

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА МНОГОКОНТУРНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ЗМЕЕВИКОВОГО ТИПА ПРИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ ОТ АИТ

А. А. Олексюк д.т.н., профессор; А. В. Плужник ассистент; Б. В. Кляус ассистент
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. Эксплуатация подогревательно-аккумуляторных установок с многоконтурными теплообменниками, устанавливаемых в индивидуальных тепловых пунктах, для подключения систем отопления и горячего водоснабжения, значительно снижает эксплуатационные затраты и капиталовложения. Так же была рассмотрена возможность использования теплоносителя от АТЭЦ для теплоснабжения зданий при помощи теплофикации. Исходя из этого, была сформулирована новая методика расчета многоконтурного теплообменника змеевикового типа для систем отопления и горячего водоснабжения населенных пунктов от атомных источников теплоты. Описан конструктивный расчёт основных элементов многоконтурного теплообменника змеевикового типа. Проанализировано наличие аккумулирующей емкости с многоконтурным теплообменником для сглаживания пиковой нагрузки суточного потребления, учитывая так же снижение водоразбора в ночное время суток. Представлена схема четырехконтурного теплообменника для независимой схемы присоединения систем отопления и вентиляции при использовании теплоносителя от АТЭЦ.

Ключевые слова: многоконтурный теплообменник, система отопления, горячее водоснабжение, промежуточный контур.



Олексюк
Анатолий Алексеевич



Плужник
Анастасия Вадимовна



Кляус
Богдан Валентинович

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последнее двадцатилетие наблюдается острый дефицит всех видов топлива и электрической энергии, поэтому переход систем теплоснабжения на более совершенные системы подключения абонентских систем отопления и горячего водоснабжения, с целью снижения их металлоемкости, позволит решить вопросы экономии как энергоресурсов, так и материалов [1]. Использование атомных энергоисточников в теплоснабжении зданий позволяет улучшить экологическую обстановку вследствие уменьшения вредных выбросов в атмосферу по сравнению с энергоисточниками на органическом топливе. Ослабить зависимость от изменения цен на топливо из-за низкой топливной составляющей в себестоимости вырабатываемой продукции и сдерживать рост тарифов на тепловую энергию.

Целью данной методики является выполнение конструктивного расчёта основных элементов многоконтурного теплообменника змеевикового типа.

Использование компактных подогревательно-аккумуляторных установок (ПАУ) с многоконтурными теплообменниками, которые сооружаются на индивидуальных тепловых пунктах (ИТП), для подключения систем отопления и горячего водоснабжения, позволяет решить комплекс задач, связанных с экономией капитальных вложений и эксплуатационных затрат [2-4], а именно:

– снижение металлоемкости за счет перехода на двухтрубную внутриквартальную теплосеть;

- приближение узла приготовления теплоносителя для местных абонентских систем отопления и горячего водоснабжения позволит уменьшить теплопотери на 5...15%;
- сооружение независимой схемы подключения системы отопления к тепловой сети позволяет увеличить срок их эксплуатации за счет гидравлической изолированности абонентов от сети централизованного теплоснабжения [3];
- устройство закрытой системы горячего водоснабжения позволяет сгладить пиковые нагрузки на графике суточного теплопотребления с помощью аккумулялирования горячей воды в емкости ПАУ;
- использование эффекта перераспределения тепловых нагрузок между системами отопления

и горячего водоснабжения в течение суток в часы максимального и минимального водопотребления [4];

- полное отсутствие коррозии местных системах отопления [5];
- сооружение ИТП вместо ЦТП, что повышает надежность и бесперебойность работы в целом [6].

Конструкция рекуперативного теплообменника защищена АС №1111015 от 03.05.84 г., в котором трубки третьего контура выполнены из гнутых трубок, что уменьшает число трубных досок, в которые они ввальцованы, и обеспечивает свободное перемещение при температурных деформациях, как показано на рис. 1.

