

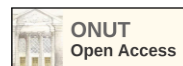
ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 658.264

Методика розрахунку та проєктування індивідуальних теплових пунктів при реконструкції елеваторних вузлів**Г. А. Баласанян¹✉, В. І. Ляшенко²**¹⁻²Національний 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>

У статті розглянуто проблему проєктування індивідуальних теплових пунктів (ІТП) при реконструкції елеваторних вузлів у системах централізованого теплопостачання житлових будівель. Показано, що поширена практика формального підбору обладнання за каталожними даними без урахування реальних гідравлічних умов теплових мереж, змінних режимів роботи та обмежень існуючої інфраструктури призводить до нестабільної роботи ІТП, порушення умов регулювання та зниження загальної ефективності заходів з модернізації. Метою дослідження є розроблення прикладної інженерної методики розрахунку та проєктування індивідуальних теплових пунктів, що базується на поєднанні теплового та гідравлічного аналізу й орієнтована на умови реконструкції діючих будівель із централізованим теплопостачанням. Методика враховує змінний перепад тиску на вводі, погодозалежні режими теплового навантаження, а також можливість введення сценаріїв дефіциту теплової енергії з боку теплової мережі. У роботі сформовано поетапний алгоритм розрахунку ІТП, який включає визначення вихідних даних, тепловий розрахунок, гідравлічну перевірку працездатності регульовального вузла, підбір основного обладнання та моделювання характерних режимів роботи. Проведено аналіз роботи ІТП з незалежною схемою підключення в номінальних умовах, за змінного перепаду тиску на вводі та за умов дефіциту теплової енергії до 30 %. Показано, що за достатнього перепаду тиску ІТП забезпечує стабільне погодо-залежне регулювання теплової потужності, а в умовах дефіциту теплоти обмеження теплопостачання реалізується шляхом керованого зменшення витрати теплоносія без втрати гідравлічної стабільності системи регулювання. Окремо обґрунтовано доцільність розгляду компоновки індивідуального теплового пункту як невід'ємної складової методики проєктування. Показано, що компактність, модульність та експлуатаційна доступність обладнання безпосередньо впливають на можливість реалізації розрахункових режимів і надійність роботи ІТП в умовах реконструкції існуючих будівель. Запропонована методика є придатною для практичного застосування та може використовуватися як інженерна основа для модернізації елеваторних вузлів і проєктування індивідуальних теплових пунктів у системах централізованого теплопостачання.

Ключові слова: Індивідуальний тепловий пункт; Елеваторний вузол; Централізоване теплопостачання; Гідравлічний розрахунок; Тепловий розрахунок; Дефіцит теплової енергії; Компоновка ІТП; Проєктування.

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v62i1.3388>

1. Вступ

У житловому фонді України переважна частина систем централізованого теплопостачання сформована на основі елеваторних вузлів, що були спроектовані для сталих режимів роботи тепломереж із фіксованими температурними та гідравлічними параметрами. В умовах сучасної експлуатації такі вузли дедалі частіше демонструють обмежену ефективність: відсутність гнучкого регулювання, неможливість адаптації до змінних температурних графіків, а також низьку стійкість до коливань тиску в тепломережі. Це призводить до погіршення якості теплопостачання, перевитрат теплової енергії та зростання експлуатаційних ризиків [1].

Одним із найбільш поширених напрямів модернізації є заміна елеваторних вузлів на індивідуальні теплові пункти (ІТП), оснащені теплообмінниками, регулювальними органами та автоматизованими засобами керування. Проте на практиці проектування ІТП в існуючих будівлях часто зводиться до формального підбору обладнання за каталогами без достатнього урахування реальних гідравлічних умов тепломережі, обмежень приміщень та режимів роботи системи теплопостачання в цілому [2]. Відсутність уніфікованої інженерної методики розрахунку та проектування ІТП призводить до нестабільної роботи вузлів, складнощів експлуатації та зниження очікуваного ефекту від модернізації.

У зв'язку з цим актуальним є розроблення методики проектування індивідуальних теплових пунктів, яка базується на поєднанні теплового та гідравлічного розрахунків і враховує реальні умови роботи централізованих систем теплопостачання. Така методика має забезпечувати обґрунтований підбір основного обладнання ІТП, оцінку меж стабільної роботи регулювальних елементів, а також формування компактних і надійних проектних рішень, придатних для впровадження в існуючих будівлях [3]. Саме цьому підходу присвячена дана стаття, в якій індивідуальний тепловий пункт розглядається не лише як окремий вузол, а як елемент системи теплопостачання, що функціонує в умовах змінних режимів та обмежених проектних ресурсів.

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Питання проектування та модернізації індивідуальних теплових пунктів тісно пов'язані з класичними положеннями теплотехнічних і гідравлічних розрахунків систем теплопостачання. У фундаментальних роботах з теорії централізованого теплопостачання детально розглянуто методи визначення теплового навантаження будівель, формування температурних графіків та розрахунку [4] теплового балансу споживачів залежно від зовнішніх кліматичних умов [5]. Саме ці положення є базою для визначення розрахункової теплової потужності ІТП та вибору параметрів теплообмінного обладнання.

Окремий напрям наукових досліджень присвячений гідравлічним режимам теплових мереж і споживчих вводів [6]. У працях, присвячених гідравліці тепломереж, показано вплив змінних перепадів тиску, нерівномірного розподілу витрат і локальних опорів на стабільність роботи регулювальних пристроїв [7]. Ці результати є принципово важливими для проектування ІТП, оскільки працездатність регуляторів витрати та перепаду тиску безпосередньо залежить від фактичних гідравлічних умов у мережі, які часто відрізняються від проектних.

У сучасних публікаціях також значну увагу приділено питанням автоматизованого регулювання [8] теплового навантаження та підвищення енергоефективності споживачів шляхом впровадження індивідуальних теплових пунктів. Разом із тим більшість робіт зосереджена на аналізі режимів роботи або оцінці енергетичного ефекту, тоді як питання комплексної інженерної методики розрахунку та проектування ІТП розглядаються фрагментарно.

