

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 658.264

Моделювання режимів роботи регуляторів витрати теплоносія в умовах локальних теплових вузлів

Г. А. Баласанян¹✉, В. І. Ляшенко²¹⁻²Національний університет «Одеська політехніка», просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна✉ e-mail: ¹balasanyan@op.edu.uaORCID: ¹<http://orcid.org/0000-0002-3689-7409>; ²<http://orcid.org/0009-0006-2546-0419>

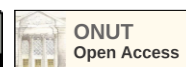
Сучасні системи централізованого теплопостачання потребують підвищення гнучкості та точності регулювання в умовах змінних навантажень та обмежених теплових ресурсів. Одним із ключових елементів керування є регулювання витрати та перепаду тиску теплоносія безпосередньо на вводах до споживачів. У багатьох міських теплових мережах України такі функції відсутні через застосування застарілих пристроїв регулювання, що унеможливує індивідуальне керування теплоспоживанням і погіршує гідравлічну рівномірність мережі. У роботі досліджено особливості регулювання витрати та перепаду тиску в системі теплопостачання на прикладі центрального теплового пункту (ЦТП-27) м. Чорноморськ. Проведено аналіз ефективності комбінованого регулюючого клапана фірми Danfoss AFQMP 2 DN65 при роботі з невеликими споживачами. За результатами моделювання встановлено, що фактична витрата теплоносія не досягає розрахункових значень, а перепад тиску залишається нижчим за мінімально припустимий рівень для стабілізації гідравлічного режиму. Обґрунтовано, що клапан працює поза своїм оптимальним робочим діапазоном. У зв'язку з обмеженням доступних типорозмірів AFQMP 2 (починаючи з DN65), запропоновано альтернативне модульне рішення для малих та середніх споживачів на базі стандартного клапана VFG 2 (DN15-50), мембранного регулятора перепаду тиску AFP 2 та електропривода АМЕі 6. Для вирішення цієї проблеми запропоновано модульний регулюючий вузол на базі клапана VFG 2, мембранного регулятора перепаду тиску AFP 2 та електропривода АМЕі 6 фірми Danfoss. Показано, що така конструкція дозволяє реалізувати функцію незалежного від тиску регулювання для приєднувальних діаметрів DN15-50, забезпечує стабільну роботу навіть при дефіциті перепаду тиску та повністю сумісна з концепцією пріоритетного розподілу теплоти. Перевагами цього рішення є гнучкість у доборі параметрів, можливість дооснащення наявних вузлів без заміни клапана, а також повна сумісність з концепцією пріоритетного розподілу теплоти. З урахуванням простоти впровадження та використання серійних компонентів фірми Danfoss, модульний вузол є технічно доцільним і рекомендованим для впровадження у споживачів із витратами до 10 м³/год і приєднувальними діаметрами DN15-50.

Ключові слова: Регулятор витрати; Перепад тиску; Модульний вузол; Теплопостачання; Пріоритетне керування; Гідравлічний опір; Балансування системи

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v6i1i4.3329>

© The Author(s) 2025. This article is an open access publication

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1. Вступ

Сучасні системи централізованого теплопоста-

чання потребують підвищення гнучкості та точності регулювання в умовах змінних навантажень та обмежених теплових ресурсів. Одним із клю-

чових елементів керування є регулювання витрати та перепаду тиску теплоносія безпосередньо на вводах до споживачів. У багатьох міських теплових мережах України такі функції відсутні через застосування застарілих пристроїв регулювання, що унеможливує індивідуальне керування теплоспоживанням і погіршує гідравлічну рівномірність мережі [1].

Дослідження, що проведено [2] для центрального теплового пункту ЦТП-27 м. Чорноморськ дозволили визначити фактичні гідравлічні опори окремих споживачів, побудувати п'єзометричні графіки та встановити критичні точки мережі. Отримані значення опорів R_{cons} є базовою інформацією для оцінки можливості впровадження регулюючих вузлів.

Комбінований клапан Danfoss AFQMP 2, який поєднує стабілізацію перепаду тиску та регулювання витрати, розглядався як потенційне рішення для модернізації введів до споживачів [3]. Однак попередній аналіз показав, що його мінімальні робочі витрати для діаметрів DN65-250 суттєво перевищують реальні витрати для житлових будинків ЦТП-27. Це створює ризик роботи клапана поза стабільною зоною та втрати регулювальних властивостей при низьких навантаженнях.

У зв'язку з цим виникає необхідність дослідити поведінку клапана AFQMP 2 у всьому діапазоні можливих перепадів тиску, визначити межі його ефективної роботи та встановити, чи може його застосування бути доцільним для малих споживачів. Окрему увагу приділено пошуку альтернатив для діаметрів DN15-50, які є характерними для житлової забудови.

