

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.3:658.264

А. К. КЛОЧКО, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции

КОРРЕКТИРОВКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАФИКОВ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ИХ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Тел.: (916) 377-33-07; факс: (916) 377-33-07; эл. почта: klo4ko_aleksey@mail.ru

Ключевые слова: теплоснабжение, изменение тепловой мощности, регулирование тепловой мощности, экономия тепловой энергии.

Предлагается метод корректировки эксплуатационных температурных графиков на основании данных технического обследования работы отопительных установок в реальных условиях эксплуатации. Данный метод при его применении позволит установить требуемые параметры температуры воздуха в помещениях у конечного потребителя и в ряде случаев добиться экономии энергетических ресурсов.

В «традиционном» подходе к эксплуатации отопительных систем поставщики тепловой энергии конечным потребителям при планировании температурных графиков для теплоснабжения абонентов руководствуются лишь теоретическими выкладками и рекомендациями, основанными на отопительных нагрузках, определенных проектными организациями. Данный подход не позволяет учитывать изменение тепловых нагрузок в результате отклонения от проектных решений введенных в эксплуатацию зданий. Кроме того, тепловые нагрузки могут изменяться со временем из-за разрушения ограждающих конструкций, износа инженерных систем, замены их отдельных элементов при проведении капитальных ремонтов или несанкционированного вмешательства в конструкцию или работу систем отопления самими потребителями.

Изучение опыта эксплуатации системы отопления многоквартирных домов, объектов социального, культурного и промышленного назначения показало, что в лучшем случае в пунктах (ИТП или ЦТП) осуществление регулирования тепловой нагрузки отопления потребителей в шкафу управления работой оборудования или на эксплуатационном стенде размещен температурный график в табличной форме или в виде графической зависимости, информирующий о температурах теплоносителя в подающем T_1 и обратном T_2 теплопроводах на выходе из пункта в зависимости от температуры наружного воздуха [1-5], так называемый метод регулирования «по возмущению» [6-8]. Значение параметров в этих таблицах приняты или из справочной литературы по теплоснабжению или рассчитаны самостоятельно по общеизвестным формулам.

Для определения текущей температуры теплоносителя τ_1 , °С, из теплового пункта применяют формулу [8]:



$$\tau_1 = t'_в + \Delta t'_о \cdot \bar{Q}_о^{0,8} + \frac{\theta'}{2} \cdot \bar{Q}_о, \quad (1)$$

где: $t'_в$ – расчетная температура воздуха внутри помещения, °С;

$\Delta t'_о = \frac{\tau'_1 + \tau'_{о2}}{2} - t'_в$ – температурный напор отопительных приборов при расчетных параметрах наружного воздуха, °С;

τ'_1 – температура теплоносителя в подающем трубопроводе при расчетных параметрах наружного воздуха (максимальное значение), °С;

$\tau'_{о2}$ – температура теплоносителя на выходе из отопительной установки при расчетной температуре наружного воздуха (максимальное расчетное значение), °С;

$\bar{Q}_о = \frac{Q_о}{Q'_о}$ – относительный расход тепла на отопление, представляющий

отношение текущей тепловой нагрузки отопительной установки $Q_о$, Вт, к ее значению при расчетных параметрах $Q'_о$, Вт, безразмерная величина;

$\theta' = \tau'_1 - \tau'_{о2}$ – расчетная разность температур в подающей и обратной трубах местной системы отопления при расчетных условиях, °С.

При расчете температурных графиков значение расчетной тепловой нагрузки принимается при расчетной температуре наружного воздуха. При расчете корректировок температурного графика возможно в качестве расчетного значения (основной базовый режим) принимать тепловую нагрузку отопительной установки при фактической температуре наружного воздуха, при которой производится обследование работы отопительной установки с фиксацией параметров ее функционирования (расход теплоносителя в системе, температуры и давления теплоносителя на входе и выходе из установки, температура воздуха в отапливаемых помещениях).

