

ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ И РЕЖИМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

Будем рассматривать отапливаемое здание как некую термодинамическую систему, представляющую собой замкнутое пространство, заполненное воздухом и отделяемое от окружающей среды ограждающими конструкциями. Однако, несмотря на ограждающие конструкции, здание находится в непрерывном взаимодействии с окружающей средой.

Рассматриваемая термодинамическая система является открытой, так как осуществляется постоянный воздухообмен между атмосферным воздухом и воздухом, заполняющим помещения здания.

$$Q_{от} = q_o \cdot V_{зд} \cdot (t_{вр} - t_n) \quad (1)$$

q_o - удельная теплотеря или отопительная характеристика здания (потеря теплоты теплопередачей через наружные ограждения при разности внутренней и наружной температуры в 1 °С, отнесенная к 1 м³ наружного объема здания, Вт/м³·°С) принимается по справочной литературе;

Для проведения анализа режимов отопления зданий требуемую отопительную нагрузку представим в виде суммы двух слагаемых:

$$Q_{\text{от}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{инф}}$$

Величину тепловых потерь через ограждающие конструкции $Q_{\text{огр}}$ рассчитывают по уравнению теплопередачи через плоскую многослойную стенку, предполагая наличие одномерного стационарного теплового потока.

$$Q_{\text{огр}} = k \cdot F \cdot \psi \cdot \Delta T = \frac{F \cdot \psi \cdot \Delta T}{R},$$

ψ – поправочный коэффициент на расчетную разность температур для верхнего и нижнего горизонтальных ограждений. Принимается соответственно для стен и окон $\psi_{\text{ст}} = \psi_{\text{ок}} = 1,0$, для пола $\psi_{\text{пол}} = 0,6$ и для потолка $\psi_{\text{пот}} = 0,8$;

$R = \frac{1}{k}$ – суммарное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Сопротивление теплопередаче многослойных ограждающих конструкций складывается из суммы сопротивлений теплопроводности всех слоев $\sum R_{\lambda}$ и сопротивлений теплоотдачи внутренней $R_{\text{в}}$ и наружной $R_{\text{н}}$ поверхности ограждения.

$$R = R_{\text{в}} + \sum R_{\lambda} + R_{\text{н}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}$$

$\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ – коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности ограждения;
 $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ – коэффициенты теплоотдачи наружной поверхности ограждения;
 $\frac{\delta}{\lambda}$ – сопротивление теплопроводности отдельного слоя ограждающей конструкции, $\text{м}^2\text{К/Вт}$;
 δ – толщина слоя стенки, м;
 λ – теплопроводность материала ограждающей конструкции, Вт/мК .

Нормируемой величиной, обеспечивающей требуемый приток свежего наружного воздуха в помещения жилого здания, является кратность воздухообмена - m . Расход воздуха, соответствующий нормативной кратности воздухообмена можно считать полезным расходом ($G_{\text{пол}}$), а теплоту, затрачиваемую на его нагревание, будем считать полезной теплотой здания $Q_{\text{пол}}$.

$$G_{\text{пол}} = V_{\text{взд}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot m,$$

$$Q_{\text{пол}} = G_{\text{пол}} \cdot c_{\text{р}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}),$$

где $V_{\text{взд}}$ – внутренний объем здания, м^3 ;

В общем виде расход наружного воздуха, проникающий в здание $G_{\text{инф}}$ можно представить в виде суммы полезного и избыточного расходов

$$G_{\text{инф}} = G_{\text{пол}} + G_{\text{изб}} .$$

Избыточная теплота определяется по уравнению

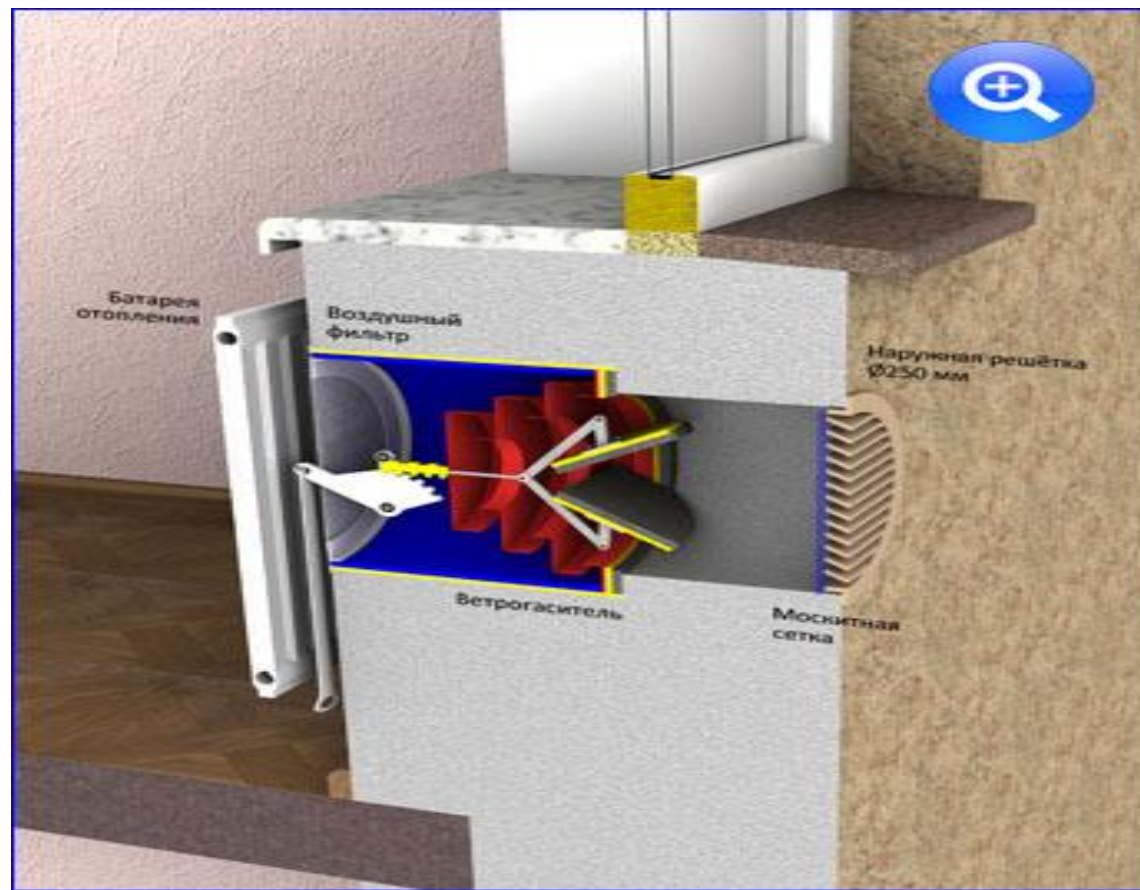
$$Q_{\text{изб}} = G_{\text{изб}} \cdot c_p \cdot (t_v - t_n) .$$