За результатами консультацій з виробником встановлено можливість формування модульного комбінованого вузла на базі клапана VFG2, мембранного регулятора перепаду та електропривода AMEi 6 iNET, що потенційно дозволяє відтворити функціональність AFQMP 2 у малих номінальних діаметрах.

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Сучасні методи регулювання теплових мереж у міських умовах ґрунтуються на використанні регуляторів перепаду тиску (DP-регуляторів), що забезпечують стабільну роботу споживачів при змінних умовах у магістральній мережі [4]. Дослідження, наведені за матеріалами компаній Dan-

foss, Oventrop та HERZ, демонструють ефективність застосування автоматичних регуляторів перепаду тиску Δp для зниження коливань витрати, підвищення рівномірності розподілу тиску між будинками та підвищення стабільності роботи системи.

Подальший розвиток отримали комбіновані рішення, що поєднують регулювання витрати і перепаду тиску у межах одного пристрою. У технічних описах Danfoss [5] зазначено, що такі клапани забезпечують підтримання сталого перепаду на регулювальному елементі та дозволяють організувати автоматичне керування витратою з використанням електроприводів. Комбіновані клапани працюють ефективно в умовах змінного теплового навантаження, проте їх робочий діапазон визначається за паспортними характеристиками мінімальної та максимальної витрати.

У літературі наголошується, що мінімальна витрата клапана є критичним параметром під час вибору обладнання для споживачів із низькими тепловими навантаженнями [6], що характерно для житлової забудови. Проблематика вибору клапанів малих діаметрів описана в рекомендаціях європейських виробників арматури, де підкреслюється важливість відповідності робочого діапазону клапана фактичним режимам споживача.

Значну увагу в сучасних публікаціях приділяють інтелектуальним електроприводам, які забезпечують дистанційне керування [7], адаптивне регулювання та інтеграцію у SCADA-системи. Технології iSET та iNET, що представлені фірмою Danfoss, дозволяють підвищити точність регулювання, зменшити вплив динамічних коливань у мережі та забезпечити реалізацію функцій пріоритетного розподілу теплової енергії.

Таким чином, в науковій та технічній літературі наголошується на доцільності використання комбінованих вузлів регулювання [8] витрати та перепаду тиску на рівні споживачів теплової мережі. Водночас питання відповідності робочих характеристик таких клапанів параметрам малих споживачів залишається актуальним і потребує окремого аналізу, що й зумовило актуальність даної роботи.

Метою дослідження є визначення можливості застосування комбінованого клапана фірми Danfoss AFQMP 2 для регулювання витрати та стабілізації перепаду тиску на вводах до малих споживачів теплової мережі ЦТП-27 м. Чорноморськ, а також обґрунтування альтернативного рішення для діаметрів DN15-50 на основі модульного регу-

люючого вузла VFG2.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- Використати гідравлічні опори споживачів, отримані у попередньому дослідженні, як вихідну базу для моделювання роботи регулюючих вузлів.

- Виконати підбір та моделювання роботи клапана AFQMP 2 для типового споживача з урахуванням фактичних витрат і перепадів тиску, а також режимів обмеження витрати.

- Визначити межі стабільної роботи AFQMP 2 та причини втрати працездатності для споживачів із малими витратами (3–12 м³/год).

- Проаналізувати можливість застосування модульного комбінованого вузла на основі клапана VFG2, мембранного регулятора перепаду та електропривода АМЕі 6 іNET для діаметрів DN15-50.

- Порівняти функціональні можливості AFQMP 2 та модульного вузла VFG2 та сформулювати рекомендації щодо їх впровадження в тепловій мережі ЦТП-27.

Методологія дослідження базується на використанні гідравлічних характеристик споживачів ЦТП-27, визначених у роботі [2], та на математичному моделюванні поведінки комбінованого клапана AFQMP 2 у різних режимах його роботи. Особлива увага приділяється відповідності робочих характеристик клапана фактичним витратам малих споживачів та здатності забезпечити стабілізацію перепаду тиску.

У роботі [2] на основі повного гідравлічного розрахунку [9] було визначено опір кожного споживача (R_{cons}). У цьому дослідженні ці значення використовуються як вихідні дані, без повторного розрахунку. Для довільної витрати (Q) перепад тиску на споживачі визначається стандартною квадратичною залежністю турбулентного режиму:

$$\Delta p_{CV(Q)} = \left(\frac{Q}{K_V} \right)^2, \quad (1)$$

де R_{cons} – гідравлічний опір споживача, кПа·(год/м³).

Характеристика пропускної здатності клапана AFQMP 2.