Нормативна база у сфері теплопостачання встановлює обов'язковість комерційного обліку теплової енергії, вимоги до енергоефективності будівель та модернізації систем теплопостачання. Відповідні законодавчі та нормативні документи фактично стимулюють відмову від елеваторних вузлів і перехід до ІТП з автоматизованим регулюванням та обліком. Водночас ці документи, як правило, не містять детальних інженерних рекомендацій щодо методики розрахунку та проектування ІТП, що зумовлює необхідність узагальнення наукових підходів і практичного досвіду в межах єдиної методики, орієнтованої на умови існуючих систем централізованого теплопостачання.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є розроблення прикладної методики розрахунку та проектування індивідуальних теплових пунктів для реконструкції елеваторних вузлів у системах централізованого теплопостачання, яка базується на поєднанні теплового та гідравлічного аналізу і враховує реальні умови експлуатації тепломереж. Запропонована методика має забезпечувати інженерно обґрунтований підбір основного обладнання ІТП, оцінку працездатності регулювальних елементів у змінних режимах та формування компактних і надійних проектних рішень, придатних для впровадження в існуючих будівлях.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено вирішення таких завдань:

1. узагальнити вихідні умови та обмеження, що виникають при заміні елеваторних вузлів на індивідуальні теплові пункти в існуючих системах теплопостачання;
2. сформулювати алгоритм теплового розрахунку ІТП для визначення розрахункової теплової потужності та параметрів теплообмінного обладнання;
3. проаналізувати гідравлічні умови роботи ІТП та визначити межі стабільної роботи регулювальних елементів;
4. розробити принципи підбору основного обладнання ІТП з урахуванням діапазонів робочих режимів, компактності та експлуатаційної надійності;
5. продемонструвати застосування запропонованої методики на типовому розрахунковому прикладі та оцінити її придатність для інженерної практики.

4. Матеріали та методи дослідження

4.1 Вихідні умови та схема підключення ІТП

Методологія дослідження орієнтована на умови реконструкції існуючих систем теплопостачання житлових будівель, у яких теплова енергія від систем централізованого теплопостачання подається через елеваторний вузол. Такі системи, як правило, характеризуються обмеженою можливістю регулювання теплового навантаження, залежністю внутрішніх режимів від параметрів мережі та відсутністю комерційного [9] обліку теплової енергії. У межах даної роботи розглядається варіант модернізації шляхом заміни елеваторного

вузла на індивідуальний тепловий пункт з незалежною схемою підключення.

Зображена на рис. 1 незалежна схема ІТП передбачає гідравлічне розділення тепломережі та внутрішньої системи опалення за допомогою теплообмінника. Такий підхід дозволяє стабілізувати гідравлічні режими внутрішньої системи, знизити вплив коливань тиску в тепломережі та забезпечити кероване регулювання теплової потужності відповідно до фактичних потреб будівлі. Крім того, незалежна схема створює передумови для впровадження повноцінного автоматизованого регулювання та комерційного обліку теплової енергії, що є обов'язковими вимогами сучасних нормативних документів.

У якості базової приймається типова схема ІТП, що включає теплообмінник системи опалення, регулювальні органи на стороні тепломережі, циркуляційний насос внутрішнього контуру та засоби вимірювання й автоматизації. Розгляду підлягають режими роботи системи опалення без урахування аварійних станів, а також умови збереження існуючої системи опалення без її гідравлічної реконструкції.

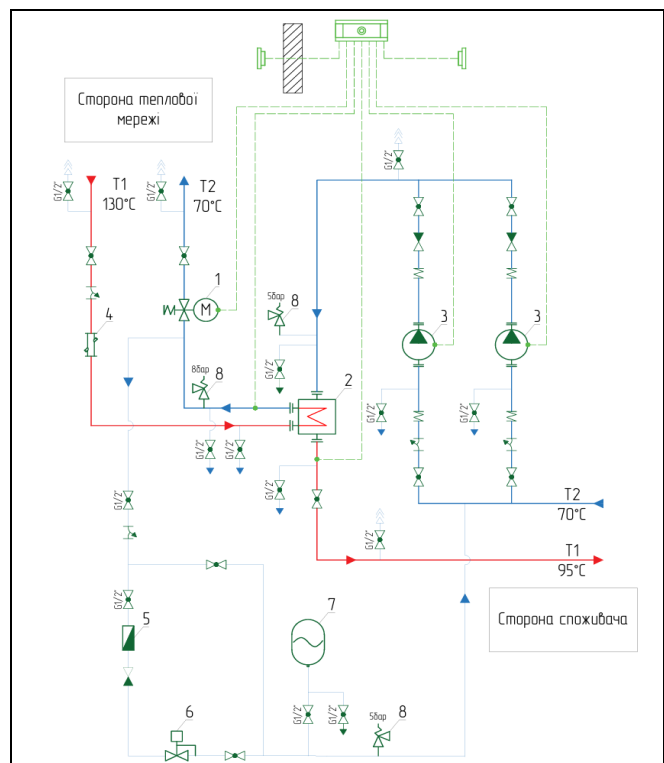


Рисунок 1 – Незалежна схема підключення ІТП

Зазначені вихідні умови визначають межі застосування запропонованої методики та формують основу для подальшого теплового і гідравлічного розрахунку ІТП.

4.2 Формування вихідних даних для розрахунку ІТП

Формування коректних вихідних даних є визначальним етапом методики розрахунку та проектування ІТП, оскільки саме на цьому етапі закладаються межі працездатності та стабільності майбутнього проектного рішення. Для умов реконструкції елеваторного вузла вихідні дані повинні відображати не номінальні, а фактичні експлуатаційні параметри системи теплопостачання конкретного споживача.

До основних груп вихідних даних належать теплові, гідравлічні та конструктивні параметри. Теплові параметри включають розрахункове теплове навантаження будівлі [10], яке визначається за чинними нормативними методиками [11] з урахуванням призначення будівлі [12], кліматичних умов та прийнятого температурного графіка системи теплопостачання. Окремо задаються температури теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах тепломережі.

Гідравлічні вихідні дані характеризують умови підключення ІТП до тепломережі та включають допустимі значення тиску і перепаду тиску на вводі, можливі коливання цих параметрів у процесі експлуатації, а також орієнтовні значення витрати теплоносія на стороні тепломережі. Врахування діапазонів зміни гідравлічних параметрів є принципово важливим для подальшої перевірки стабільності роботи регульовальних елементів ІТП.

