

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ ЗА ЗМІНИ ВХІДНОГО ТИСКУ

Досліджено перспективи поліпшення енерго- та ресурсоефективності систем водопостачання. Проаналізовано особливості роботи системи водопостачання багатоповерхового житлового будинку за умов збільшення тиску на вході систем водопостачання. Розроблено математичні і програмні засоби для формування рекомендацій з впровадження енерго- та ресурсозберігаючих підходів при проектуванні систем водопостачання багатоповерхових будинків. З метою розробки уточненого математичного забезпечення для розробки рекомендацій з підвищення енергоефективності систем водопостачання виконано уточнення розрахунків водоспоживання багатоповерхового будинку, отримано вирази розподілу величин водоспоживання за поверхнями. Запропоновано і обґрунтовано застосування показника робочого режиму системи: потреби споживачів у воді, як величини водоспоживання за мінімально достатнього вхідного тиску. Відповідно до циклограми споживання води користувачами будинку, визначено потребу у воді, єдину для усіх поверхів. Розроблено методологію розрахунку водоспоживання кожним окремим поверхом за експериментальними результатами зміни водоспоживання будинку із зміною вхідного тиску. Досліджено вплив величини надлишкового тиску на вході будинку на величину водоспоживання його мешканцями. На прикладі семиповерхового будинку встановлено, що через надлишковий тиск у системі, за однакової потреби мешканців у воді, різниця споживання між першим та сьомим поверхом може становити 9%. Отримано результати розрахунків витрат для нульового значення надлишкового тиску на вході системи водопостачання; отримано результати розрахунків витрат для надлишкових тисків що відповідають 1, 2, 3 та 4 атм. Для дослідженого прикладу семиповерхового будинку розраховано ймовірні річні збільшення витрат води для кожного з зазначених вище надлишкових тисків, що складають 4718, 9400, 14070 та 18696 м³ відповідно.

Ключові слова: системи водопостачання, енергоефективність, зонне водопостачання, електромеханічні системи

За даними «Світового Банку» [1], зараз 56% населення світу живе у містах. Очікується, що до 2050 року збережеться тенденція збільшення кількості міського населення: воно подвоїться порівняно з теперішнім часом, і майже 7 з 10 людей будуть жити у містах. Відповідно до [2] під час експлуатації багатоповерхових будинків, третина енергії, що витрачається на перекачку води, витрачається на її підйом, і чим вище будинок, тим більшою є ця частка. Що до України: за даними [3] комунальні господарства, в загальній структурі енергоспоживання країни, займають долю у 16%. Відповідно, з часом вона може зрости до 20%. Отже, з часом буде рости попит як на електроенергію, так і на воду – буде зростати попит на енергоефективні системи водопостачання.

У державних будівельних нормах [4] зазначається, що якщо через геометричну висоту будівлі тиск на першому поверсі перевищує певну допустиму величину, має бути застосовано зонне водопостачання. У [5] визначають цю величину і такою величиною є тиск 0.6 МПа. Доцільність використання зонного водопостачання, крім зазначеної у [4] причини – зниження тиску відповідно до встановлених норм, обумовлюється метою підвищення енергоефективності системи водопостачання. За результатами дослідження [6] ефективність системи з дворівневими стояками (зонне водопостачання) є більшою на 30% за систему з одним стояком. У роботі [6] побудова математичної моделі і дослідження ЕМС водопостачання багатоповерхового будинку виконані у припущенні рівномірного споживання води за поверхнями для кожного періоду циклограми водопостачання. Відповідно до [7] збільшення тиску у системі водопостачання на вході будинку є причиною збільшення споживання води його мешканцями. Встановлено, що збільшення споживання зростає на 5-8% на кожен атмосферу перевищення тиску. Це може бути пов'язано із застосуванням застарілого сантехнічного обладнання та особливостей використання води споживачами.