Робота регулювального конуса клапана описується класичною формулою:

$$Q = K_V \cdot \sqrt{\Delta p_{CV}}, \quad (2)$$

де K_V – пропускна здатність клапана (м³/год при $\Delta p_{CV} = 1$ бар); Δp_{CV} – перепад тиску на регулюваль-

ному конусі, бар.

Звідси отримується зворотна залежність:

$$\Delta p_{CV(Q)} = \left(\frac{Q}{K_V} \right)^2, \quad (3)$$

Ця формула визначає мінімальний перепад тиску, необхідний клапану для пропускання витрати Q .

Розподіл вхідного перепаду тиску у вузлі «клапан-споживач».

Сумарний перепад тиску на вводі споживача має вигляд:

$$\Delta p_{in} = \Delta p_{cons} + \Delta p_{CV}, \quad (4)$$

Підставивши (2) та (4), отримуємо вираз:

$$\Delta p_{in(Q)} = Q^2 \left(R_{cons} + \frac{1}{K_V^2} \right), \quad (5)$$

Звідси аналітичне рішення щодо максимально можливої витрати:

$$Q_{free} = \sqrt{\frac{\Delta p_{in}}{\left(R_{cons} + \frac{1}{K_V^2} \right)}}, \quad (6)$$

Це витрата, яку допускає гідравліка мережі при заданому вхідному тиску.

Обмеження витрати клапаном.

Клапан AFQMP 2 має механічне обмеження максимальної витрати, що залежить від положення гайки обмеження та кількості обертів штока.

Паспортні графіки Danfoss задають максимально доступну витрату:

$$Q_{max} = f_{valve}(n_{turn}, \Delta p_b), \quad (7)$$

де n_{turn} – кількість обертів, Δp_b – перепад на мембрані регулятора (паспортний діапазон 0,1-1,0 бар).

Урахування дефіциту тепла.

У разі обмеження теплового ресурсу вводиться коефіцієнт: K_{def} (0...1), який визначає максимально дозволена витрата для споживача:

$$Q_{target} = K_{def} \cdot Q_{design}, \quad (8)$$

де Q_{design} – проектна витрата споживача.

Фактична витрата регулювального вузла.

Фактична витрата визначається мінімумом трьох величин: Q_{free} – гідравлічна межа; Q_{max} – механічне обмеження клапана; Q_{target} – режим дефіциту тепла.

Тому:

$$Q_{fact} = \min(Q_{free}, Q_{max}, Q_{target}) \quad (9)$$

Ця формула визначає реальну роботу споживача у всіх режимах.

Оцінка точності виконання режиму дефіциту тепла.

Відносне відхилення розраховується як:

$$\varepsilon_Q = \frac{(Q_{fact} - Q_{target})}{Q_{target}} \cdot 100\%, \quad (10)$$

Позитивне значення ε_Q означає перевищення дозволених витрати, від'ємне – недовідбір теплоносія.

Робота мембранного регулятора перепаду тиску.

У складі AFQMP 2 мембранний регулятор автоматично підтримує сталий перепад на регулюючому конусі Δp_{CV} у межах: (0,1...1,0) бар.

Стабілізація триває доти, доки:

- шток не досягає межі ходу,
- K_V не стає недостатнім для пропускання потрібної витрати,
- не спрацьовує механічне обмеження Q_{max} .

Після цього стабілізація Δp_{CV} порушується, і клапан переходить у режим, обмежений гідравлікою або механікою.

Підбір клапана AFQMP 2 для типового споживача.

Для аналізу поведінки комбінованого клапана AFQMP 2 обрано типовий споживач теплової мережі ЦТП-27 з такими параметрами (за результатами попереднього гідравлічного розрахунку):

– розрахункова витрата теплоносія:

$$Q_{design} = 13,4 \text{ м}^3/\text{год};$$

– перепад тиску на гілці споживача в розрахунковому режимі:

$$\Delta p_{cons, design} = 20 \text{ кПа} (\approx 2 \text{ м вод.ст.});$$

– еквівалентний гідравлічний опір:

$$R_{cons} = 0,111 \text{ кПа} \cdot (\text{год}/\text{м}^3).$$

Для підбору регулюючого вузла розглянуто клапан AFQMP 2 номінальним діаметром DN65 з паспортною пропускною здатністю [11]:

– $K_V = 60 \text{ м}^3/\text{год};$

– діапазон налаштування перепаду на мембрані: 0,1...1,0 бар;

– кількість обертів обмеження витрати: $n_{turn} = 3,5$.