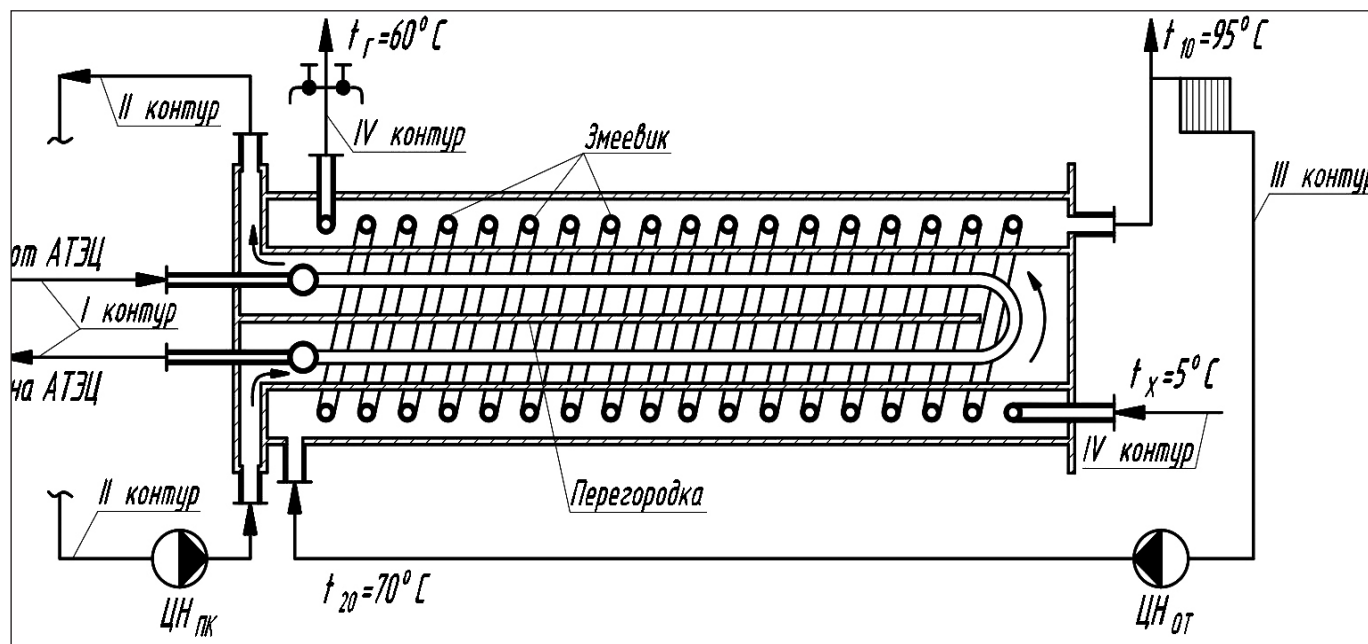


Рис. 1. Четырехконтурный ТО для независимой схемы присоединения систем ОВ и ГВ при использовании теплоносителя от АТЭЦ

Первичный теплоноситель от АТЭЦ с температурой 180...220°C поступает в трубное пространство первого контура, который расположен в межтрубном пространстве второго промежуточного контура, в котором постоянно циркулирует промежуточный теплоноситель при помощи циркуляционного насоса ЦНПК. Для интенсификации теплообмена, за счет увеличения скорости промежуточного теплоносителя, по длине второго контура установлена перегородка, при этом теплоноситель второго промежуточного контура нагревается до температуры 150...190°C, которым через разделяющую стенку, нагревается теплоноситель системы отопления до 95...105°C [7].

В третьем контуре системы отопления расположен змеевик, в котором нагревается вода четвертого контура для нужд горячего водоснабжения до температуры 60...65°C.

Циркуляция воды в каждом отдельном контуре осуществляется своим циркуляционным, сетевым и подпиточным насосами, а для систем горячего водоснабжения используют повысительный насос, т.к. в городском водопроводе недостаточно давления для

нормальной работы системы горячего водоснабжения высотных зданий 9 и 16 этажей [8].

Особенностью теплотехнического расчета многоконтурного теплообменника является определение расчетных поверхностей нагрева пропорционально тепловым нагрузкам систем отопления F_1 , горячего водоснабжения F_2 , греющего теплоносителя F_3 , промежуточного контура, в котором расположен пучок труб первичного контура для теплоносителя от АТЭЦ, с температурой $T_1 = 180 \dots 200^\circ\text{C}$ [9].

Сложность расчета многоконтурных теплообменников состоит в том, что необходимо проектировать конструкции отдельных узлов и деталей ТО, а также выполнять поверочный расчет этих узлов и деталей [10].

