УДК 628.884
DOI: 10.30838/ P. CMM.2415.250918.271.166

ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЗМІНУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В РЕЗУЛЬТАТІ ЗМІНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

ПЕТРЕНКО В. О.[1*], *к. т. н., доц.*
ГОЛЯКОВА І. В. [2], *к.т.н.*
ПЕТРЕНКО А. О. [3], *к. т. н., доц.*

[1*]Кафедра опалення, вентиляції та якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-34-92, e-mail: petrenko@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4331-6844
[2]Кафедра опалення, вентиляції та якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-86, e-mail: golyakovaira@ mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7185-7202
[3]Кафедра опалення, вентиляції та якості повітряного середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-86, e-mail: petrenko_ao@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0406-9852

В статті розглядаються фактори, що впливають на зміну параметрів мікроклімату в результаті зміни експлуатаційних характеристик елементів системи опалення будівлі. За кожним із факторів встановлюються основні закономірності, що можуть описувати зміну тепло-гідро-технічних характеристик, як елементів системи опалення, так і її роботи в цілому. ***Мета.*** Виявити основні закономірності зміни тепло-гідро-технічних характеристик систем опалення, що можуть змінюватися в процесі експлуатації, для подальшого розрахунку параметрів мікроклімату в приміщенні. ***Результати.*** Розглянувши фактори внаслідок яких змінюються характеристики системи водяного опалення будівлі, встановлено, що забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщеннях будівель багато в чому залежить від експлуатаційних характеристик систем опалення. ***Практична значимість.*** Виявлення факторів дозволить прогнозувати та оцінювати зміну параметрів мікроклімату в результаті зміни експлуатаційних характеристик систем опалення.

Ключові слова: параметри мікроклімату; системи опалення; гідравлічні характеристики; теплові характеристики; елементи систем опалення

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

ПЕТРЕНКО В. О.[1*], *к. т. н., доц.*
ГОЛЯКОВА И. В. [2], *к.т.н.*
ПЕТРЕНКО А. О. [3], *к. т. н., доц.*

[1*]Кафедра отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 756-34-92, e-mail: petrenko@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4331-6844
[2]Кафедра отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-34-86, e-mail: golyakovaira@ mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7185-7202
[3]Кафедра отопления, вентиляции и качества воздушной среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-34-86, e-mail: petrenko_ao@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0406-9852

В статье рассматриваются факторы, влияющие на изменение параметров микроклимата в результате изменения эксплуатационных характеристик элементов системы отопления здания. По каждому из факторов устанавливаются основные закономерности, которые могут описывать изменение тепло-гидро-технических характеристик, как элементов системы отопления, так и ее работы в целом. ***Цель.*** Выявить основные закономерности изменения тепло-гидро-технических характеристик систем отопления, которые могут меняться в процессе эксплуатации, для дальнейшего расчета параметров микроклимата в помещении. ***Результаты.*** Рассмотрев факторы, в результате которых изменяются характеристики системы водяного отопления здания, установлено, что обеспечение оптимальных параметров микроклимата в помещениях зданий во многом зависит от экс-

плуатационных характеристик систем отопления. ***Практическая значимость***. Выявление факторов позволит прогнозировать и оценивать изменение параметров микроклимата в результате изменения эксплуатационных характеристик систем отопления.

Ключевые слова: параметры микроклимата; системы отопления; гидравлические характеристики; тепловые характеристики; элементы систем отопления

FACTORS INFLUENCING THE CHANGE OF MICROCLIMATE PARAMETERS AS A RESULT OF THE CHANGE OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF HEATING SYSTEMS

PETRENKO V. O. [1*], *Ph.D. (Tech), Assoc. Prof.*
HOLIAKOVA I. V. [2], *Ph.D. (Tech.)*
PETRENKO A. O. [3], *Ph.D.(Tech.), Assoc. prof.*

[1*] Department of heating, ventilation and air quality, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38(0562)756-34-92, e-mail: petrenko@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4331-6844
[2] Department of heating, ventilation and air quality, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-86, e-mail: golyakovaira@ mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7185-7202
[2] Department of heating, ventilation and air quality, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-86, e-mail: petrenko_ao@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0406-9852

