

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ І ВОДНИХ РЕСУРСІВ В СИСТЕМІ ВОДОПОСТАЧАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ ЗА ДВОРІВНЕВИХ СТОЯКІВ

О.М. Попович<sup>1\*</sup>, докт. техн. наук, Р.В. Яшин<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup> Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Берестейський, 56, Київ, 03057, Україна.

<sup>2</sup> НТУ України «КПІ ім. І. Сікорського»,  
пр. Берестейський, 37, Київ, 03056, Україна.

E-mail: [popovich1955@ukr.net](mailto:popovich1955@ukr.net).

*Досліджено вплив структури електромеханічної системи водопостачання 12-поверхового будинку (заміна одного стояку двома різнорівневими) на ефективність використання енергетичних і водних ресурсів. Розроблено та програмно реалізовано математичну модель електромеханічної системи, яка враховує залежність витрат поверху від величини тиску і дає змогу визначити потреби споживачів у воді за даними заданої циклограми водоспоживання будинку. За інформацією про відомі параметри базового варіанту системи водопостачання визначено параметри одного поверху і параметри варіантів системи будинку із стояками для обслуговування поверхів: 1-12; 1-6; 7-12. Дослідження виконано з урахуванням запропонованої часової залежності зміни вхідного тиску будинку. Розроблено засоби узагальненого визначення енергоефективності асинхронного двигуна системи водопостачання за апроксимаційними залежностями номінальних коефіцієнтів корисної дії (ККД) від потужності і ККД від ступеня завантаження. Порівняння варіантів здійснено за сформованим виразом критерію ефективності як відношення добової корисної дії системи з постачання води споживачам до вартості електричної енергії і води, спожитих за даний період. З результатів моделювання випливає, що двостояковий варіант забезпечує економію 4% води і 25% електроенергії із їх співвідношенням у грошовому виразі – 6:1. Це обґрунтовує пріоритетність урахування економії води під час модернізації систем водопостачання (паралельне зонування, регульований електропривод). Бібл. 11, табл. 1, рис. 3.*

**Ключові слова:** асинхронний двигун, паралельне зонування, ефективність споживання енергії і води.

Зростання кількості населення міст призводить до збільшення частки висотної забудови, що обумовлює збільшення енергоспоживання системами водопостачання будівель. Задля подолання недоліків цієї тенденції у сучасних будинках вдосконалюють системи електроприводу, структури систем водопостачання. Для отримання максимальної ефективності застосовують методи оптимального проектування. Зокрема, останнім часом у світі поширено використовуються системи водопостачання із паралельним зонуванням [1, 2]. У висотних будинках воно зводиться до заміни одного стояку кількома з селекцією за висотою поверхів, які обслуговуються. Системи з паралельним зонуванням забезпечують значне покращення енергетичної ефективності процесів водопостачання. Наприклад, заміна одного стояку 12-поверхового будинку двома (перший подає воду на 1-6 поверхи, другий на 7-12) супроводжується зниженням споживання енергії на 30% [3], причому за нерегульованого приводу. Регулювання може збільшити енергоефективність ще на 20%.

Значні резерви покращення енергетичної ефективності електромеханічних систем (ЕМС) водопостачання багатоповерхових будинків обумовлені розгалуженістю їхніх гідравлічних мереж. Це призводить до значних надлишкових напорів на нижніх поверхах (великий напір насоса забезпечує підйом води на останній поверх) і розсіювання цієї енергії у гідравлічних вентилях споживачів. Втрати у таких системах можуть бути на порядок більшими порівняно з одноадресною подачею. Мінімізації втрат незалежною подачею води на кожен поверх заважає зростання капітальних вкладень. Тому ефективна конфігурація системи з паралельним зонуванням повинна визначатися засобами оптимального проектування головним чином із застосуванням математичного моделювання [3].

Адекватність математичних моделей залежить від точності розрахункових методик, повноти врахування впливових чинників. Параметри робочих режимів ЕМС водопостачання будівель у

© Попович О.М., Яшин Р.В., 2025

ORCID: \* <https://orcid.org/0000-0002-9238-5782>; \*\* <https://orcid.org/0000-0002-4887-030X>