Узагальнений перелік вихідних даних, прийнятих для розрахунків, систематизовано у вигляді таблиці, що забезпечує прозорість методики та можливість її застосування до інших об'єктів. На основі сформованих даних виконується тепловий і гідравлічний розрахунок ІТП в наступних підрозділах.

4.3. Методика розрахунку ІТП

Тепловий розрахунок ІТП є базовим етапом методики проектування, оскільки саме на його основі визначається розрахункова потужність теплообмінника, витрата теплоносія з тепломережі та параметри внутрішнього контуру системи опалення. Витрата теплоносія на стороні тепломережі визначається з рівняння теплового балансу:

$$G_1 = \frac{0,86 \cdot Q_1}{\Delta T}, \quad (1)$$

де Q_1 – Розрахункове теплове навантаження, кВт;

ΔT – перепад температур, °С.

Таблиця 1 – Перелік вихідних параметрів для розрахунку ІТП

№	Параметр	Познач.	Величина	Од. вим.	Примітка
Теплові параметри					
1	Розрахункове теплове навантаження будівлі	Q_1	368	кВт	За нормативною методикою
2	Температура теплоносія в подаючому трубопроводі тепломережі	T_1	130	°С	За прийнятим температурним графіком
3	Температура теплоносія в зворотному трубопроводі тепломережі	T_2	70	°С	За прийнятим температурним графіком
4	Температура теплоносія в подаючому трубопроводі споживача	T_{11}	80	°С	За нормативною методикою
5	Температура теплоносія в зворотному трубопроводі споживача	T_{21}	60	°С	За нормативною методикою
Гідравлічні параметри					
6	Номінальний перепад тиску на вводі ІТП	$\Delta P_{\text{ном}}$	33,2	м вод.ст.	Розрахункове значення
7	Діапазон можливих змін перепаду тиску	ΔP_1	5	м вод.ст.	Для аналізу режимів роботи
		ΔP_2	10	м вод.ст.	
		ΔP_3	15	м вод.ст.	
		ΔP_4	20	м вод.ст.	
		ΔP_5	25	м вод.ст.	

Аналогічно визначається витрата теплоносія у внутрішньому контурі системи опалення:

$$G_2 = \frac{0,86 \cdot Q_2}{\Delta T}, \quad (2)$$

Гідравлічний розрахунок ІТП виконується з метою перевірки можливості стабільної роботи його регульовальних елементів в умовах реальних параметрів тепломережі.

У межах незалежної схеми ІТП гідравлічний режим на стороні тепломережі характеризується тиском та перепадом тиску на вводі, які можуть змінюватися залежно від режимів роботи джерела теплопостачання та стану мережі. Для заданої витрати теплоносія з тепломережі сумарні гідравлічні втрати в елементах ІТП не повинні перевищувати наявний перепад тиску:

$$\Delta P_{\text{ІНТ}} \leq \Delta P_{\text{пот}}, \quad (3)$$

де $\Delta P_{\text{ІНТ}}$ – сумарні втрати тиску в елементах ІТП контуру мережі, м. вод.ст.; $\Delta P_{\text{пот}}$ – номінальний перепад тиску на вводі, м. вод.ст.

Сумарні втрати тиску в ІТП визначаються як сума втрат у теплообміннику, регульовальних органах, трубопроводах та запірній арматурі. Для оптимального підбору обладнання поетапно використовуються стандартні гідравлічні залежності починаючи з внутрішнього діаметру трубопроводу:

$$D_{en} = \sqrt{\frac{(G/3600/v) \cdot 4}{\pi}} \cdot 1000, \quad (4)$$

де v – швидкість теплоносія (визначається за нормативами), м/с;

Вибір діаметра припадає на найближчий більший по типу-розміру за ДСТУ.

Діаметр трубопроводу відповідає діаметру арматури та дозволяє визначити втрати тиску по трубопроводам:

$$R_t = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot k, \quad (5)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя (за формулою Альтшуля); L – довжина трубопроводу, м; k – спрощений коефіцієнт запасу на місцеві опори.

Наступним кроком визначається опір кожного із передбачених схемою елементів (засувки, фільтр, регулюючи клапан, тепло-лічильник) за формулою:

$$R_l = 10 \cdot \frac{G}{K_{vs}}, \quad (6)$$

де K_{vs} – пропускна здатність елемента (за паспортними даними), м³/год;

При цьому особлива увага приділяється перевірці умов роботи регуляторів витрати та перепаду тиску, оскільки їх працездатність обмежується мінімальними та максимальними значеннями. Для стабільної роботи регулятора повинна виконуватися умова:

$$\Delta P_{\min} \leq \Delta P_{\text{fact}} \leq \Delta P_{\max} \quad (7)$$

де ΔP_{fact} – фактичний перепад тиску на регулювальному елементі, м. вод.ст.; $\Delta P_{\min}$, $\Delta P_{\max}$ – граничні значення, визначені виробником, м. вод.ст.

Для визначення загального опору контуру теплової мережі необхідно на основі температурного графіка теплоносія та потужності підібрати останній елемент – теплообмінний апарат (використовується П.З. виробника) звідки ми отримуємо опір ТООА на стороні теплової мережі (R_{HX1}). Загальний опір контуру визначається за формулою:

$$\Delta P_{\text{INT}} = R_1 + \dots + R_n + R_{HX1}, \quad (8)$$

де $R_1 + \dots + R_n$ – сума опорів всіх елементів контуру

теплової мережі, м.вод.ст.;

Оскільки умова ($\Delta P_{\text{INT}} \leq \Delta P_{\text{nom}}$) виконується можна переходити до етапу підбору обладнання вторинного контуру ІТП.

Наступним кроком визначається напір циркуляційного насоса:

$$H_{\text{pump}} = (R_1 + \dots + R_n + R_{HX2} + R_{\text{sys}}) \cdot 1,15 \quad (9)$$

де $R_1 + \dots + R_n$ – сума опорів всіх елементів контуру споживача, м.вод.ст.; R_{HX2} – опір ТООА на стороні споживача, м.вод.ст.; R_{sys} – опір системи опалення споживача, м.вод.ст.