Для теплового и конструктивного расчета многоконтурного теплообменника (ТО) для независимых систем отопления и горячего водоснабжения должны быть заданы климатологические условия и район застройки, планы зданий с их этажностью, параметры теплоносителя, число жителей или потребителей горячей воды для общественных зданий, давление в тепловой сети на абонентском вводе [11].

Сложный теплообмен, который осуществляется в четырехконтурном ТО, можно записать из уравнения теплового баланса, Вт

$$\Sigma Q_{\text{АТЭЦ}}^{\text{Iк}} = Q_{\text{ПК}}^{\text{Iк}} + 0,15Q_{\text{ПК}}^{\text{Iк}} = Q_0^{\text{IIIк}} + (Q_{\text{ГВ}}^{\text{IV}} + Q_{\text{П}}), \quad (1)$$

где $\Sigma Q_{\text{АТЭЦ}}^{\text{Iк}}$ – расчетное количество теплоты, отпускаемое от АТЭЦ на нужды ОВ и ГВ, Вт;
 $Q_{\text{ПК}}^{\text{Iк}}$ – количество теплоты, циркулирующее в промежуточном втором контуре, уменьшающее уровень радиации, Вт;
 $0,15Q_{\text{ПК}}^{\text{Iк}}$ – теплопотери в промежуточном контуре, Вт;
 $Q_0^{\text{IIIк}}$ – расчетный расход теплоты на отопление, Вт;
 $Q_{\text{ГВ}}^{\text{IV}}$ – расчетный расход теплоты на горячее водоснабжение, Вт;
 $Q_{\text{П}}$ – теплопотери в подающих и циркуляционных трубопроводах системы ГВ, Вт.

$$Q_0^{\text{IIIк}} = q_0 \cdot V_{\text{н}}(t_{\text{вн}} - t_{\text{но}}) \cdot \eta, \quad (2)$$

$$Q_0^{\text{IIIк}} = 0,4 \cdot 12155(18 - (-23)) \cdot 1,1 = 219276,2 \text{ Вт}, \quad (3)$$

$$Q_{\text{ГВ}}^{\text{IV}} = \frac{m \cdot a(t_r - t_x) \cdot 1,163 \cdot k_c}{24}$$

где q_0 – удельный расход тепла на 1 здания, Вт/м³;
 $V_{\text{н}}$ – объем здания по наружному обмеру, м³.

$$V_{\text{н}} = m \cdot 55 \text{ м}^3/\text{чел} = 221 \cdot 55 = 12155 \text{ м}^3, \quad (4)$$

$$Q_{\text{ГВ}}^{\text{IV}} = \frac{221 \cdot 120(55-5) \cdot 1,163 \cdot 1,1}{24} = 77107 \text{ Вт}$$

где $t_{\text{вн}}$ – температура внутреннего воздуха в помещении, °С;

$t_{\text{но}}$ – температура наружного воздуха для проектирования систем отопления, °С;

m – количество жителей в здании, человек;

a – норма расхода горячей воды в литрах на человека в сутки, л/чел. в сутки;

t_r – температура горячей воды, °С;

t_x – температура холодной водопроводной воды, °С;

24 – количество часов за сутки, ч;

η – поправочный коэффициент на инфильтрацию;

k_c – коэффициент суточной неравномерности,

$k_c = 1,2$ принимается.

$$Q_{\text{ПК}}^{\text{Iк}} = \Sigma Q_{\text{АТЭЦ}}^{\text{Iк}} - 0,15Q_{\text{ПК}}^{\text{Iк}}, \quad (5)$$

$$Q_{\text{ПК}}^{\text{Iк}} = Q_0^{\text{IIIк}} + (Q_{\text{ГВ}}^{\text{IV}} + 0,15Q_{\text{ГВ}}^{\text{IV}}), \text{ Вт}, \quad (6)$$

Теплопотери в системах горячего водоснабжения, Вт

$$Q_{\text{ТП}}^{\text{IV}} = 0,15Q_{\text{ГВ}}^{\text{IV}} = 0,15 \cdot 77107 = 11566 \text{ Вт}, \quad (7)$$

