

УДК 621.313:628.12

## ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНИЙ ПРИВОД НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ БАГАТОПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ

**О.В. Бібік**, канд. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

e-mail: [bibik@ied.org.ua](mailto:bibik@ied.org.ua)

*Розроблено комплексну математичну модель електромеханічної системи насосної установки багатоповерхового будинку з вентиляльно-індукторним двигуном (ВІД), яка реалізована засобами імітаційного та структурного моделювання. За результатами досліджень перехідних процесів визначено параметри регулювання частоти обертання ВІД, які забезпечують діапазон зміни продуктивності насоса згідно з добовим графіком холодного водопостачання багатоповерхового будинку. Проведено порівняльний аналіз показників енергетичної ефективності насосної установки з вентиляльно-індукторним та з регульованим асинхронним двигуном. Бібл. 6, рис. 2, таблиця.*

**Ключові слова:** вентиляльно-індукторний двигун, насосна установка багатоповерхового будинку, регулювання, енергоефективність.

**Вступ.** Сучасна тенденція розвитку електроприводу, у тому числі для об'єктів ЖКГ, полягає в активному використанні регульованого приводу замість традиційно нерегульованого, що дає змогу покращити його енергетичні характеристики, розширити діапазон регулювання продуктивності насосного агрегату за суттєвого зменшення споживання електричної енергії, підвищити ККД, збільшити енергоефективність системи в цілому [1–5].

Для забезпечення енергоефективних режимів насосних агрегатів на основі регульованих двигунів необхідно визначити конкретні закони регулювання, які враховують характер навантаження та зміну технологічних параметрів. Це передбачає розробку комплексної математичної моделі електромеханічної системи (ЕМС): електродвигун – насос – навантаження.

У статті [1] представлена комплексна математична модель ЕМС холодного водопостачання багатоповерхового будинку, яка містить такі блоки: асинхронного двигуна (АД), насоса та гідравліки. Останній визначає мінімальний необхідний тиск насоса залежно від задачі для конкретної характеристики магістралі. При цьому авторами запропоновано застосування як критерію комплексної оцінки енергоефективності системи насосної установки коефіцієнта енергоефективності, який враховує гідравлічні опори мережі.

Регульовані вентиляльно-індукторні двигуни (ВІД) є перспективними для використання у складі ЕМС зі змінним навантаженням, зокрема насосних агрегатів для систем тепло- та водопостачання, що підтверджено натурними випробуваннями [3, 4]. Дослідження та аналіз режимів ЕМС на основі ВІД потребують розробки комплексної математичної моделі системи ВІД – насос – навантаження, яка дасть можливість досліджувати електромеханічні та гідравлічні процеси і визначати параметри двигуна для регулювання продуктивності насоса згідно з добовим графіком водопостачання багатоповерхового будинку.

**Метою статті** є розроблення комплексної математичної моделі електромеханічної системи насосної установки багатоповерхового будинку на основі вентиляльно-індукторного двигуна для дослідження перехідних процесів ЕМС зі змінним навантаженням, визначення параметрів ВІД для регулювання продуктивності насоса згідно з добовим графіком водопостачання багатоповерхового будинку, порівняння показників енергетичної ефективності насосної установки з ВІД та з регульованим асинхронним.

**Математична модель** реалізована засобами імітаційного та структурного моделювання в системі MATLAB-Simulink з використанням бібліотеки SimPowerSystems (рис. 1). Електромеханічна система водопостачання складається з трубопроводу, насоса, вентиляльно-індукторного двигуна, регулятора частоти та напруги живлення, системи керування.

Обрано відцентровий насос типу К20/30 потужністю 3 кВт з відповідною характеристикою  $Q = f(H)$ . При математичному моделюванні допущено, що відбір води однаковий на

кожному поверсі. Добовий графік водоспоживання представлено узгодженими масивами витрат води  $[Q] = [2; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 20]$  м<sup>3</sup>/год та відповідним часом споживання  $[T] = [4; 2; 3; 2; 2; 3; 3; 5]$  год.

