

Регулювання змішаного теплового навантаження відпуску теплоти з централізованих котельних за навантаженням для опалення.

Наведено методи регулювання відпуску теплоти в період «зрізки» температурного графіка. Проілюстровано залежність між підвищенням розрахункової температури в подавальному трубопроводі та скороченням періоду роботи систем опалення в режимі «перетопу» і зменшенням перевитрат теплоти. Запропонована методика для кількісної оцінки економії теплоти за рахунок впровадження місцевого регулювання в автоматичному режимі. Проведено аналіз принципових схем теплових пунктів з обладнанням, необхідним для автоматичного місцевого регулювання. Розроблена схема автоматизованого теплового пункту для найбільш ефективного регулювання відпуску теплоти для системи тепlopостачання в цілому.

Ключові слова: енергоефективність систем тепlopостачання, «перетопи» в період «зрізки» температурного графіка, місцеве регулювання, автоматизовані теплові пункти.

Повышение энергоэффективности систем централизованного теплоснабжения путем усовершенствования методов регулирования отпуска теплоты

Приведено методи регулювання отпуску теплоти в період «срезки» температурного графіка. Проілюстровано залежність між підвищенням розрахункової температури в подаючому трубопроводі та скороченням періоду роботи систем опалення в режимі «перетопу» і зменшенням перевитрат теплоти. Предложена методика для количественной оценки экономии теплоты за счет внедрения местного регулирования в автоматическом режиме. Проведено анализ принципиальных схем тепловых пунктов с оборудованием, необходимым для автоматического местного регулирования. Разработана схема автоматизированного теплового пункта для наиболее эффективного регулирования отпуска теплоты для системы теплоснабжения в целом.

Ключевые слова: энергоэффективность систем теплоснабжения, «перетопы» в период «срезки» температурного графика, местное регулирование, автоматизированные тепловые пункты.

The Increase of Energy Efficiency of the Centralized Heat Supplying Systems by Improving Methods of the Heat Regulation

The methods of the heat regulation during the “fracture period” of the temperature graph are described. The dependence between the increase of the calculated temperature in the supplying pipeline and the shortening of the working period of the heating systems in the overheating mode and the decrease of the over-heat are illustrated. Methods for quantitative evaluation of the saving heat through implantation of local regulation in the automatic mode are proposed. The analysis of the concepts of the heating points with the equipment necessary for automatic local regulation was done. The scheme of the automated heating point for the most effective regulation of the heat for the heat supplying system in general was developed.

Keywords: energy efficiency of the heat supplying systems, overheating during the “chop in” of the temperature graph, local regulation, automated heating points.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. Втрати енергії з причин низької ефективності систем

регулювання на етапах вироблення, транспортування й відпуску теплоти в централізованих системах теплопостачання є однією із актуальних проблем сьогодення. Загальновідомими є недоліки центрального якісного регулювання відпуску теплової енергії на джерелі теплоти [1].

Також однією із найбільш вагомих статей втрат теплоти і чинником, який визначає низьку енергоефективність будівель та централізованих систем теплопостачання в цілому є втрати теплоти у споживачів внаслідок відсутності або недосконалої конструкції абонентських теплових введів у будинках [1]. У результаті таких втрат виникає суттєва різниця між кількістю енергії, яка подається до будинку (підведена енергія) і енергією, яка використовується для створення необхідних параметрів мікроклімату в приміщеннях (спожита енергія), що призводить до перевитрат палива теплопостачальною організацією.

Аналіз останніх досліджень, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Згідно з існуючою концепцією централізованих систем теплопостачання регулювання може бути центральним, яке здійснюється на джерелі теплоти, та місцевим – у споживачів теплоти за допомогою обладнання теплових пунктів та регуляторів, які знаходяться безпосередньо на опалювальних приладах внутрішніх систем.

Центральне регулювання враховує зміну тільки тих факторів, які являються загальними для всіх споживачів теплоти (температура зовнішнього повітря). Такі фактори, як інтенсивність сонячної радіації, швидкість і напрямок вітру, орієнтація будівель за сторонами світу, теплова інерція огорожуючих конструкцій, внутрішні теплонадходження та специфічні особливості відчуття комфорту людей, повинні враховуватися у ході місцевого регулювання.