Таким образом, инфильтрационная составляющая отопительной нагрузки составит

$$Q_{\text{инф}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{изб}} .$$

В настоящее время в современном домостроении применяют строительные материалы и стеклопакеты с низкой воздухопроницаемостью, значительно снижающие поступление воздуха во внутренний объем зданий с естественной вентиляцией. При этом $G_{\text{инф}} < G_{\text{пол}}$.

В некоторой степени данная проблема решается путем установки под подоконником окна вентиляционных клапанов, обеспечивающих дозированное поступление воздуха в проветриваемое помещение. На рисунке представлен такой клапан.



Для зданий оборудованных приточно-вытяжными системами вентиляции с теплорекуператорами величина $Q_{\text{пол}}$ может быть определена по следующей формуле

$$Q_{\text{пол}} = (1 - k_p) V_{\text{вн}} \rho_{\text{в}} m C_p (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}),$$

где $k_p = \frac{Q_{\text{рек}}}{Q_{\text{инф}}}$ - степень теплорекуперации, определяющий процентное соотношение передаваемой в теплорекуператоре теплоты наружному воздуху;

$Q_{\text{рек}}$ - теплота передаваемая в теплорекуператоре воздуху, поступающему по приточной системе вентиляции во внутренний объем здания.

РФ до 1996г.	РФ после 1996 г.	США Москва с 2004 г.	Германия	Великобритания	Швеция
1,2	1,0	0,35	0,5		

Обращает на себя внимание тот факт, что при покрытии инфильтрационной нагрузки, воздух нагревается от $t_{\text{н}}$ до $t_{\text{в}}$.

Такое повышение температуры, при отсутствии утечек теплоты через ограждающие конструкции, обеспечивал бы необходимый температурный уровень в помещениях здания. Однако, для сохранения температуры на уровне $t_{\text{в}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ при наличии утечек теплоты через ограждающие конструкции, требуется дополнительный подвод теплоты к нагреваемому воздуху, при котором его температура повышается от $t_{\text{в}}$ до средней температуры отопительного прибора $t_{\text{прб}}$.

При температурах сетевой воды поступающей в отопительный прибор $t_{\text{пр}} = 90 - 95^{\circ}\text{C}$ и отводимой в обратную магистраль $t_{\text{обр}} = 70^{\circ}\text{C}$, средняя температура отопительного прибора составит $t_{\text{прб}} \approx 0,5(t_{\text{пр}} + t_{\text{обр}}) \approx 80^{\circ}\text{C}$.

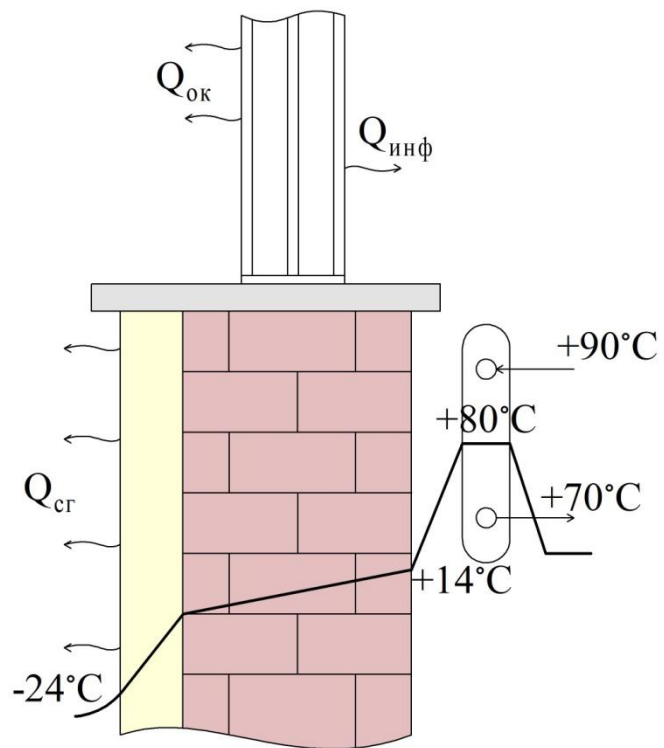
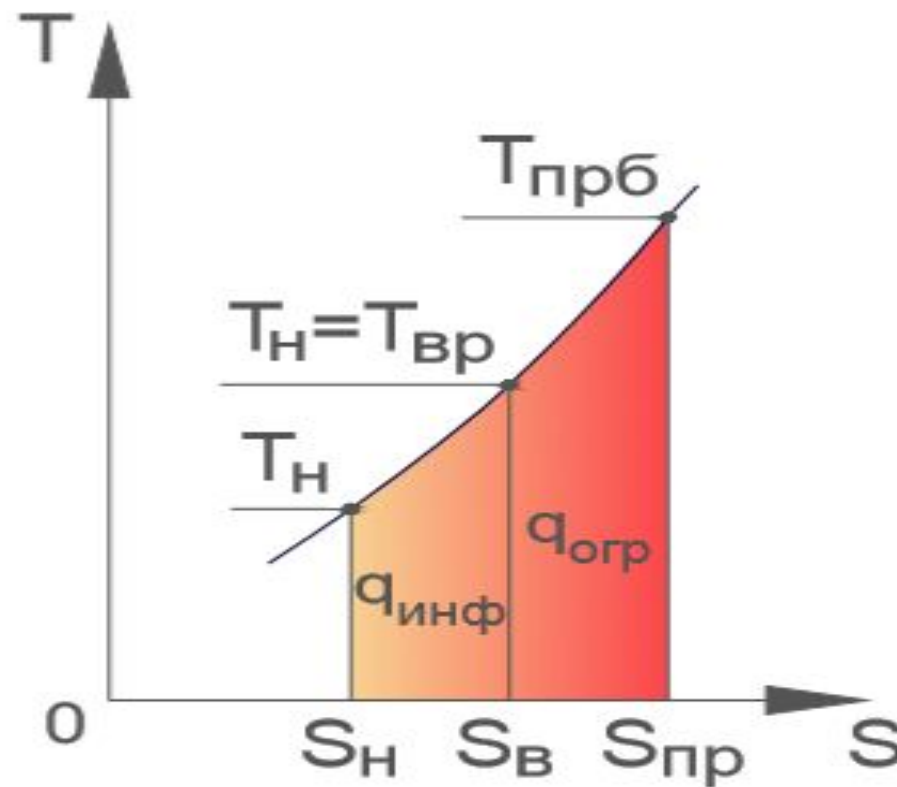