Значення мінімального (оптимального) напору насоса  $H_{opt} = H_{min}$  визначено як

$$H_{min} = R_{Г1} \cdot Q^2 + \sum_{i=2}^N \left\{ H_{sti} + R_i \left[ \left( Q \cdot K_i \right)^2 \right] \right\} + R_{ГN} \left( \frac{Q}{N} \right)^2, \quad (1)$$

де  $i$  – номер поверху ( $i = 1 \dots, N$ );  $N$  – кількість поверхів;  $R_{Г1}$  – опір трубопроводу горизонтальної ділянки (1-й поверх);  $R_{Г7}$  – опір останнього поверху (7-й поверх);  $H_{sti} = 3,51$  м,  $H_{st} = 21,06$  м статичні напори  $i$ -го поверху та результуючий;  $K_i$  – коефіцієнти, які розраховано за формулою  $K_i = \frac{N - i + 1}{N}$ .

Опір ділянок розраховано за формулою

$$R_i = \frac{\Delta H_i}{Q_i^2}, \quad (2)$$

де  $\Delta H_i$  – втрати напору по всій довжині ділянки;  $Q_i$  – максимальна секундна витрата води на розрахунковій ділянці.

Блок гідравліки представлено залежністю продуктивності насоса від мінімального напору:

$$Q = \sqrt{\frac{H_{min} - \sum_{i=2}^N h_{cti}}{R_{Г1} + \frac{N^2}{R_{RN}} + \sum_{i=2}^N R_i K_i^2}}. \quad (3)$$

Обрано вентильно-індукторний двигун з числом полюсів статора і ротора 6/4 та числом фаз  $m=3$  потужністю 3 кВт [2]. Вихідними даними ВІД є напруга живлення ланки постійного струму  $U_d$ , індуктивність обмотки статора по поздовжній осі  $L_d = 0,048$  Гн, індуктивність по поперечній осі  $L_q = 0,006$  Гн, активний опір фазної обмотки статора  $R_{\phi} = 3,54$  Ом, сумарний момент інерції приводу  $J = 0,003$  кг×м<sup>2</sup>, кути ввімкнення  $\theta_{вм}^\circ$  та вимкнення  $\theta_{вим}^\circ$  фази.

Проведено дослідження перехідних процесів при змінному навантаженні насосного обладнання на основі ВІД з використанням розробленої ММ насосного агрегату для визначення параметрів регулювання частоти обертання двигуна (напруги ланки постійного струму й кутів комутації), які забезпечують діапазон зміни продуктивності насоса згідно з добовим графіком водопостачання багатоповерхового будинку. Аналіз цих режимів здійснено з визначенням усталеного режиму (при закінченні перехідного процесу) за усталеними показниками частоти обертання двигуна, тиску та продуктивності (у подальшому – квазісталих режимів роботи).

ККД двигуна  $\eta_{ВІД}$  визначено як відношення корисної потужності

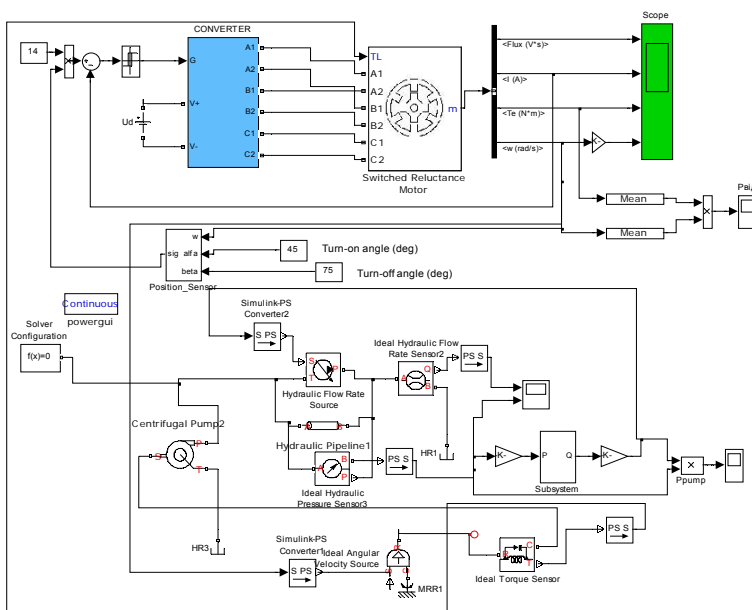


Рис. 1

$P_{2\text{ВІД}}$  до потужності  $P_1$ , яка споживається двигуном, та визначається як добуток корисної потужності, втрат в обмотці статора, сталі та механічних втрат [2].