Тобто, експериментальні дані свідчать про залежність водоспоживання від величини тиску у системі. Відповідно до цього, враховуючи зміну тиску із зміною поверху, початкові умови, щодо моделювання з рівномірним водоспоживанням за поверхнями, потребують уточнення.

Метою роботи є побудова уточнених математичних і програмних засобів аналізу споживання води у багатоповерховому будинку з урахуванням впливу різних величин тиску на вході системи водопостачання. Для досягнення мети необхідно: розробити математичні моделі водопостачання

багатоповерхового будинку, що уточнені з урахуванням даних про залежність водоспоживання від вхідного тиску; визначити параметри даних моделей; дослідити вплив зміни тиску на споживання; надати рекомендації на основі отриманих результатів.

Матеріали та результати досліджень

Припущення у [6] про рівномірність водоспоживання за поверхами було обумовлене усередненням кількості мешканців за поверхами і подібністю їх режимів водоспоживання без урахування технічних особливостей системи щодо збільшення витрат води із збільшенням вхідного тиску. Прийmemo, що закономірності впливу вхідного тиску на водоспоживання є однаковими для всіх поверхів. У цьому разі, за усереднення кількості мешканців за поверхами і подібністю їх потреб у воді, узагальнюючим показником робочого режиму може виступати **потреба споживачів у воді**. Потребою у даному випадку є та кількість води, яку споживають мешканці при мінімальному але достатньому для комфортного користування тиску, в тому числі, відповідно зазначених у ДБН норм. Тобто потреба в «чистому вигляді» - це та кількість води, яка споживається мешканцями останнього поверху при найменшому гідравлічному опорі (максимально відкритих вентилях) [8] у випадку застосування системи регулювання насосом із стабілізацією тиску в найбільш віддаленій точці. Для нерегульованої оптимальної системи дана потреба буде відповідати споживанню тільки у період максимуму циклограми водоспоживання. У інші періоди на останньому поверсі буде надлишковий тиск.

Для дослідження розглянуто будинок у сім поверхів. Подальші розрахунки виходять з того припущення, що потреба у воді для кожного поверху однакова. На поверхах нижче останнього витрати будуть відрізнятися саме на різницю впливу надлишкових тисків. На першому етапі будемо виходити з умови – 5% на кожен надлишкову атмосферу тиску (у подальшому, даний параметр буде уточнено за експериментальними даними). Визначимо систему рівнянь для розрахунку потреби у воді у період максимуму циклограми – тобто витрати на сьомому поверсі, які позначимо Q_7 . У припущенні сталості гідравлічних опорів ділянок стояку за поверхами [6] можна визначити витрати за поверхами:

$$Q_6 = Q_7 [1 + (h_7 + RQ_7^2) f]$$

$$Q_5 = Q_7 [1 + (h_7 + h_6 + RQ_7^2 + R(Q_7 + Q_6)^2) f]$$

$$Q_i = Q_k + fQ_k \sum_{j=i+1}^k \left[h_j + R \left(\sum_{q=j}^k Q_q \right)^2 \right],$$

де Q_i – подача на i -му поверсі; k – кількість поверхів; h_j – різниця висот між поверхами; R – гідравлічний опір ділянки стояку одного поверху; $f = \frac{F}{100 \cdot 10}$ – коефіцієнт, що враховує зміну подачі в залежності від перевищення тиску відносно мінімально достатнього (перевищення тиску визначається за величиною перевищення напору із умовою, що 1 атмосфера відповідає 10 м водяного стовпа). Відповідно до вказаного вище відсоток перевищення дорівнює: $F = 5 \dots 8\%$. Для даного дослідження обрано значення $F=5\%$.

Сумарні витрати споживачів всіх поверхів (відповідають подачі насосу) становлять:

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

Еквівалентні втрати напору у розгалуженій гідравлічній мережі будинку, які відповідають напору насосу, становлять:

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

де $H_{st} = \sum_{i=1}^k h_i$ – статичний напір води на останньому поверсі; 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, [6].