The article deals with the factors influencing the change in the parameters of the microclimate as a result of changes in the operational characteristics of the elements of the heating system of the building. For each of the factors, the basic laws that can describe the change in the thermal and hydro technical characteristics, both elements of the heating system and its work in general, are established. ***Purpose.*** Identify the basic patterns of changes in the heat-hydro-technical characteristics of heating systems, which can change during the operation, for further calculation of the parameters of the microclimate in the room. ***Findings.*** Having considered the factors that change the characteristics of the water heating system of the building, it has been established that providing the optimal parameters of the microclimate in the premises of buildings largely depends on the operational characteristics of the heating systems. ***Practical value.*** Identification of factors will allow to predict and evaluate changes in the parameters of the microclimate as a result of changes in the operational characteristics of heating systems.

Keywords: microclimate parameters; heating systems; hydraulic characteristics; thermal characteristics; elements of heating systems

Вступ

Забезпечення параметрів мікроклімату в приміщеннях залежить насамперед від правильної, незмінної роботи системи водяного опалення. В процесі її експлуатації на стінках опалювального трубопроводу, приладу відкладається накип, яка знижує пропускну здатність системи, її тепловіддачу, а значить, і ефективність всього опалення в цілому. Показник теплопровідності відкладень в 40 разів нижче теплопровідності металу. Це говорить про те, що навіть тонкий шар накипу всього в 1 мм на 15-20% [5] знижує ефективність роботи опалення. Крім того, агресивні відкладення поступово руйнують метал, що призводить до утворення небажаних свищів і розривів. У таких випадках система виходить з ладу і потребує термінового ремонту, який часто обходиться дорожче профілактичних робіт.

Виклад основного матеріалу.

При розрахунку опору трубопроводів або повітропроводів систем опалення будівель вважається, що їх абсолютна шорсткість k рівна їх зазначеному значенню в залежності від типу матеріалу, який використовується. Це є справедливим для нових трубопроводів або повітропроводів, а також в тих випадках, коли внутрішня поверхня не міняється на протязі всього строку експлуатації. Але такі ідеальні умови роботи трубопроводів або повітропроводів систем опалення практично не зустрічаються. Основними чинниками, які спонукають до зміни фізичних (технічних) параметрів трубопроводів або повітропроводів систем опалення є результат дії процесів корозії або в результаті різних відкладень на їх внутрішній поверхні, внаслідок чого виникає збільшення величини k . (рис. 1)

За час експлуатації системи водяного опалення будівлі виникають фактори внаслідок яких змінюються характеристики цих систем, а саме:

1. Зміна характеристик трубопроводів за рахунок збільшення шорсткості внутрішньої поверхні;

2. Зміна характеристик трубопроводів за рахунок випадання осадку та заростання солями різних видів внутрішньої поверхні;

3. Зміна теплового режиму опалювального приладу за рахунок випадання осадку та заростання солями різних видів внутрішньої поверхні;

4. Зміна характеристик запірно-регулюючої арматури за рахунок випадання осадку та заростання солями різних видів внутрішньої поверхні;

5. Зміна роботи циркуляційного насосу за рахунок зміни гідравлічних характеристик елементів системи водяного опалення (вище названі);

6. Зміна теплового потоку від теплоносія через стінки опалювального приладу.