График изменения температуры воздуха и наружной стены



Процесс нагревания наружного воздуха в $T-S$ диаграмме

Количество внутреннего воздуха нагреваемого от температуры $T_{\text{в}}$ до температуры $T_{\text{прб}}$ с целью компенсации тепловых потерь через ограждающие конструкции $M_{\text{огр}}$ находится по величине $Q_{\text{огр}}$, рассчитываемой по уравнению (3.3)

$$M_{\text{огр}} = \frac{Q_{\text{огр}}}{c_p(T_{\text{прб}} - T_{\text{в}})} .$$

Суммарное количество тепловой энергии подводимой к нагреваемому воздуху и обеспечивающей отопительную нагрузку составит

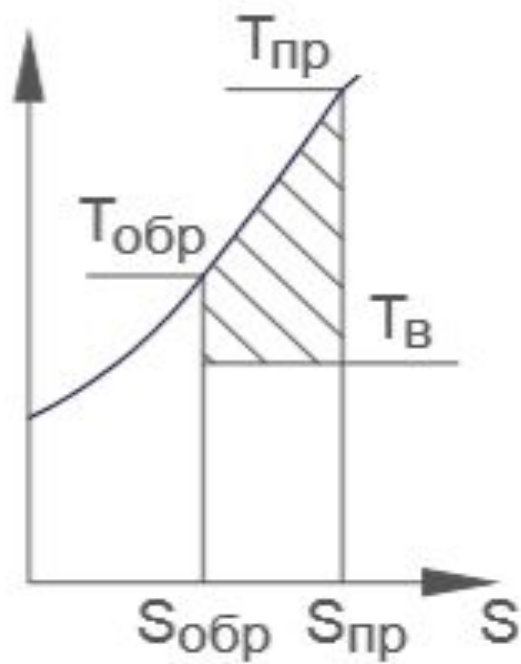
$$Q_{\text{от}} = Q_{\text{инф}} + Q_{\text{огр}} = M_{\text{инф}} c_p (T_{\text{в}} - T_{\text{н}}) + M_{\text{огр}} c_p (T_{\text{прб}} - T_{\text{в}}) .$$

Формулы для расчета тепловой работы, совершаемой сетевой водой при покрытии инфильтрационной части отопительной нагрузки и при покрытии тепловых потерь через ограждающие конструкции можно представить в следующем виде, принимая во внимание, что в первом случае в качестве температуры окружающей среды должна использоваться температура наружного воздуха T_H , а во втором случае – температура внутреннего воздуха T_B .

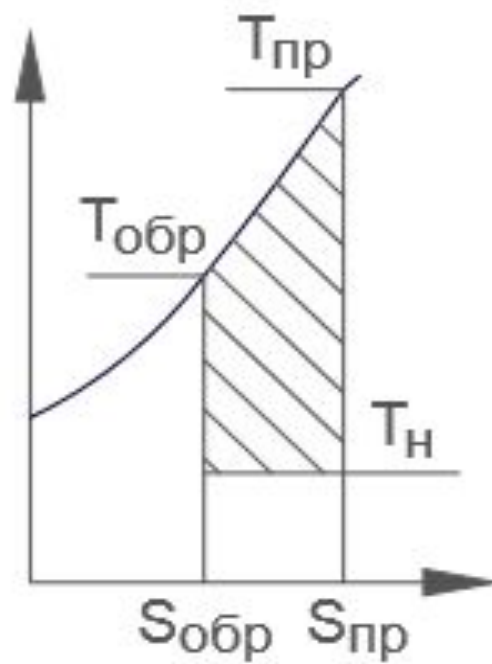
$$l_{\text{тр}}^{\text{инф}} = C_p(t_{\text{пр}} - t_{\text{обр}}) - T_H(S_{\text{пр}} - S_{\text{обр}}),$$

$$l_{\text{тр}}^{\text{огр}} = C_p(t_{\text{пр}} - t_{\text{обр}}) - T_B(S_{\text{пр}} - S_{\text{обр}}).$$

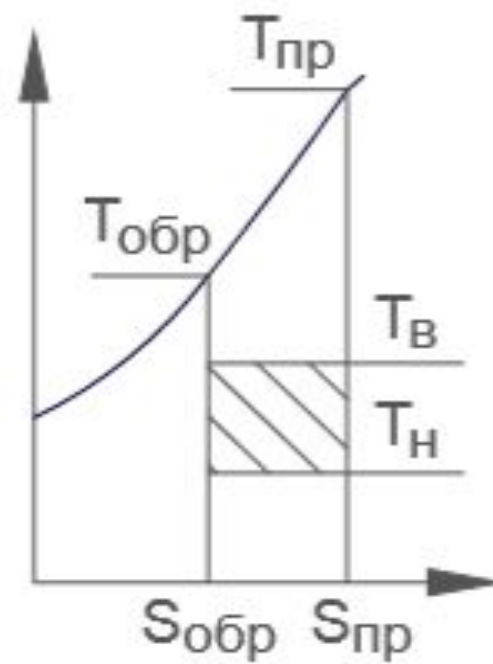
где $t_{\text{пр}}, t_{\text{обр}}$ - температура прямой и обратной сетевой воды;
 $S_{\text{пр}}, S_{\text{обр}}$ - энтропия прямой и обратной сетевой воды.



а.



б.



в.