© Видавець Інститут електродинаміки НАН України, 2025



Це стаття відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.uk>

більшості випадків значною мірою залежать від тиску у вхідній магістралі. Його збільшення збільшує тиск у споживачів, сприяє зростанню витоків крізь нещільності, призводить до збільшення водоспоживання користувачами [4]. Також має місце збільшення водоспоживання обладнанням. За експериментальними даними витрати води збільшуються на 5...8% на кожен надлишкову атмосферу [5]. Внаслідок цього, за паралельного зонування покращується не тільки енергоефективність, але і ощадність використання водних ресурсів, що є важливим чинником з огляду на перспективи зростання вартості електричної енергії та води. Відповідно до звіту ЮНЕСКО 2024 року [6] потреби людства у прісній воді зростатимуть на один відсоток кожен рік. Найближчі кілька років щорічний приріст попиту на електричну енергію буде вищим за три відсотки [7]. До 2050 року очікується зростання попиту на електроенергію [8]. Зокрема прогнозується, що потреби в електроенергії житлової і комерційної нерухомості, пов'язані із кількістю населення, до 2050 року зростуть на 15%; а потреба домогосподарств в електричній енергії з 2021 по 2050 рр. в середньому зросте на 75%.

**Метою даної роботи** є вдосконалення математичної моделі електромеханічної системи водопостачання будинку з урахуванням залежності зміни витрат від величини тиску, розробка її програмної реалізації, формування виразу критерію ефективності як відношення добової корисної дії системи з постачання води до вартості спожитих електричних і водних ресурсів, і на цій основі виконання уточненого дослідження з їх економії за вдосконалення структури системи, а також кількісного оцінювання ефективності різних структур та визначення співвідношення при цьому енергетичної і ресурсної ефективності.

Математичне моделювання процесів ЕМС водопостачання будинку у роботі [3] виконано у припущенні однакового водоспоживання за поверхнями, але за експериментальними даними є вплив вхідного тиску на водоспоживання. Для урахування даного чиннику у роботі [5] обґрунтовано поняття «потреба споживачів у воді», яка приймається однаковою для всіх поверхів, а її зміна визначається за циклограмою водоспоживання будинку із урахуванням однакової закономірності впливу величини надлишку тиску на витрати для всіх поверхів.

У даній роботі ефективність системи водопостачання оцінено за споживанням як енергетичних, так і водних ресурсів. Тому, показником корисної дії системи за кінцевим результатом прийнята величина потенційної енергії води, яка доставлена споживачам для корисного використання (оцінюється потребою), а спожиті ресурси оцінюються обсягом фінансування, потрібним для оплати спожитої води і витраченої електричної енергії. Об'єктом дослідження є процеси енерго- та ресурсовикористання у ЕМС водопостачання 12-поверхового будинку із порівнянням варіантів одного стояку та двох різнорівневих. Вихідну інформацію для побудови математичної моделі отримано за відомими параметрами варіанту системи 7-поверхового будинку.

**Початкові умови** для дослідження 12-поверхового будинку з одним та двома стояками:

- 1) циклограма потреб води за всіма поверхнями однакова;
- 2) напірна характеристика насоса, який обслуговує систему з одним стояком, є визначеною;
- 3) структура насоса відповідає двом паралельним потокам, напір у кожному з них створюється двома однаковими робочими колесами, які з'єднано послідовно [3];
- 4) характеристики асинхронного двигуна (АД) забезпечують його номінальний режим (із заданим коефіцієнтом запасу) в умовах роботи насоса за одного стояку в період максимуму циклограми. Даний двигун забезпечує енергією робочі колеса і в умовах двох стояків [3];
- 5) еквівалентна гідравлічна характеристика розгалуженої мережі визначається за однакових гідравлічних опорів: ділянок стояку між поверхнями і трубопроводів горизонтальної розводки поверхом за максимально відкритих вентилях споживача;
- 6) споживання води поверхом збільшується в залежності від тиску на вході із розрахунку збільшення витрат на величину  $F = 5.5\%$  [5] на кожні додаткові 0,1 МПа, порівняно із мінімальним достатнім тиском для нормальної експлуатації, який за Державними будівельними нормами (ДБН) [9] на вході квартири становить 0,2 МПа. Приймаємо, що він забезпечується мінімумом тиску мережі на вході будинку за максимуму водоспоживання, а втрати тиску у внутрішній мережі при цьому компенсуються напором насоса.

**Методологія визначення вихідних даних чисельного експерименту** сформована з метою отримання кількісної оцінки ефективності ЕМС водопостачання багатоповерхових будинків за варіювання їх структурою і величиною конструктивних параметрів складових системи. Кількісна оцінка здійснюється за величиною коефіцієнта ефективності системи у режимі, який досліджується. Уточнене значення цієї величини отримується за результатами математичного моделювання режиму

варіанту системи: визначаються параметри усталених робочих режимів в умовах балансу енергії між джерелом і споживачем за рівняннями електричної, механічної і гідравлічної рівноваги [3].