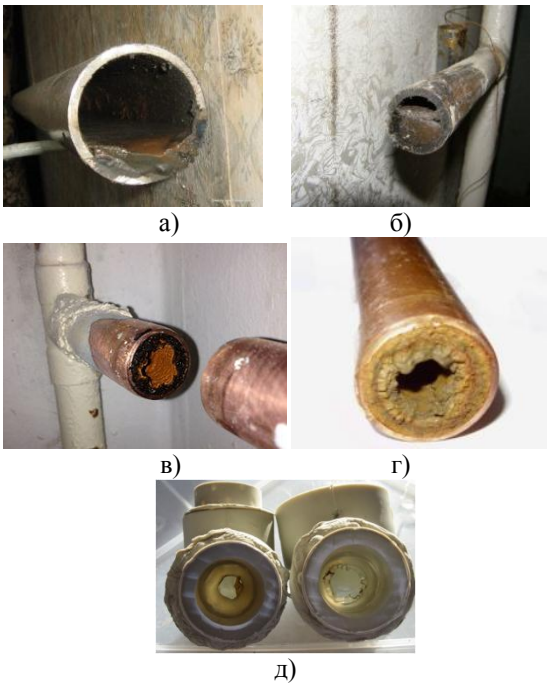

Рис. 1. Види засмічення трубопроводів систем водяного опалення: а, б – випадання зважених частинок; в, г – відкладення солей магнію, калію; д – завуження прохідного перерізу пластикового трубопроводу за рахунок неправильного монтажу фітингів / See the connection of pipelines of water-fired systems: a, b - випадання of the relevant parts; c, d - addition of salts of magnum, potassium; d - the head of a plastic pipeline for improper installation of filing

Всі води містять різноманітні домішки, що потрапляють у воду в процесі її природного кругообігу в природі; крім того, можливо забруднення водяних джерел різними побутовими промисловими стоками. Ступінь агресивності теплоносія, як правило, знижують шляхом дотримання водно-хімічного режиму та за допомогою спеціальних способів водяної підготовки. Однак у великій кількості котелень водяна підготовка відсутня повністю.

Розглянемо детально хімічний склад домішок води.

До мінеральних домішок води відносяться розчинені в ній N_2, O_2, CO_2, які утворюються в результаті окислювальних і біохімічних процесів NH_3, CH_4, H_2S, а також гази, що вносяться стічними водами; різні солі, кислоти, основи, в значній мірі знаходяться в дисоційованій формі, тобто у вигляді утворюючих їх катіонів та аніонів [8].

Експериментальні дослідження сталевих трубопроводів діаметром 50 ÷ 150 мм, що були в експлуатації 5 ÷ 8 років, згідно [9], показали, що коефіцієнт рівномірно-зернистою шорсткості для цих труб досягає 20 ÷ 22 мм, а коефіцієнт опору тертю по довжині трубопроводу в 5 ÷ 8 разів перевищує розрахунковий. Типові значення шорсткості поверхні для основних матеріалів труб, теплообмінників і насосів приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Типові значення шорсткості (чистоти обробки) поверхні для основних матеріалів труб, теплообмінників і насосів, мм / Typical values of roughness (surface cleanliness) for the main materials of pipes, heat exchangers and pumps

Матеріал трубопроводу	Стан	Шорсткість, *мм*
Сталева труба	Суцільнотягнені (тягнені) нова	0,02 – 0,1
	Електрозварна прямошовна нова	0,05 - 0,1
	Оцинкована нова	0,15
	Злегка ржава	0,1 – 0,4
	Сильно ржава	0,4 - 3
	Небагато накипу	1 – 1,5
	Багато накипу	1,5 - 4

Слід зазначити чотири стани внутрішньої поверхні сталевої труби для яких еквівалентна шорсткість дорівнює: нова (Δ_e = 0,14 мм), труба після 5-ти років експлуатації (Δ_e = 10 мм) та 15-ти років (Δ_e = 20 мм). Значення Δ_e = 10 та 20 мм та термін експлуатації 5 і 15 років в реальних трубопроводах залежать від фізико-хімічних властивостей і температури води [3].

Нерозривність потоку визначається за формулою:

$$v = \frac{G}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho}, \ \frac{м}{с} \qquad (1)$$

$$G = 3600 \cdot v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho \qquad (2)$$

де G - масові витрати теплоносія, $\frac{кг}{год}$;

d - внутрішній діаметр трубопроводу, *мм*;

ρ - щільність теплоносія, $\frac{кг}{м^3}$.

Втрату тиску на подолання опорів тертя $p_{тр}$ визначається у $Па$ за формулою:

$$p_{тр} = \frac{\lambda}{d} \cdot l \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \qquad (3)$$

де λ – безрозмірний коефіцієнт тертя;

d – діаметр трубопроводу, $м$;

l – довжина трубопроводу розрахункової ділянки, $м$;

v – швидкість руху переміщуваного середовища (води, пари), $м/с$;

ρ – щільність теплоносія, $кг/м^3$.

Коефіцієнт гідравлічного опору тертя є функцією: $\lambda = f(\mathrm{Re}, \varepsilon)$, де $\varepsilon = \frac{\Delta_e}{d}$ – відносна шорсткість труб, виражена через еквівалентну шорсткість Δ_e та діаметр d.