Температуру теплоносителя на выходе из отопительной установки рассчитывают по формуле [8]:

$$\tau'_{о2} = t'_в + \Delta t'_о \cdot \bar{Q}_о^{0,8} - \frac{\theta'}{2} \cdot \bar{Q}_о. \quad (2)$$

Значение температуры τ'_1 при расчетной температуре наружного воздуха нормируется [3], принимается на стадии проектирования отопительной установки и обычно устанавливается шагом в 5 °С для максимальной величины. Температура τ'_1 принимается проектной организацией, как правило, на уровне 70 °С

При анализе формул (1) и (2) видно, что отклонения в работе отопительных установок от расчетных режимов функционирования, характеризующиеся в первую очередь фактической температурой воздуха в отапливаемых помещениях и вызванные изменением теплопередающих свойств конструкции здания и гидравлических характеристик самих водяных систем отопления, никаким образом напрямую не могут быть учтены при расчете температурных графиков. Для этого необходимо обратиться к исходным функциональным зависимостям, на основе которых и были получены приведенные выше уравнения (1) и (2). Одной

из таких функциональных зависимостей является уравнение характеристики отопительной установки. Его применение для корректировки эксплуатационных графиков регулирования тепловой нагрузки (температурных графиков) продемонстрируем на числовых примерах.

Принципиальная схема присоединения абонента к тепловой сети представлена на рис. 1.

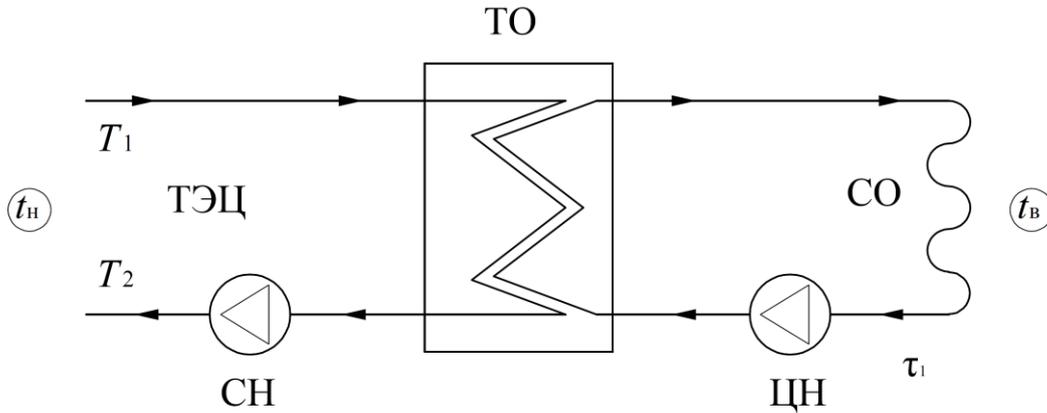


Рис. 1. Схема независимого присоединения абонента к тепловой сети. Условные обозначения: ТЭЦ – теплоэлектроцентраль; СН – сетевой насос; ТО – теплообменный аппарат; ЦН – циркуляционный насос; СО – система отопления

Рассмотрим несколько характерных расчетных случаев.

Пример 1. Первоначальная проектная тепловая нагрузка отопления группы зданий, подключенных к ЦТП по независимой схеме присоединения составляет 4,797 Гкал/ч (5,579 МВт). Принятый эксплуатационный температурный график качественного регулирования тепловой нагрузки отопления 105–70 °С. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления $t_{н.о.} = -43$ °С. Вследствие реализации в процессе капитального ремонта зданий мероприятий по утеплению их наружных ограждающих конструкций ожидается снижение теплопотерь на 20 %. Необходимо определить температуру воздуха в помещениях зданий $t_{в}$ и температуру теплоносителя на выходе из систем отопления при сохранении гидравлических настроек системы и прежнего режима регулирования.

В качестве расчетной температуры воздуха внутри помещений принимаем $t'_{в} = 20$ °С.

Решение примера № 1.