Початковим об'єктом визначення вихідних даних для дослідження обрана ЕМС водопостачання будинку (з одним стояком) з відомими конструктивними і режимними параметрами: кількість поверхів ( $k$ ), їхня висота ( $h$ ), характеристика насосу, добова циклограма водоспоживання, [3]. Для даного об'єкту умовам балансу між напором насосу ( $H_p$ ) і втратами напору у гідравлічній мережі системи за заданого максимуму циклограми водоспоживання відповідає величина гідравлічних опорів ділянок стояку ( $R$ ), яку можна визначити з рівнянь балансу напору і подачі за мінімуму тиску вхідної мережі [5],

$$Q = kQ_k + fQ_k \sum_{i=1}^{k-1} \left\{ \sum_{j=i+1}^k \left[ h_j + R \left( \sum_{q=j}^k Q_q \right)^2 \right] \right\}; \quad (1)$$

$$H_p(Q) = H_{st} + k_{R1}RQ^2 + k_{Rk}RQ_k^2 + R \sum_{i=2}^{k-1} \left( \sum_{q=i}^k Q_q \right)^2, \quad (2)$$

де  $k$  – кількість поверхів;  $H_{st} = \sum_{i=1}^k h_i$  – статичний напір води на останньому поверсі;  $h$  – висота поверху;  $f = 10^{-3}F = 0,0055$  [5];  $k_{R1}, k_{Rk}$  – коефіцієнти збільшення гідравлічного опору поверху у загальній схемі гідравлічної мережі у відносних одиницях опору стояку даного поверху з урахуванням: для останнього поверху – трубопроводу його горизонтальної розводки, для першого – трубопроводу від стояку до насосу [3];  $Q_q$  – сумарні витрати за поверхами від першого до  $k-1$ . У рівняннях (1), (2) за точки максимуму робочої подачі насосного агрегату К-20/30, прийнято:  $Q=23,3$  м<sup>3</sup>/год та  $H_p=23,2$  м; а також:  $h_i = 2,8$  м і  $k_{Rk} = 250, k=7; k_{R1} = 1$  [3].

Розв'язок рівнянь (1), (2) за алгоритмом [5] забезпечує визначення  $R$  і  $Q_k$ . Ці витрати на останньому поверсі у період максимуму водоспоживання визначають потребу споживачів у воді на даному періоді [5]. За умовами розрахунку у період максимуму на останньому поверсі нема надлишкового (порівняно із допустимим мінімумом за ДБН) напору, і витрати останнього поверху дорівнюють потребі споживачів. На інших поверхах витрати будуть більші за потреби в залежності від тиску на поверсі і величини  $f$ . На інших періодах циклограми водоспоживання буде більшим (за потреби) на всіх поверхах внаслідок зниження втрат напору у внутрішній мережі будинку і також у зовнішній. Останнє призводить до збільшення напору вхідної мережі на величину  $H_{\Delta}$ .

Визначимо залежність  $H_{\Delta}$  від витрат за умови однакової часової закономірності зміни втрат напору у зовнішній і внутрішній мережах. При цьому буде мати місце рівність співвідношення повної витрати за циклограмою  $Q_c$  до витрат, що відповідають мінімальному споживанню за циклограмою  $Q_{cmin}$ , тобто  $Q_c / Q_{cmin}$ , і витрат зовнішньої мережі  $Q_z$ , що відповідають часовому періоду для  $Q_c$ , до мінімальної витрати у зовнішній мережі, що відповідає мінімальному споживанню відповідно до  $Q_{cmin}$ , тобто  $Q_z / Q_{zmin}$ , а також залежність  $Q_z = Q_{zmin} Q_c / Q_{cmin}$ . Аналіз виконаємо за заданим діапазоном зміни напору зовнішньої мережі від максимального до мінімального значень:  $H_{\Delta max} = H_{z max} - H_{z min}$ , де  $H_{z max}$  та  $H_{z min}$  – відповідно максимальне та мінімальне значення напору зовнішньої мережі. З урахуванням цього запишемо співвідношення

$$H_{z max} = H_{zp} - R_z Q_{z min}^2;$$

$$H_{z min} = H_{zp} - R_z Q_{z min}^2 (Q_{c max} / Q_{c min})^2;$$

$$H_z = H_{zp} - R_z Q_{z min}^2 (Q_c / Q_{c min})^2,$$

де  $H_z$  – напір зовнішньої мережі;  $H_{zp}, R_z$  – величини еквівалентних напору насосу і опору у зовнішній мережі.