З розв'язку рівнянь (1) та (2) визначимо витрати Q_7 при максимальній подачі та опір R . Розв'язок системи рівнянь здійснюється для точки максимальної подачі у робочому діапазоні насосу. При цьому вважаємо, що: напір насосу є мінімально достатній для забезпечення споживачів на останньому поверсі; величина гідравлічних опорів відповідає максимальній енергоефективності режиму роботи із даною робочою точкою (за мінімального опору вентилів останнього поверху); насос обрано із відповідністю його максимальної робочої подачі і максимуму циклограми водоспоживання. Максимум подачі за даних умов забезпечує насосний агрегат К-20/30 де ці подача і тиск складають відповідно – $Q''=23,3$ м³/год та $H''=23,2$ м. Відповідно до [6] також приймемо що $h_i = 2,8$ і $k_{Rk} = 250$ (у коефіцієнті $k_{Rk} = 250$ враховані: гідравлічний опір труб розводки квартирою до найвіддаленішої точки в мережі, місцеві опори запірних вентилів, кутників, трійників тощо) і, що $k=7$; $k_{R1} = 1$. В результаті розрахунку отримано, що опір складає дорівнює: $R = 0,0008937$ год²/м⁵; потреби для даного періоду максимуму циклограми становлять: $Q_7 = 3,176$ м³/год.

Для розв'язку рівнянь (1) та (2) було застосовано ітераційний метод. Для його реалізації використано функціональну можливість Matlab – бібліотечний блок «Algebraic constraint». Фрагмент реалізації показано на рис. 1