а.- тепловая работа - $l_{\text{тр}}^{\text{огр}}$; б. – тепловая работа $l_{\text{тр}}^{\text{инф}}$; в. - $\Delta l_{\text{тр}} = l_{\text{тр}}^{\text{инф}} - l_{\text{тр}}^{\text{огр}}$

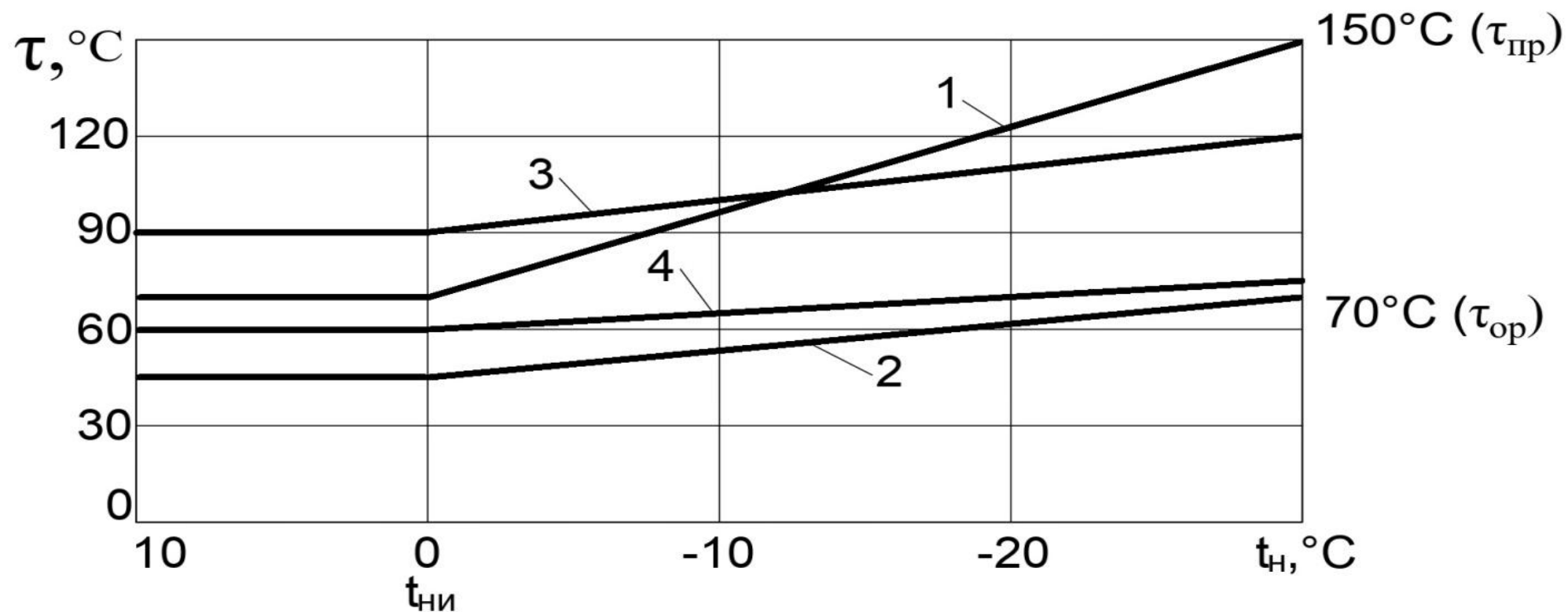
Температурный график сетевой воды для регулирования тепловой нагрузки

Наибольший интерес вызывают те способы регулирования, применение которых приведет к максимальной экономии топливных ресурсов. Такую экономию можно получить в системах централизованного теплоснабжения с центральным качественным регулированием, т.к. регулирование тепловой нагрузки в источнике теплоснабжения, т.е. при производстве теплоты достигается изменением расхода потребляемого топлива.

