



УДК 621.65

Графоаналітичний метод визначення напірних характеристик відцентрово-вихрових насосів

М. В. Найда¹⁾¹⁾ Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, Суми, Україна**Article info:**

Paper received:

27 May 2014

The final version of the paper received:

10 September 2014

Paper accepted online:

07 November 2014

Correspondent Author's Address:¹⁾ sribn@mail.ru

Відцентрові-вихрові насоси мають досить хороші експлуатаційні показники, в результаті вдалого використання позитивних властивостей відцентрового робочого колеса і вихрового, закріплені на загальному валу. На жаль наукових робіт, присвячених експериментальним і теоретичним проблемам у відкритій пресі вкрай недостатньо, що гальмує вдосконалення цього виду насосів. Особливо ускладнює роботу з удосконалення відцентрово-вихрових насосів відсутність аналітичних залежностей, що описують характеристики відцентрово-вихрових насосів.

У статті представлені дані експерименту на відцентрово-вихровому насосі для визначення величин напору в залежності від подачі. Представлений графоаналітичний метод визначення напірних характеристик відцентрово-вихрових насосів. Запропоновано метод графоаналітичної побудови напірних характеристик. Проведено розрахунки за запропонованими формулами напірних характеристик для різних чисел обертів і зроблено зіставлення розрахункових кривих з експериментальними даними. Проведено нормування напору і подачі; запропонована формула для побудови безрозмірних характеристик для різної частоти обертання.

Ключові слова: відцентрово-вихровий насос, графоаналітичний метод, напірна характеристика, робоче колесо, експеримент, напір, подача.

1. ВСТУП

Відцентрово-вихрові насоси зазвичай знаходять застосування для живлення малих котлів системи водяного опалення, а також в системах водопостачання, в харчовій та нафтовій промисловості.

Відцентрові-вихрові насоси мають досить хороші експлуатаційні показники, в результаті вдалого використання позитивних властивостей відцентрового робочого колеса і вихрового, закріплені на загальному валу.

Відцентрове робоче колесо забезпечує висоту всмоктування до 7 метрів водяного стовпа, а вихрове колесо - високий напір 100 – 200 метрів, і самовсмоктування. Коефіцієнт корисної дії відцентрово-вихрових насосів, що випускаються серійно досягає 45 – 48 %, подача порядку 35-40 м³/год [1].

Дослідженням відцентрово-вихрових насосів займалися ще з п'ятдесятих років минулого століття і пізніше [2-7].

В результаті проведених експериментів були знайдені оптимальні співвідношення геометричних розмірів, що дозволили створити працездатні консольні конструкції насосів типу ЦВК, які випускають заводи СНД і до теперішнього часу.

На жаль наукових робіт, присвячених експериментальним і теоретичним проблемам у відкритій пресі вкрай недостатньо, що гальмує вдосконалення цього виду насосів. Вкрай мало і патентів на нові конструкції відцентрово-вихрових насосів [7-9].

Особливо ускладнює роботу з удосконалення відцентрово-вихрових насосів відсутність аналітичних залежностей, що описують характеристики відцентрово-вихрових насосів.

Метою статті є отримання насамперед аналітичного виразу для опису напірної характеристики $H = f(Q)$ відцентрово-вихрового насоса.

2. МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЯГНЕННЯ ВСТАНОВЛЕНОЇ МЕТИ

Для досягнення встановленої мети було проведено серію експериментів [10], в результаті яких отримані дані для побудови напірних характеристик при частоті обертання 1000, 2000, 3000 об/хв. (таблиця 1, 2, 3).

Таблиця 1 – Результати експерименту при $n = 1000$ об/хв.

H, м	9,5	7,5	5,5	5	4	3	2	1,5
Q, м ³ /доб	0	2	4	5	6	8	10	12

Таблиця 2 – Результати експеримента при $n = 2000$ об/хв.

H, м	26	22	17	13	11	7	5	3
Q, м ³ /доб	0	3	6	9	12	15	18	20

В експериментах використана конструкція відцентрово-вихрового ступеня (рис. 1), яка, маючи ті ж самі властивості, що і традиційні відцентрово-вихрові насоси,

Таблиця 3 – Результати експеримента при $n = 3000$ об/хв

$H, \text{ м}$	32	31	28	20	15	7	4	2
$Q, \text{ м}^3/\text{доб}$	0	5	10	20	25	35	40	50

значною мірою позбавлена їхніх основних недоліків (незадовільна експлуатаційна надійність; значні осьові сили) [11].