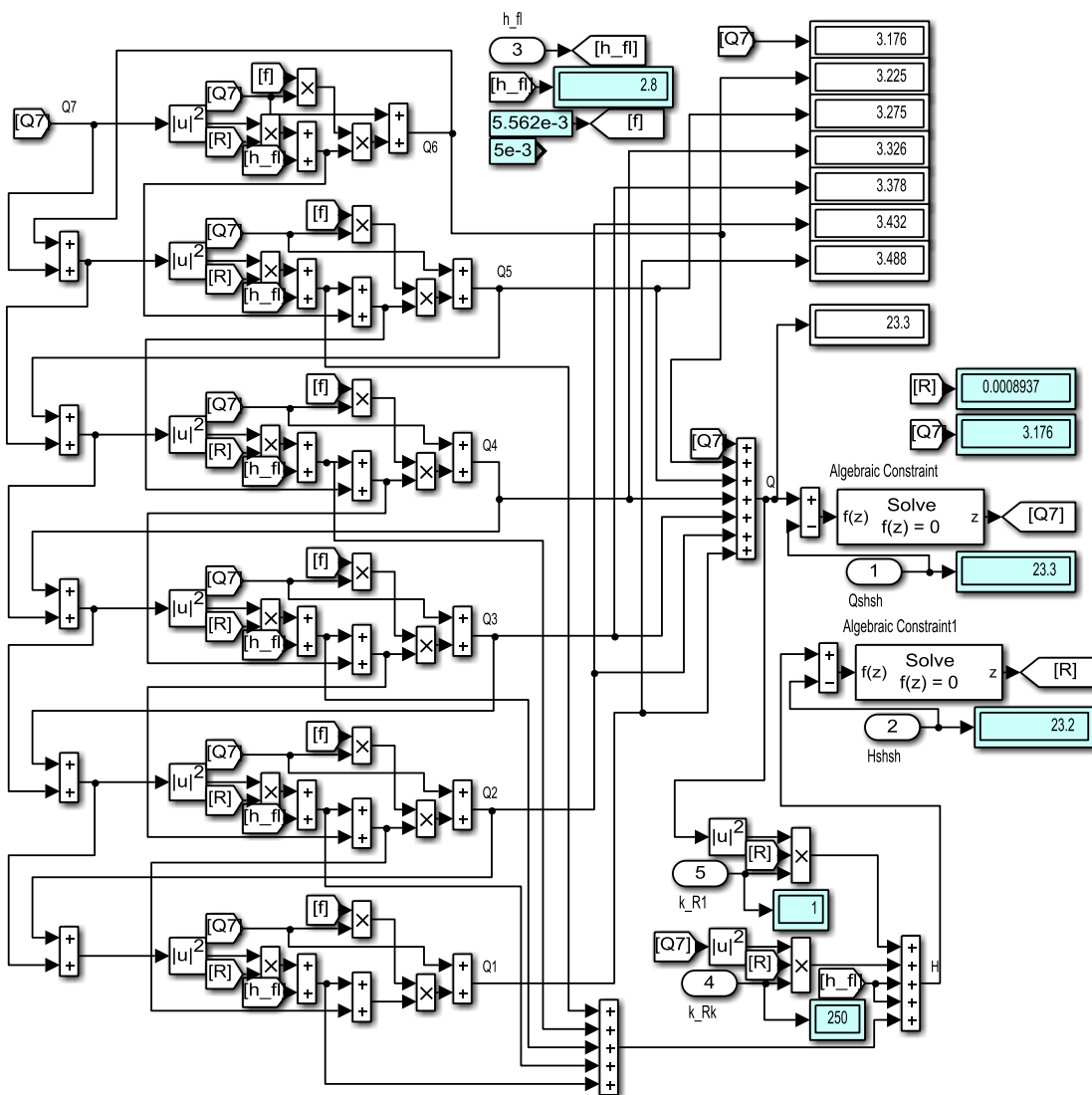


Рисунок 1 – Підпрограма розв'язку нелінійних рівнянь (1), (2) із застосуванням бібліотечних блоків Algebraic constraint

Отримавши величину R , можна переходити до розрахунків потреб для інших періодів циклограми із врахуванням вище згаданої умови: заданого збільшення витрати на кожну одну атмосферу перевищення

тиску. Але для цього треба визначити $H_{r\min}$ – мінімальний потрібний напір на поверсі (відповідає напору останнього поверху за ділянки циклограми з максимальною подачею). За даної мети трансформуємо вираз падіння напору у гідравлічній мережі останнього поверху (у ділянці стояку і у мережі розводки квартирою до найвіддаленішої точки):

$$k_{Rk}RQ_k^2 = RQ_k^2 + k_{Rk}RQ_k^2 - RQ_k^2 = RQ_k^2 + R(k_{Rk} - 1)Q_k^2,$$

і запишемо вираз мінімального потрібного напору на поверсі (витрати відповідають потребі для максимуму циклограми $Q_k = Q_{r\max}$):

$$H_{r\min} = H_m - H_{st} - k_{R1}RQ^2 - R \sum_{i=2}^k \left(\sum_{q=i}^k Q_q \right)^2 = R(k_{Rk} - 1)Q_k^2, \quad (3)$$

Після визначення $H_{r\min}$, для заданих умов дослідження ($k=7$) і відповідно до визначеної величини Q_7 , можна визначити потребу у воді на поверх за ділянками циклограми (за умови, що надлишковий напір на вході до будинку $H_{\Delta} = 0$):