1. Проектный эксплуатационный расход теплоносителя в квартальной тепловой сети (фактические условия) составляет:

$$G_{\text{кв}}^{\text{пр}} = \frac{Q'_{\text{пр}}}{(\tau'_1 - \tau'_{o2}) \cdot c} = \frac{4,797 \cdot 10^6}{(105 - 70) \cdot 1} = 137057 \text{ кг/ч.}$$

2. Необходимый расход теплоносителя в тепловой сети (необходимые условия) после утепления зданий:

$$G_{\text{кв}}^{\text{н}} = \frac{Q'_o}{(\tau'_1 - \tau'_{o2}) \cdot c} = \frac{(1 - 0,2) \cdot Q'_{\text{пр}}}{(\tau'_1 - \tau'_{o2}) \cdot c} = 0,8 \cdot 137057 = 109645 \text{ кг/ч.}$$



3. Относительный расход теплоносителя (водяной эквивалент), характеризующий превышение эксплуатационного расхода над необходимым, составляет:

$$\bar{W}_o = \frac{W_o}{W'_o} = \frac{G_{\text{кв}}^{\text{пп}}}{G_{\text{кв}}^{\text{н}}} = \frac{137057}{109645} = 1,25 \text{ (125 \%)}.$$

4. Средняя разность температур в отопительном приборе между греющей водой и воздухом в отапливаемом помещении при расчетном режиме, т. е. при $t_{\text{н.о.}}$:

$$\Delta t'_o = \frac{\tau'_1 + \tau'_{o2}}{2} - t'_B = \frac{105 + 70}{2} - 20 = 67,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

5. Режимный коэффициент отопительной установки w' при необходимых условиях [7]:

$$w' = \frac{k' \cdot F}{W'_o} = \frac{\frac{Q'_o}{\Delta t'_o}}{\frac{Q'_o}{\tau'_1 - \tau'_{o2}}} = \frac{\tau'_1 - \tau'_{o2}}{\Delta t'_o} = \frac{105 - 70}{67,5} = 0,519.$$

6. Режимный коэффициент отопительной установки w при фактических условиях:

$$w = \frac{k \cdot F}{W_o} = \frac{k \cdot F}{1,25 \cdot W'_o} = \frac{\tau'_1 - \tau'_{o2}}{1,25 \cdot \Delta t'_o} = \frac{105 - 70}{1,25 \cdot 67,5} = 0,415.$$

7. Удельная тепловая нагрузка (коэффициент эффективности) отопительной установки:

– при необходимых условиях [6]:

$$\varepsilon'_o = \frac{1}{0,5 + \frac{1}{w'}} = \frac{1}{0,5 + \frac{1}{0,519}} = 0,412.$$

– при фактических условиях [6]:

$$\varepsilon_o = \frac{1}{0,5 + \frac{1}{w}} = \frac{1}{0,5 + \frac{1}{0,415}} = 0,344.$$

8. Относительный расход тепла при повышенном расходе теплоносителя из уравнения характеристики отопительной установки:

$$\bar{Q}_o = \frac{Q_o}{Q'_o} = \frac{\varepsilon_o \cdot W_o \cdot (\tau'_1 - t_B)}{\varepsilon'_o \cdot W'_o \cdot (\tau'_1 - t'_B)} = \frac{0,344 \cdot 1,25 \cdot (105 - t_B)}{0,412 \cdot (105 - 20)} = 0,01228 \cdot (105 - t_B), \quad (3)$$

с другой стороны:

$$\bar{Q}_o = \frac{t_B - t_{\text{н.о.}}}{t'_B - t_{\text{н.о.}}} = \frac{t_B - (-43)}{20 - (-43)} = \frac{t_B + 43}{63}. \quad (4)$$

Приравнявая (3) и (4), определяем величину фактической температуры воздуха в помещениях t_B :



$$0,01228 \cdot (105 - t_B) = \frac{t_B + 43}{63}, \quad t_B = \frac{63 \cdot 0,01228 \cdot 105 - 43}{63 \cdot 0,01228 + 1} = 21,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тогда из (4) относительный расход тепла равен:

$$\bar{Q}_o = \frac{t_B + 43}{63} = \frac{21,6 + 43}{63} = 1,025.$$

9. Температура теплоносителя на выходе из отопительной установки:

$$\tau_{o2} = \tau'_1 - \frac{\bar{Q}_o}{W_o} (\tau'_1 - \tau'_{o2}) = 105 - \frac{1,025}{1,25} \cdot (105 - 70) = 76,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

По результатам проведенных расчетов по примеру № 1, автором сделаны следующие выводы.

1. Сохранение прежнего гидравлического и теплового режима регулирования работы отопительной установки без учета изменившихся ее характеристик (уменьшение тепловой нагрузки зданий вследствие их утепления) способствует «перетопу» помещений ($21,6 \text{ } ^\circ\text{C} > 20 \text{ } ^\circ\text{C}$) и связанному с ним увеличенному теплоснабжению системами отопления (в данном случае на 2,5 %).