Коефіцієнт дефіциту тепла для базового сценарію прийнято $K_{def} = 1$, тобто споживач має отримувати повну розрахункову витрату:

$$- Q_{target} = Q_{design} = 13,4 \text{ м}^3/\text{год}.$$

На основі математичної моделі сформовано низку розрахункових сценаріїв для різних вхідних перепадів тиску на вузлі «клапан-споживач» у діапазоні:

$$\Delta p_{in} = 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40 \text{ кПа}.$$

Для кожного значення Δp_{in} визначались:

- гідравлічно можлива витрата Q_{free} (без обмежень клапана);
- максимально допустима витрата клапана Q_{max} (за кривою «витрата-оберти» для $n_{turn} = 3,5$);
- фактична витрата $Q_{fact} = \min(Q_{free}, Q_{max}, Q_{target})$;
- відносне відхилення від цільової витрати ε_Q ;
- причина обмеження (ліміт гідравліки або обмеження клапана Q_{max});
- стан стабілізації перепаду на регулюючому конусі.

3. Результати досліджень

В таблиці наведено розрахункові сценарії роботи клапана AFQMP 2 DN65 для типового споживача.

Таблиця – Розрахункові сценарії роботи клапана AFQMP 2 DN65 для типового споживача

Δp_{in} , кПа	Q_{free} , м ³ /год	Δp_{CV} , кПа	Q_{max} , м ³ /год	Q_f (факт), м ³ /год	Відхилення, %	Q_{target}	Причина	Стан
5	5,994	0,998	6,415	5,994	-55,268	13,4	Ліміт гідравліки (Δp)	Недостатній тиск для стабілізації ($\Delta p_{CV} < 0,1$ бар)
10	8,477	1,996	6,523	6,523	-51,322	13,4	Обмеження клапана (Q_{max})	Недостатній тиск для стабілізації ($\Delta p_{CV} < 0,1$ бар)
15	10,382	2,994	6,631	6,631	-50,515	13,4	Обмеження клапана (Q_{max})	Недостатній тиск для стабілізації ($\Delta p_{CV} < 0,1$ бар)
20	11,988	3,992	6,739	6,739	-49,708	13,4	Обмеження клапана (Q_{max})	Недостатній тиск для стабілізації ($\Delta p_{CV} < 0,1$ бар)

Продовження таблиці

Δp_{in} , кПа	Q_{free} , м³/год	Δp_{CV} , кПа	Q_{max} , м³/год	Q_f (факт), м³/год	Відхилення, %	Q_{target}	Причина	Стан
25	13,403	4,990	6,847	6,847	-48,901	13,4	Обмеження клапана (Q_{max})	Недостатній тиск для стабілізації ($\Delta p_{CV} < 0,1$ бар)
30	14,683	5,988	6,955	6,955	-48,094	13,4	Обмеження клапана (Q_{max})	Недостатній тиск для стабілізації ($\Delta p_{CV} < 0,1$ бар)
35	15,859	6,986	7,064	7,064	-47,287	13,4	Обмеження клапана (Q_{max})	Недостатній тиск для стабілізації ($\Delta p_{CV} < 0,1$ бар)
40	16,954	7,984	7,172	7,172	-46,480	13,4	Обмеження клапана (Q_{max})	Недостатній тиск для стабілізації ($\Delta p_{CV} < 0,1$ бар)

Аналіз даних табл. 1 дозволяє оцінити роботу клапана AFQMP 2 DN65 для типового споживача з витратою 13,4 м³/год та перепадом 2 м вод. ст. при різних значеннях вхідного перепаду тиску Δp_{in} .

При $\Delta p_{in} = 5$ кПа фактична витрата становить 5,994 м³/год, що є приблизно 45 % від розрахункової витрати. Причиною є обмеження гідравлікою мережі: Q_{free} не досягає необхідного рівня і клапан не впливає на результат.

Починаючи з $\Delta p_{in} = 10$ кПа ситуація змінюється: гідравлічно можлива витрата Q_{free} перевищує пропускні можливості клапана, але фактичний потік обмежується значенням Q_{max} при $n_{turn} = 3,5$. У діапазоні $\Delta p_{in} = 10 \dots 40$ кПа фактична витрата Q_{fact} залишається у межах 6,5...7,2 м³/год (45...54 % від Q_{target}). Це означає, що в усіх цих режимах робота клапана визначається не гідравлікою мережі, а саме його механічним обмеженням пропускної здатності.

Водночас перепад на регульовальному конусі Δp_{CV} у всіх сценаріях становить 1...8 кПа (0,01...0,08 бар), що нижче за мінімально припустиме значення 0,1 бар, необхідне для коректної роботи мембранного регулятора.

Це означає, що стабілізація перепаду тиску не реалізується, а клапан фактично працює як звичайний дросельний елемент із фіксованим відкриттям, без функції DP-регулятора.