Найбільш розповсюдженим є якісний (температурний) метод центрального неперервного регулювання, в ході якого змінюється температура теплоносія за умови постійних його витрат. Для регулювання витрат теплоносія на джерелі теплоти здійснюють змішане (якісно-кількісне) або кількісне неперервне регулювання, яке вимагає технічного переоснащення мережних pomp у джерелі теплоти і обладнання їх частотними регуляторами. Можливо, також використання переривчастого регулювання (пропусками). Але такий спосіб регулювання негативно позначається на ефективності роботи джерел теплоти (збільшуються втрати теплоти на власні потреби в котельні) та на тепловому комфорті споживачів. Центральне регулювання пропусками можна здійснювати лише за наступних умов:

- температура зовнішнього повітря повинна бути вищою за 0°C для запобігання замерзанню води в теплових мережах та системах опалення під час переривів у їх роботі;

- тривалість періоду припинення подачі теплоносія не повинна перевищувати максимальне значення періоду відключення для запобігання наднормативних коливань температури в опалювальних приміщеннях (для існуючих будівель із середніми показниками теплового захисту ця величина становить 18–20 год).

Необхідно розуміти, що лише одне центральне регулювання відпуску теплоти в централізованих системах не в змозі забезпечити індивідуальний рівень вимог до комфортних умов у всіх приміщеннях та вимог щодо енергоефективності будівель.

Відсутність місцевого регулювання також позбавляє споживачів безпечної можливості отримати економію енергії за рахунок переривчастого опалення із змінним режимом роботи і зменшенням температури внутрішнього повітря у неробочий період часу в окремих громадських будинках або у нічні години (в житлових будинках).

Таким чином, наявність установок місцевого та індивідуального регулювання стає нагальною потребою, що зафіксовано у чинній нормативній документації [2, 3, 4].

На жаль, при цьому практично не обговорюється проблема того, що місцеве регулювання, яке дає можливість мінімізувати витрати енергії у споживачів, не гарантує економію енергії в усій системі теплопостачання, а особливо в процесах її вироблення і транспортування.

Дія установок місцевого регулювання за бажанням споживачів іноді навіть суперечить принципам оптимального регулювання на джерелі теплоти та оптимальним умовам роботи системи у цілому. Тому важливо розглядати проблему енергоефективності в централізованих системах теплопостачання комплексно.

Постановка завдання. У ході центрального якісного регулювання різнорідних навантажень (опалення, вентиляції і гарячого водопостачання) головною характеристикою є температурний графік (графік зміни температур теплоносія в залежності від температури зовнішнього повітря). Його будують на основі рівнянь теплового балансу для розрахункового режиму та для будь-якої температури зовнішнього повітря. Рішення цих рівнянь дають можливість отримати залежності для визначення температури теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах.

Проте системи гарячого водопостачання, які підключені до теплових мереж, накладають свої умови на температуру теплоносія. Температура гарячої води в абонентських системах гарячого водопостачання повинна бути не нижче 60°C . Для цього необхідно, щоб температура мережної води на вході в теплообмінник для приготування гарячої води в джерелі теплоти, центральному або індивідуальному тепловому пункті підтримувалась на рівні $65\text{--}70^{\circ}\text{C}$ (для закритих систем теплопостачання) або 60°C (для відкритих систем). З урахуванням цього будують температурний графік зі «зрізкою».

Цей графік є найбільш поширеним на районних котельнях в Україні. Проте регулювання відпуску теплоти за цим графіком має один суттєвий недолік: в період «зрізки», тобто при температурах зовнішнього повітря від $+8^{\circ}\text{C}$ до температури в точці «зламу» t_3' , виникають так звані «перетопи», пов'язані з тим, що різниця температур по графіку зі «зрізкою» залишається незмінною, в той час як по опалювальному графіку вона повинна зменшуватись при підвищенні температури зовнішнього повітря. Тому в період «зрізки» температурного графіка виникає потреба в центральному кількісному або місцевому регулюванні відпуску теплоти на потреби опалення.