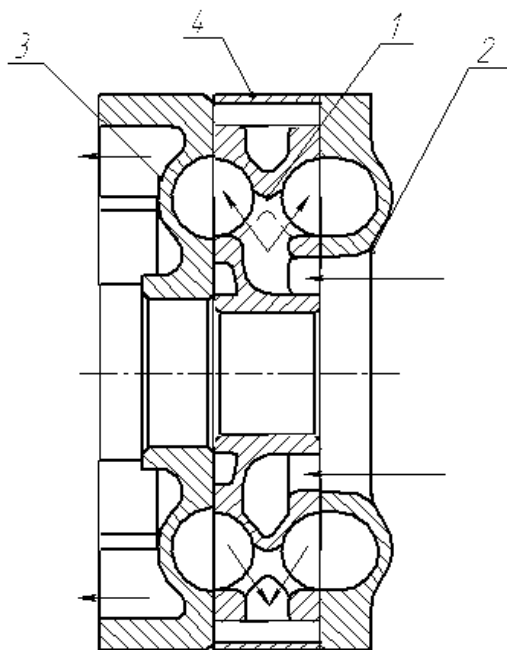


Рис. 1. Загальний вид ступені: 1 – робоче колесо; 2 – передня вихрова ступень; 3 – задня вихрова ступень; 4 – корпус робочого колеса

Вказана ступень по своєму конструктивному виконанню відноситься до малорозмірного типу робочих органів динамічних насосів. Дана ступень має однолопатеве відцентрове робоче колесо, що забезпе-

чене додатковими вихровими каналами, які виконують функцію вихрового робочого колеса закритого типу, що розташовані з протилежного боку основних каналів. Кожен вихровий канал є вибіркою з увігнутих дном, виконаною по дузі. Дуга далі переходить на сторони, що взаємодіє з потоком, в прямолінійну площину. Робоче колесо однолопатеве, виконане з поєднанням кільцевих та радіальних каналів.

Для обробки результатів використовувався метод описаний в [12].

Метод відноситься до графоаналітичного і полягає в наступному.

Експериментальні точки, наведені в таблицях 1, 2, 3 наносяться в декартових координатах $H-Q$ (рис. 2, 3, 4). Потім відповідно до рекомендацій [12], вибирається вид аналітичної залежності.

В даному випадку це вираз:

$$\frac{y}{y_0} = \frac{1}{e^{a(x/x_m)^k}}, \quad (1)$$

де $y = H$ – поточне значення напору насоса, м; $y_0 = H_0$ – максимальне значення напору при нульовій подачі $Q = 0$; $x = Q$ – поточне значення подачі насоса, $\text{м}^3/\text{доб}$; $x_m = Q_m$ – значення подачі насоса в залежності від показника степені k при експоненті; a – константа, що залежить від показника степені k .

Для даного випадку за рекомендаціями [12] значення константи a і показника степеня k в залежності від виду кривої, яка залежить від частоти обертання n показана в таблиці 4.

Після підстановки у формулу (1) значень з таблиці 4, отримаємо три розрахункові формули (колонка 6 таблиці 4).

На рис. 2, 3, 4 показані, на тлі експериментальних точок, криві, побудовані за формулами (2), (3) та (4).

Як видно з малюнків 2, 3, 4 криві адекватно описують результати експерименту.

У таблицях 5, 6 і 7 наведені результати розрахунків кривих для різних частот обертання.

Таблиця 4 – Значення величин a і k в залежності від вигляду кривої

Частота обертання робочого колеса $n, \text{ об/хв}$	Величини констант				Розрахункові формули
	a	$Q_m, \text{ м}^3/\text{доб}$	$H_0, \text{ м}$	k	
1	2	3	4	5	6
1000	1,386	10	9,5	1,0	$H = \frac{9,5}{e^{1,385(Q/10)^1}}$ (2)
2000	2,078	20	26	1,5	$H = \frac{26}{e^{2,078(Q/20)^{1,5}}}$ (3)
3000	2,772	50	32	2,0	$H = \frac{32}{e^{2,772(Q/50)^2}}$ (4)

Для інженерних розрахунків більш зручні залежності в безрозмірних координатах [13]. Формули (2), (3) і (4) можна привести до безрозмірною форми шляхом нормування розмірних величин напору H та подачі Q .