Таким чином робоча точка насоса:

$$(G_2, H_{\text{pump}}) \quad (10)$$

Насос підбирається так, щоб робоча точка розташовувалася в центральній частині його напірно-витратної характеристики. Конкретний типорозмір насоса визначається відповідно до каталожних характеристик виробника.

4.4. Моделювання режимів роботи ІТП

На першому етапі розглядається ситуація, коли змінним фактором є доступний перепад тиску на вводі ІТП з боку теплової мережі (Δp_{in}). Працездатність ІТП у цьому пункті трактується як здатність первинного контуру забезпечити витрату, достатню для передачі теплової потужності (Q_1) на теплообмінник, без втрати керованості регулювання [13].

Особливість даної схеми полягає в тому, що клапан підтримує сталий перепад [14] на регулювальному органі (на рівні уставки $\approx 0,3$ бар) у межах своїх конструктивних можливостей. Це означає:

- при достатньому (Δp_{in}) коливання тиску з «поглинаються», а витрата залишається керованою [15];
- при недостатньому (Δp_{in}) регулятор перепаду втрачає можливість підтримувати уставку, відкривається до межі ходу, і система переходить у неконтрольований режим.

Для практичного аналізу (Δp_{in}) змінюється у певному діапазоні від занижених значень до номінального та підвищеного рівня [16]. На основі вхідних даних побудовано графік залежності ($G_{1,\text{fact}} = f(\Delta p_{in})$), який проілюстровано на рисунку 2 для інженерної інтерпретації важливі дві зони:

- зона стабільної роботи: при ($\Delta p_{in} \geq \Delta p_{in,\min}$)

витрата підтримується на рівні, достатньому для (Q_{design}), а регулювання зберігає керованість;

– зона граничних/непрацездатних режимів: при ($\Delta p_{in} < \Delta p_{in,min}$) витрата падає нижче необхідної, що безпосередньо означає недостатню подачу теплової потужності на теплообмінник.

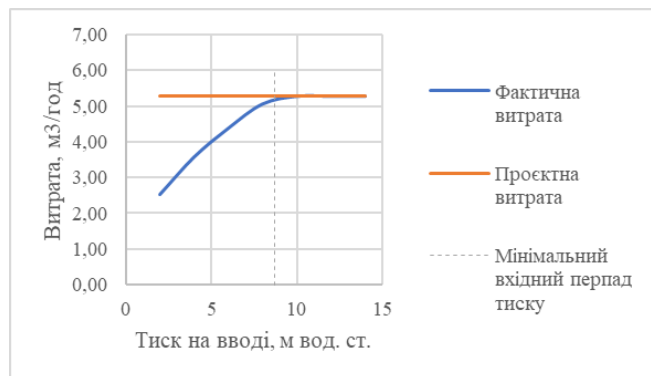


Рисунок 2 – Залежність витрати первинного контуру від вхідного перепаду тиску

На другому етапі розглядається робота ІТП за умов змінного теплового навантаження будівлі при фіксованому номінальному перепаді тиску. Вхідний перепад тиску приймається сталим, що забезпечує стабільну роботу регулювального вузла.

Необхідна витрата теплоносія у первинному контурі при змінному тепловому навантаженні визначається пропорційно відношенню поточного теплового навантаження до розрахункового:

$$G_1(t_{out}) = G_{1,design} \cdot \frac{Q(t_{out})}{Q_{design}} \quad (11)$$

де G_1 – розрахункова витрата теплоносія у первинному контурі ІТП, м³/год; t_{out} – розрахункова температура зовнішнього повітря, °C.

Оскільки перепад тиску на регулювальному клапані в робочому діапазоні стабілізований, витрата теплоносія є пропорційною ефективній пропускній здатності клапана. За умови заданої уставки перепаду тиску максимально можлива витрата теплоносія через повністю відкритий клапан визначається його номінальною пропускною здатністю:

$$G_{1,max} = k_{vs} \sqrt{\Delta p_{set}} \quad (12)$$

де Δp_{set} – уставка регулятора перепаду тиску на клапані, м вод. ст.

Для аналізу керуючої дії регулювального вузла у вводиться відносний показник відкриття регулювального клапана, який визначається як частка реалізованої пропускної здатності відносно її максимального значення:

$$y(t_{out}) = 100 \cdot \frac{G_1(t_{out})}{G_{1,max}} \quad (13)$$

де $y(t_{out})$ – відносне відкриття регулювального клапана, подане у відсотках від максимально реалізованої пропускної здатності клапана.

У міру зниження температури зовнішнього повітря теплове навантаження будівлі зростає, що призводить до збільшення необхідної витрати теплоносія у первинному контурі та відповідного відкриття регулювального клапана.

На рисунку 3 наведено залежності теплового навантаження будівлі та відносного відкриття регулювального клапана від температури зовнішнього повітря при номінальному перепаді тиску на ввіді.

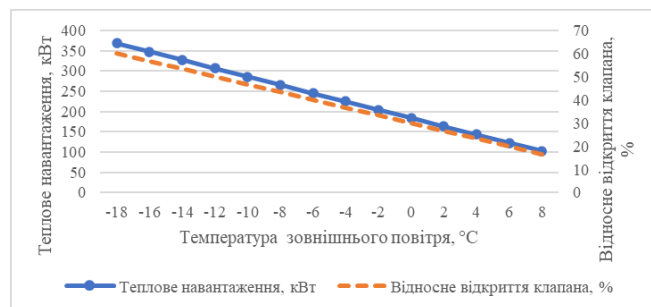


Рисунок 3 – Залежність теплового навантаження та відносного відкриття клапана від температури зовнішнього повітря

Як видно з графіка, у всьому розглянутому діапазоні температур регулювальний клапан працює в межах свого робочого діапазону та має запас по пропускній здатності.

Отримані результати свідчать, що за відсутності гідравлічних обмежень з боку теплової мережі ІТП забезпечує кероване погодозалежне регулювання теплової потужності [17]. Даний режим розглядається як еталонний і використовується надалі для аналізу роботи ІТП за умов дефіциту теплової енергії.