Виклад основного матеріалу досліджень. Тривалість періоду роботи системи опалення в режимі «перетопу» визначається тривалістю стояння середньодобових температур зовнішнього повітря від температури в точці «зламу» температурного графіка до температури $+8^{\circ}\text{C}$. Для України така тривалість змінюється від 3045 год (близько 80% від тривалості опалювального періоду) для Сімферополя до 4059 год (86%) – для Сум. Температура в точці «зламу» температурного графіка теж істотно різниться: $-2,6^{\circ}\text{C}$ і $-8,8^{\circ}\text{C}$ – відповідно для Сімферополя та Сум (дані наведено для закритих систем теплопостачання при регулюванні відпуску теплоти за температурним графіком $95/70^{\circ}\text{C}$).

В лівій частині рис. 1 зображено температурний графік $95/70^{\circ}\text{C}$ для метеорологічних умов м. Полтави, а також температурні графіки зі «зрізкою» для закритих та відкритих систем теплопостачання. На рисунку позначено: τ_1, τ_2 – температура теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах при будь-якій температурі зовнішнього повітря при регулюванні за звичайним температурним графіком; τ_1', τ_2' – параметри теплоносія в період «зрізки» при регулюванні за графіком зі «зрізкою» для закритих теплових мереж (відповідають температурі зовнішнього повітря у точці «зламу» $-7,6^{\circ}\text{C}$); τ_1'', τ_2'' – для відкритих теплових мереж (відповідають температурі $-1,8^{\circ}\text{C}$).

В правій частині рис. 1 зображено графік річних витрат теплоти для районної котельні з теплопродуктивністю 120 МВт (100 МВт – розрахункове навантаження на опалення та вентиляцію, 20 МВт – розрахункове навантаження на гаряче водопостачання).

Інтервали часу, продовжуваністю n_{1-2} , відповідають осінньо-весняним періодам року, коли джерело теплоти працює в діапазоні температур зовнішнього повітря від $+8^{\circ}\text{C}$ до температури в точці «зламу» t_3' . Саме у цей період у порівнянні з якісним регулюванням теплового навантаження (лінія 1-3) виникають перевитрати теплоти, величина яких відповідає площі 1-2-3. Для відкритих теплових мереж (лінія 4-5) перевитрати теплоти дещо менші (площа 4-5-3). Також значного зменшення «перетопів» можна досягнути за

рахунок переведення джерела теплоти на температурний графік з більш високою температурою в подавальному трубопроводі. Лінія 6-7 відповідає споживанню теплоти за графіком 150/70°C. Перевитрати теплоти в цьому випадку можна визначити, як площу 6-7-3.

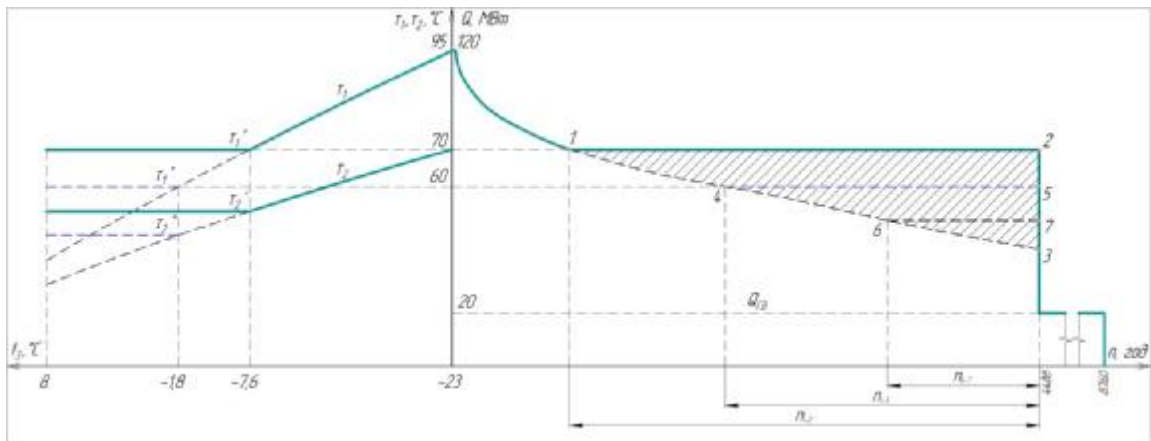


Рис. 1 – Температурний графік 95/70°C та графік річних витрат теплоти для котельні теплопродуктивністю 120 МВт у м. Полтаві