Количество теплоты, циркулирующей в промежуточном контуре для уменьшения радиации, определяется по уравнению 6, Вт

$$Q_{\text{ПК}}^{\text{Iк}} = 219276,2 + (77107 + 11566) = 307949,2 \text{ Вт}.$$

Суммарное количество теплоты, отпущенное от АТЭЦ для первого контура, поступающее для нагрева промежуточного контура

$$Q_{\text{МТО}}^{\text{Iк}} = Q_{\text{ПК}}^{\text{Iк}} + 0,10 \cdot Q_{\text{ПК}}^{\text{Iк}} = 307949 + 0,10 \cdot 307949 = 338744 \text{ Вт}. \quad (8)$$

Средние температуры теплоносителей соответствующих контуров, °С:

Первый контур °С;

$$t_{\text{ср}}^{\text{Iк}} = 0,5(200 + 150) = 175 \text{ °С}, \quad (9)$$

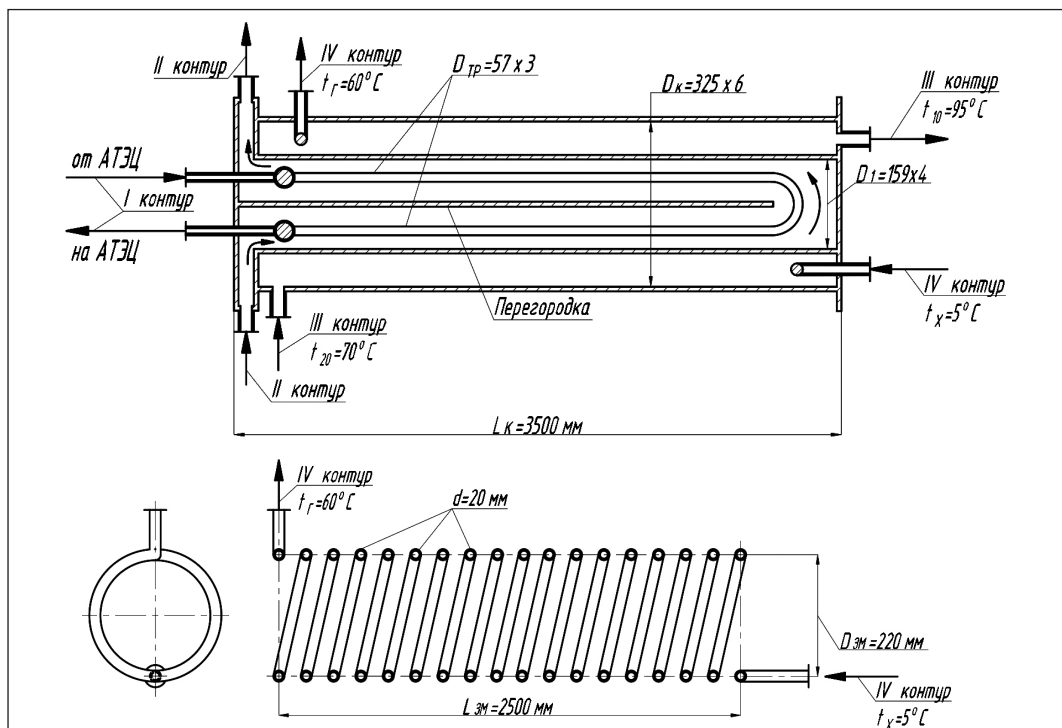


Рис. 2. Змеевик системы ГВ диаметром $d=20$ мм

Второй контур °C;

$$t_{cp}^{II} = 0,5(170 + 140) = 155 \text{ °C}, \quad (10)$$

Третий контур °C;

$$t_{cp}^{III} = 0,5(105 + 70) = 87,5 \text{ °C}, \quad (11)$$

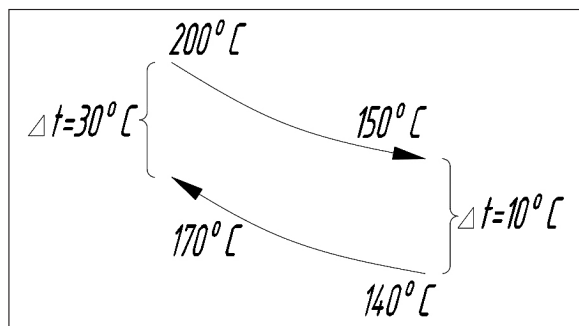
Четвертый контур °C.

$$t_{cp}^{IV} = 0,5(65 + 5) = 35 \text{ °C}, \quad (12)$$

В дальнейшем производится конструктивный расчет многоконтурного теплообменника, исходя из сортамента труб диаметрами D_1, D_2, D_3 , которые выпускаются нашей промышленностью, а также размеров ИТП, в котором будет размещен многоконтурный теплообменник [12].