Для нормування розділимо поточне значення H і Q на відповідні величини H_0 і Q_m .

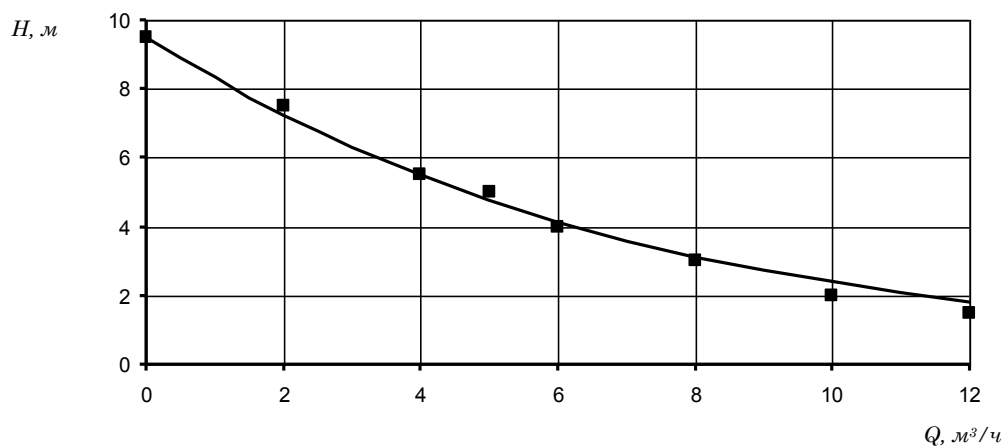


Рис. 2. Характеристика відцентрово-вихрового насоса при частоті обертання $n = 1000$ об / хв

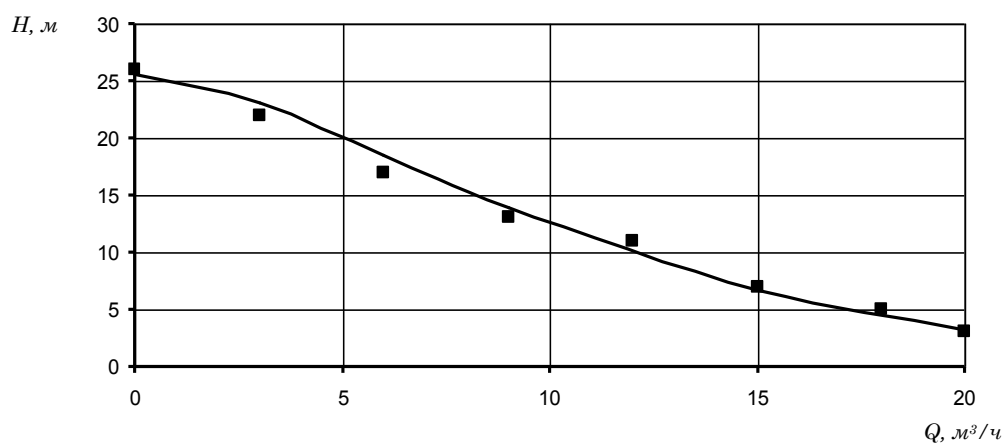


Рис. 3. Характеристика відцентрово-вихрового насоса при частоті обертання $n = 2000$ об / хв