З різниць першого і другого, а також першого і третього рівнянь виразимо величини  $R_z Q_{z min}^2$ , прирівняємо праві частини цих рівнянь і отримаємо співвідношення, з якого після

перетворення з урахуванням  $H_{\Delta} = H_z - H_{z \min}$  отримаємо шукану залежність від величини витрат за циклограмою

$$\frac{H_{z \max} - H_{z \min}}{(Q_{c \max} / Q_{c \min})^2 - 1} = \frac{H_{z \max} - H_z}{(Q_c / Q_{c \min})^2 - 1}; H_{\Delta}(Q_c) = H_{\Delta \max} \left( 1 + \frac{Q_{c \min}^2}{Q_{c \max}^2 - Q_{c \min}^2} - \frac{Q_c^2}{Q_{c \max}^2 - Q_{c \min}^2} \right). \quad (3)$$

Формування циклограми потреб виконаємо відповідно до виразу [5], який уточнено з (3),

$$Q_c = k \left\{ Q_{rc} + f Q_{rc} \left[ H_{pc}(Q_c) + H_{\Delta}(Q_c) - H_{r \min} - k_{R1} R Q_c^2 - h_1 \right] + f Q_{rc} \sum_{i=2}^k \left\{ H_{pc}(Q_c) + H_{\Delta}(Q_c) - H_{r \min} - \sum_{j=2}^i \left[ h_j + R \left( Q_c - \sum_{q=j-1}^{i-1} Q_{qc} \right)^2 \right] \right\} \right\}, \quad (4)$$

$$Q_{ic} = Q_{rc} + f Q_{rc} \left\{ H_{pc}(Q_c) + H_{\Delta}(Q_c) - H_{r \min} - k_{R1} R Q_c^2 - h_1 - \sum_{j=2}^i \left[ h_j + R \left( Q_c - \sum_{q=j-1}^{i-1} Q_{qc} \right)^2 \right] \right\}, \quad (5)$$

де  $Q_{qc}(Q_{ic})$  – витрати води  $q$ -го ( $i$ -го) поверху за ділянки циклограми з номером  $c$ ;  $Q_{rc}$  – потреба у воді на поверх за ділянки циклограми з номером  $c$ ;  $H_{pc}(Q_c)$  – напір насосу початкового об'єкту визначення вихідних даних (семиповерховий будинок, [3]) для ділянки циклограми з витратами  $Q_c$  визначається за апроксимацією напірної характеристики насосу із визначенням його швидкості з урахуванням завантаження АД за комплексною моделлю ЕМС, [3];  $H_{\Delta}(Q_c)$  – величина збільшення тиску вхідної мережі відповідно (3);  $H_{r \min} = R(k_{Rk} - 1)Q_k^2$  – мінімальний потрібний напір на поверхі (відповідає напору останнього поверху за ділянки циклограми з максимальною подачею) [5].

Розв'язок рівняння (4) відносно  $Q_{rc}$  з відомою  $Q_c$  дає можливість визначити циклограму потреб для аналізу різних структур ЕМС водопостачання. Результат розрахунку потреб наведено на рис. 1. Показано фрагмент програми: витрати етапів заданої циклограми, віднесені до одного поверху; циклограми потреб за сталості вхідного тиску і зміні  $H_{\Delta}$  відповідно (3) із  $H_{\Delta \max} = 20$  м.

0.2857	0.2714	0.2455
0.5714	0.5386	0.4889
0.8571	0.803	0.7328
1.143	1.066	0.9797
1.429	1.329	1.232
1.714	1.593	1.493
2.286	2.131	2.053
2.857	2.69	2.69
Qc/k	Qrc_Hdel=0	Qrc_Hdel(Qc), Hdel_max=20m

Рис. 1

Корекція характеристик насосного агрегату потрібна для аналізу різних структур ЕМС із зміною висоти підйому води. Для коректності порівняльного дослідження аналіз виконується за однакових енергоефективних властивостей насосів різних варіантів системи [3]. Це досягається трансформацією напірних характеристик насосу К-20/30 відповідно до потреб варіанту системи. Трансформацію напірних характеристик здійснено відповідно до положень теорії подоби турбомашин на етапі їх апроксимації [3]. Вихідною інформацією для цієї апроксимації є координати характерних точок характеристик:  $H_0$  – величина напору за нульової подачі;  $Q_n, H_n$  – номінальні подача, напір;  $Q', H', Q'', H''$  – координати початку та кінця робочої ділянки напірної характеристики. Ці координати змінюються пропорційно зміні напорів і подач варіанту системи. Для випадку 12 поверхів ( $k=12$ ) з одним стояком застосуємо модельний насос, характеристики якого отримуємо після збільшення величин напорів і подач у вихідних даних насосу К-20/30 з коефіцієнтом 12/7 (співвідношення кількості поверхів) [3]. Відповідно до зміни характеристик насосу потужність його двигуна для 12-поверхового будинку треба збільшити у  $144/49=2,94$  рази. Це досягається застосуванням АД 4A112M2Y3 із номінальною потужністю 7,5 кВт (для початкового варіанту 7-поверхового будинку був застосований з запасом АД 4A90L2Y3 потужністю 3 кВт [3]). Для 12 поверхів з двома стояками коефіцієнт зміни подач і напорів у вихідних даних насосу [3]:

- для меншого стояку ( $k = 6$ ;  $H_{st6} = \sum_{i=1}^k h_i$ ;  $k_{R1} = 1$ ) -  $12/7/2=6/7$ ;
- для більшого ( $k = 6$ ;  $k_{R1} = 7$ ;  $H_{st12} = 2 \sum_{i=1}^k h_i$ ) для подач –  $6/7$ , а напорів –  $12/7$ .

Аналіз із використанням модельного насосу з трансформованими характеристиками уніфікує енергоефективні властивості варіантів насосних агрегатів, що забезпечує дослідження ефективності власне паралельного зонування. Співвідношення трансформованих характеристик із реальними можна побачити на прикладі трансформації характеристик насосів Pedrollo, Італія [10]. Як базовий варіант прийнято насос F32/160A, координати робочих точок характеристик якого перераховано з коефіцієнтом  $12/7$  і порівняно з відповідними точками характеристик інших насосів даного виробника. Результати, які зведено до таблиці, показують достатню кореляцію перерахованих і реальних характеристик: перерахована характеристика знаходиться між можливими реальними варіантами.

параметр	F32/160A	перерахунок характеристик F32/160A з коефіцієнтом 12/7	F40/200A	F40/250C
$Q''$ , м <sup>3</sup> /год.	27	46	42	42
$H''$ , м	24	41	41	47
$H_0$ , м	38	65	55	64

**Математична модель** для комплексного дослідження ЕМС АД – насос – розгалужений трубопровід наведена в [3]. Відмінність моделі даної роботи полягає у невідомій продуктивності насосу на кожному етапі циклограми потреб. Для отримання цієї інформації розв'язуються рівняння (4), (5) відносно  $Q_c$ . Дана величина використовується для визначення напору і ККД насосу, потужності АД. За двох стояків механічна потужність насосної частини кожного з них визначається окремо (внаслідок різного впливу надлишкового тиску на величини витрат за стояками), а потім підсумовується задля визначення навантаження АД. Задля спрощення аналізу енергоефективність АД визначається за апроксимаційними залежностями за даними довідника: номінального ККД від номінальної споживаної потужності і зміни ККД із ступеню завантаження [10]. Залежність ККД від потужності на валу, яка потрібна у даному аналізі, визначається із залученням розв'язку нелінійного рівняння відносно номінальної споживаної потужності.

**Комплексний критерій ефективності** ЕМС водопостачання будинку визначимо інтегрально за добовий цикл як відношення корисної дії системи (потенційна енергія води [3] за потребою споживачів) до обсягу спожитих ресурсів (вартість спожитої електричної енергії і води)

$$Kef = \rho g H_{st} 0.5(k+1) \sum_{c=1}^{Nc} Q_{rc} T_c \left/ \sum_{c=1}^{Nc} T_c (c_e P_{1c} + c_w Q_c) \right., \quad (6)$$

де  $Nc$  – кількість етапів циклограми добових витрат води із тривалістю  $T_c$ ;  $c_e, c_w$  – ціна кВт\*год електричної енергії і м<sup>3</sup> води;  $P_{1c}$  – потужність споживання електричної енергії;  $\rho$  – густина води;  $g$  – прискорення вільного падіння, 9.81, м/с<sup>2</sup>.

За використання виразу (6) для порівняння ефективності ЕМС водопостачання з одним та двома стояками можна вилучити однакові чисельники (6) і визначити ступінь збільшення величини коефіцієнту ефективності ЕМС завдяки паралельному зонуванню  $\delta Kef$  і питому вагу економії водних ресурсів порівняно із енергетичними  $\delta \epsilon$  (індекси  $I, II$  – вказують на кількість стояків)

$$\delta Kef = \sum_{c=1}^{Nc} T_c (c_e P_{1cI} + c_w Q_{cI}) \left/ \sum_{c=1}^{Nc} T_c (c_e P_{1cII} + c_w Q_{cII}) \right., \quad (7)$$

$$\delta \epsilon = \sum_{c=1}^{Nc} T_c c_w (Q_{cI} - Q_{cII}) \left/ \sum_{c=1}^{Nc} T_c c_e (P_{1cI} - P_{1cII}) \right. . \quad (8)$$

**Чисельний експеримент** з порівняльного дослідження енерго- та водоспоживання 12-ти поверхового будинку з одним та двома стояками виконано в умовах ціни  $c_e = 2,64$  грн./кВт\*год;  $c_w = 30,38$  грн./м<sup>3</sup>. Максимум добових коливань тиску на вході будинку прийнятий 2 атм. Програма і результати розрахунку засобами системи МАТЛАБ наведені на рис. 2.