Для оцінки впливу шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводу в початковому стані на втрати напору розглядаються поверхні, шорсткість яких описується висотою виступів шорсткості, або зернистою шорсткістю. Насправді взаємне розташування виступів і їх обрис можуть так само впливати на потік. Внаслідок технологічних особливостей виготовлення труб або корозії встановити висоту виступів буває важко, тому при розрахунках розглядається еквівалентна шорсткість Δ_e. Еквівалентна шорсткість – це штучна рівномірна шорсткість з такою висотою (діаметром) зерен, при якій в області квадратичного опору (де λ залежить тільки від шорсткості і не залежить від Re) значення коефіцієнта дорівнює його значенню при природній шорсткості (рис. 2) [7, 10].

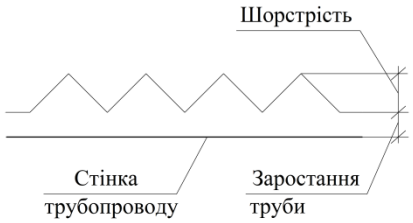

Рис. 2. Визначення значення еквівалентної шорсткості / Determine the value of equivalent roughness

У зоні квадратичного тертя значення λ рекомендується визначати по формулі Шифринсона:

$$\lambda = 0{,}11 \cdot \varepsilon^{0{,}25} \tag{4}$$

або Нікурадзе

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1{,}74 - 2 \cdot \lg 2\varepsilon = 1{,}14 - 2 \cdot \lg \varepsilon \tag{5}$$

Таким чином, гідравлічний опір залежить від швидкості течії і щільності рідини, довжини і діаметру трубопроводу, а так само від шорсткості його внутрішньої поверхні. За час експлуатації зазнають зміни два параметра - діаметр трубопроводу і шорсткість внутрішньої поверхні. В результаті зменшується пропускна здатність трубопроводів, що залежить від величини гідравлічного опору, а внаслідок корозії і утворення відкладень в трубах (інкрустації), шорсткість труб збільшується. Шорсткість можна оцінити по формулі (6):

$$k_t = k_0 \cdot \alpha t \tag{6}$$

де k_0 – абсолютна шорсткість для нових труб, $мм$,

k_t – шорсткість через t років експлуатації,

α – коефіцієнт що характеризує швидкість зростання шорсткості, $мм/рік$.

Таблиця 2

Значення коефіцієнта α в залежності від хімікофізічних властивостей транспортуємої води / The value of the coefficient α depends on the chemical and physical properties of the transported water

Корозійний вплив	Характеристика природних вод	α, $мм/р$
Слабкий	Слабкомінералізовані не корозійні води з незначним вмістом органічних речовин та розчиненого заліза	0,005-0,055 (середня 0,025)
Помірний	Слабкомінералізовані корозійні води, які містять органічні речовини та розчинене залізо в кількості 3 мг/л	0,035-0,18 (середня 0,07)
Значний	Вельми корозійні води з вмістом заліза більше 30 мг/л, але з малим вмістом хлоридів	0,18-0,40 (середня 0,20)
Сильний	З вмістом хлоридів та сульфатів більше 500-700 мг/л, а також необроблені води з великим вмістом органічних речовин	0,40-0,60 (середня 0,51)
Дуже сильний	Вода зі значною карбонатною та малою постійною жорсткістю, з щільним осадом більше 2000 мг/л, сильно мінералізовані та корозійні	від 0,6 до 1 та більше

Як видно з рис. 3, перевитрата електроенергії при транспортуванні води інтенсивно зростає в перші 5 років експлуатації і збільшується за цей період в 5 ÷ 7 разів.

З формули (3) випливає, що основний вплив на гідравлічний опір чинять швидкість теплоносія, діаметр трубопроводу, його довжина, щільність теплоносія і шорсткість внутрішньої трубної поверхні. При порівнянні гідравлічного опору системи теплопостачання, яка перебуває в експлуатації, з вихідним гідравлічним опором незмінними з плином часу залишаються довжина трубопроводів і щільність теплоносія, також незначно змінюється швидкість теплоносія. Інші параметри, а саме, шорсткість внутрішньої трубної поверхні і діаметр прохідного перетину трубопроводу зазнають значних змін. Корозія внутрішніх поверхонь магістральних трубопроводів призводить до різкого збільшення їх шорсткості і зміни рельєфу внутрішньої трубної поверхні.