На третьому етапі розглядається робота ІТП за умов дефіциту теплової енергії з боку теплової мережі. Аналіз проводиться для сценарію дефіциту в 30 %.

Цільове теплове навантаження, яке може бути реалізоване ІТП за умов дефіциту, визначається залежністю:

$$Q_{tar}(t_{out}, K_{final}) = (1 - K_{final}) \cdot Q(t_{out}) \quad (14)$$

де $Q(t_{out})$ – погодо-залежне теплове навантаження споживача, кВт; K_{final} – коефіцієнт дефіциту теплової потужності.

За аналогією з еталонним режимом, необхідна витрата теплоносія у первинному контурі ІТП при дефіциті теплоти визначається пропорційно зменшеному тепловому навантаженню:

$$G_{1,tar}(t_{out}, K_{final}) = G_1 \cdot \frac{Q_{tar}(t_{out}, K_{final})}{Q_1} \quad (15)$$

Зменшення теплового навантаження за умов дефіциту реалізується шляхом додаткового прикривання регулювального клапана. Відносне відкриття клапана при дефіциті теплоти визначається як:

$$y_{tar}(t_{out}, K_{final}) = 100 \cdot \frac{G_{1,tar}(t_{out}, K_{final})}{G_{1,max}} \quad (16)$$

де $G_{1,max}$ – максимальна витрата через регулювальний клапан при заданому перепаді тиску, м³/год.

Гідравлічна працездатність ІТП зберігається, оскільки зменшення витрати не призводить до виходу регулювального органу за межі його робочого діапазону. Основним наслідком дефіциту є не порушення стабільності регулювання, а розрахункове обмеження теплової енергії відпущеної споживачу. На рисунку 4 проілюстровано зміну теплового навантаження та відносного відкриття регулювального клапана залежно від температури зовнішнього повітря.

Порівняння отриманих залежностей з номінальним режимом показує, що навіть за значних рівнів дефіциту теплоти (до 30 %) ІТП з незалежною схемою підключення зберігає керованість та гідравлічну стабільність.

5. Матеріали та методи дослідження

Результатом методики є компоновка та проектування ІТП. Результати теплового та гідравлічного розрахунків трансформуються у фізично ре-

лізоване інженерне рішення. Для умов реконструкції існуючих елеваторних вузлів компоновка ІТП повинна враховувати обмежені габарити приміщень, наявні інженерні комунікації та вимоги до безперебійної експлуатації системи теплопостачання.

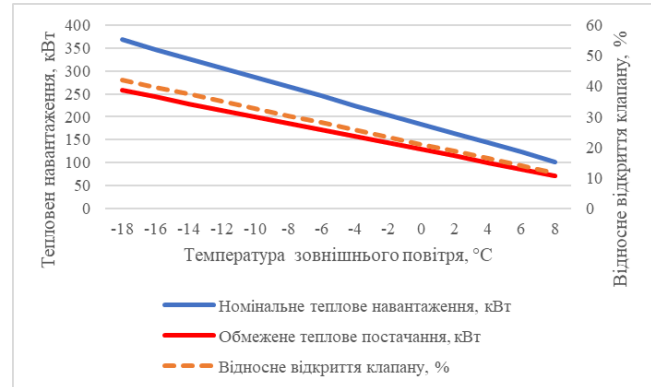


Рисунок 4 – Залежність теплопостачання і відносного відкриття регулювального клапана від температури зовнішнього повітря при умові дефіциту 30%

Основним принципом компоновки є функціональна послідовність розміщення обладнання, яка відповідає напрямку руху теплоносія та логіці роботи системи. Елементи первинного контуру розташовуються таким чином, щоб мінімізувати довжини з'єднувальних трубопроводів і додаткові гідравлічні втрати [18]. Це важливо для забезпечення стабільної роботи ІТП в режимах з обмеженим доступним перепадом тиску.

Другим ключовим принципом є компактність, яка досягається за рахунок раціонального групування обладнання та скорочення кількості допоміжних елементів. Компактне розміщення не лише спрощує монтаж у тисних приміщеннях, але й знижує ймовірність експлуатаційних відмов, пов'язаних із складністю обслуговування та доступу до арматури.

Важливим аспектом компоновки є експлуатаційна надійність. Усі регулювальні та запірні елементи повинні бути доступними для огляду, налаштування і заміни без демонтажу суміжного обладнання. Прилади обліку та контролю розміщуються у зонах зручного доступу, що забезпечує можливість оперативного контролю параметрів роботи ІТП.

Підбір основного обладнання індивідуального теплового пункту здійснюється на основі результатів теплового та гідравлічного розрахунків і моделювання режимів роботи, що забезпечує узгод-

женість проєктного рішення з реальними умовами експлуатації.

Теплообмінник системи опалення підбирається за розрахунковою тепловою потужністю і температурними параметрами первинного та вторинного контурів. Додатково перевіряється його гідравлічний опір при розрахунковій витраті теплоносія з тепломережі, щоб сумарний опір первинного контуру не перевищував доступний перепад тиску.

Регулювальний клапан на стороні тепломережі обирається за витратою теплоносія та коефіцієнтом пропускної здатності, виходячи з умови забезпечення необхідної витрати при допустимому перепаді тиску на клапані. Робочий діапазон клапана має відповідати результатам моделювання режимів роботи ІТП [19].

Тепловий лічильник є обов'язковим елементом ІТП та підбирається відповідно до розрахункової витрати теплоносія і температурного діапазону. Він забезпечує комерційний облік теплової енергії.

Циркуляційний насос вторинного контуру визначається за витратою та сумарним гідравлічним

опором внутрішньої системи опалення з урахуванням всіх елементів ІТП. Робоча точка насоса приймається в зоні найбільшої ефективності з резервом для змінних режимів.

Розширювальний бак підбирається за об'ємом теплоносія у вторинному контурі та робочим тиском системи опалення, забезпечуючи компенсацію температурного розширення і стабільність тиску.

Лінія автоматичного підживлення передбачається для підтримання тиску у вторинному контурі в межах допустимих значень та компенсації можливих втрат теплоносія.

