

4. *Sinchuk O.N., Mikhajlichenko D.A., Chernyshev A.A., and others. High-tension Frequency Converter and Its Operation Mode // Technical Electrodynamics. Special issue. Power Electronics and Energy Efficiency. – 2012. – Pt.4 – P.123–127. (Rus)*

УДК 621.314.

В. С. Бойко

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

Кафедра ТЕ НТУУ "КПІ", м. Київ, Україна

М. І. Сотник

Сумський державний університет Кафедра ПГМ СумДУ, м. Суми, Україна

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПРОЦЕСУ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МОДЕЛІ ШЕСТИЛОПАТЕВОГО ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

*Осуществлено сравнение результатов теоретических исследований электромагнитных процессов в разных режимах работы электрической модели шестилопастного центробежного насоса с результатами моделирования тех же режимов в пакете схемотехнического моделирования электрических и электронных схем и в пакете программного обеспечения для моделирования гидравлических процессов. Сделан вывод относительно адекватности электрического способа моделирования рабочих процессов центробежных насосов. Бібл. 2, табл. 1, рис. 3.*

**Ключевые слова:** насос, модель, выпрямленное напряжение, напор, адекватность.

*Здійснено порівняння результатів теоретичних досліджень електромагнітних процесів у різних режимах роботи електричної моделі шестилопатевого відцентрового насоса з результатами моделювання тих же режимів у пакеті схемотехнічного моделювання електричних і електронних схем та у пакеті програмного забезпечення для моделювання гідравлічних процесів. Зроблено висновок щодо адекватності електричного способу моделювання робочих процесів відцентрових насосів. Бібл. 2, табл. 1, рис. 3.*

**Ключові слова:** насос, модель, випрямлена напруга, напір, адекватність.

#### Вступ

Використання для аналізу робочого процесу відцентрового насоса його електричної моделі доповнює традиційні методи досліджень і дозволяє застосовувати принципи гідроелектричної аналогії при дослідженні проблеми узгодженості характеристики насосного агрегату з характеристиками гідравлічної мережі та технологічного споживача.

Вплив результатів зазначених досліджень на обґрунтування доцільності проведення модернізації та формування вартості життєвого циклу насосного обладнання підтверджує актуальність теми досліджень.

**Мета роботи.** Довести адекватність гідравлічних процесів у відцентровому насосі та електромагнітних процесів у його електричній моделі через аналіз електромагнітних процесів в останній. Підтвердити отриманий результат стосовно насосного агрегату Д 2000-100.

#### Зміст роботи

На рис. 1 наведена схема електричної моделі відцентрового насоса Д 2000-100, який є пристроєм з однозавитковим спіральним відводом, робоче колесо якого має шість лопатей.

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= E_m \sin(\vartheta + \pi / 3); \\ e_2 &= E_m \sin \vartheta; \\ e_3 &= E_m \sin(\vartheta - \pi / 3); \\ e_4 &= E_m \sin(\vartheta - 2\pi / 3); \\ e_5 &= E_m \sin(\vartheta - \pi); \\ e_6 &= E_m \sin(\vartheta - 4\pi / 3). \end{aligned} \right\}$$

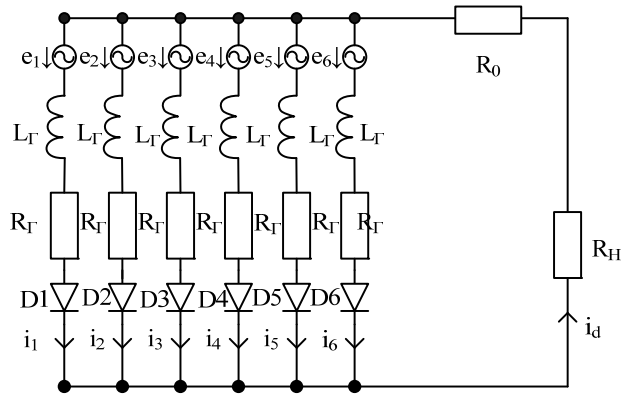


Рис. 1.

Схема містить шість паралельних віток, ЕРС яких мають однакову амплітуду та частоту і зсунені одна відносно одної на шосту частину періоду, що у дослідженні відображено наступним чином:

$\vartheta = \omega t$  - змінна, в якій виконуються розрахунки.

Відповідно до способу електричного моделювання відцентрових насосів [1] та раніше проведених досліджень [2], струм навантаження  $i_d$  (випрямлений струм) моделі на першому інтервалі часу  $0 \leq \vartheta \leq \gamma$ :

$$i_{d(1)} = \sqrt{3} E_m \sin(\vartheta + \pi / 2 - \varphi') / Z' + B e^{-\frac{(2R_H + R_\Gamma + 2R_0)\vartheta}{x_\gamma}},$$

де  $Z' = \sqrt{(2R_H + R_\Gamma + 2R_0)^2 + x_\gamma^2}$ ;  $\varphi' = \arctg(x_\gamma / (2R_H + R_\Gamma + 2R_0))$ ;  $R_e' = 2R_H + R_\Gamma + 2R_0$

У наведених виразах  $R_H$  - опір навантаження,  $R_\Gamma$  - опір, що моделює опір міжлопатевого каналу насоса,  $R_0$  - опір, який моделює втрати енергії у відводі,  $x_\gamma$  - індуктивний опір контуру комутації,  $B$  - стала інтегрування.