$$\begin{aligned} Q_{1c} &= Q_{rc} + fQ_{rc} \left[H_{pc}(Q_c) + H_{\Delta} - H_{r\min} - k_{R1}RQ_c^2 - h_1 \right], \\ Q_{2c} &= Q_{rc} + fQ_{rc} \left[H_{pc}(Q_c) + H_{\Delta} - H_{r\min} - k_{R1}RQ_c^2 - h_1 - h_2 - R(Q_c - Q_{1c})^2 \right], \\ Q_{3c} &= Q_{rc} + fQ_{rc} \left[H_{pc}(Q_c) + H_{\Delta} - H_{r\min} - k_{R1}RQ_c^2 - h_1 - h_2 - h_3 - R(Q_c - Q_{1c})^2 - R(Q_c - Q_{1c} - Q_{2c})^2 \right]; \\ &\dots \\ Q_{ic} &= Q_{rc} + fQ_{rc} \left\{ H_{pc}(Q_c) + H_{\Delta} - H_{r\min} - k_{R1}RQ_c^2 - h_1 - \sum_{j=2}^i \left[h_j + R \left(Q_c - \sum_{q=j-1}^{i-1} Q_{qc} \right)^2 \right] \right\}; \\ Q_c &= k \left\{ Q_{rc} + fQ_{rc} \left[H_{pc}(Q_c) + H_{\Delta} - H_{r\min} - k_{R1}RQ_c^2 - h_1 \right] \right\} + \\ &+ fQ_{rc} \sum_{i=2}^k \left\{ H_{pc}(Q_c) + H_{\Delta} - H_{r\min} - \sum_{j=2}^i \left[h_j + R \left(Q_c - \sum_{q=j-1}^{i-1} Q_{qc} \right)^2 \right] \right\}, \quad (4) \end{aligned}$$

де Q_{ic} – витрати води 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 для ділянки циклограми з витратами Q_c , визначається за апроксимацією напірної характеристики насосу, [6].

Розв'язок нелінійного рівняння (4) відносно Q_{rc} для кожної ділянки циклограми з відомою Q_c за умови, що $H_{\Delta} = 0$, дозволяє визначити циклограму потреб. Ця інформація дозволяє визначити добові витрати по стояку Q_d , м³/добу із урахуванням заданої величини H_{Δ} :

$$Q_d = \sum_{c=1}^{N_c} T_c \left\{ kQ_{rc} + kfQ_{rc} \left[H_{pc}(Q_{c\Delta}) + H_{\Delta} - H_{r\min} - k_{R1}RQ_{c\Delta}^2 - h_1 \right] + fQ_{rc} \sum_{i=2}^k \left\{ H_{pc}(Q_{c\Delta}) + H_{\Delta} - H_{r\min} - \sum_{j=2}^i \left[h_j + R \left(\sum_{q=j}^k Q_{qc} \right)^2 \right] \right\} \right\}, \quad (5)$$

де N_c – кількість ділянок циклограми; T_c – тривалість ділянки циклограми у годинах.

Для визначення величини (5) треба на кожній ділянці циклограми здійснювати розв'язок нелінійного рівняння (4) відносно Q_c (у (5) ця величина позначена $Q_{c\Delta}$) з відомими Q_{rc} і H_{Δ} . Для надлишку напору 10 м добові витрати повинні збільшитись на 5%, якщо результат інший – повторюємо розрахунок із іншим f і ітераційним способом визначаємо величину цього параметру, яка відповідає експериментальним даним. У даному дослідженні уточнена величина f становила: $f = 5,562$.

Розробленими засобами, у середовищі Matlab розрахуємо значення витрат. Для розрахунків використано циклограму споживання [8]. Відповідно до [8] циклограма споживання води мешканцями семиповерхового будинку має вигляд: [2; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 20] – масив витрат у м³/год; [4; 2; 3; 2; 2; 3; 3; 5] – відповідний масив проміжків часу зазначеного вище споживання (вимірюється у годинах). Розрахунки виконано для чотирьох значень НΔ: 10, 20, 30 та 40 м. Деталізацію розрахунків для НΔ 10 та 20 представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку витрат для надлишкових тисків НΔ = 10 та 20 м