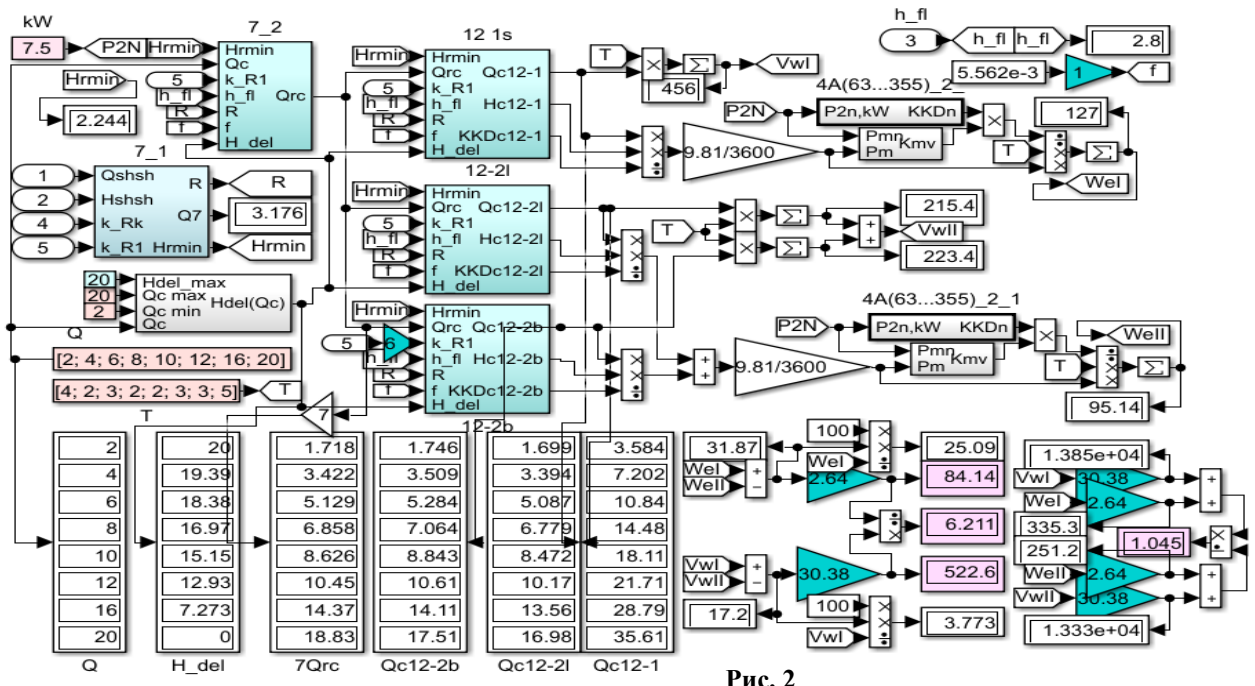


Рис. 2

Аналіз починається з визначення вихідних даних щодо параметрів одного поверху (на основі заданих характеристик 7-поверхового будинку, на рис. 2 блоки 7\_1 і 7\_2):  $R$ ;  $Q_{rc}$ ;  $H_{rmin}$ ;  $H_{\Delta}(Q_c)$ . Блоки даних про циклограму промарковані світлим коричневим кольором. Інформація про розраховані зміну вхідного тиску і циклограму потреб наведена на рис. 2. Розрахунок параметрів робочих режимів варіантів ЕМС з одним стояком (блок 12 1s) і двома (блоки 12-2l, 12-2b для меншого і більшого стояків, відповідно) виконано відповідно часовим періодам вихідної добової циклограми. Результати показано на дисплеях рис. 2. Інформація про добове споживання системами з одним та двома стояками передається блоками: електричної енергії –  $WeI$ ,  $WeII$ ; води –  $VwI$ ,  $VwII$ .