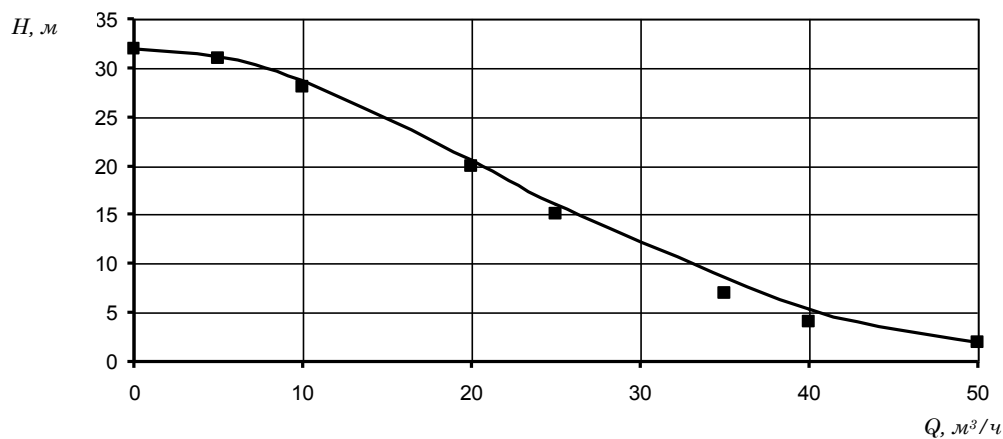


Рис. 4. Характеристика відцентрово-вихрового насоса при частоті обертання $n = 3000$ об / хв

Таблиця 5 – Розрахунок по формулі 2

Q, м³/доб	Q/Q _m	(Q/Q _m) ^k	a · (Q/Q _m) ^k	e ^{a·(Q/Q_m)^k}	1/e ^{a·(Q/Q_m)^k}	Величина напору, м³	
						Розрахункова H = H ₀ · 1/e ^{a·(Q/Q_m)^k}	Експеримент.
0	0	0	0	1	1	9,5	9,5
2	0,2	0,2	0,277	1,319	0,758	7,2	7,5
4	0,4	0,4	0,554	1,741	0,574	5,5	5,5
6	0,6	0,6	0,832	2,297	0,435	4,1	4
8	0,8	0,8	1,109	3,031	0,330	3,1	3
10	1,0	1,0	1,386	4,000	0,250	2,4	2
12	1,2	1,2	1,663	5,276	0,190	1,8	1,5

Таблиця 6 – Розрахунок по формулі 3

Q , $м^3/доб$	$\frac{Q}{Q_m}$	$\left(\frac{Q}{Q_m}\right)^k$	$a \cdot \left(\frac{Q}{Q_m}\right)^k$	$e^{a \cdot (Q/Q_m)^k}$	$\frac{1}{e^{a \cdot (Q/Q_m)^k}}$	Величина напору, $м^3$	
						Розрахункова	Експеримент
						$H = H_0 \cdot \frac{1}{e^{a \cdot (Q/Q_m)^k}}$	
0	0	0	0	1	1	25,5	26
3	0,15	0,058	0,121	1,128	0,886	23,04	22
6	0,30	0,164	0,342	1,407	0,711	18,5	17
9	0,45	0,301	0,627	1,873	0,543	13,9	13
15	0,75	0,650	1,350	3,856	0,259	6,7	7
20	1	1	2,078	8,000	0,125	3,25	3

Таблиця 7 – Розрахунок по формулі 4

Q , $м^3/доб$	$\frac{Q}{Q_m}$	$\left(\frac{Q}{Q_m}\right)^k$	$a \cdot \left(\frac{Q}{Q_m}\right)^k$	$e^{a \cdot (Q/Q_m)^k}$	$\frac{1}{e^{a \cdot (Q/Q_m)^k}}$	Величина напору, $м^3$	
						Розрахункова	Експеримент.
						$H = H_0 \cdot \frac{1}{e^{a \cdot (Q/Q_m)^k}}$	
0	0	0	0	1	1	32	32
5	0,1	0,01	0,027	1,028	0,973	31,1	31
10	0,2	0,04	0,111	1,117	0,895	28,6	28
20	0,4	0,16	0,444	1,558	0,642	20,5	20
25	0,5	0,25	0,693	2,000	0,500	16,0	25
40	0,8	0,64	1,774	5,854	0,170	5,4	4
50	1	1	2,772	16,000	0,063	2,0	2

Отримаємо формулу для безрозмірних напірних характеристик у вигляді:

$$\bar{H} = \frac{1}{e^{a \cdot (\bar{Q})^k}}, \quad (5)$$

де $\bar{H} = H / H_0$ – безрозмірний напір; $\bar{Q} = Q / Q_m$ – безрозмірна подача.