Просторова компоновка ІТП визначає можливість практичної реалізації прийнятого проєктного рішення в умовах існуючої забудови та безпосередньо впливає на експлуатаційну надійність. На відміну від нового будівництва, реконструкція елеваторних вузлів виконується у приміщеннях з обмеженими габаритами, фіксованими точками підключення трубопроводів і наявними інженерними комунікаціями, що формує жорсткі обмеження. Приклад оптимальної компоновки ІТП та його габарити наведено на рисунках 5 та 6.

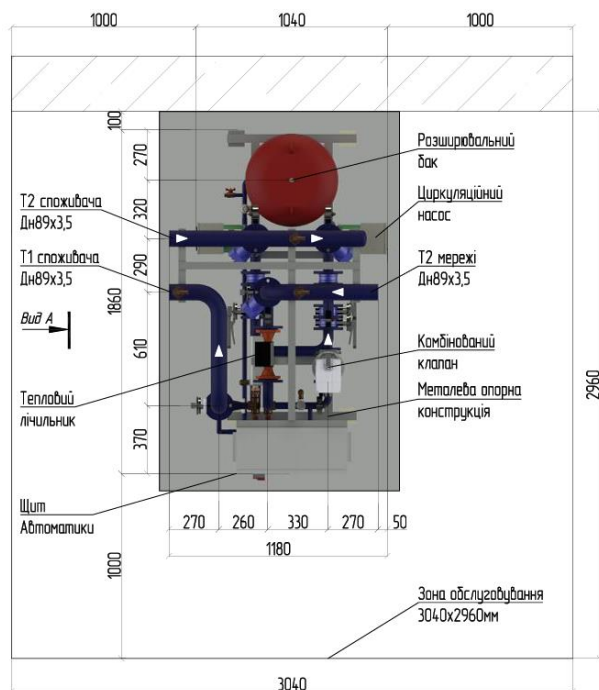


Рисунок 5 – План розташування ІТП

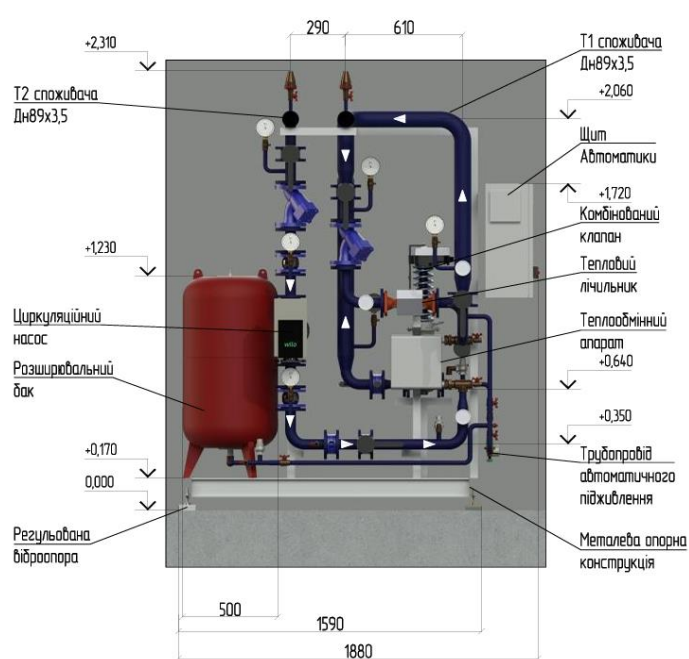


Рисунок 6 – ІТП (Вид А)

Для забезпечення модульності та варіативності компоновки доцільним є розміщення основного обладнання ІТП на єдиному шасі у вигляді металевої рами. Таке рішення дозволяє не прив'язувати компоновку до стін або перекриттів обмеженого приміщення, спрощує монтаж і демонтаж,

а також забезпечує можливість заводської попередньої збірки. Рама встановлюється на вібро-ізоляційних опорах, що зменшує передачу вібрацій від насосного обладнання на будівельні конструкції та підвищує експлуатаційний комфорт. Для підвищення довговічності металоконструкцій пе-

редбачаються антикорозійні заходи, а трубопроводи оснащуються теплоізоляцією відповідно до вимог енергоефективності. На тому ж шасі розміщується щит живлення та автоматики з панеллю керування, що забезпечує компактність, зручність обслуговування і логічну інтеграцію систем керування з технологічним обладнанням. Об'ємна візуалізація ІТП наведена на рисунку 7.



Рисунок 7 – Візуалізація ІТП

Таким чином, просторова компоновка ІТП як частина методики проєктування, забезпечує відповідність прийнятого проєктного рішення реальним умовам впровадження та гарантує стабільну і надійну роботу ІТП в складі існуючих систем централізованого теплопостачання [20].

6. Висновки

У роботі представлено інженерну методику розрахунку та проєктування ІТП для реконструкції елеваторних вузлів у СЦТ. Методика базується на поєднанні теплового та гідравлічного аналізу, враховує змінні режими роботи тепломережі та орієнтована на практичне впровадження в умовах існуючої забудови. Отримані результати підтверджують можливість забезпечення керованої, гідравлічно стабільної роботи ІТП як у номінальних режимах, так і за умов обмеженого теплопостачання.

Основні результати та висновки:

- Показано, що тепловий розрахунок ІТП є фундаментальним етапом проєктування, оскільки працездатність вузла в реальних умовах визначається насамперед гідравлічними параметрами тепломережі та їх зміною в процесі експлуатації.

- Запропоновано поетапний алгоритм розрахунку ІТП, який включає формування вихідних даних, тепловий розрахунок, гідравлічну перевірку, підбір обладнання та моделювання режимів роботи, що забезпечує інженерну відтворюваність методики.

- Встановлено, що незалежна схема підключення ІТП за наявності достатнього перепаду тиску забезпечує стабільне погодо-залежне регулювання теплової потужності в усьому діапазоні зовнішніх температур без виходу регульованих елементів за межі робочого діапазону.

- Доведено, що в умовах дефіциту теплової енергії до 30 % обмеження теплопостачання реалізується шляхом керованого зменшення витрати теплоносія без порушення гідравлічної стабільності та керованості регульовального вузла.