Значення за циклограмою, м ³ /год	НΔ=10				НΔ=20			
	Розрахункове значення, м ³ /год	Різниця, м ³ /год	Час (за циклограмою), год	Разом, м ³	Розрахункове значення, м ³ /год	Різниця, м ³ /год	Час (за циклограмою, год)	Разом, м ³
20	20,99	0,99	5	4,95	21,96	1,96	5	9,8
16	16,81	0,81	3	2,43	17,62	1,62	3	4,86
12	12,62	0,62	3	1,86	13,24	1,24	3	3,72
10	10,52	0,52	2	1,04	11,04	1,04	2	2,08
8	8,422	0,422	2	0,844	8,843	0,843	2	1,686
6	6,317	0,317	3	0,951	6,635	0,635	3	1,905
4	4,213	0,213	2	0,426	4,426	0,426	2	0,852
2	2,106	0,106	4	0,424	2,212	0,212	4	0,848
Разом за добу				12,925				25,751

Аналіз результатів розрахунків показав, що залежність між тиском на вході системи і витратою є нелінійною. Сумарні добові значення збільшення витрат дають можливість оцінити збільшення річних витрат, для значень НΔ – 10, 20, 30 та 40 м: 4718, 9400, 14070 та 18696 м³ відповідно. Отже при надлишкових тисках у межах від однієї до чотирьох атмосфер річні збільшення витрат споживачами семиповерхового будинку вода до яких подається по одному стояку змінюються відповідно від 4718 до 18696 м³.

Для оцінки того, як розподіляються надлишкові витрати від першого поверху до сьомого, зроблено деталізацію за поверхами відповідно до рівняння (4). Результати розрахунку для $Q_c=20$ м³/год представлені у таблиці 2.

Таблиця 2 - Розподіл споживання за поверхами (м³/год)

	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇
НΔ=0 м	2,99	2,944	2,9	2,856	2,813	2,771	2,729
НΔ=10 м	3,13	3,084	3,04	2,996	2,954	2,911	2,87

Результати розрахунків показують, що через надлишковість тисків збільшується споживання води мешканцями нижніх поверхів по відношенню до останнього поверху: для семиповерхового будинку ця різниця може складати 9%. Зменшення надлишкових тисків на перших поверхах підвищить енергоефективність системи водопостачання, та зменшить споживання води. Для систем водопостачання з одним стояком за умов роботи в оптимальному режимі, ефект застосування регулювання обмежений 23%, [8]. Можливості регулювання обмежені через те, що алгоритми регулювання забезпечують оптимальні умови на останньому поверсі і залишають надлишки напору на перших. В такому випадку, щоб зменшити надлишкові тиски і підвищити енергоефективність системи, разом із регулюванням доцільно застосувати і паралельне зонування [6].

Висновки

Розроблено уточнену математичну модель дослідження водоспоживання багатоповерхового будинку з урахуванням зміни тиску на вході системи водопостачання; визначено її параметри; проведено дослідження і надано кількісну оцінку впливу надлишковості тиску. За результатами дослідження встановлено, що надлишкові тиски, які виникають у системі, впливають на споживання води мешканцями: споживання за поверхами є нерівномірним і для мешканців семиповерхового будинку різниця споживання між першим та останнім поверхами складає 9%. Отримані результати призначено для уточненого аналізу і розробки рекомендацій з підвищення енерго- та ресурсоефективності системи водопостачання будинків, зокрема: застосування паралельного зонного водопостачання.

Список використаної літератури

1. Urban Development. Overview, 2023 <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>
2. Yang Zhou, Eric Wai Ming Lee, Ling-Tim Wong, Kwok-Wai Mui. Modeling Study of Design Flow Rates for Cascade Water Supply Systems in Residential Skyscrapers. Water. 2019. Vol. 11(12). 2580. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11122580>.
3. Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України (повний звіт)// Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021, 68 с.
4. 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, 2013 – 122 с.
5. Державні будівельні норми України, Внутрішній водопровід та каналізація, Частина I. Проектування, частина II. Будівництво, ДБН В.2.5-64:2012 (зміна №1, остаточна редакція), Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018 – 12 с.
6. Попович О.М., Яшин Р. В. Дослідження енергоефективності електромеханічної системи водопостачання багатоповерхового будинку із дворівневими стояками, Технічна електродинаміка, 2023 №1, DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2023.01.042>
7. Suchacek T., Tuhovcak L., Rucka J., Sensitivity analysis of water consumption in an office building, E3S Web of Conferences 30, 01002 (2018) Water, Waste water and Energy in Smart Cities, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183001002>
8. Бібік О.В., Попович О.М., Шевчук С.П. Енергоефективні режими електромеханічної системи насосної установки багатоповерхового будинку. Технічна електродинаміка. 2016. № 5. С. 38-45. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2016.05.038>