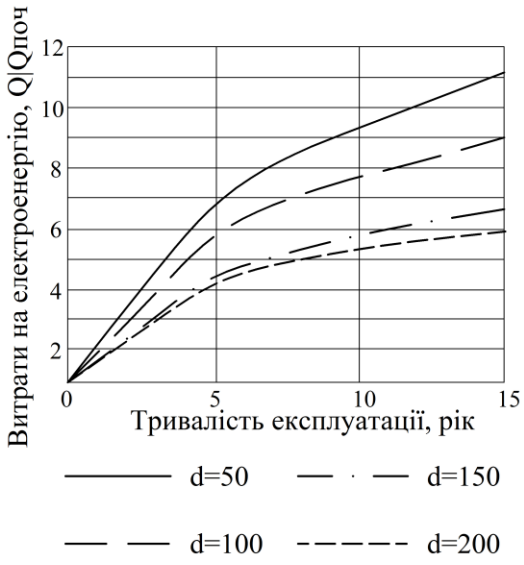

Рис. 3. Збільшення витрат на електроенергію при транспортуванні води по сталевих трубопроводах в процесі експлуатації / The increase in electricity costs during the transportation of water through steel pipelines during operation

Активні корозійні процеси з одного боку значно збільшують шорсткість поверхні трубопроводів, впливаючи на коефіцієнт гідравлічного тертя, з іншого прискорюють накопичення шару відкладень на трубних поверхнях, що є причиною звуження діаметра прохідного перетину трубопроводу. Все це призводить до зростання гідравлічного опору, відповідно збільшуючи витрати електроенергії на транспортування теплоносія [11].

Звуження прохідного перетину трубопроводів призводить до необхідності постійно підвищувати вхідний тиск середовища, яка перекачується для забезпечення розрахункової витрати.

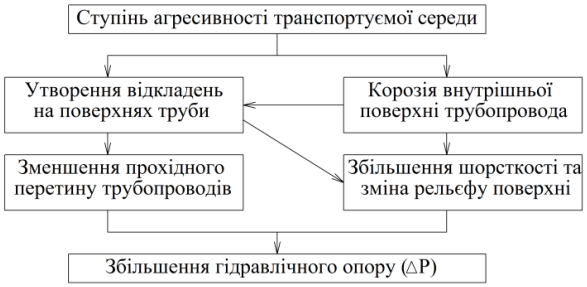

Рис.4. Фактори, що впливають на збільшення гідравлічного опору трубопроводів систем теплопостачання / Factors affecting the increase in hydraulic resistance of pipelines of heat supply systems

Тиск, необхідний для визначення місцевих опорів, визначається по формулі

$$p_{м.о.} = \sum \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho, \tag{7}$$

де ζ – безрозмірний коефіцієнт місцевого опору, визначений дослідним шляхом.

Загальні втрати тиску на якій-небудь ділянці трубопроводу з незмінною витратою теплоносія виражається сумою рівнянь (6) і (7) (формула Дарсі-Вейсбаха), тобто

$$p_{діл} = p_{тр} + p_{м.о.} = \frac{\lambda}{d} \cdot l \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho + \sum \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho, \tag{8}$$

$$v = \sqrt{\frac{P}{\frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{\lambda}{d} \cdot l + \sum \xi \right)}} \tag{9}$$

У розвідних і внутрішньобудинкових мережах найбільш часто єдиними способами забезпечення населення теплоносієм в необхідних обсягах є установка насосів більшої потужності і заміна труб.