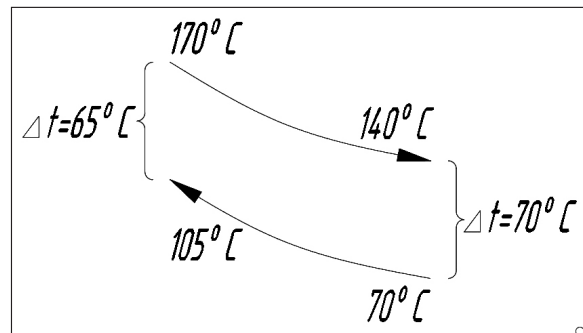
Среднегеометрическая разность температур для промежуточного контура

$$\Delta t_{cp}^{ПК} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2} = \frac{30 + 10}{2} = 20 \text{ °C}, \quad (13)$$



Среднегеометрическая разность температур между промежуточным теплоносителем и контуром системы отопления

$$\Delta t_{cp}^{III} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2} = \frac{65 + 70}{2} = 67,5 \text{ °C}, \quad (14)$$



Среднегеометрическая разность температур для контура горячего водоснабжения [13]

$$\Delta t_{cp}^{IVк} = \frac{65 + 40}{2} = 52,5 \text{ °C}, \quad (15)$$

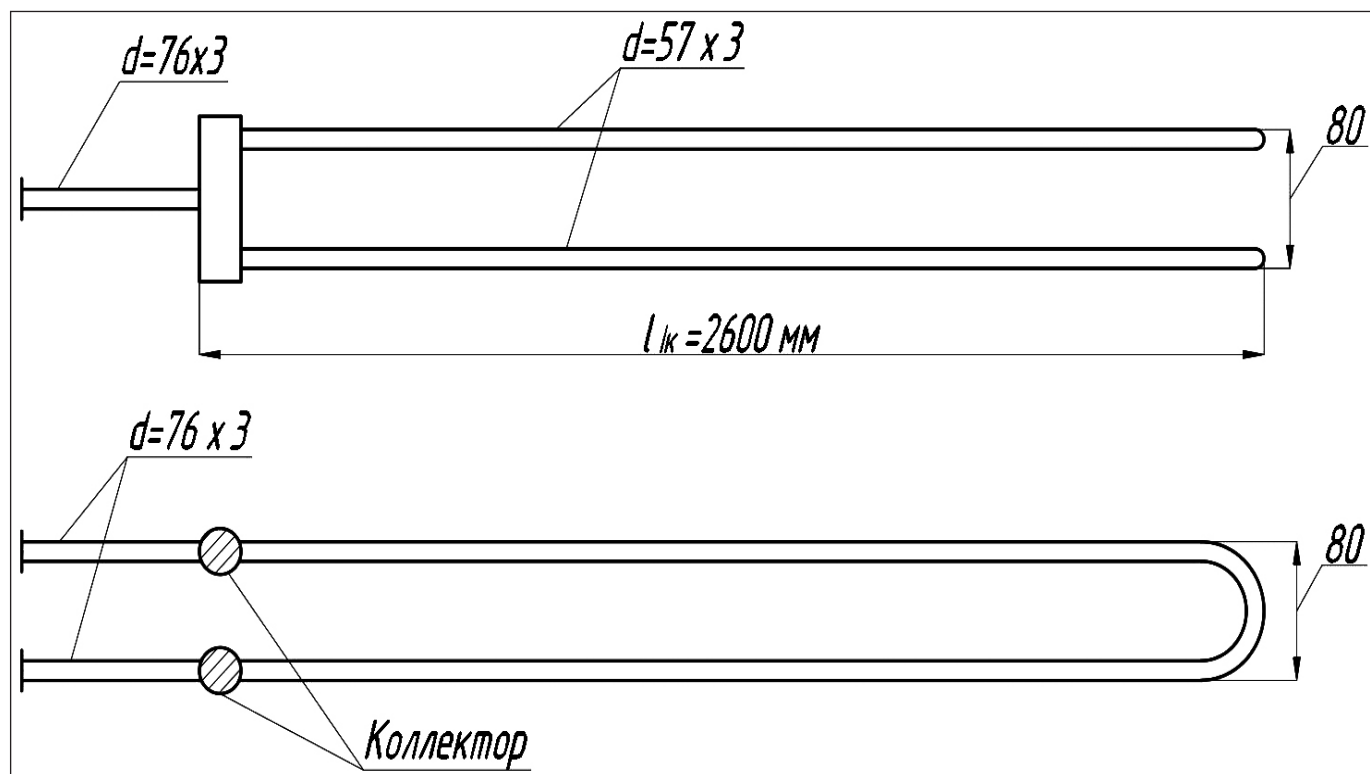
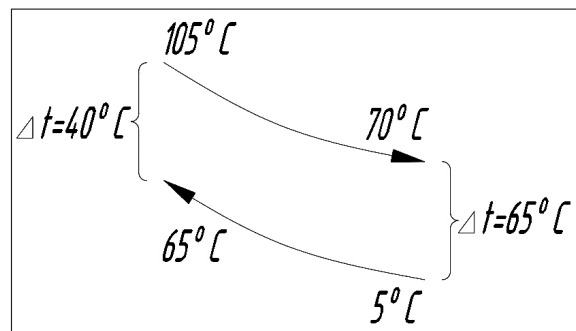