2. Имеет место увеличение температуры теплоносителя в обратном трубопроводе системы отопления ($76,3 \text{ } ^\circ\text{C} > 70 \text{ } ^\circ\text{C}$) с сопутствующим ему увеличением теплопотерь трубопроводами.

3. Повышенная температура обратного теплоносителя от системы отопления на входе в отопительный теплообменник при сохранении на прежнем уровне температуры греющего теплоносителя из магистральной теплосети способствует уменьшению рабочего температурного напора в теплообменнике, что неизбежно вызовет необходимость включения в работу дополнительной поверхности нагрева и увеличение расхода теплоносителя из магистральной теплосети.

Результаты расчетов примера № 1 примем за исходные данные для изучения влияния корректировки температурного графика на эффективность работы системы отопления.

Пример № 2. Определить корректировки температурного графика качественного регулирования тепловой нагрузки для примера 1 (гидравлический режим работы квартальной системы теплоснабжения сохраняется) с целью приведения в норму температуры в отапливаемых помещениях.

1. Расходы тепла на отопление по уравнению характеристики отопительной установки при τ_1 и τ'_1 для $t_{н.о.}$ [7]:

$$Q_o = \varepsilon_o \cdot W_o \cdot (\tau_1 - t'_B); \quad Q'_o = \varepsilon'_o \cdot W'_o \cdot (\tau'_1 - t'_B).$$

Пренебрегая изменением коэффициента теплопередачи нагревательных приборов в узком диапазоне изменения разности температур и при сохранении величины водяного эквивалента отопительной установки, имеем: $\varepsilon_o = \varepsilon'_o$, $W_o = W'_o$.

2. В этом случае относительный расход тепла определится как:

$$\bar{Q}_o = \frac{Q_o}{Q'_o} = \frac{(\tau_1 - t'_B)}{(\tau'_1 - t'_B)}, \quad (5)$$

где τ_1 – искомая величина (температура теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети после коррекции).



Принимаем: $t_B = 21,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $t'_B = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $\tau'_1 = 105 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. С другой стороны, относительный расход тепла на отопление равен:

$$\bar{Q}_o = \frac{t'_B - t_{\text{н.о.}}}{t_B - t_{\text{н.о.}}} = \frac{20 - (-43)}{21,6 - (-43)} = 0,975. \quad (6)$$

4. Из выражений (5) и (6) определяем величину откорректированной температуры теплоносителя в подающем трубопроводе квартальной теплосети при расчетных условиях для проектирования отопления:

$$\tau_1 = t'_B + \bar{Q}_o \cdot (\tau'_1 - t_B) = 20 + 0,975 \cdot (105 - 21,6) = 101,3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

5. Температура теплоносителя на выходе из отопительной установки:

$$\tau_{o2} = \tau_1 - \bar{Q}_o \cdot (\tau'_1 - \tau'_{o2}) = 101,3 - 0,975 \cdot (105 - 70) = 67,2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Полученные значения температур τ_1 и τ_{o2} принимаем в качестве исходных данных для расчета откорректированного температурного графика по формулам (1) и (2) в диапазоне наружных температур от -43°C до $+8^\circ\text{C}$:

– график $105-70 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\begin{cases} \tau_1 = t'_B + \Delta t'_o \cdot \bar{Q}_o^{0,8} + \frac{\theta'}{2} \cdot \bar{Q}_o = 20 + 67,5 \cdot \bar{Q}_o^{0,8} + 17,5 \cdot \bar{Q}_o; \\ \tau_{o2} = t'_B + \Delta t'_o \cdot \bar{Q}_o^{0,8} - \frac{\theta'}{2} \cdot \bar{Q}_o = 20 + 67,5 \cdot \bar{Q}_o^{0,8} - 17,5 \cdot \bar{Q}_o; \\ \bar{Q}_o = \frac{t'_B - t_{\text{н.}}}{t'_B - t_{\text{н.о.}}} = \frac{20 - t_{\text{н.}}}{20 - (-43)} = \frac{20 - t_{\text{н.}}}{63}; \end{cases}$$