На другому інтервалі часу  $\gamma \leq \vartheta \leq \pi / 3$  випрямлений струм моделі запишеться так:

$$i_{d(2)} = E_m \sin(\vartheta + \pi / 3 - \varphi) / Z + A e^{-\frac{R_e(\vartheta - \gamma)}{x_\gamma}}, \quad \text{де } Z_e = \sqrt{(R_H + R_\Gamma + R_0)^2 + x_\gamma^2}; \quad \varphi = \arctg(x_\gamma / (R_H + R_\Gamma + R_0)).$$

Відповідно до викладеного, вирази миттєвого значення випрямленої напруги на першому та другому інтервалах, відповідно, є такими:

$$u_{d(1)} = \sqrt{3} E_m \sin(\vartheta + \pi / 2) / 2 - R_\Gamma E_m (1 - \cos \vartheta) / 2 x_\gamma,$$

$$u_{d(2)} = E_m \sin(\vartheta + \pi / 3) - (R_\Gamma + R_0) A e^{-\frac{R_e(\vartheta - \gamma)}{x_\gamma}} - (R_\Gamma + R_0) E_m \sin(\vartheta + \pi / 3 - \varphi) / Z.$$

Розрахунок за цими співвідношеннями кривої випрямленої напруги електричної моделі відцентрового насоса Д 2000-100 з робочим колесом  $\varnothing 850$  мм у режимі номінального навантаження зведено у таблицю.

Таблиця

Миттєве значення випрямленої напруги електричної моделі

$\vartheta$	0	5°	10°	15°	20°	25°	31.2	35°	40°	45°	50°	55°	60°
$u_d, (В)$	115	114	113	110	106	102	95	114	113	110	106	102	95

Результати моделювання режиму номінального навантаження у пакеті MicroCap 9.0 наведено на рис. 2. Як бачимо, результати аналітичного розрахунку і схемотехнічного моделювання збігаються.

На рис. 3. наведені криві вихідного напору насоса Д 2000-100, отримані при моделюванні того самого режиму роботи, здійсненому за допомогою програмного забезпечення ANSYS CFX 11.0, які також свідчать про адекватність електричного способу моделювання робочого процесу відцентрового насоса.

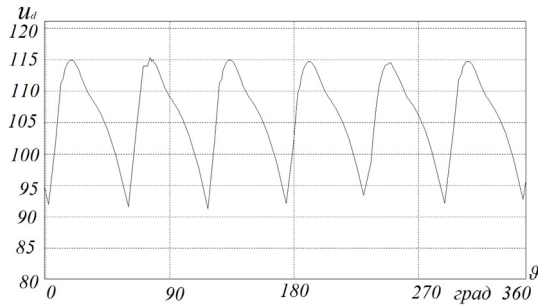


Рис. 2.

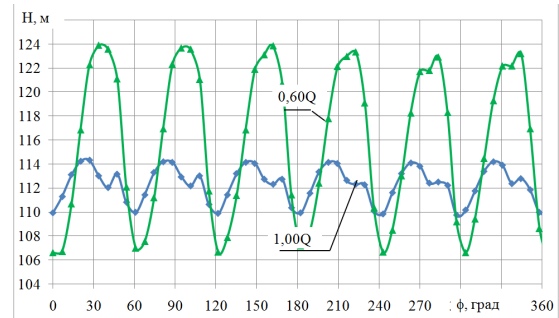


Рис. 3.

### Висновок

Наведені у роботі результати і результати інших досліджень за зазначеної теми підтверджують доцільність та адекватність електричного способу моделювання робочих процесів відцентрових насосів.

### Список літератури

1. Бойко В. С., Бойко В. В., Сотник М. І. Спосіб створення електричної моделі відцентрового насоса: Патент UA № 67781, МПК G06G 7/00./Бойко В. С., Бойко В. В., Сотник М. І. – у 2011 08267. Заявл. 01.07.2011. Опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5.

2. Бойко В. С., Сотник М. І. Моделювання відцентрового насоса методом електродинамічної аналогії // Технічна електродинаміка. – 2012. – Тематичний випуск. Частина 4. – С. 187–192.

## STUDY OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN ELECTRIC MODELS OF CENTRIFUGAL PUMPS WITH SIX BLADES

V.S. Boiko

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”

M.I.Sotnyk

Sumy State University

*The comparison of the results of theoretical studies of electromagnetic processes in different modes of electrical model of centrifugal pump with six blades with simulation results of the same modes in software package of technical modeling complex electrical and electronic circuits and in software package for modeling hydraulic processes was made. Conclusion on the adequacy of electrical modeling of workflow of centrifugal pumps was done.*

**Key words:** pump, model, rectified voltag, pump head, adequacy

1. Boiko V.S., Boiko V.V., Sotnik M.I. Method of creatingof electrical model of centrifugal pump: Patent UA №67781, IPCG06G7/00./ Boiko V.S., Boiko V.V., Sotnik M.I. - U201108267. Appl. 01.07.2011.Publ.12.03.2012, Bull. Number 5. (Ukr).

2. Boiko V.S., Sotnik M.I. Modeling of centrifugal pump byelectrodynamic analogy //Technical electrodynamics. Theme Issue.Part4- 2012. – P.187–192. (Ukr.).