Спираючись на підхід щодо визначення енергетичної ефективності ЕМС НУ [1], розраховано гідравлічну оптимальну корисну потужність ( $P_{gopt} = \rho g Q H_{\min}$ ), коефіцієнт її енергетичної ефективності  $K_{\text{еф}}$  (співвідношення оптимальної гідравлічної корисної потужності насоса з потужністю споживання з електричної мережі).

**Результати досліджень** параметрів квазісталих режимів насосного агрегату з ВІД та показників енергетичної ефективності при зміні кутів ввімкнення і постійній зоні комутації ( $30^\circ$ ) наведено в таблиці.

Параметри режимів	$Q_i, \text{ м}^3/\text{год}$						
	1,98	8,35	13,86	16	17,6	19,62	21,2
$U_d, \text{ В}$	200				250		
$I_\phi, \text{ А}$	4,05	4,29	4,65	5,1	5,44	5,91	6,48
$M_e$	4,54	5,098	5,77	6,18	6,687	7,56	8,12
$\omega_{\text{ср}}, \text{ рад/с}$	287	291,7	300,9	306	309,7	316	321,15
$\theta_{\text{вм}}^\circ$	50	48	45	42	48	45	42
$\theta_{\text{вим}}^\circ$	80	78	75	72	78	75	72
$H_{\min}, \text{ м}$	21,1	22,08	23,69	24,58	25,24	26,35	27,23
$P_{2\text{ВІД}}, \text{ Вт}$	1303	1487,2	1737,4	1870,5	2070,1	2389,6	2606
$P_{gopt}, \text{ Вт}$	114,8	501,2	834	1072,5	1200,6	1410,2	1573,35
$P_1, \text{ Вт}$	1532	1733,82	2015	2191,18	2461,6	2831,88	3119,2
$\eta_{\text{ВІД}}, \%$	85,05	85,77	86,22	85,36	84,1	84,38	83,54
$\eta_{\text{рмп}}, \%$	8,8	33,69	48	56,73	57,97	59,02	60,37
$K_{\text{еф}}, \%$	7,48	28,9	41,39	48,95	48,78	49,8	50,43

За результатами чисельних досліджень діапазону зміни продуктивності згідно з добовим графіком водопостачання встановлено, що ВІД забезпечує значення продуктивності, близької до номінальної ( $Q_n = 19,6 \text{ м}^3/\text{год}$ ) при напрузі ланки постійного струму  $U_d = 250 \text{ В}$ , куті вмикання  $\theta_{\text{вм}} = 15^\circ$  при постійній зоні комутації. Діапазон значень продуктивності, менших за номінальну (8:1): 16, 14, 8, 2 ( $\text{м}^3/\text{год}$ ), отримано завдяки кутам включення відповідно: 12, 15, 18 і 30 град та напрузі  $U_d = 200 \text{ В}$ .

Залежності ККД ВІД та коефіцієнти енергетичної ефективності насосного агрегату на основі ВІД і АД однакової потужності 3 кВт наведено на рис. 2. Показано, що ККД ВІД незначно змінюється в межах 83,5...86 % для діапазону зміни частоти обертання насосного агрегату (316...287 рад/с).

Значення коефіцієнтів енергетичної ефективності залежно від продуктивності для ЕМС НУ на основі ВІД практично співпадають зі значеннями  $K_{\text{еф}}$  при оптимальному регулюванні насосного агрегату ( $U = \text{var}, f = \text{var}$ ) на основі АД за максимальним значенням коефіцієнта ефективності  $K_{\text{еф}} = K_{\text{еф max}}$  [1], що забезпечує зменшення витрат енергії на водопостачання до 23 %.

У результаті аналізу робочих режимів електромеханічної системи насосної установки з ВІД встановлено відсутність нестійких режимів (помпажу) завдяки м'якій механічній характеристиці ВІД.