Розрахунок за формулою (5) наведено в таблиці 8, а зведений графік для кривих при частотах обертання 1000, 2000 і 3000 об/хв приведені на рисунку 5.

Таблиця 8 – Розрахунок безрозмірних напірних характеристик по формулі (5)

$n = 1000 \text{ об/хв};$ $Q_m = 10 \text{ м}^3 / \text{доб}; H_0 = 9,5 \text{ м}$				$n = 2000 \text{ об/хв};$ $Q_m = 20 \text{ м}^3 / \text{доб}; H_0 = 26 \text{ м}$				$n = 3000 \text{ об/хв};$ $Q_m = 50 \text{ м}^3 / \text{доб}; H_0 = 32 \text{ м}$			
Q	$\frac{Q}{Q_m}$	H	$\frac{H}{H_0}$	Q	$\frac{Q}{Q_m}$	H	$\frac{H}{H_0}$	Q	$\frac{Q}{Q_m}$	H	$\frac{H}{H_0}$
0	0	9,5	1,0	0	0	26	1,0	0	0	32	1,0
2	0,2	7,2	0,758	3	0,15	23	0,885	5	0,1	31,1	0,972
4	0,4	5,5	0,579	6	0,30	18,5	0,712	10	0,2	28,6	0,894
6	0,6	4,1	0,432	9	0,45	13,9	0,535	20	0,4	20,5	0,641
8	0,8	3,1	0,326	15	0,75	6,7	0,258	25	0,5	16	0,5
10	1,0	2,4	0,253	20	1,0	3,3	0,127	40	0,8	5,4	0,169
12	1,2	1,8	0,189					50	1,0	2,0	0,063

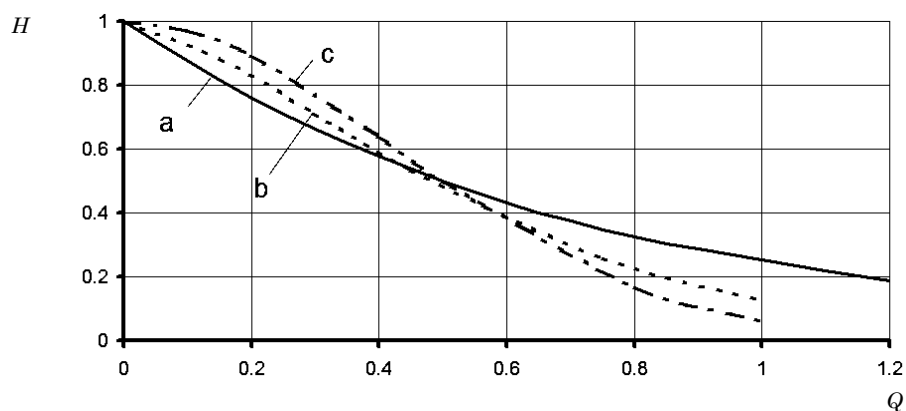


Рис. 5. Безрозмірна характеристика відцентрово-вихрового насоса при частоті обертання: а – 1000 об/хв; б – 2000 об/хв; с – 3000 об/хв.

3. ВИСНОВКИ

1 Проведено експеримент на відцентрово-вихровому насосі для визначення величин напору в залежності від подачі.

2 Запропоновано метод графоаналітичної побудови напірних характеристик.

3 Відповідно до рекомендацій [12] запропоновано вид аналітичної залежності, що описує зв'язок напору і подачі відцентрово-вихрового насоса, визначені величини констант входять у запропоновану формулу.

4 Проведено розрахунки за запропонованими формулами напірних характеристик для різних чисел обертів і зроблено зіставлення розрахункових кривих з експериментальними даними.

5 Проведена нормування напору і подачі; запропонована формула для побудови безрозмірних характеристик для різної частоти обертання.

Graphic-analytical method of defining pressure characteristics of centrifugal-vortex pumps

M. V. Naida¹⁾

¹⁾ *Sumy State University, 2, Rimsky Korsakov Str., 40007, Sumy, Ukraine*

The problem of forming effective pumping equipment for difficult operating conditions in different environments is rather vexed. For the last years new technologies in pump-building sphere that are directed to solving the problem in this work has been introduced.