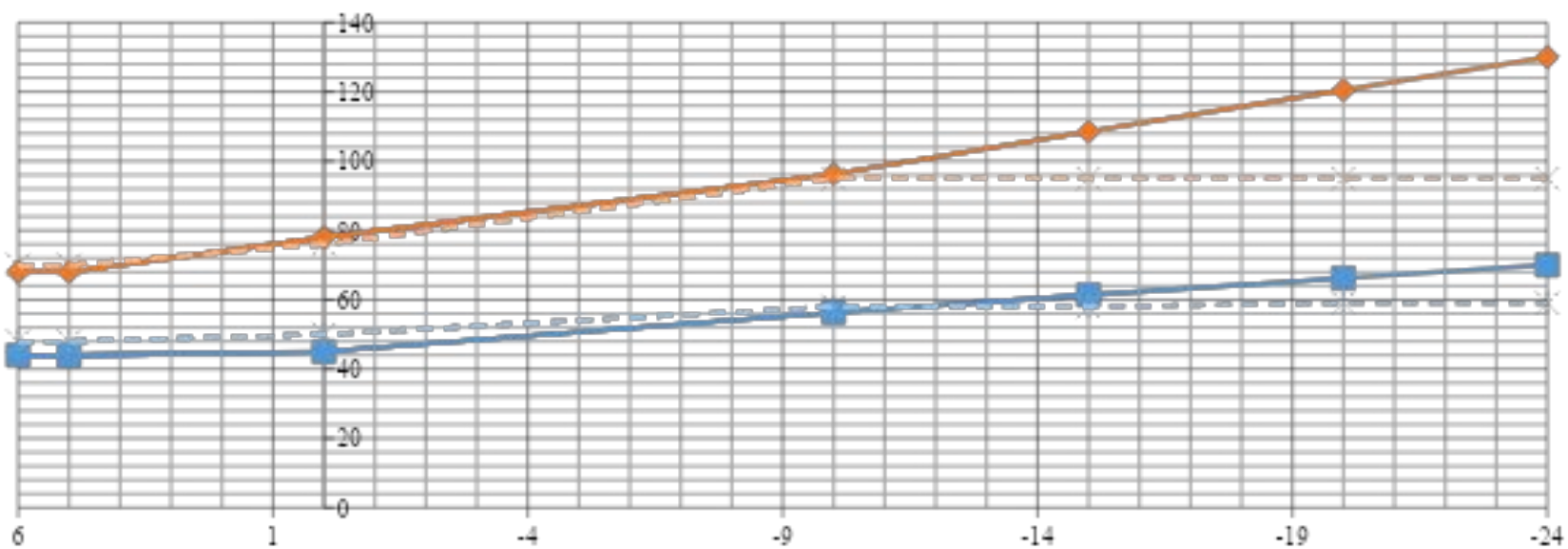
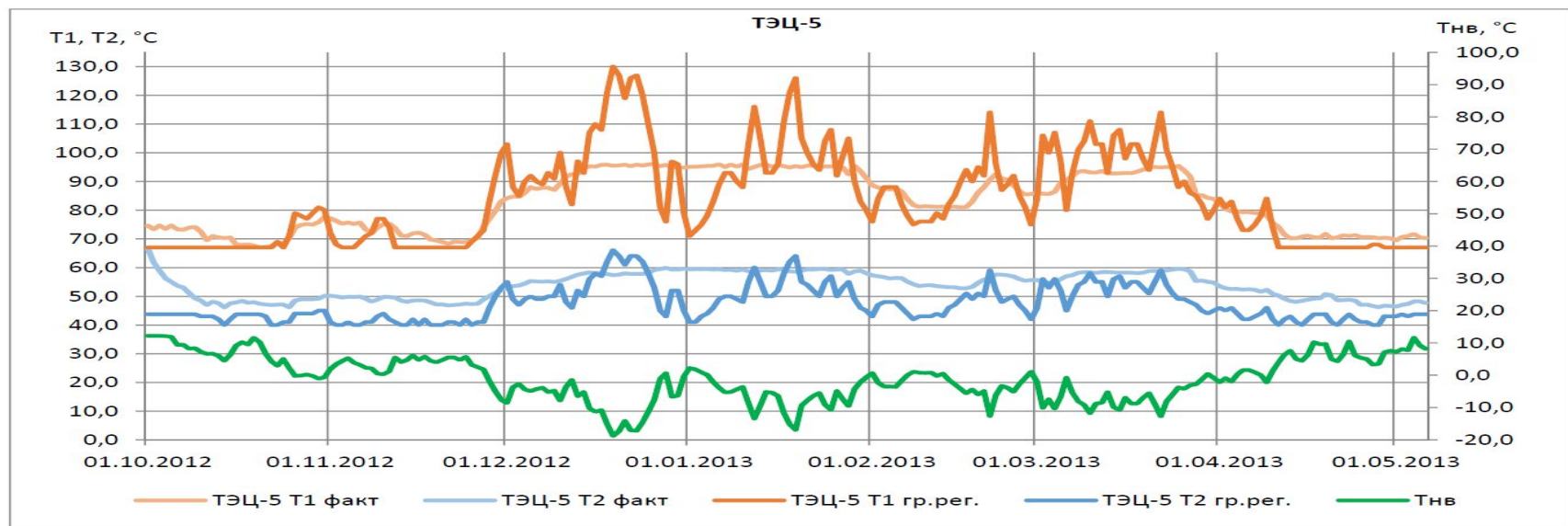
Регулирование тепловой нагрузки вне источника теплоснабжения, т.е. в ЦТП, ИТП и на отопительных приборах – это регулирование уже произведенной теплоты, потребление которой может быть только снижено относительно расчетной величины. Поэтому ограничение потребления тепловой энергии в системах отопления приведет к увеличению тепловых потерь в обратных трубопроводах.

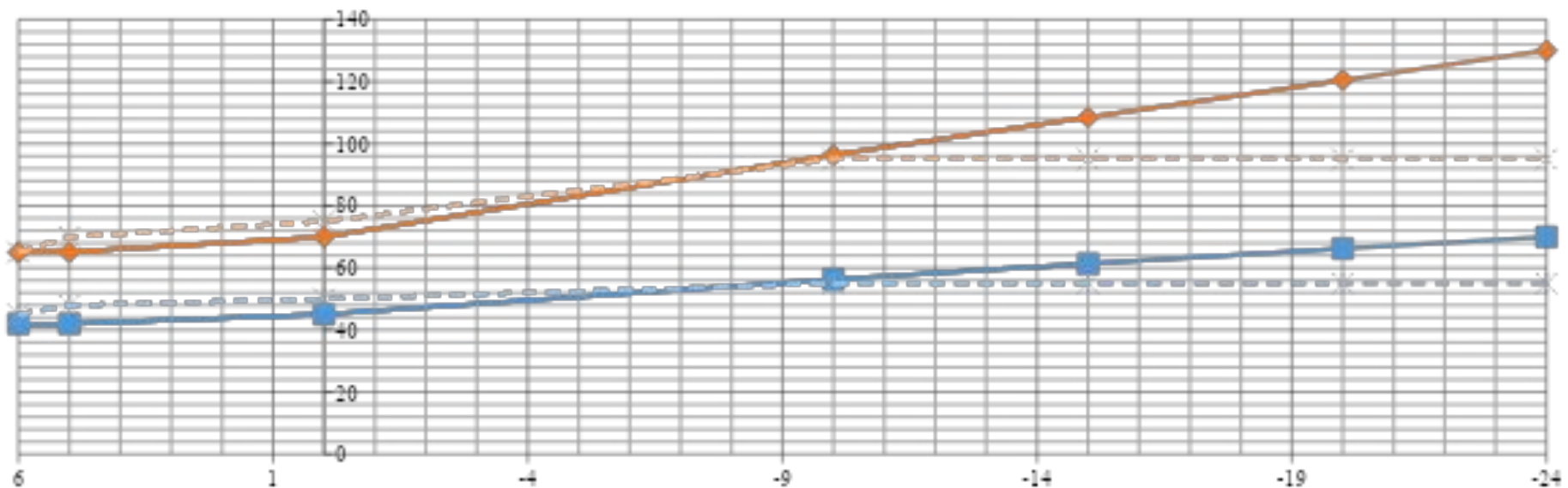
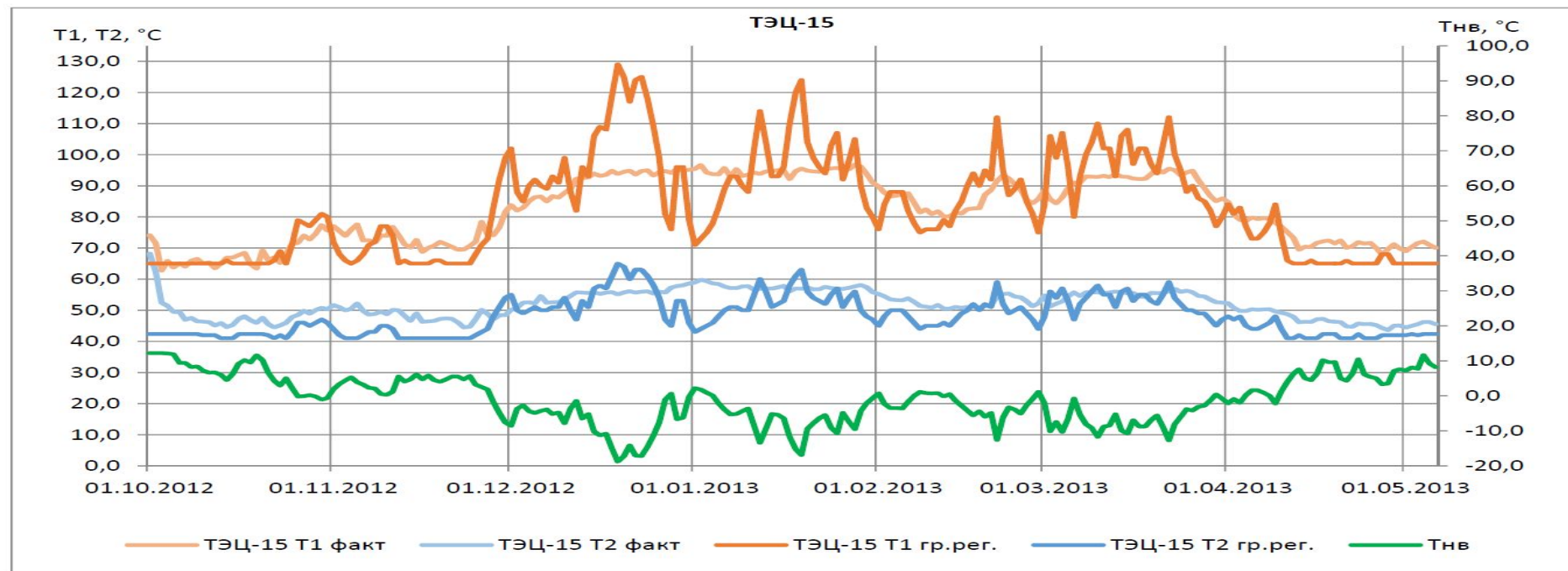
Для осуществления центрального качественного регулирования тепловой нагрузки на источнике теплоснабжения используется температурный график. Температурный график представляет зависимость температуры сетевой воды в прямом и обратном трубопроводах от температуры наружного воздуха.