- Показано, що аналіз граничних гідравлічних режимів [21] дозволяє визначити область допустимих режимів роботи ІТП та виявити потенційні обмеження ще на етапі проєктування, що знижує експлуатаційні ризики.

- Обґрунтовано доцільність включення компоновки ІТП до складу методики проєктування, оскільки компактність, модульність і експлуатаційна доступність обладнання безпосередньо впливають на можливість реалізації розрахункових режимів та надійність роботи ІТП.

Особистий внесок авторів CRediT

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

Література

1. Euroheat & Power. Good practice guide: district energy. – Brussels, 2018. – URL: <https://www.euroheat.org/dhc/knowledge-hub/good-practice-guide-district-energy> (дата звернення 06.02.2026).

2. IEA Technology Collaboration Programme on District Heating and Cooling (IEA DHC). Annex XII: System integration and operation of district heating and cooling systems. – Paris, 2020. – URL <https://www.iea-dhc.org/the-research/annexes/annex-xii> (дата звернення 06.02.2026).
3. SS-EN 13941-1:2019. District heating pipes – Design and installation of thermal insulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks. Part 1: Design. – Stockholm: Swedish Institute for Standards, 2019.
4. **Проценко С. Б., Новицька О. С., Ковальчук В. П.** Порівняльний аналіз розрахунку проектного теплового навантаження систем опалення будівель за європейською та вітчизняною методиками (на прикладі житлового будинку в м. Рівне) // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Теорія і практика будівництва. – 2016. – № 844. – С. 169-179.
5. **Проценко С. Б., Новицька О. С., Ковальчук В. П.** Розрахунок проектного теплового навантаження систем опалення будівель за європейською та вітчизняною методиками // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2017. – С. 133-139.
6. ДСТУ EN 13941:2016. Проектування та будівництво попередньо ізольованих систем трубопроводів із нерухомою ізоляцією для розподільчих мереж тепlopостачання. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
7. **Wang Y., You S., Zhang H., Zheng W., Zheng X., Miao Q.** Hydraulic performance optimization of meshed district heating network with multiple heat sources // Energy. – 2017. – Vol. 126. – P. 603-621. –
8. **Ніколаєва А. Р., Куценко О. С.** Синтез оптимального регулятора теплового стану будинків з індивідуальним тепловим пунктом // Матеріали XII Міжнар. наук.-практ. конф. магістрантів та аспірантів (17–20 квітня 2018 р.). – Харків : НТУ «ХП», 2018. – Ч. 1. – С. 100-101.
9. ДСТУ EN 253:2016. Розподільчі мережі опалення. Попередньо ізольовані трубопровідні системи для підземного прокладання. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
10. **Проценко С. Б., Новицька О. С., Кісєв М. Д.** Особливості нової методики розрахунку проектного теплового навантаження систем опалення будівель за ДСТУ EN 12831-1:2017 // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 140-144.
11. **Проценко С. Б., Новицька О. С.** Аналіз нових нормативних вимог до розрахунку проектного теплового навантаження систем опалення будівель // Вісник НУВГП. Технічні науки. – 2015. – Вип. 3 (71). – Ч. 2. – С. 17–24.
12. ДСТУ EN 12831-1:2017. Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження. Частина 1. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.
13. **Wang Y., You S., Zhang H., Zheng X., Wei S., Miao Q., Zheng W.** Operation stability analysis of district heating substation from the control perspective // Energy and Buildings. – 2017. – Vol. 154. – P. 373-390.
14. Danfoss. Pressure independent balancing control valves (PICV). – 2025. – URL: <https://www.danfoss.com/en/products/dhs/valves/hydrionic-balancing-and-control/pressure-independent-balancing-control-valves-pibcv/> (дата звернення 06.02.2026).
15. **Naldi C., Dongellini M., Morini G. L., di Schio E. R.** The adoption of pressure independent control valves for simultaneous optimization of energy consumption and comfort in buildings // Energy and Buildings. – 2023. – Vol. 287. – Art. 112969.
16. **Lazarević S. L., Čongradac V. D., Anđelković A. S., Kljajić M. V., Kanović Ž. S.** District heating substation elements modeling for the development of the real-time model // Thermal Science. – 2019. – Vol. 23, No. 3. – P. 2061-2070.
17. Danfoss. ECL Comfort controllers: weather compensated temperature controllers for district heating [Electronic resource]. – 2024. – URL: <https://www.danfoss.com/en/products/electronic-controls/dhs/electronic-controllers-and-application-keys/ecl-controllers/> (дата звернення 06.02.2026).
18. CEN. EN 13941-1:2019. District heating pipes. Part 1: Design. – Brussels : European Committee for Standardization, 2019.
19. **Vandermeulen A., Van Oevelen T., van der Heijde B., Helsen L.** Simulation-based evaluation of substation models for network flexibility characterisation in district heating networks // Energy. – 2020. – Vol. 201. – Art. 117650.
20. CEN. EN 13941-2:2019. District heating pipes. Part 2: Installation. – Brussels : European Committee for Standardization, 2019.
21. **Tol H. I.** Development of a physical hydraulic modelling tool for district heating systems // Energy and Buildings. – 2021. – Vol. 253. – Art. 111512. –

Отримана в редакції 06.02.2026, прийнята до друку 03.03.2026

Methodology for the calculation and design of individual heat substations in the reconstruction of elevator units