Відсутність стабілізації Δp_{CV} у поєднанні з обмеженням Q_{max} призводить до того, що збільшення вхідного перепаду тиску Δp_{in} практично не впливає на фактичну витрату: крива Q_{fact} має полого залежність і залишається далекою від Q_{target} . Це свідчить про роботу клапана поза своїм оптимальним діапазоном.

Отже, навіть за $\Delta p_{in} = 40$ кПа клапан AFQMP 2 DN65 з налаштуванням $n_{turn} = 3,5$ не здатний забезпечити вихід витрати в зону, близьку до розрахункового значення 13,4 м³/год. Фактична витрата приблизно вдвічі нижча за необхідну, а перепад на

регулюючому конусі недостатній для входження мембрани в робочу зону стабілізації. Це підтверджує, що для даного типового споживача клапан AFQMP 2 конструктивно не відповідає вимогам і не може виконувати функції ні стабілізатора перепаду тиску, ні регулятора витрати у необхідному діапазоні малих витрат. На рис.1 проілюстровано залежність витрати теплоносія від вхідного перепаду тиску.

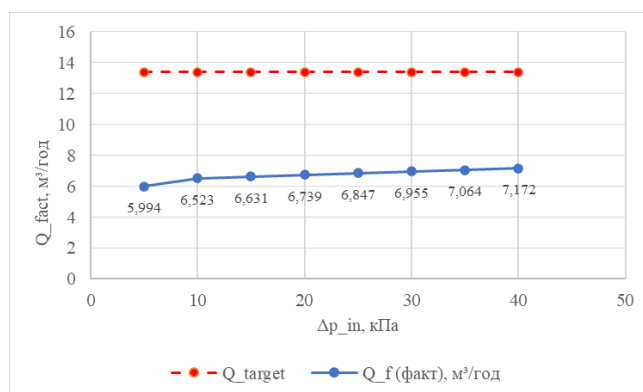


Рисунок 1 – Графік залежності витрати Q_{fact} від вхідного Δp_{in}

У межах запропонованого підходу до модернізації системи тепlopостачання ЦТП-27 виникла потреба охопити споживачів із приєднувальними діаметрами DN15-50, які не можуть бути обладнані стандартними регуляторами типу AFQMP 2 через обмежену лінійку типорозмірів (AFQMP 2 випускається лише від DN65). Для вирішення цієї проблеми реалізовано модульний регулюючий вузол на базі клапана Danfoss VFG 2, мембранного регулятора перепаду тиску AFP 2 [12] та електропривода АМЕі 6 (рис.2).

Конструкція вузла складається з базового елемента – двоходовий клапан VFG 2 (або VFG 21 для виконання з м'яким ущільненням), що забезпечує необхідну пропускну здатність ($K_V = 4,0 \dots 32$ м³/год для DN15-50). Для підтримання постійного перепаду тиску на клапані використовується мем-

бранний регулятор AFP 2, встановлений через монтажний адаптер безпосередньо на корпус клапана. Імпульсні трубки передають сигнал тиску від входу і виходу, дозволяючи мембрані регулю-

вати відкриття клапана автоматично. На шток клапана додатково монтується електропривод АМЕі 6 [13], який здійснює дозування витрати відповідно до сигналів контролера.

Конструкція:

1. Корпус клапана
2. Кришка
3. Сідло клапана
4. Вставка клапана
5. Розвантажений конус клапана
6. Шток клапана
7. Сильфон для розвантаження конуса клапана
8. Виконавчий механізм (привід)
9. Мембрана для розвантаження конуса клапана
10. Мембрана для регулювання перепаду тиску
11. Запобіжний клапан надлишкового тиску
12. Пружина налаштування перепаду тиску
13. Регулювальний гвинт перепаду тиску з можливістю пломбування
14. Ущільнюючий конус
15. Гайка-з'єднувач
16. Штуцер для підключення імпульсної трубки
17. Верхня частина корпусу мембрани
18. Нижня частина корпусу мембрани
19. Подовжувач корпусу клапана
20. Запірний клапан для наповнення водою
21. Глуха заглушка