Фактический и расчетный температурный график 150/70



1,2 – температура сетевой воды по графику 150/70;
3,4 – фактическая среднемесячная температура сетевой воды в подающем и обратном трубопроводе тепловой сети





Несовпадение температурных графиков можно объяснить несовершенством качественного регулирования тепловой нагрузки. При этом возникает вопрос о температурных режимах отапливаемых зданий при таком подводе теплоты.

Выделим три характерных режима отопления жилых зданий: первый -нормальный режим отопления; второй – режим недотапливания, при котором теплота в систему отопления поступает в недостаточном количестве; третий – режим перетапливания, при котором в систему отопления подводится теплота в избыточном количестве.

Представляет интерес сравнение режимов отопления двух жилых зданий, имеющих разный класс энергоэффективности, получающих тепловую энергию от единого источника при одинаковых температурах теплоносителя. Для сравнения воспользуемся балансовым уравнением подводимой теплоты, записанным в следующем виде

$$Q_{от} = Q_{огр} + Q_{инф} = G_{св}(\tau_{п} - \tau_{о}) \cdot c_p . \quad (*)$$

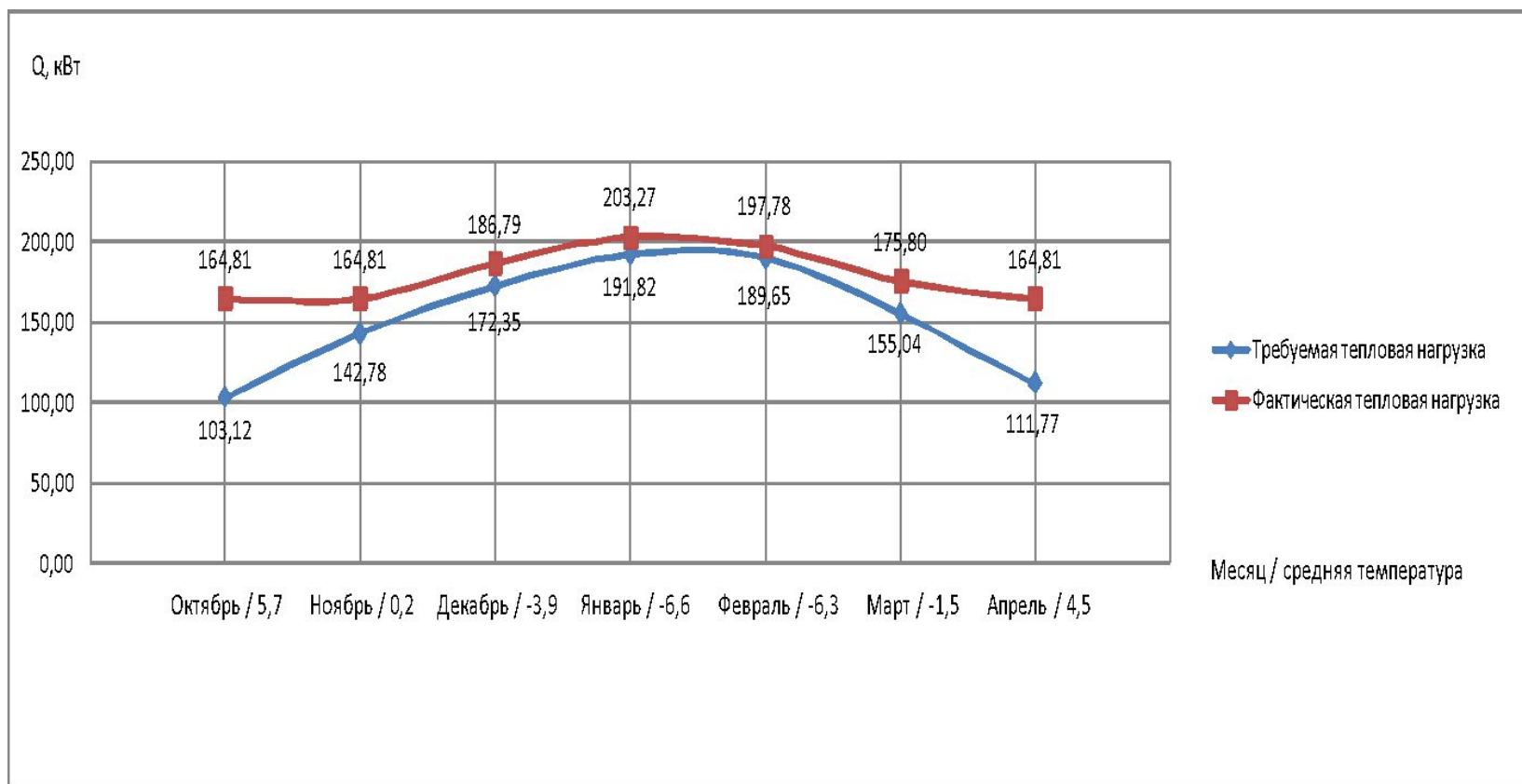
$$G_{св} = \frac{Q_{отр} + Q_{гвс}}{(\tau_{пр} - \tau_{ор}) \cdot c_p} .$$