В точці «зламу» графіка теплове навантаження на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання буде становити:

$$(1)$$

де Q^0_P , Q^B_P – розрахункові теплові навантаження на потреби опалення та вентиляції;
 – середньодобове теплове навантаження на гаряче водопостачання;

α_1^0 , α_1^B – коефіцієнти зменшення теплового навантаження на опалення та вентиляцію для температури зовнішнього повітря, яка відповідає тепловому навантаженню в т. 1.

$$\alpha_1^0 = \frac{t_B - t_1}{t_B - t_3^0}$$

де t_B – розрахункова температура внутрішнього повітря;

t_3^0 – розрахункова температура зовнішнього повітря для систем опалення;

t_1 – температура зовнішнього повітря, яка відповідає тепловому навантаженню в т. 1;

рівна температурі зовнішнього повітря в точці «зламу» t_3^1 .

Коефіцієнт α_1^B визначається аналогічно.

Середньодобове навантаження на гаряче водопостачання протягом всього опалювального періоду залишається без змін.

Величина «перетопу» при температурі +8°C визначиться згідно із залежністю:

$$(2)$$

Q_3 може бути визначено аналогічно Q_1 .

Загальна величина перевитрат теплоти у результаті «перетопу» наближено розраховується за формулою:

$$(3)$$

Величина перевитрат теплоти, визначена за формулою (3) є орієнтовною, оскільки не враховує кривизну лінії 1-3. Для більш детальних розрахунків площу, що відповідає величині перевитрат теплоти (1-2-3) слід поділити вертикальними прямими на частини таким чином, щоб кривизною відрізків між цими прямими на лінії 1-3 можна було знехтувати.

Розрахунки, виконані для районної котельні теплопродуктивністю 120 МВт для умов м. Полтави показують, що перевитрати теплоти в період «зрізки» температурного графіка

становлять близько 72388 МВт·год, або 18,4% від загальних річних витрат теплоти (з урахуванням витрат теплоти на гаряче водопостачання).

У випадку відкритих теплових мереж, для яких дещо нижча температура теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах в точці «зламу» в порівнянні з закритими, температура зовнішнього повітря в цій точці вища, а втрати теплоти з «перетопами» менші ніж в закритих системах.

Так наприклад для аналогічних умов побудови графіку при зниженні температури води в точці «зламу» в подавальному трубопроводі з 70°C до 60°C (відкрита теплова мережа) сумарна величина «перетопу» буде становити близько 29011 МВт·год, або 7,4% від загальних річних витрат теплоти.

Тривалість періоду роботи в режимі «перетопу», як і температура зовнішнього повітря в точці «зламу», залежить від температурного графіка і метеорологічних параметрів зовнішнього повітря. Аналіз різних температурних графіків показує, що в разі збільшення розрахункової температури теплоносія в подавальному трубопроводі має місце зміщення точки «зламу» в сторону більш високих температур зовнішнього повітря, а також скорочення тривалості періоду роботи системи у режимі «перетопу».

На рис. 2 проілюстровано залежності тривалості періоду роботи у режимі «перетопу» і температури зовнішнього повітря в точці «зламу» від виду температурного графіка.