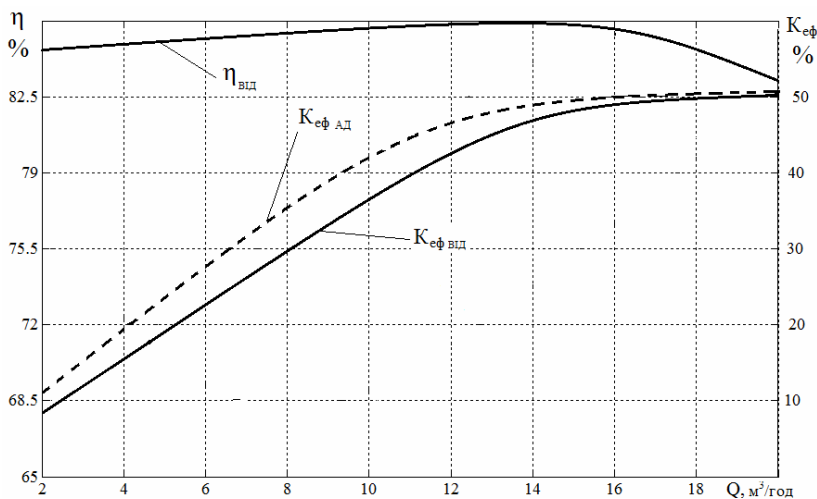


Рис. 2

динку, що дає змогу підвищити ККД двигуна та енергоефективність ЕМС у цілому.

1. Бібік О.В., Попович О.М., Шевчук С.П. Енергоефективні режими електромеханічної системи насосної установки багатоповерхового будинку // Техн. електродинаміка. – 2016. – № 5. – С. 38–45.
2. Звіт про НДР «Розробка засобів покращення технічних характеристик електроенергетичного обладнання на основі оптимізації електромеханічних, електромагнітних і теплових процесів» («Об'єкт-2»), (заклуччий) / ІЕД НАНУ; № ДР 0112U008207. Київ, 2015 р. – 364 с. – Керівник НДР Мазуренко Л.І.
3. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат. – 2006. – 360 с.
4. Никифоров Б.В., Цветкова А.А. Исследования вентильного индукторного двигателя в составе насосного агрегата // Электротехника. – 2007. – № 6. – С. 24–33.
5. Рожницкий Д.Б., Баталова Е.В., Филаткин М.С. Результаты испытаний реактивного индукторного привода насосного агрегата с регулируемой частотой вращения в системах тепло- и водоснабжения // Энергосбережение. – 2005. – № 2.
6. Сарач Б.М., Бастунский А.М. Заводские и натурные испытания насосных агрегатов с преобразователями частоты // Электротехника. – 1995. – № 7. – С. 19–20.

УДК 621.313:628.12

**Е.В. Би́бик**, канд. техн. наук

Институт электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы, 56, Киев-57, 03057, Украина

#### **Вентильно-индукторный привод насосной установки многоэтажного дома**

Разработана комплексная математическая модель электромеханической системы насосной установки многоэтажного здания с вентильно-индукторным двигателем, которая реализована средствами имитационного и структурного моделирования. По результатам исследований переходных процессов определены параметры регулирования частотой вращения ВИД, которые обеспечивают диапазон изменения производительности насоса согласно суточному графику холодного водоснабжения многоэтажного здания. Проведен сравнительный анализ показателей энергетической эффективности насосной установки с вентильно-индукторным и регулируемым асинхронным двигателем. Библи. 6, рис. 2, таблица.

**Ключевые слова:** вентильно-индукторный двигатель, насосная установка многоэтажного здания, регулирование, энергоэффективность.

**O.V. Bibik**

Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine,  
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03057, Ukraine

#### **Switched-reluctance drive of pump installation of the multi-storey building**

The mathematical model (MM) for complex research of the modes of electromechanical system of pump installation with switched-reluctance motor (SRM) of a multi-storied building is developed. MM is implemented by means of simulation and structural modeling. The parameters of regulation of frequency of rotation SRM from the results of studies of electromechanical processes were defined, which provide the range of variation of the performance of the pump in accordance with the daily schedule cold water multi-storey buildings. Comparative analysis of energy efficiency of the pumping installation with induction motor and switched-reluctance motor is appraised. References 6, figures 2, table.

**Key words:** switched-reluctance motor, pump installation of the multi-storey building, regulation, energy efficiency.

Надійшла 18.11.2016

Received 18.11.2016

**Висновки.** За результатами досліджень робочих режимів визначено параметри керування ВІД для регулювання продуктивності насоса згідно з добовим графіком водопостачання багатоповерхового будинку, що забезпечує зменшення витрат енергії на водопостачання до 23 %.

Обґрунтовано використання ВІД для регулювання продуктивності насосного агрегату, зокрема системи водопостачання багатоповерхового бу-