URL: <http://technomag.edu.ru/jour/article/view/677> (in Russ.). DOI: 10.7463/0914.0725724
- [2] Lomakin V.O., Artemov A.V., Petrov A.I. Determining the impact of basic geometric parameters drain pump NM 10000-210 on its performance. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Publication of BMSTU], 2012, no. 8, pp. 71–84. URL: <http://old.technomag.edu.ru/doc/445666.html> (in Russ.). DOI: 10.7463/0812.0445666
- [3] Lomakin V.O., Petrov A.I. Verification of the calculation results using hydrodynamic modeling package STAR-CCM + for flow channel of the centrifugal pump AX 50-32-200. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2012, no. 5, pp. 6–9 (in Russ.).
- [4] Lomakin V.O., Petrov A.I., Shcherbachev P.S. Development of a side semi spiral inlet unit with increased fluid velocity at the impeller entry. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2012, no. 5, pp. 3–5 (in Russ.).
- [5] Petrov A.I., Martynov N.D., Pokrovskiy P.A., Pashchenko V.I., Ustyuzhanin P.Yu., Korolev P.V., Artemov A.V. The experience of designing test bench for testing large centrifugal pumps. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education. BMSTU], 2010, no. 11, pp. 1–6. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/163848.html> (in Russ.).
- [6] Linnik Yu.V. Metod naimen'shikh kvadratov i osnovy matematiko-statisticheskoy teorii obrabotki nablyudeniy [Least square method and fundamentals of mathematic-statistic observations processing theory]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1962. 336 p. (in Russ.).

Kutovoy E.G. — Master's Degree student of Fluid Mechanics, Hydraulic Machines and Hydraulic and Pneumatic Automation Department, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — A.A. Protopopov, Assistant Lecturer of Fluid Mechanics, Hydraulic Machines and Hydraulic and Pneumatic Automation Department, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.