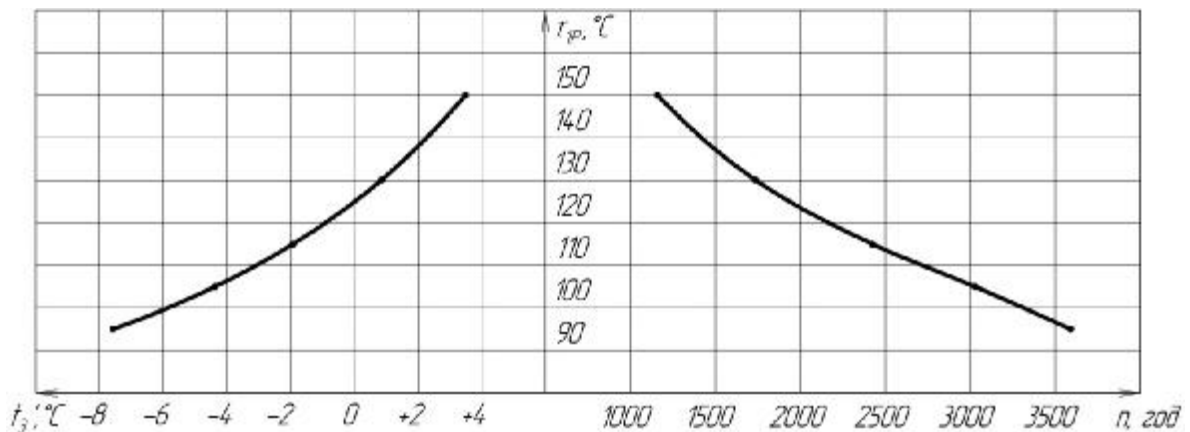


Рис. 2 – Залежність температури в точці «зламу» та тривалості періоду «перетопу» від розрахункової температури в подавальному трубопроводі (виду температурного графіка) для метеорологічних умов м. Полтави

Як видно із наведених графічних залежностей у разі переходу на температурний графік 150/70°C тривалість періоду «перетопу» скорочується до 1159 год, а «злам» графіка відбувається при температурі зовнішнього повітря близько +3,5°C, що суттєво зменшує і втрати теплоти.

Перехід на підвищений графік відпуску теплоти призводить до зменшення втрат з «перетопами». У разі відпуску теплоти за графіком 150/70°C зазначена величина втрат практично відсутня (6665 МВт·год, 1,7%). Але при цьому необхідно враховувати, що підвищення температури в подавальному трубопроводі спричинить зростання різниці температур між температурою зовнішнього повітря (або ґрунту) і середньою температурою води у подавальному трубопроводі теплових мереж. А це у свою чергу призведе до збільшення втрат теплоти з охолодженням води під час її транспортування.

На рис. 3 показана залежність нормативних втрат теплоти в теплових мережах від виду температурного графіка. Розрахунки втрат теплоти виконані для часу роботи за рік менше 5000 год і підземного прокладання теплових мереж в непрохідних каналах для метеорологічних умов м. Полтави.

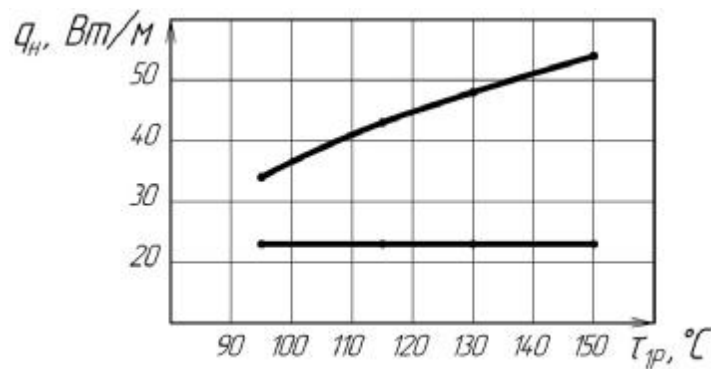


Рис. 3 – Залежність нормативних втрат теплоти від розрахункової температури в подавальному трубопроводі (виду температурного графіка) для метеорологічних умов м. Полтави

Із графіка видно, що за умови протяжності трубопроводів теплових мереж близько 5 км втрати теплоти при переході на температурний графік 150/70°C збільшаться з 762 до 1211 МВт·год (практично у два рази). Але перехід на підвищений графік дасть можливість зменшити витрати мережної води і скоротити витрати електричної енергії на транспортування води. Скоротяться також витрати підживлювальної води і втрати теплоти з витокami води із теплових мереж.

Тому вибір остаточного рішення щодо температурного графіка відпуску теплоти з котельні й способу зменшення втрат теплоти у період «зрізки» температурного графіка необхідно виконувати на основі техніко-економічного розрахунку з урахуванням технічних характеристик котлів та мережних насосів.

Зменшення величини втрат теплоти у споживачів необхідно вирішувати також за рахунок вдосконалення конструкцій теплових пунктів і усунення недоліків систем регулювання і відпуску теплоти [5].