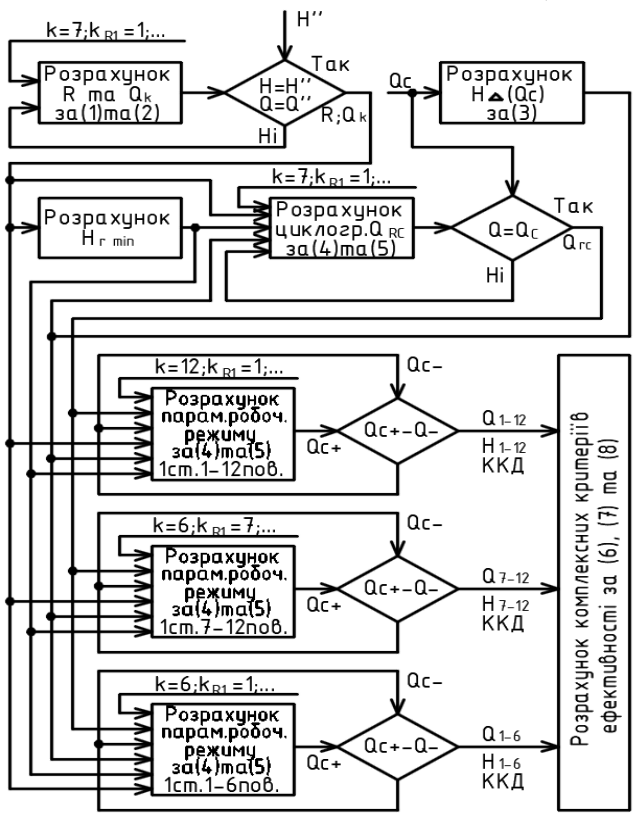


Рис. 3

На рис. 3 представлено алгоритм розрахунків математичної моделі рис. 2, який відображає весь викладений опис послідовності дій (кроків), в тому числі представлений рівняннями (1) – (8), необхідними для розрахунку коефіцієнту ефективності. У наведеній схемі числами у дужках позначаються номери ріннянь, що використовуються для виконання вказаної на схемі дії. Розв'язок нелінійних рівнянь (1), (2) і (4), (5) здійснено із використанням бібліотечного блоку «Algebraic constraint».

Виконаний аналіз у припущенні сталості швидкості обертання ротора насосного агрегату показав, що застосування дворівневих стояків забезпечує добову економію коштів на оплату води – 522,6 грн., а електроенергії – 84,14 грн. Тобто, корисний ефект економії водного ресурсу перевищує енергетичний у  $\delta = 6,211$  рази. Збільшення величини коефіцієнту ефективності ЕМС  $\delta K_{ef}$  становить 4,5%. Відносна економія електричної енергії – 25,09%, води – 3,77%.



**Висновки.** Розроблені математичні і програмні засоби забезпечують кількісну оцінку ефективності використання електричної енергії і води за паралельного зонування ЕМС водопостачання багатоповерхового будинку за варіювання кількості поверхів, діапазону добових коливань вхідного тиску, ступеня впливу надлишку тиску на водоспоживання. Під час визначення величини коефіцієнту ресурсної ефективності враховується співвідношення ціни електричної енергії і води, зміна величини ККД приводного АД із зміною габаритної потужності і ступеня завантаження.

Застосування дворівневих стояків варіанту 12-поверхового будинку забезпечує добову економію коштів на оплату води – 522,6 грн., електроенергію – 84,14 грн. (відповідно 3,8% і 25%). Обґрунтування доцільності заходів з вдосконалення ЕМС водопостачання багатоповерхових будинків завдяки зниженню надлишкових тисків (паралельне зонування, регульований електропривод) обов'язково повинно враховувати економію води, яка значно перевищує економію електричної енергії.

1. Huong N., Anh N., Huyen D., Son T., Cuong D. Optimization to water supply system design and operation scheme in high rise buildings. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*. 2018. Vol. 12. No 3. Pp. 123-131. DOI: [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(3\)-12](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(3)-12).

2. Jens N., Anders N. Water supply in tall buildings: Roof tanks vs. pressurised systems. *Grundfos Water Boosting*. 2014

3. Попович О.М., Яшин Р.В. Дослідження енергоефективності електромеханічної системи водопостачання багатоповерхового будинку із дворівневими стояками. *Технічна електродинаміка*. 2023 № 1. С. 42-50. DOI: [https://doi.org/10.15407/techned2023.01\\_042](https://doi.org/10.15407/techned2023.01_042).

4. Suchacek T., Tuhovcak L., Rucka J., Sensitivity analysis of water consumption in an office building. *The First Conference of the International Water Association IWA for Young Scientist in Poland: Water, Wastewater and Energy in Smart Cities*. 2018. Vol. 30. Issue 01002. Pp. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183001002>.

5. Яшин Р.В. Визначення параметрів математичної моделі системи водопостачання багатоповерхового будинку за зміни вхідного тиску. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2024. № 3. С. 40-46. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2024.314532>.