– график $101,3-67,2 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\begin{cases} \tau_1 = t'_B + \Delta t'_o \cdot \bar{Q}_o^{0,8} + \frac{\theta'}{2} \cdot \bar{Q}_o = 20 + 64,25 \cdot \bar{Q}_o^{0,8} + 17,05 \cdot \bar{Q}_o; \\ \tau_{o2} = t'_B + \Delta t'_o \cdot \bar{Q}_o^{0,8} - \frac{\theta'}{2} \cdot \bar{Q}_o = 20 + 64,25 \cdot \bar{Q}_o^{0,8} - 17,05 \cdot \bar{Q}_o; \\ \bar{Q}_o = \frac{t'_B - t_{\text{н.}}}{t'_B - t_{\text{н.о.}}} = \frac{20 - t_{\text{н.}}}{20 - (-43)} = \frac{20 - t_{\text{н.}}}{63}. \end{cases}$$

Для наглядности произошедших изменений в результате коррекции на одном координатном поле приведем прежний температурный график $105-70 \text{ }^\circ\text{C}$ на рис. 2.

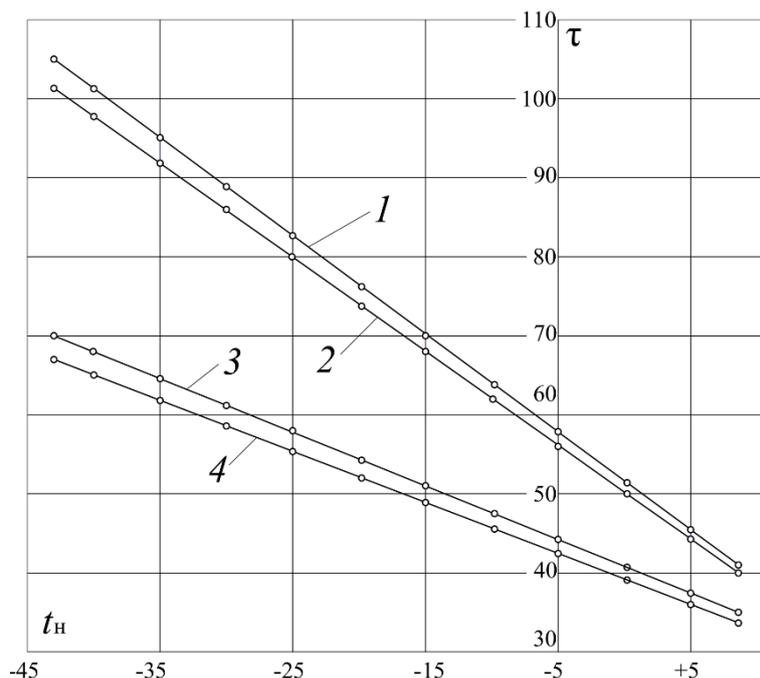


Рис. 2. Температурный график регулирования нагрузки на систему отопления: 1 – подающий трубопровод до утепления зданий; 2 – подающий трубопровод после корректировки; 3 – обратный трубопровод до утепления зданий; 4 – обратный трубопровод после корректировки

В качестве вывода по проведенным исследованиям автор отмечает, что предложенный метод коррекции температурного графика позволяет оперативно повысить качество и эффективность работы системы отопления, не требует внесения в систему отопления конструктивных изменений, удобен в применении, способен работать с данными, полученными в процессе нетрудоемкого обследования работы систем отопления зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 124.13330.2012. Тепловые сети : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 280 : актуализированная редакция СНиП 41-02-2003 : дата введения 25 января 2013 г. : [редакция от от 31.05.2022]. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный.
2. СП 510.1325800.2022. Тепловые пункты и системы внутреннего теплоснабжения : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25 января 2022 г. N 42/пр : дата введения 26 февраля 2022 г. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный.
3. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003 : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2020 г. N 921/пр : дата введения 01 июля 2021 г. : [редакция от 09.08.2023]. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный.
4. СП 131.13330.2020. Строительная климатология СНиП 23-01-99* : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24



декабря 2020 г. N 859/пр : дата введения 25 июня 2021 г. : [редакция от 30.06.2023]. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный.

5. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : межгосударственный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 июля 2012 г. N 191-ст : введен впервые : дата введения 2013-01-01 : [ред. от 20.12.2022]. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный.

6. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети : учебник для вузов / Е. Я. Соколов. – 9-е изд., стереот. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2009. – 472 с. – ISBN 978-5-383-00337-4. – Текст : непосредственный.

7. Сафонов, А. П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям / А. П. Сафонов. – Изд. 2-е, переработ. – Москва : Энергия, 1968. – 240 с. – Текст : непосредственный.

8. Строй, А. Ф. Расчет и проектирование тепловых сетей / А. Ф. Строй, В. Л. Скальский. – Киев : Будівельник, 1981. – 144 с. – Текст : непосредственный.

KLOCHKO Aleksey Konstantinovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat and gas supply and ventilation

ADJUSTMENT OF TEMPERATURE SCHEDULES OF HEATING SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THEIR ACTUAL CONDITION

Moscow State University of Civil Engineering

26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russia. Tel.: +7 (916) 377-33-07;

fax: +7 (916) 377-33-07; e-mail: klo4ko_aleksey@mail.ru

Key words: heat supply, change of thermal power, regulation of thermal power, saving of thermal energy.

The article proposes a method for correcting operational temperature schedules based on the data of a technical survey of the operation of heating installations in real operating conditions. This method, when applied, will allow setting the required indoor air temperature parameters for a single consumer and in some cases achieve energy savings.

REFERENCES

1. SP 124.13330.2012. Teplovye seti [Heating networks] : svod pravil : utv. i vved. v deystvie Priказom Min-va regionalnogo razvitiya RF (Minregion Rossii) ot 30 iyunya 2012 N 280 : aktualizir. red. SNiP 41-02-2003 : data vved. 25 yanvarya 2013 g. : [red. ot 31.05.2022]. – URL: <http://www.consultant.ru>.

2. SP 510.1325800.2022. Teplovye punkty i sistemy vnutrennego teplosnabzheniya [Heating points and internal heat supply systems] : svod pravil : utv. i vved. v deystvie Priказom Min-va str-va i zhilishchno-kommun. khoz-va RF ot 25 yavarya 2022 g. N 42/pr : data vved. 26 fevralya 2022 g. – URL: <http://www.consultant.ru>.

3. SP 60.13330.2020. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha SNiP 41-01-2003 [Heating, ventilation and air conditioning SNiP 41-01-2003] : svod pravil : utv. i vved. v deystvie Priказom Min-va str-va i zhilishchno-kommun. khoz-va RF ot 30 dekabrya 2020 g. N 921/пр : data vved. 01 iyulya 2021 g. : [red. ot 09.08.2023]. – URL: <http://www.consultant.ru>.

4. SP 131.13330.2020. Stroitel'naya klimatologiya SNiP 23-01-99* [Construction Climatology SNiP 23-01-99*] : svod pravil : utv. i vved. v deystvie Priказom Min-va str-va i



zhilishchno-kommun. khoz-va RF ot 24 dekabrya 2020 g. N 859/pr : data vved. 25 iyunya 2021 g. : [red. ot 30.06.2023]. – URL: <http://www.consultant.ru>.

5. GOST 30494-2011 Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Parametry mikroklimate v pomeshcheniyakh [Residential and public buildings. Indoor microclimate parameters] : mezhgos. standart RF : utv. i vved. v deystvie Prikazom Fed. agentstva po tekhnich. regulirov. i metrologii ot 12 iyulya 2012 g. N 191-st : vved. v pervye : data vved. 2013-01-01 : [red. ot 20.12.2022]. – URL: <http://www.consultant.ru>.

6. Sokolov E. Ya. Teplofikatsiya i teplovye seti [Heating and heating networks] : uchebnyk dlya VUZov. – 9-e izd., stereot. Moscow : Izdatelskiy dom MEI, 2009. 472 p. – ISBN 978-5-383-00337-4.

7. Safonov A. P. Sbornik zadach po teplofikatsii i teplovyim setyam [Collection of tasks on heating and heating networks]. – Izd. 2-e, pererabot. Moscow : Energiya, 1968. 240 p.

8. Stroy A. F., Skalskiy V. L. Raschyot i proektirovanie teplovykh setey [Calculation and design of thermal networks]. Kiev.: Budivelnik, 1981. 144 p.

© **А. К. Клочко, 2024**

Получено: 28.12.2023 г.