Як зазначалось вище, в період «зрізки» температурного графіка виникає потреба в кількісному регулюванні відпуску теплоти. Кількісне місцеве регулювання за відсутності управляємих змішувальних вузлів, як правило, призводить до гідравлічного і теплового розрегулювання систем опалення, оскільки більша частина теплових вузлів вводу житлових будинків і громадських будівель, підключених до теплових мереж за залежною схемою, обладнані у якості змішувальних пристроїв водострумними елеваторами. Даний пристрій має низку недоліків, які можуть спричинити зменшення ефективності використання теплоти та її перевитрати, особливо в період регулювання. До них відносяться наступні фактори:

- внаслідок низького гідравлічного коефіцієнта корисної дії елеватора, різниця тисків у зовнішніх теплових мережах на ввіді до будівлі повинна не менше ніж у 5 разів перевищувати циркуляційний тиск, який необхідний для циркуляції води в системі опалення, що призводить до необхідності збільшення перепаду тиску мережних насосів;

- сталий коефіцієнт підмішування не дає можливості забезпечити ефективне регулювання температури води для системи опалення при зміні температури зовнішнього повітря і запобігти явищам подачі надлишкової кількості теплоти або дефіциту теплоти у будівлі;

- низька ефективність роботи елеватора разом з термостатичними клапанами на опалювальних приладах [5].

До сучасних способів вирішення таких проблем відноситься впровадження вузлів вводу з насосним управляємим регулюванням підмішування зворотної води до подавальної в абонентських системах опалення.

Залежно від співвідношення тисків у трубопроводах теплової мережі й абонентській системі насос може бути розміщено:

- на подавальному трубопроводі абонентської системи;
- на зворотному трубопроводі системи опалення;
- на підмішувальному трубопроводі вузла змішування.

На рис. 4 показані можливі варіанти розміщення насоса в абонентському вводі та п'єзометричні графіки (втрати тиску на обладнанні знехтувано) при підключенні систем опалення за залежною схемою. Схема з насосом на подавальному трубопроводі застосовується в тому випадку, коли тиску в подавальному трубопроводі теплової мережі недостатньо для подачі теплоносія на останній поверх ($P_T < H_{CT}$). На зворотному трубопроводі насос розміщують в тому разі, якщо тиск в зворотному трубопроводі абонентської системи нижчий за тиск в зворотному трубопроводі теплової мережі (пунктиром показано лінія тиску в разі відсутності насоса). Якщо перепаду тиску в абонента з боку теплової мережі недостатньо для організації нормальної циркуляції теплоносія ($\Delta P_{TM} < \Delta P_{CO}$), то насос встановлюють на підмішувальному трубопроводі (пунктирна лінія ілюструє яким був би перепад тиску в абонента при відсутності насосу). Але у будь-якому випадку необхідно, щоб тиск у точці розділення потоків на трубопроводах був вищий, ніж у точці змішування.

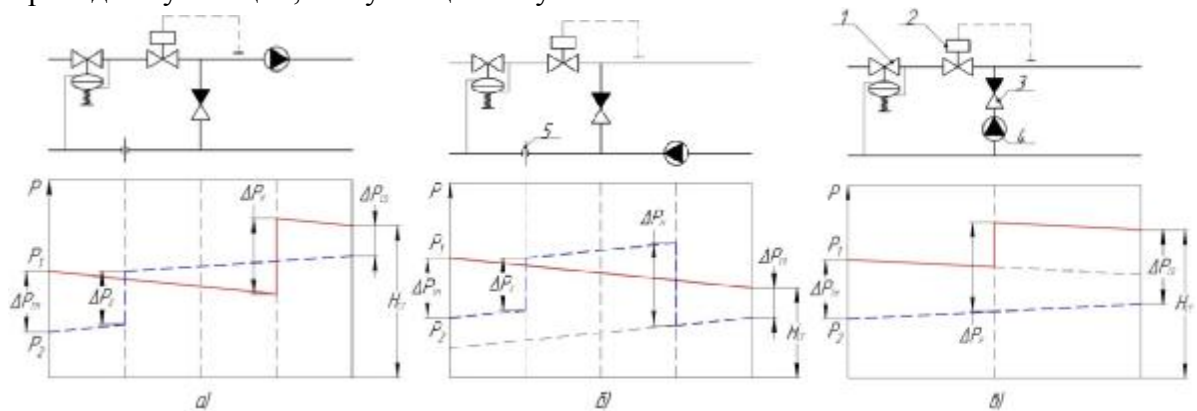


Рис. 4 – Принципові схеми обладнання автоматизованих ІТП та п'єзометричні графіки для різних варіантів розміщення насосу: а) на подавальному трубопроводі системи опалення; б) на зворотному трубопроводі системи опалення; в) на підмішувальному трубопроводі.