Nowadays for the liquid transportation in the water-supply system, in the food and oil industries centrifugal-vortex pumps have got wide application. Their design feature is characterized by two staged: centrifugal and vortex.

Centrifugal-vortex pumps have rather good operating showings in the results of successful using of the positive qualities if the centrifugal working wheel and vortex one. They are fixed on the common shaft. Unfortunately there are few scientific works, devoted to the experimental and theoretical problems, that decelerate improvement of this kind of pumps. The improvement of the centrifugal-vortex pumps brakes the absence of analytic dependences. They describe the characteristics of these pumps.

The main item of this article is the receiving of the analytic expressions for the description of a pressure characteristic $H=f(Q)$ of a centrifugal-vortex pump.

A great number of experiments were done to solve this assigned task. Due to it we've got the results for building pressure characteristics in the frequency rotation 1000, 2000, 3000 rpm.

The article presented experiment's data with the centrifugal-vortex pump defining the force of pressure, depending on supply. Graphic-analytical method of defining pressure characteristics of centrifugal-vortex pumps is presented. Method of graphic-analytical construction of pressure characteristics is propounded. Calculations with the given formula of pressure characteristics for different number of turns, as well as the comparison of calculation curve lines with experimental results are made. The normalization of pressure and supply is done. Formula for constructing of dimensionless characteristics in different frequency rotation is suggested.

Keywords: centrifugal-vortex pump, graphic-analytical method, pressure characteristic, working wheel, experiment, pressure, meaning.

Графоаналитический метод определения напорных характеристик центробежно-вихревых насосов

М. В. Найда¹⁾

^{1), 2)} *Сумский государственный университет, ул. Римского-Корсакова, 2, 40007, Сумы, Украина*

Центробежно-вихревые насосы имеют достаточно хорошие эксплуатационные показатели, в результате удачного использования положительных свойств центробежного рабочего колеса и вихревого, закрепленных на общем валу. К сожалению научных работ, посвященных экспериментальным и теоретическим проблемам в открытой печати крайне недостаточно, что тормозит совершенствование этого вида насосов. Особенно усложняет работу по совершенствованию центробежно-вихревых насосов отсутствие аналитических зависимостей, описывающих характеристики центробежно-вихревых насосов. В статье представлены данные эксперимента на центробежно-вихревой насосе для определения величин напора в зависимости от подачи. Представлен графоаналитический метод определения напорных характеристик центробежно-вихревых насосов. Предложен метод графоаналитическим построения напорных характеристик. Проведены расчеты по предложенным формулам напорных характеристик для различных чисел оборотов и сделано сопоставление расчетных кривых с экспериментальными данными. Проведено нормирование напора и подачи; предложена формула для построения безразмерных характеристик для различной частоты вращения.