Рис. 3. План и разрез первого радиоактивного контура, размещенного в промежуточном контуре вторичного теплоносителя

Расход теплоносителя, который циркулирует в первом радиоактивном контуре, определяется из выражения, $G_{Iк}$, кг/с

$$G_{Iк} = \frac{Q_{\text{МТО}}^I}{c(\tau_1 - \tau_2)} = \frac{338\,744}{(200 - 150)4190} = 1,62 \text{ кг/с}, \quad (16)$$

Количество вторичного теплоносителя, циркулирующего в промежуточном контуре для уменьшения уровня радиации, $G_{\text{ПК}}^{IIк}$, кг/с

$$G_{\text{ПК}}^{IIк} = \frac{Q_o^{IIк}}{c(T_1^{II} - T_2^{II})} = \frac{307949}{4\,190(170 - 140)} = 2,45 \text{ кг}, \quad (17)$$

Расход теплоносителя, циркулирующего в системе отопления, $G_{\text{ПК}}^{IIIк}$, кг/с

$$G_{\text{ПК}}^{IIIк} = \frac{Q_o^{IIIк}}{c(T_{10} - T_{20})} = \frac{219276,2}{4\,190(105 - 70)} = 2,09 \text{ кг/с}, \quad (18)$$

В змеевике четвертого контура циркулирует вода, идущая на нужды горячего водоснабжения, нагреваемая водой системы отопления, $W_{\text{ГВ}}^{IV}$ кг/с

$$W_{\text{ГВ}}^{IV} = \frac{Q_{\text{ГВ}}^{IV}}{c(t_r - t_x)} = \frac{77\,107}{4\,190(65 - 5)} = 0,31 \text{ кг/с}, \quad (19)$$

Теплообменные поверхности для нагрева теплоносителей каждого контура $F_I, F_{II}, F_{III}, F_{IV}$ определяются по выражениям, определенным из конструктивного расчета многоконтурного теплообменника [14], F ,

$$F_I = \pi \cdot D_1^\phi \cdot L_1 \cdot n_1 = 3,14 \cdot 0,057 \cdot 2,58 \cdot 4 = 1,85 \text{ м}^2, \quad (20)$$

$$F_{II} = \pi \cdot D_2 \cdot L_2 = 3,14 \cdot 0,159 \cdot 3,2 = 1,6 \text{ м}^2, \quad (21)$$

$$F_{III}^{3M} = \pi \cdot d_{3M} \cdot l_{\text{ВИТ}} \cdot z_{\text{ВИТ}} = 3,14 \cdot 0,002 \cdot 0,22 \cdot 3,14 \cdot 17 = 4,7 \text{ м}^2, \quad (22)$$

$$F_{IV} = \pi \cdot D_k \cdot L_k = 3,14 \cdot 0,325 \cdot 3,5 = 3,57 \text{ м}^2, \quad (23)$$

Определив поверхности нагрева соответствующих контуров, согласно конструктивному расчёту многоконтурного теплообменного аппарата, переходим к определению коэффициентов теплопередачи, $K_I, K_{II}, K_{III}, K_{\text{общ}}^{\text{МТО}}$, $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{C}}\right)$, [15].