Сравним **требуемое количество теплоты** для отопления типового жилого здания 780 годов постройки, имеющего следующие размеры: строительный объем 18028 м³, высота зданий 14,6 м, длина 100,84 м, ширина 12,25 м., рассчитываемое по уравнению (1) с фактически подводимой теплотой определяемой по уравнению (*)

Расчет уравнения (*) произведём при средних месячных температурах наружного воздуха за отопительный период для Санкт-Петербурга, принимаемых по справочнику «Строительная климатология и геофизика», представленных в таблице

Месяц	сент	окт	нояб	дек	янв	фев	март	апр	май
Санкт-Петербург	11,4	5,7	0,2	-3,9	-6,6	-6,3	-1,5	4,5	15,7

Графики зависимости требуемой и фактически подводимой тепловой энергии от средней температуры наружного воздуха по месяцам отопительного периода

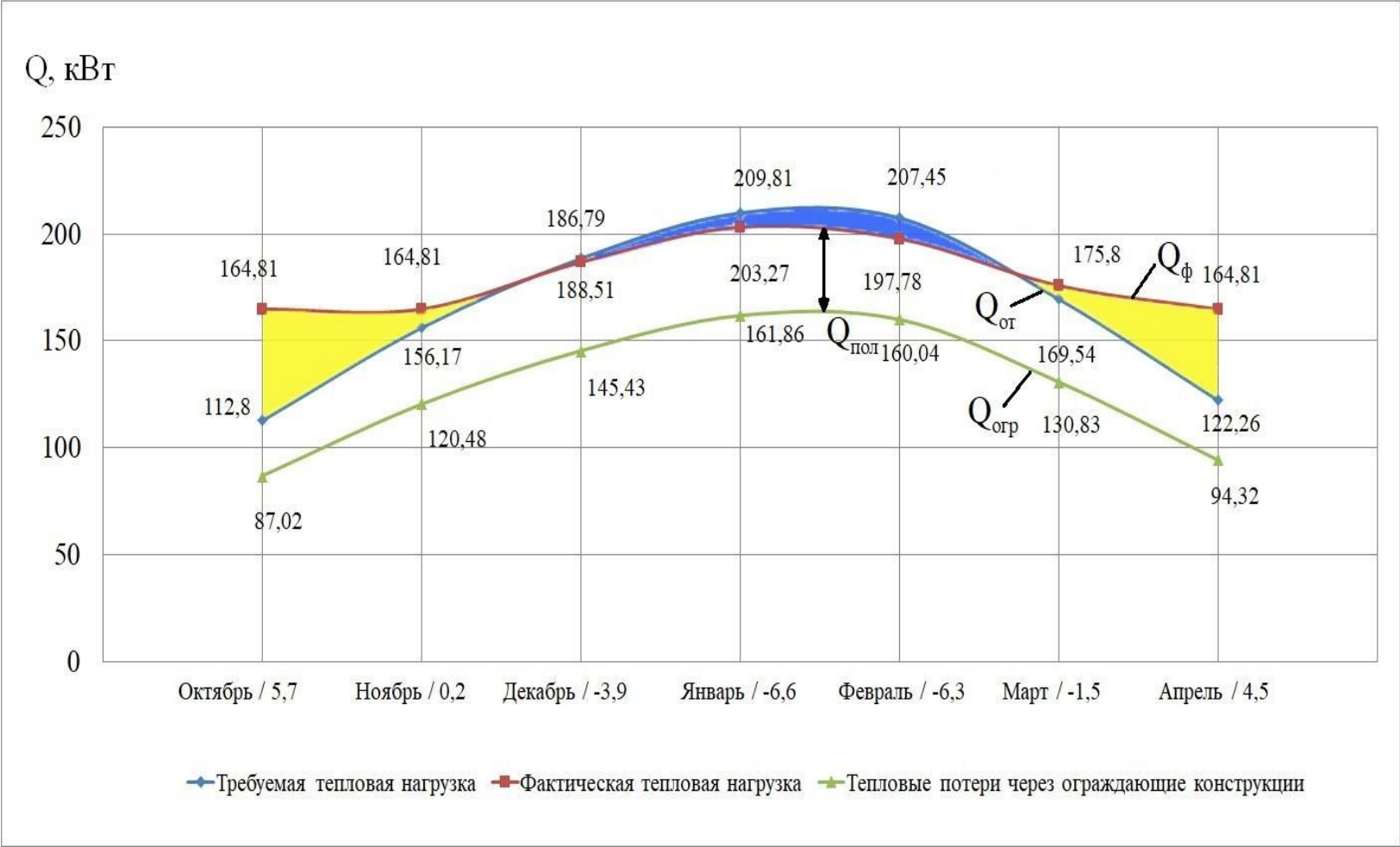


Представляет интерес сравнение режимов отопления двух жилых зданий, имеющих разный класс энергоэффективности, получающих тепловую энергию от единого источника при одинаковых температурах теплоносителя.