На рис. 5 показана робота циркуляційного насосу на мережу системи водяного опалення. При факторах 1, 2, 3, 4 міняється характеристика мережі системи водяного опалення. Це можна виявити з рис. 5. При цьому робоча точка переміщається з точки 1 в точку 2.

$$G_2 < G_1,\ P_2 > P_1$$

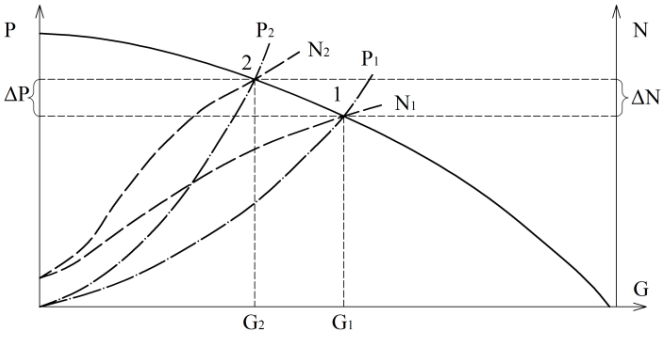

Рис.5. Аналіз роботи циркуляційного насосу на мережу системи водяного опалення / Analysis of the operation of the circulation pump on the network of water heating system

Збільшення витрати мережної води проти розрахункового для обраного діаметра теплопроводу викликає зростання втрати тиску (напору) при транспорті теплоносія. Зазвичай оптимальна проектна питома втрата тиску знаходиться в межах *40-80Па/м*, а її граничне значення приймається *100Па/м* [5]. При збільшенні гідравлічного опору мережі, коли робоча точка переміщується з т.1 в т.2 (рис. 5), збільшується опір ΔP, а відповідно і потужність ΔN.

Забруднення всередині опалювального приладу, сміття, іржа, як результат виникнення корозії внутрішніх частин контуру опалення, можуть привести до того, що прилад може бути частково холодним (рис. 6), порушується правильна циркуляція води. В опалювальному приладі з'являється кілька різних зон, з різною температурою.

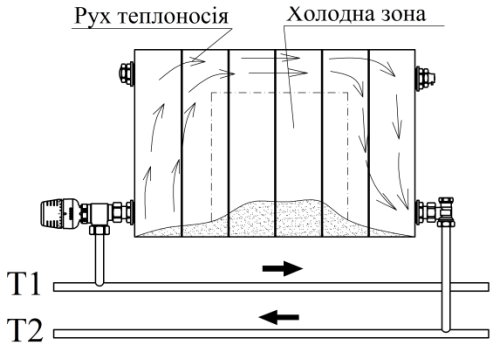

Рис. 6. Наслідки забруднення опалювального приладу / Consequences of contamination of the heating system

Тепловий потік від теплоносія до стінок опалювального приладу визначається за формулою:

$$Q_{т.н} = G \cdot c \cdot (t_{вх} - t_{вих}),\ Вт \qquad (12)$$

де G - масові витрати теплоносія, $\frac{кг}{год}$;

c - теплоємність теплоносія, $\frac{кДж}{кг \cdot {}^{o}C}$;

$t_{вх}$ - температура теплоносія на вході в опалювальний прилад, ${}^{o}C$;

$t_{вих}$ - температура теплоносія на виході з опалювального приладу, ${}^{o}C$;

Тепловіддача опалювального приладу (основне рівняння теплопередачі) визначається за формулою:

$$Q_{о.п} = k_{о.п} \cdot F_{о.п} \cdot (t_{о.п} - t_{в}),\ Вт \qquad (13)$$

де $k_{о.п}$ - коефіцієнт теплопередачі опалювального приладу, $\frac{Вт}{м^2 \cdot {}^{o}C}$;

$F_{о.п}$ - тепловіддача поверхня опалювального приладу, $м^2$;

$t_{о.п}$ - середня температура поверхні опалювального приладу, ${}^{o}C$;

$$t_{о.п} = \frac{t_{вх} + t_{вих}}{2},\ {}^{o}C;$$

$t_{в}$ - температура внутрішнього повітря, ${}^{o}C$.

Прирівнюємо формули (12) і (13), отримаємо

$$Q_{т.н} = Q_{о.п}$$

$$G \cdot c \cdot (t_{вх} - t_{вих}) = k_{о.п} \cdot F_{о.п} \cdot (t_{о.п} - t_{в})$$

$$t_{в} = t_{о.п} - \frac{G \cdot c \cdot (t_{вх} - t_{вих})}{k_{о.п} \cdot F_{о.п}},\ {}^{o}C \qquad (14)$$

В результаті забруднення опалювального приладу зменшується тепловіддаюча поверхня приладу $F_{о.п}$, що призводить до зниження температури внутрішнього повітря приміщень.