Genadiy Balasanyan¹, 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>

The paper addresses the problem of designing individual heat substations (IHS) during the reconstruction of elevator mixing units in district heating systems of residential buildings. It is shown that the widespread practice of formal equipment selection based solely on catalogue data, without considering the actual hydraulic conditions of heat networks, variable operating regimes, and constraints of existing infrastructure, leads to unstable operation of IHS, violation of control conditions, and a reduction in the overall efficiency of modernization measures. The aim of the study is to develop an applied engineering methodology for the calculation and design of individual heat substations based on the combined use of thermal and hydraulic analysis and oriented toward the reconstruction of operating buildings connected to district heating systems. The proposed methodology takes into account variable pressure differentials at the building inlet, weather-dependent heat load regulation, and possible scenarios of thermal energy deficit on the supply side of the heat network. A step-by-step algorithm for IHS calculation is formulated, including the determination of input data, thermal calculation, hydraulic verification of control node operability, selection of main equipment, and simulation of characteristic operating modes. The operation of an IHS with an independent connection scheme is analyzed under nominal conditions, under variable inlet pressure differentials, and under conditions of thermal energy deficit of up to 30%. It is demonstrated that, with a sufficient pressure differential, the IHS ensures stable weather-compensated control of thermal power, while under heat deficit conditions the limitation of heat supply is implemented through controlled reduction of the heat carrier flow rate without loss of hydraulic stability of the control system. The expediency of considering the layout of the individual heat substation as an integral component of the design methodology is substantiated separately. It is shown that compactness, modularity, and operational accessibility of equipment directly affect the feasibility of implementing the calculated operating regimes and the reliability of IHS operation under reconstruction conditions of existing buildings. The proposed methodology is suitable for practical application and can be used as an engineering basis for the modernization of elevator mixing units and for the design of individual heat substations in district heating systems.

Keywords: Individual heat substation; Elevator unit; District heating; Hydraulic calculation; Thermal calculation; Thermal energy deficit; IHS layout; Design.

References

1. (2018) Euroheat & Power. Good Practice Guide: District Energy. Brussels. Retrieved 06 February 2026 from <https://www.euroheat.org/dhc/knowledge-hub/good-practice-guide-district-energy>.
2. (2020) IEA Technology Collaboration Programme on District Heating and Cooling (IEA DHC). Annex XII: System Integration and Operation of District Heating and Cooling Systems. Paris. Retrieved 06 February 2026 from <https://www.iea-dhc.org/the-research/annexes/annex-xii>
3. (2019) SS-EN 13941-1:2019. District Heating Pipes – Design and Installation of Thermal Insulated Bonded Pipe Systems for Directly Buried Hot Water Networks. Part 1: Design. Stockholm: Swedish Institute for Standards.
4. Protsenko, S. B., Novytska, O. S., Kovalchuk, V. P. (2016) Comparative analysis of design heat load calculation for building heating systems using European and national methodologies (case study of a residential building in Rivne). *Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Series: Theory and Practice of Construction*, 844, 169-179.
5. Protsenko, S. B., Novytska, O. S., Kovalchuk, V. P. (2017) Calculation of design heat load for building heating systems using European and national methodologies. *Bulletin of Odesa State Academy of Civil*

Engineering and Architecture, 133–139.

6. DSTU EN 13941:2016. Design and Construction of Pre-insulated Bonded Pipe Systems for District Heating Networks. Kyiv: State Enterprise "UkrNDNC".
7. Wang, Y., You, S., Zhang, H., Zheng, W., Zheng, X., Miao, Q. (2017) Hydraulic performance optimization of meshed district heating networks with multiple heat sources. *Energy*, 126, 603-621.
8. Nikolaieva, A. R., Kutsenko, O. S. (2018) Synthesis of an optimal thermal state controller for buildings with an individual heating substation. *Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference of Master's and PhD Students (April 17–20, 2018)*. Kharkiv: NTU "KhPI", Part 1, 100-101.
9. DSTU EN 253:2016. District Heating Networks. Pre-insulated Bonded Pipe Systems for Directly Buried Hot Water Networks. Kyiv: State Enterprise "UkrNDNC".
10. Protsenko, S. B., Novytska, O. S., Kizielev, M. D. (2019) Features of the new methodology for calculating design heat load of building heating systems according to DSTU EN 12831-1:2017. *Modern Technologies, Materials and Structures in Construction*, 25, 2, 140-144.
11. Protsenko, S. B., Novytska, O. S. (2015) Analysis of new regulatory requirements for calculating design heat load of building heating systems. *Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering. Engineering Sciences*, 3 (71), 2, 17-24.
12. DSTU EN 12831-1:2017. Energy Performance of Buildings. Method for Calculation of Design Heat Load. Part 1. Kyiv: State Enterprise "UkrNDNC".
13. Wang, Y., You, S., Zhang, H., Zheng, X., Wei, S., Miao, Q., Zheng, W. (2017) Operation stability analysis of district heating substations from a control perspective. *Energy and Buildings*, 154, 373-390.
14. (2025) Danfoss. Pressure Independent Balancing Control Valves (PICV). Retrieved 06 February 2026 from <https://www.danfoss.com/en/products/dhs/valves/hydraulic-balancing-and-control/pressure-independent-balancing-control-valves-pibcv/>.
15. Naldi, C., Dongellini, M., Morini, G. L., di Schio, E. R. (2023) Adoption of pressure independent control valves for simultaneous optimization of energy consumption and thermal comfort in buildings. *Energy and Buildings*, 287, 112969.
16. Lazarević, S. L., Čongradac, V. D., Andelković, A. S., Kljajić, M. V., Kanović, Ž. S. (2019) Modeling of district heating substation elements for real-time model development. *Thermal Science*, 23, 3, 2061-2070.
17. (2024) Danfoss. ECL Comfort Controllers: Weather Compensated Temperature Controllers for District Heating. Retrieved 06 February 2026 from <https://www.danfoss.com/en/products/electronic-controls/dhs/electronic-controllers-and-application-keys/ecl-controllers/>
18. CEN. EN 13941-1:2019. District Heating Pipes – Design and Installation of Thermal Insulated Bonded Pipe Systems for Directly Buried Hot Water Networks. Part 1: Design. Brussels: European Committee for Standardization.
19. Vandermeulen, A., Van Oevelen, T., van der Heijde, B., Helsen, L. (2020) Simulation-based evaluation of substation models for network flexibility characterization in district heating networks. *Energy*, 201, 117650.
20. CEN. EN 13941-2:2019. District Heating Pipes – Design and Installation of Thermal Insulated Bonded Pipe Systems for Directly Buried Hot Water Networks. Part 2: Installation. Brussels: European Committee for Standardization.
21. Tol, H. İ. (2021) Development of a physical hydraulic modelling tool for district heating systems. *Energy and Buildings*, 253, 111512.

Received 06 February 2026

Approved 03 March 2026

Available in Internet 31 March 2026