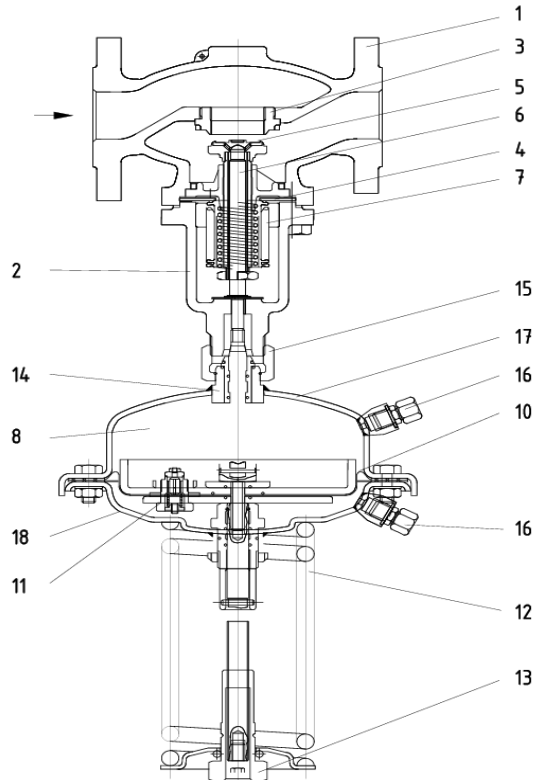


Рисунок 2 – Розріз клапана VFG 2 із мембраною AFP 2

Вузол забезпечує незалежне від тиску регулювання витрати: перепад тиску на клапані стабілізується AFP 2 у межах заданого діапазону (наприклад, 0,1...1,0 бар), тоді як АМЕі 6 змінює положення штока за потребою теплового навантаження. Така схема дозволяє точно дозувати витрату теплоносія навіть за змінного тиску в мережі, усуваючи ризик перетоку чи перевищення витрати при коливаннях перепаду.

Клапан охоплює споживачів із DN15-50. Для кожного розміру доступно кілька комбінацій K_V і діапазонів [14] перепаду тиску, залежно від вибору пружини регулятора AFP 2. Наприклад, для DN25 клапан VFG 2 має $K_V = 8,0$ м³/год, що при перепаді 0,5 бар дозволяє забезпечити витрату до ~5,6 м³/год. При потребі більшої витрати або вищого тиску добираються відповідні моделі з K_V до 32 (для DN50) та пружинами до 5 бар.

Така модернізація клапану є повноцінним функціональним аналогом AFQMP 2, але дозволяє покрити малий діаметр, що особливо актуально для невеликих споживачів. Водночас модульність забезпечує просту модернізацію наявного облад-

нання (наприклад, шляхом дооснащення існуючих клапанів VFG 2, знижує вартість та спрощує обслуговування [15]. У разі виходу з ладу будь-якого компонента він замінюється окремо без демонтажу всього вузла. Всі елементи постачаються у вигляді серійної продукції Danfoss, що гарантує сумісність, ремонтпридатність та наявність запасних частин.

Для одного з малих споживачів ЦТП-27 (витрата $\approx 3,8$ м³/год) було обрано конфігурацію: VFG 2 DN20 ($K_V = 6,3$), AFP 2 з пружиною 0,3...1,0 бар, адаптер та АМЕі 6 [16]. Мембранний блок забезпечує стабілізацію перепаду на рівні ~0,5 бар, а електропривод регулює подачу теплоносія відповідно до пріоритетного розподілу [2].

Така схема довела стабільну роботу вузла навіть за умови дефіциту тепла, без провалів витрати чи розбалансування системи.

Модульний вузол на базі клапана VFG 2 + AFP 2 + АМЕі 6 є ефективним і технічно обґрунтованим рішенням для реалізації тисконезалежного регулювання витрати у малих споживачів системи тепlopостачання. Він повністю сумісний

з концепцією пріоритетного розподілу теплоти, зберігає гнучкість у проєктуванні та модернізації, дозволяє забезпечити єдину логіку регулювання по всій системі – незалежно від розміру споживача.

4. Висновки

Проаналізовано умови роботи регулювального клапана AFQMP 2 DN65 в контурі ЦТП-27 та встановлено його невідповідність гідравлічним характеристикам конкретного споживача: фактична витрата залишалася вдвічі нижчою за розрахункову. Це свідчить про роботу клапана поза допустимим діапазоном і неможливість виконання ним функцій ні регулятора витрати, ні стабілізатора перепаду тиску.

У зв'язку з обмеженням доступних типорозмірів AFQMP 2 (починаючи з DN65), запропоновано альтернативне модульне рішення для малих та середніх споживачів на базі стандартного клапана VFG 2 (DN15-50), мембранного регулятора перепаду тиску AFP 2 та електропривода АМЕі 6.

Перевагами цього рішення є гнучкість у добірї параметрів (K_v , Δp), можливість дооснащення наявних вузлів без заміни клапана, а також повна сумісність з концепцією пріоритетного розподілу теплоти.

З урахуванням простоти впровадження та використання серійних компонентів Danfoss, модульний вузол є технічно доцільним і рекомендованим для впровадження у споживачів із витратами до 10 м³/год і приєднувальними діаметрами DN15-50.