Висновки

Результати аналізу факторів, які виникають в наслідок експлуатації систем водяного опалення показують, що кожний з шести факторів по своєму впливає на роботу систем, а відповідно і на забезпечення параметрів мікроклімату приміщень в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богословский В.Н. и др. Отопление и вентиляция. – М.: „Стройиздат”, 1980. - 295 с.

2. Воробьёва Ю.А. Влияние процесса старения ограждающих конструкций и инженерных систем жилых зданий на микроклимат помещений Канд. дис. Воронеж, 2006. - 181 с.

3. ДБН В.2.5-39:2008 Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі: чинний від 01.07.2009. К.: Міністерства регіонального розвитку та будівництва України, 2009. – 56 с.

4. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 141 с.

5. Зингер, Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. / М.: Энергоатомиздат, 1976., -335с.

6. Крупки Г.Я. Изменение сопротивления вентиляционных стальных воздуховодов в зависимости от срока эксплуатации. Труды Всесоюзной межвузовской научной конференции совместно с работниками промышленности, научно-исследовательских и проектных институтов и белорусского правления НТО Стройиндустрии «Проблемы вентиляции и кондиционирования воздуха». Минск: «Высшая школа» - 1969, с. 335-339.

7. Лепихин, А.П. К оценке коэффициента гидравлического сопротивления в гладких трубах / Вычислительная механика сплошных сред. 2015. Т. 8. № 4. С. 369-375.

8. Морозов М.А. Расчетно-єкспериментальніе исследования гидравлических характеристик трубопроводов систем теплоснабжения с учетом степени гидрофобности. Москва, 2016. – 134 с.

9. Чистяков Н.Н. Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения /, М.М.Грудзинский, В.И.Ливчак и др.: Стройиздат.М.,1988.- 314с.

10. Самарин, О.Д. Расчет потерь давления в трубопроводах тепловых сетей / Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. № 4. С. 56-59.

11.Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению "Теплоэнергетика". 9-е стер. изд. М.: Издательство МЭИ, 2009, 472 с.

REFERENCES

1. Bogoslovskiy V.N. Heating and ventilation. - M .: “Stroiizdat”, 1980. - 295 p.
2. Vorobiev Yu.A. The impact of the aging process of enclosing structures and engineering systems of residential buildings on the indoor microclimate Cand. dis. Voronezh, 2006. - 181 p.
3. DBN B.2.5-39: 2008 Ingenernences posudinknya budinkiv i i sporud. Wrong words and disputes. Heat measures: official dated 07/01/2009. K .: Ministry of Regional Development and Buddy Ukraine, 2009. - 56 p.
4. DBN B.2.5-67: 2013. Opalennya, ventilyatsya that kondits_onuvannya. K .: Ministry of Regions of Ukraine, 2013. - 141 p.
5. Singer, N.M. Hydraulic and thermal modes of heating systems. / M .: Energoatomizdat, 1976., -335c.
6. Krupki G.Y. Change in resistance of steel ventilation ducts depending on the service life. Proceedings of the All-Union Intercollegiate Scientific Conference together with workers of industry, research and design institutes and the Belarusian government of the Scientific and Technical Department of Building Industry "Problems of ventilation and air conditioning." Minsk: "Higher School" - 1969, p. 335-339.
7. Lepikhin, A.P. To the evaluation of the hydraulic resistance coefficient in smooth pipes / Computational mechanics of continuous media. 2015. Vol. 8. No. 4. P. 369-375.
8. Morozov M.A. Calculated and experimental studies of the hydraulic characteristics of pipelines of heat supply systems, taking into account the degree of hydrophobicity. Moscow, 2016. - 134 p.
9. Improving the efficiency of hot water supply systems / N.N. Chistyakov, M.M. Grudzinsky, V.I. Livchak et al .: Stroyizdat.M., 1988.- 314c.
10. Samarin, OD Calculation of pressure loss in heating pipelines / Plumbing, heating, air conditioning. 2014. No. 4. P. 56-59.
11. Sokolov E.Ya. Heat and heat networks: A textbook for university students enrolled in the direction of "Thermal Engineering". 9th erased. ed. M .: Publishing house MEI, 2009, 472 p.

Надійшла до редколегії 09.10.2018 р.