Ключевые слова: центробежно-вихревой насос, графоаналитический метод, напорная характеристика, рабочее колесо, эксперимент, напор, подача.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: www.nasossng.com.ua/centrovezhno-vihrevye-nasosy/ (дата обращения: 26.09.2014 г.).
2. Купряшин Н. Н. Центробежно-вихревые насосы / Н. Н. Купряшин // «Вестник машиностроения». – 1952. – №3. – С. 24 – 27.
3. Шаумян В. В. Исследование рабочего процесса центробежно-вихревого насоса / В. В. Шаумян // Труды ВНИИ-Гидромаш. – М.: 1978. – Вып. XXXVII. – С. 106 – 121.
4. Chamiech, Dimitri Suhayl. Forces ova whirling centrifugal pump-impeller / Chamiech, Dimitri Suhayl // Dissertation (Ph.D). – California Institute of Technology. – 1983.
5. Luca d'Agostino. Rotodynamic fluid forces on whirling and cavitating radial impellers / Luca d'Agostino, Marko R., Venturini Autieri // Fifth International Symposium on Cavitation (cav 2003). – Osaka, Japan. – November 1 – 4.
6. Tihomir Miholic. Performances and flow analysis in the centrifugal vortex pump / Tihomir Miholic, Zvonimir Guzovic, Andrej Prodin // Journal of Fluids Engineering. – January 01, 2013. – Volume 135. – Issue 1.
7. Mihalić Tihomir. Improving centrifugal pump by adding vortex rotor / Mihalić Tihomir, Medić Srđan, Kondić Živko // Tehnicki vjesnik / Technical Gazette. – Mar/Apr 2013. – Vol. 20. – Issue 2. – P. 305.
8. Ступень центробежно-вихревого насоса / [Рабинович А. И., Перельман О. М., Мельников М. Ю. и др.]. // Патент РФ №2232297.
9. Ступень погружного многоступенчатого насоса / [Выдрина И. В., Штенникова Г. А., Семенов Ю. Л. и др.]. // Патент РФ №2138691.
10. Найда М. В. Качественный анализ параметров центробежно-вихревых насосов при различной частоте вращения / М. В. Найда, Ю. Я. Ткачук // «Наукові праці ДонНТУ». Серія гірничо-електромеханічна – 2013.
11. Антоненко С. С. Методика проведення експериментальних досліджень роботи відцентрово-вихрових ступеней на високошвидкісних рідинах / С. С. Антоненко, Е. В. Колісниченко, М. В. Найда // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2010. – №2. – С. 7–13.
12. Ткачук Ю. Я. Совершенствование методов расчета промышленных роботов / Ю. Я. Ткачук. – К.: Знание. – 24 с.
13. Шашков В. Б. Обработка экспериментальных данных и построение эмпирических формул: курс лекций [учебное пособие] / В. Б. Шашков. – Оренбург, ГОУ ОГУ, 2005. – 150 с.
14. Нормировка показателей. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: www.psytest.wordpress.com. (дата обращения: 26.07.2014 г.).

REFERENCES

1. [Elektronnyiy resurs] – Rezhim dostupa. – URL: www.nasossng.com.ua/centrovezhno-vihrevye-nasosy/ (data obrascheniya: 26.09.2014). [in Russian].
2. Kupryashin N. N. (1952). Vestnik mashinostroeniya, Vol. 3, pp. 24–27. [in Russian].
3. Shaumyan V. V. (1978). Trudyi VNII-Gidromash. M., Vol. XXXVII, pp. 106–121. [in Russian].
4. Chamiech, Dimitri Suhayl. (1983). Forces ova whirling centrifugal pump-impeller. Dissertation (Ph.D), California Institute of Technology.
5. Luca d'Agostino, Marko R., Venturini Autieri. (2003). Fifth International Symposium on Cavitation, Osaka, Japan, Nov. 1–4.
6. Tihomir Miholic. (2013). Journal of Fluids Engineering, Vol. 5, Issue 1.
7. Mihalic Tihomir, Medic Srđan, Kondic Zivko. (2013). Tehnicki vjesnik / Technical Gazette, Vol. 20, Issue 2, pp. 305.
8. Rabinovich A. I., Perelman O. M., Melnikov M. Yu. i dr. Stupen tsentrovezhno-vihrevogo nasosa. Patent RF №2232297. [in Russian].
9. Vydrina I. V., Shtennikova G. A., Semenov Yu. L. i dr. Stupen pogruzhnogo mnogostupenchatogo nasosa. Patent RF #2138691. [in Russian].
10. Nayda M. V., Tkachuk Yu. Ya. (2013). Naukovi pratsi DonNTU. Seriya girnicho-elektromehanichna. [in Russian].
11. Antonenko S. S., KollIsnIchenko E. V., Nayda M. V. (2010). Visnyk Sums'kogo derzhavnogo universitetu. Seriya Tehnichni nauki, Vol. 2, pp. 7–13. [in Russian].
12. Tkachuk Yu. Ya. Sovershenstvovanie metodov rascheta promyshlennyih robotov. K., Znanie., 24 p. [in Russian].
13. Shashkov V. B. (2005). Obrabotka eksperimentalnyih dannyih i postroenie empiricheskikh formul: kurs lektsiy [uchebnoe posobie]. Orenburg, GOU OGU, 150 p. [in Russian].
14. Normirovka pokazateley. [Elektronnyiy resurs] – Rezhim dostupa. – URL: www.psytest.wordpress.com. (data obrascheniya: 26.07.2014) [in Russian].