6. United Nations. The United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and peace. UNESCO, Paris.

7. International Energy Agency. Electricity 2024. Analysis and forecast to 2026 (Report). Typeset in France by IEA, January 2024.

8. ExxonMobil. Energy demand: Three drivers, Report, January 8, 2024.

9. Державні будівельні норми України. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I: Проектування. Частина II. Будівництво. ДБН В.2.5-64:2012. Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2012. 122 с.

10. Pedrollo the sprinf of life. URL: [www.pedrollo.com](http://www.pedrollo.com) (дата звернення 15.05.2024).

11. Попович О.М. Моделювання систем з сезонними тепловими акумуляторами відновлюваної енергетики. *Відновлювана енергетика*. 2023. № 3. С. 115-126. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3\(74\)115-126](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(74)115-126).

## STUDY OF ECONOMY OF ENERGY AND WATER RESOURCES IN THE WATER SUPPLY SYSTEM OF A HIGH-STORY BUILDING WITH TWO-TIER RISER

O.M. Popovych<sup>1</sup>, R.V. Yashyn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine, Beresteiskyi Ave., 56, Kyiv, 03057, Ukraine.

E-mail: [popovich1955@ukr.net](mailto:popovich1955@ukr.net).

<sup>2</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Beresteiskyi Ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

*The influence of the structure of the electromechanical water supply system of a 12-story building (replacing one riser with two risers of different levels) on the efficiency of energy and water resource use was studied. A mathematical model of the electromechanical system has been developed and implemented in software, which takes into account the dependence of the floor consumption on the pressure value and allows determining the water needs of consumers based on the given cyclorama of the water consumption of the house. According to the information about the known parameters of the basic version of the water supply system, the parameters of one floor and the parameters of the variants of the building system with risers for servicing floors are determined: 1-12; 1-6; 7-12. The study was carried out taking into account the proposed time dependence of the change in the input pressure of the house. Means of generalized determination of the energy efficiency of the asynchronous motor of the water supply system based on approximate dependences of nominal efficiency on power and efficiency on the degree of loading have been developed.*

The comparison of options was carried out according to the formulated expression of the efficiency criterion, as the ratio of the daily useful effect of the water supply system to consumers to the cost of electricity and water consumed during the given period. According to the simulation results, the two riser option provides savings of 4% of water and 25% of electricity with their ratio in monetary terms 6:1. This justifies the priority of taking into account water savings when justifying the modernization of water supply systems (parallel zoning, adjustable electric drive). References 11, table 1, figures 3.

**Keywords:** asynchronous motor, parallel zoning of the water supply system, efficiency of energy and water consumption.

1. Huong N., Anh N., Huyen D., Son T., Cuong D. Optimization to water supply system design and operation scheme in high rise buildings. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*. 2018. Vol. 12. No 3. Pp. 123-131. DOI: [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(3\)-12](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(3)-12).
2. Jens N., Anders N. Water supply in tall buildings: Roof tanks vs. pressurised systems. *Grundfos Water Boosting*. 2014
3. Popovych O.M., Yashin R.V. Research of the energy efficiency of the electromechanical water supply system of a multi-story building with two-level risers. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2023. No 1. Pp. 42-50. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2023.01.042>. (Ukr)
4. Suchacek T., Tuhovcak L., Rucka J., Sensitivity analysis of water consumption in an office building. *The First Conference of the International Water Association IWA for Young Scientist in Poland: Water, Wastewater and Energy in Smart Cities*. 2018. Vol. 30. Issue 01002. Pp. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183001002>.
5. Yashin R.V. Determination of the parameters of the mathematical model of the water supply system of a high-store building under changes in the inlet pressure. *Enerhetyka: Ekonomika, tekhnologii, ekologiya*. 2024. No 3. Pp. 40-46. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2024.314532>. (Ukr)
6. United Nations. The United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and peace. UNESCO, Paris.
7. International Energy Agency. Electricity 2024. Analysis and forecast to 2026 (Report). Typeset in France by IEA, January 2024.
8. ExxonMobil. Energy demand: Three drivers, Report, January 8, 2024.
9. State building regulations of Ukraine, Internal water supply and sewerage, Part I. Design. Part II. Construction. DBN V.2.5-64:2012. Kyiv, Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2013. 122 p. (Ukr)
10. Pedrollo the sprinf of life. URL: [www.pedrollo.com](http://www.pedrollo.com) (accessed at 15.05.2024).
11. Popovych O.M. Simulation of renewable energy systems with seasonal heat accumulators. *Vidnovliuvana enerhetyka*. 2023. No 3. Pp. 115-126. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3\(74\)115-126](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(74)115-126). (Ukr)

Надійшла 20.05.2024  
Остаточний варіант 28.10.2024