Особистий внесок авторів CRediT

Баласанян Г. А.: наукове керівництво дослідженням, постановка завдань, наукове редагування статті, координація дослідження. **Ляшенко В. І.:** формування ідеї дослідження, постановка наукової проблеми, розробка підходу до регулювання тепlopостачання, формування алгоритму.

Література

1. Chicherin S., Mašatin V., Siirde A., Volkova A. Method for Assessing Heat Loss in a District Heating Network with a Focus on the State of Insulation and Actual Demand for Useful Energy // *Energies*. – 2020. – Vol. 13(17). – Article 4505.
2. Баласанян Г., Ляшенко В. Сучасні методи регулювання міських систем тепlopостачання в умовах дефіциту енергоресурсів // *Холодильна техніка та технології*. – 2025. – Т. 61(3). – С. 284-290.
3. Gudmundsson O., Thorsen J.E., Brand M. Differential pressure controllers as a tool for optimization of heating systems // *EuroHeat & Power*. – 2014. – №1. – P. 20-24.
4. HERZ. Dynamic control and regulating valves – Product Brochure. – 2019. – 36 p.
5. Danfoss. Комбінований регулювальний клапан AFQMP 2. Технічний опис. – Danfoss Ukraine, 2021. – 10 с.
6. Oventrop. Automatic hydronic balancing with “Q-Tech”. URL: <https://www.orientrop.com/en-NO/topics/hydronicbalancing/automatichydronicbalancing> (дата звернення: 03.11.2025).
7. Zhao P., Yin J., Wang J. Performance Analysis of Control Valves for Supply-Demand Balance Regulation in Heating Stations // *Buildings*. – 2025. – Vol. 15, №10. – Article 1624.
8. Muniak D.P. Control Valve with a Constant Inner Authority Value // *Journal of Thermal Science*. – 2018. – Vol. 27, №4. – P. 487-495.
9. ДБН В.2.5-39:2008. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. – 104 с.
10. Danfoss. Інтелектуальний електричний привід АМЕі 6 iNET. Технічний опис. – Danfoss Ukraine, 2021. – 8 с.
11. Danfoss. Сідельні регулювальні клапани VFG 2, VFG 21. Технічний опис. – Danfoss Ukraine, 2020. – 6 с.
12. Danfoss. Регулятори перепаду тиску AFP 2. Технічний опис. – Danfoss Ukraine, 2020. – 6 с.
13. Fisher Controls International LLC. Control Valve Handbook. 5th Edition. – Emerson/Fisher, 2017. – 323 p.
14. Степаненко В.С., Шевченко М.В. Основи гідравлічного розрахунку систем тепlopостачання. Навчальний посібник. – Київ: КНУБА, 2021. – 126 с.
15. EN 15316-3-2:2017. Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 3-2: Space heating distribution systems.
16. Danfoss. Combined solutions for district energy substations. Technical catalogue. – Danfoss District Energy, 2023. – 28 p.
17. Іващенко А.С. та ін. Енергоефективне управління локальними системами тепlopостачання // *Вісник НТУУ “КПІ”*. – 2022. – № 6. – С. 115-122.
18. Danfoss. Офіційний каталог рішень для тепло

регулювання. URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/products/> (дата звернення: 03.11.2025).

19. Міжнародна енергетична агенція. Modernising district heating systems. IEA Technology Report. –

2021. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/60c4a7cb70aa4f13b90ce7ef3218f113/ModernisingDistrictHeatingSystems.pdf> (дата звернення: 03.11.2025).

Отримана в редакції 03.11.2025, прийнята до друку 28.11.2025

Modeling of operating modes of heat consumption regulators in the conditions of local heating units

Genadiy Balasanyan^{1✉}, Vladyslav Liashenko²

¹⁻²National University "Odesa Polytechnic", 1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine

✉ e-mail: ¹balasanyan@op.edu.ua

ORCID: ¹<http://orcid.org/0000-0002-3689-7409>; ²<http://orcid.org/0009-0006-2546-0419>