Коэффициент теплопередачи через теплообменную поверхность первого контура от АТЭЦ промежуточному теплоносителю для уменьшения радиационной безопасности, K_I , $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{C}$

$$K_I = \frac{Q_{\text{МТО}}^I}{\Delta t_{\text{ср}}^I \cdot F_I} = \frac{338\,744}{20 \cdot 1,85} = 9\,155,23 = 9\,155,24 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{C} \quad (24)$$

Коэффициент теплопередачи от промежуточного теплоносителя второго контура через разделяющую стенку системе отопления

$$K_{II} = \frac{Q_{\text{ПК}}^{II}}{\Delta t_{\text{ср}}^{II} \cdot F_{II}} = \frac{307\,949}{67,5 \cdot 1,6} = 2851,38 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{C}, \quad (25)$$

Коэффициент теплопередачи от контура системы отопления змеевику системы горячего водоснабжения

$$K_{III} = \frac{Q_{\text{МТО}}^{III}}{F_{III} \cdot \Delta t_{\text{ср}}^{IV}} = \frac{219\,276}{4,7 \cdot 52,5} = 888,66 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{C}, \quad (26)$$

Общий коэффициент теплопередачи для многоконтурного теплообменника запишется из выражения

$$K_{\text{общ}}^{\text{МТО}} = \frac{K_I \cdot F_I + K_{II} \cdot F_{II} + K_{III} \cdot F_{III}}{F_I + F_{II} + F_{III}} = \frac{9\,155,24 \cdot 1,85 + 2\,851,28 \cdot 1,6 + 888,66 \cdot 4,7}{1,85 + 1,6 + 4,7} = 3\,150,27 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{C} \quad (27)$$

Конструктивный расчет многоконтурного теплообменника состоит в том, что необходимо подобрать теплообменные поверхности, таким образом, чтобы коэффициенты теплопередачи были в пределах $K = 1500 \dots 2500 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{C}$.

Обобщенную теплопроизводительность многоконтурного теплообменника для ПАУ можно записать в виде уравнения, Вт [16]

$$Q_{\text{ПАУ}}^{\text{МТО}} = K_{\text{ПАУ}}^{\text{МТО}} (F_I + F_{II} + F_{III}) \cdot \Delta t_{\text{ср}}^{\text{ПАУ}} = 3\,150,27(1,85 + 1,6 + 4,7) \cdot 46,67 = 1\,198\,135 \text{ Вт} = 1\,198 \text{ кВт} \quad (28)$$

Среднеарифметическая разность температур конструкции ПАУ для трех теплообменных контуров, $^{\circ}\text{C}$

$$\Delta t_{\text{ср}}^{\text{ПАУ}} = \frac{\Delta t_{\text{ср}}^{\text{ПК}} + \Delta t_{\text{ср}}^{\text{III}} + \Delta t_{\text{ср}}^{\text{IV}}}{3} = \frac{20 + 67,5 + 52,5}{3} = 46,67^{\circ}\text{C}, \quad (29)$$

Объем аккумулирующей емкости можно рассчитать по формуле

$$V_{\text{БД}} = \frac{m \cdot a}{12} = \frac{221 \cdot 120}{12} = 2\,210 \text{ л} = 2,21 \text{ м}^3, \quad (30)$$

ВЫВОД

Наличие аккумулирующей емкости в ПАУ с многоконтурным теплообменником позволит сгладить пиковые нагрузки на графике суточного теплотребления в системе горячего водоснабжения, а расположение теплообменника внутри бака-аккумулятора позволит поддерживать расчетную температуру горячей воды (ϵC даже при снижении водоразбора на горячее водоснабжение в ночное время суток.