R. Yashyn¹, Ph. D. student, ORCID 0000-0002-4887-030X

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE WATER SUPPLY SYSTEM OF A HIGH-STORY BUILDING UNDER CHANGES IN THE INLET PRESSURE

Prospects for improving the energy and resource efficiency of water supply systems have been studied. The peculiarities of the operation of the water supply system of a multi-story residential building under conditions of increased pressure at the entrance of the water supply system are analyzed. Mathematical and software tools have been developed for the formation of recommendations for the implementation of energy- and resource-saving approaches in the design of water supply systems of multi-story buildings. In order to develop a refined mathematical support for the development of recommendations for improving the energy efficiency of water supply systems, the water consumption calculations of a multi-story building were refined, and the expressions for the distribution of water consumption values by floor were obtained. The use of an indicator of the operating mode of the system is proposed and justified: consumer needs for water as the amount of water consumption at a minimum sufficient input pressure. According to the cyclogram of water consumption by users of the building, the need for water, which is the same for all floors, is determined. A methodology for calculating water consumption by each individual floor based on the experimental results of changes in water consumption of the building with changes in inlet pressure has been developed. The influence of the amount of excess pressure at the entrance of the house on the amount of water consumption by its residents was studied. It has been established that due to excess pressure in the system, for a seven-story building, for same resident's need for water, the difference in consumption between

the first floor and the seventh floor can be 9%. The results of flow calculations for zero excess pressure at the water supply system inlet were obtained; the results of flow calculations for excess pressures corresponding to 1, 2, 3 and 4 atm were obtained. For the studied example of a seven-story building, the probable annual increase in water consumption for each of the above-mentioned excess pressures, which are 4718, 9400, 14070 and 18696 m³, respectively, was calculated.

Keywords: *water supply systems, energy efficiency, zone water supply, electromechanical systems*

References

1. Urban Development. Overview, 2023 <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>
2. Yang Zhou, Eric Wai, Ming Lee, Ling-Tim Wong, Kwok-Wai Mui. Modeling Study of Design Flow Rates for Cascade Water Supply Systems in Residential Skyscrapers. *Water*. 2019. Vol. 11(12). 2580. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11122580>.
3. Snizhko S., Shevchenko O., Didovets Yu. Analysis of the impact of climate change on water resources of Ukraine (full report)// Center of Environmental Initiatives "Ekodiya", 2021, 68 p.
4. 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.
5. State building regulations of Ukraine, Internal water supply and sewerage, Part I. Design, Part II. Construction, DBN V.2.5-64:2012 (amendment #1, final edition), Kyiv, Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2018 - 12 p.
6. O.M. Popovych, R.V. Yashin. Research of the energy efficiency of the electromechanical water supply system of a multi-story building with two-level risers, *Technical Electrodynamics*, 2023 No. 1, DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2023.01.042>
7. Suchacek T., Tuhovcak L., Rucka J., Sensitivity analysis of water consumption in an office building, *E3S Web of Conferences* 30, 01002 (2018) *Water, Wastewater and Energy in Smart Cities*, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183001002>
8. Bibik O.V., Popovych O.M., Shevchuk S.P. Power effective modes electromechanical system of pump installation of the multi-storey building. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2016. No 5. Pp. 38-45. (Ukr). DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2016.05.038>

Надійшла: 18.01.2024

Received: 18.01.2024