- 1 – регулятор перепаду тиску; 2 – регулятор температури; 3 – зворотній клапан;
4 – циркуляційний насос; 5 – дроселююча діафрагма.

Для запобігання «перевертання» циркуляції теплоносія у період аварійної зупинки насосів необхідно передбачати установку зворотного клапану на підмішувальному трубопроводі. Дросельна діафрагма встановлюється для приведення тиску в зворотному трубопроводі абонента у відповідність до тиску в зворотному трубопроводі теплової мережі. Як правило, для запобігання несанкціонованому втручанню абонента в роботу діафрагми її встановлюють за межами ІТП. В якості дроселя також може використовуватись регулятор тиску. Для стабілізації гідравлічного режиму абонента перед вузлом змішування рекомендується встановити регулятор витрат (перепаду тиску).

Масове впровадження автоматизованих теплових пунктів за вищезазначеними схемами однозначно призведе до зменшення циркуляції теплоносія в теплових мережах в періоди зрізки температурного графіка і масового місцевого регулювання у будинках. Це не найкращим чином відобразиться на роботі теплових мереж і джерел теплоти. Приведемо лише деякі наслідки масштабного застосування місцевого регулювання:

1. Зменшення витрат мережної води. Відхилення режиму роботи мережних pomp від оптимальних параметрів. Необхідність переходу на центральне кількісне регулювання.

2. Зменшення теплового навантаження на котли та інше тепломеханічне обладнання в котельні або ЦТП. Зменшення ККД обладнання при переході на режим роботи, який значно різниться від номінального.

3. Гідравлічне і теплове розрегулювання теплових мереж у зв'язку зі зміною витрат теплоносія. Робота теплових мереж у нерозрахунковому режимі.

У зв'язку з вищезазначеним можна рекомендувати влаштування у теплових пунктах будівель додаткового циркуляційного трубопроводу – перемички, яка дала б можливість у разі зменшення витрат мережної води, яка надходить до будівель при місцевому регулюванні, циркулювати теплоносієві із подавального до зворотного трубопроводу теплових мереж. Витрати води, які будуть циркулювати у теплових мережах у такому разі зменшуватись не будуть. Але такий захід також має негативний наслідок. Циркуляція теплоносія по короткому контуру через перемичку призведе до збільшення тиску та температури у зворотному трубопроводі теплових мереж. Тому доцільним є встановлення на такому трубопроводі регулятора витрат (перепаду тиску). Принципова схема розміщення обладнання та трубопроводів автоматизованого ІТП з додатковою перемичкою показана на рис. 5.

Вибір схеми теплового вузла вводу повинен здійснюватись згідно з технічними умовами теплопостачальної організації з урахуванням вищезазначених факторів для кожного будинку.

Висновки. Для центрального регулювання відпуску теплоти найчастіше використовується опалювальний графік зі «зрізкою», суттєвим недоліком якого є значні перетопи в період «зрізки», внаслідок чого річні витрати теплоти зростають на 18–20% (для закритих теплових мереж). Для відкритих теплових мереж ця величина дещо нижча – 7–8%, проте вони не набули широкого ужитку в силу певних причин.