Список литературы

1. Кирпичникова, И. М. Повышение качества регулирования систем отопления / И. М. Кирпичникова, Е. Л. Файда, А. Ю. Усков, Т. Ю. Никонова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – Челябинск: Энергетика, 2012. – №37. – С. 87 – 89.
2. Олексюк, А. А. Математическая модель расчета теплообменников змеевикового типа для независимых систем отопления и горячего водоснабжения / А. А. Олексюк, И. Г. Штикова, А. А. Горделюк // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры

- «Инженерные системы и техногенная безопасность». — Макеевка: Изд-во ДонНАСА, 2012. — Вып. 2 (94). С. 70-75.
3. Солонин, В. И. Моделирование теплообмена в змеевиковом теплообменнике применительно к реакторной установке «УНИТЕРМ» [Текст] / В. И. Солонин, А. А. Сатин // Наука и Образование / МГТУ им. Н. Э. Баумана. — М.: Сетевое научное издание, 2014. — № 10. — С. 398–412.
 4. Бережная, О. К. Моделирование теплогидравлических процессов и разработка методики обобщения данных по эффективным теплообменникам [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Московский гос. техн. ун-т. — М., 2005. — 166 с.
 5. Wang, L. Plate heat exchangers: design, applications and performance [Text] / L. Wang, B. Sunden, R. M. Manglik. — Great Britain: WIT Press, 2007. — 288 p.
 6. Олексюк, А. А. Конструктивный расчет теплообменника змеевикового типа для систем отопления и горячего водоснабжения / А. А. Олексюк, И. Г. Шитикова, А. А. Горделюк // Журнал «Современное промышленное и гражданское строительство». — Макеевка: Изд-во ДонНАСА, 2012. — Т. 8. № 1. С. 37-44.
 7. Олексюк, А. А. Оценка работы системы теплоснабжения от индивидуальных тепловых пунктов с подогревательно-аккумуляторными установками / А. А. Олексюк, И. Г. Шитикова, Н. В. Долгов // Вести Автомобильно-дорожного института. — 2013. — №1. — С. 146 – 155.
 8. Олексюк, А. А. Теплообменные процессы, протекающие между теплоносителем и нагреваемой водой в ПАУ с трехконтурным теплообменником на ИТП / А. А. Олексюк // Современные проблемы строительства. — Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект, ООО «Лебедь», 2000. — Т 1. — С. 110 – 115.
 9. Олексюк, А. А. Оценка эффективности работы систем теплоснабжения от ИТП с ПАУ при помощи термодинамического и эксергетического анализа / А. А. Олексюк // Современные проблемы строительства: Ежег. науч. техн. сб. — Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект, ООО «Лебедь», 2002. — Т 2. — С. 158 – 163.
 10. Олексюк, А. А. Моделирование теплообмена в теплообменнике змеевикового типа для независимых систем отопления и горячего водоснабжения / А. А. Олексюк, И. Г. Шитикова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. — 2014. — № 5. — С. 68-72.
 11. Олексюк, А. А. Теоретические исследования теплообменных процессов, протекающих в многоконтурных змеевиковых теплообменных аппаратах / А. А. Олексюк, И. Г. Шитикова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. — 2013. — №. 5. — С. 47-51.
 12. Долгов, Н. В. Автоматизация ИТП с многоконтурным теплообменником / Н. В. Долгов, А. А. Олексюк // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. — 2014. — №. 3. — С. 20-24.
 13. Олексюк, А. А. Теплоснабжение зданий с помощью ИТП с трехконтурным теплообменником при подземном строительстве / А. А. Олексюк, А. А. Русакова, Е. А. Русакова // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. — 2016. — №. 5. — С. 66-71.
 14. Олексюк, А. А. Теплоснабжение зданий с использованием теплоносителя от АТЭЦ / А. А. Олексюк, А. А. Русакова, Е. А. Русакова // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. — 2017. — №. 5. — С. 110-114.
 15. Долгов, Н. В. Математическая модель потокораспределения в индивидуальном тепловом пункте с многоконтурным теплообменным аппаратом (МТА) // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. — 2014. — №. 5. — С. 40-47.
 16. Олексюк, А. А. Установки с независимым присоединением систем отопления и горячего водоснабжения через трехконтурные теплообменники и выбор их оптимальных параметров // Современное промышленное и гражданское строительство. — 2011. — Т. 7. — №. 1. — С. 43-50.