Modern district heating systems require increased flexibility and control accuracy in conditions of variable loads and limited heat resources. One of the key control elements is the control of the flow rate and pressure drop of the coolant directly at the inlets to consumers. In many urban heating networks of Ukraine, such functions are absent due to the use of outdated control devices, which makes individual control of heat consumption impossible and worsens the hydraulic uniformity of the network. The paper investigates the features of flow rate and pressure drop control in the heat supply system using the example of the central heating station (CHS-27) in the city of Chornomorsk. The effectiveness of the combined control valve of the Danfoss AFQMP 2 DN65 company when working with small consumers is analyzed. According to the modeling results, it was established that the actual flow rate of the coolant does not reach the calculated values, and the pressure drop remains below the minimum permissible level for stabilizing the hydraulic mode. It is substantiated that the valve operates outside its optimal operating range. Due to the limitation of available AFQMP 2 sizes (starting from DN65), an alternative modular solution for small and medium-sized consumers is proposed based on the standard VFG 2 valve (DN15-50), the AFP 2 diaphragm differential pressure regulator and the AMEi 6 electric actuator. To solve this problem, a modular control unit based on the VFG 2 valve, the AFP 2 diaphragm differential pressure regulator and the AMEi 6 electric actuator from the Danfoss company is proposed. It is shown that this design allows for the implementation of a pressure-independent control function for connection diameters DN15-50, ensures stable operation even with a deficit of pressure drop and is fully compatible with the concept of priority heat distribution. The advantages of this solution are flexibility in the selection of parameters, the possibility of retrofitting existing units without replacing the valve, as well as full compatibility with the concept of priority heat distribution. Taking into account the ease of implementation and use of serial components from Danfoss, the modular unit is technically feasible and recommended for implementation in consumers with flows up to 10 m³/h and connection diameters DN15-50.

Keywords: Flow regulator; Pressure drop; Modular unit; Heat supply; Priority control; Hydraulic resistance; System balancing.

References

1. Chicherin, S., Mašatin, V., Siirde, A., Volkova, A. (2020) Method for Assessing Heat Loss in a District Heating Network with a Focus on the State of Insulation and Actual Demand for Useful Energy. *Energies*, 13, 17, 4505.
2. Balasanyan, H. Lyashenko, V. (2025) Modern methods of regulating urban district heating systems under conditions of energy resource deficit. *Refrigeration engineering and Technologies* 61, 3, 284-290.

3. Gudmundsson, O., Thorsen, J.E., Brand, M. (2014) Differential pressure controllers as a tool for optimization of heating systems. *EuroHeat & Power*, 1, 20-24.
4. (2019) HERZ Armaturen, Dynamic Control and Regulating Valves. *Product Brochure*, 36
5. (2021) Danfoss. AFQMP 2 Combined Control Valve – Technical Description. *Danfoss Ukraine*, 10.
6. Oventrop. Automatic hydronic balancing with “Q-Tech”. Retrieved 03 November 2025 from <https://www.ventrop.com/en-NO/topics/hydraulicbalancing/>

automatichydraulicbalancing

7. **Zhao, P., Yin, J., Wang, J.** (2025) Performance Analysis of Control Valves for Supply-Demand Balance Regulation in Heating Stations. *Buildings*, 15, 10, 1624.
8. **Muniak, D.P.** (2018) Control Valve with a Constant Inner Authority Value. *Journal of Thermal Science*, 27, 4, 487-495.
9. (2008) Ministry for Regional Development of Ukraine, DBN V.2.5-39:2008. External networks and facilities. Heat networks. Kyiv: *Minregionbud of Ukraine*, 104
10. (2021) Danfoss, AMEi 6 iNET Electric Actuator – Technical Description. *Danfoss Ukraine*, 8.
11. (2020) Danfoss, VFG 2, VFG 21 Two-Way Control Valves – Technical Description. *Danfoss Ukraine*, 6.
12. (2020) Danfoss, AFP 2 Differential Pressure Regulators – Technical Description. *Danfoss Ukraine*, 6.
13. (2017) Fisher Controls, Control Valve Handbook, 5th ed. *Emerson/Fisher*, 323.
14. **Stepanenko, V.S. Shevchenko, M.V.** (2021) Fundamentals of Hydraulic Calculation of District Heating Systems, Kyiv: KNUCA, 2021.
15. (2017) European Committee for Standardization, EN 15316-3-2:2017. Heating systems in buildings – Calculation of energy requirements and system efficiencies – Part 3-2: Space heating distribution systems
16. (2023) Danfoss, Combined Solutions for District Energy Substations – Technical Catalogue. *Danfoss District Energy*, 28.
17. **Ivashchenko, A.S. et al.** (2022) Energy-Efficient Control of Local District Heating Systems. *Bulletin of NTUU 'KPI'*, 6, 115-122.
18. Danfoss, Product Catalog. Retrieved 03 November 2025 from <https://www.danfoss.com/uk-ua/products/>.
19. (2021) International Energy Agency (IEA), Modernising District Heating Systems: Technology Report. Retrieved 03 November 2025 from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/60c4a7cb-70aa-4f13-b90c-e7ef3218f113/ModernisingDistrictHeatingSystems.pdf>

Received 03 November 2025
 Approved 28 November 2025
 Available in Internet 30 December 2025