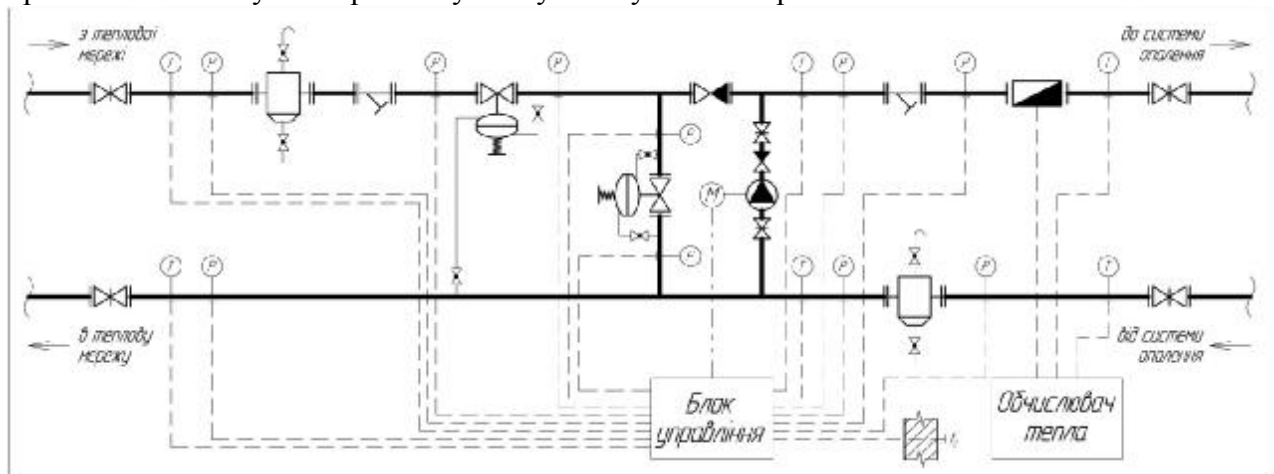


Рис.5 – Принципова схема автоматизованого ІТП з додатковою перемичкою та вузлом обліку теплової енергії

теплоти зростають на 18–20% (для закритих теплових мереж). Для відкритих теплових мереж ця величина дещо нижча – 7–8%, проте вони не набули широкого ужитку в силу певних причин.

Зменшити величину перевитрат теплоти можна за рахунок переведення джерела теплоти в режим відпуску теплоти за підвищеним температурним графіком. Збільшення розрахункової температури теплоносія в подавальному трубопроводі призводить до підвищення температури зовнішнього повітря в точці «зламу», а отже і до зменшення потужності джерела теплоти в період «зрізки», а також до скорочення цього періоду. При переході на підвищений температурний графік також збільшується температурний перепад між подавальним та зворотним трубопроводами, що призводить до зменшення витрат мережної води і як наслідок – до зменшення витрат електроенергії на перекачування теплоносія. Також зменшуються втрати теплоти з витоків мережної води, а отже і витрати електроенергії підживлювальними насосами. Натомість збільшуються втрати теплоти від трубопроводів теплових мереж. Але перехід на підвищений температурний графік не дасть

можливості повністю ліквідувати перевитрати теплоти, пов'язані зі «зрізкою» температурного графіка без реконструкції ІТП абонентів.

Повністю ліквідувати «перетопи» в період «зрізки» можна за рахунок встановлення в теплових вводах абонентів погодних регуляторів, які в автоматичному режимі підтримуватимуть температуру теплоносія на необхідному рівні. Проте масове застосування таких пристроїв погіршить умови експлуатації котельних агрегатів, мережних насосів та іншого тепломеханічного обладнання джерела теплоти. Тому вносити зміни в конструкцію ІТП можна тільки зі згоди теплопостачальної організації.

Була розроблена та запропонована схема автоматизованого ІТП, яка покликана забезпечити гідравлічну стійкість абонента, його незалежність від коливань гідравлічного режиму в тепловій мережі, а також мінімізувати вплив регулятора температури на гідравлічний режим теплової мережі.

Проблема зменшення втрат теплоти в період «зрізки» температурного графіка повинна вирішуватись комплексно (на всіх етапах, починаючи з етапу виробітку теплоти і закінчуючи етапом споживання), оскільки зміни в системі теплопостачання на одному етапі можуть негативно позначитись на роботі системи на іншому етапі, або й в цілому на загальній ефективності роботи системи теплопостачання.

Література

1. Модернизация системы централизованного теплоснабжения в Украине: учет тепла и внедрение платежей на основе его фактического потребления. Отчет МБРР по теме «Модернизация системы централизованного теплоснабжения в Украине». – Изд. Международный банк реконструкции и развития, 2012. – 64 с.
2. ДБН В.2.5-39:2008 «Теплові мережі». – К.: Мінрегіонбуд, 2009. – 56 с.
3. СНиП 2.04.05–91*У «Отопление, вентиляция и кондиционирование» зі змінами №№ 1,2,3. – К., 1996. – 85 с.
4. ДБН В.2.2-15-2005 «Житлові будинки. Основні положення». – К.: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2005. – 32с.
5. Пырков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование. – К.: П ДП «Такі справи», 2007. – 252 с.
6. СНиП 2.04-88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов». – М.: Стройиздат, 1988. – 72 с.