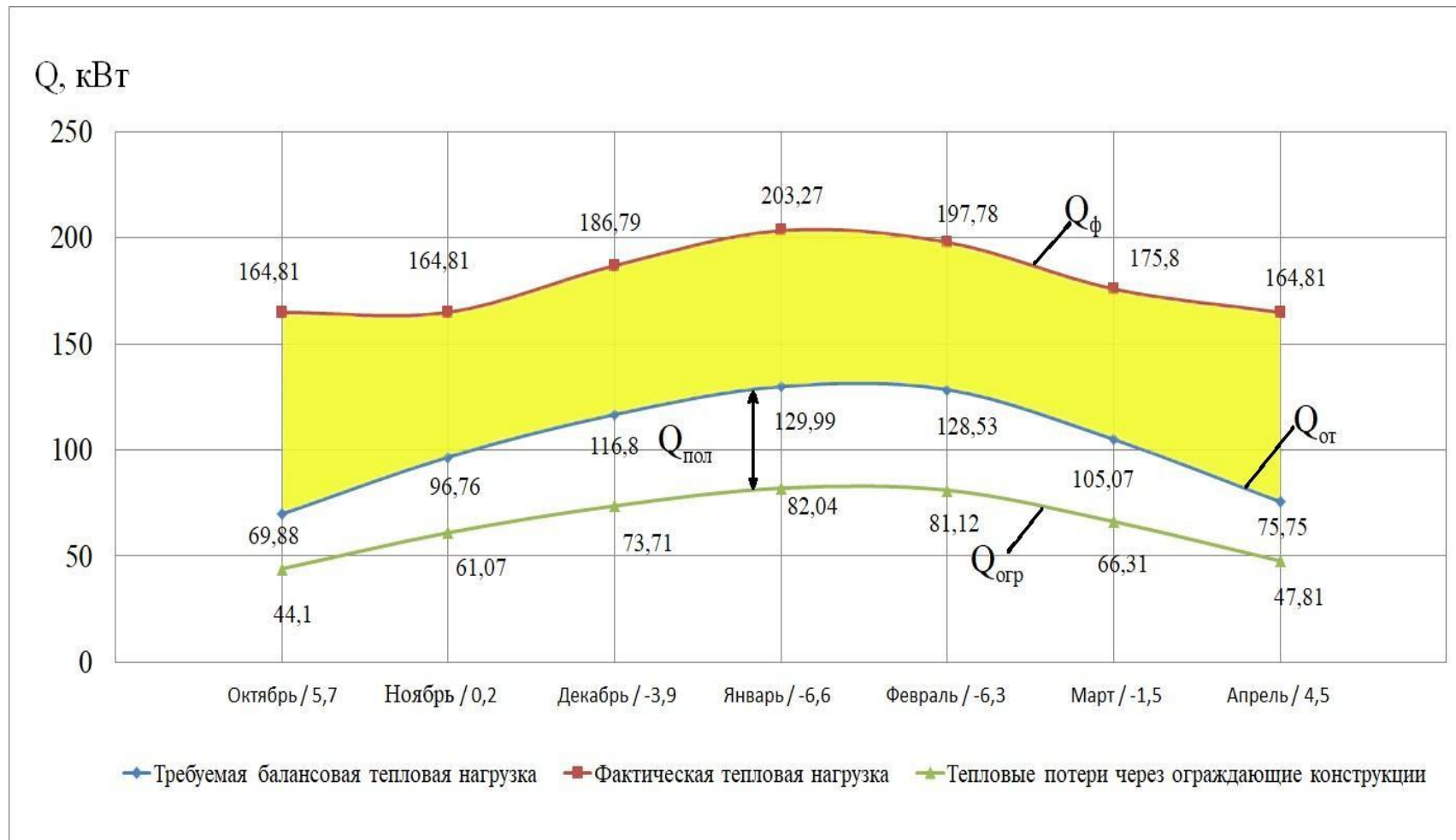
Типовые пятиэтажные жилые здания 79-80 годов постройки имеют строительный объем 18028 м^3 . Высота зданий $14,6 \text{ м}$, длина $100,84 \text{ м}$, ширина $12,25 \text{ м}$. Первое здание имеет ограждающие конструкции с исходными величинами сопротивлений теплопередачи: $R_{\text{ст}} = 0,977 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; $R_{\text{ок}} = 0,4 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; $R_{\text{пол}} = 1,027 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; $R_{\text{пот}} = 1,289 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Величины сопротивлений теплопередачи второго здания после фасадного утепления имеют следующие значения: $R_{\text{стн}} = 3,079 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; $R_{\text{окн}} = 0,44 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; $R_{\text{полн}} = 4,598 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; $R_{\text{потн}} = 4,058 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Совмещенные графики фактически подводимой теплоты Q_{ϕ} и требуемой тепловой нагрузки $Q_{от}$ в виде суммы $Q_{огр} + Q_{пол}$ в зависимости от средней температуры наружного воздуха за отопительный период для жилого неутепленного здания (с низкими величинами сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций)



Совмещенные графики подводимой и требуемой теплоты для отопления жилого здания с повышенными теплозащитными характеристиками наружных ограждающих конструкций



Вывод, который можно сделать по результатам анализа представленных материалов заключается в следующем: к системе централизованного теплоснабжения подключены жилые здания, потребляющие различное количество тепловой энергии. Обеспечить каждое здание необходимым количеством теплоты задача чрезвычайно сложная и трудновыполнимая. Практика проведения наладочных работ в системах централизованного теплоснабжения показывает, что первоочередной задачей теплоснабжающих организаций является обеспечение теплом наиболее удаленных от источника жилых домов с низкой энергетической эффективностью. С этой целью, как правило от источника отпускается повышенное количество тепловой энергии, что позволяет получить требуемый температурный режим воздушной среды в этих домах, однако такое решение приводит к режиму переотапливания в остальных жилых домах.

В последние годы в коммунальной энергетике широко внедряются автоматизированные ИТП, назначением которых является автоматическое регулирование тепловой энергии поступающей в системы отопления зданий, допускающие изменение в определенных пределах поступление теплоносителя к отопительным приборам. Однако, как можно видеть при таком регулировании нарушается главный принцип работы любой энергетической системы, а именно баланс между производством и потреблением энергии, поскольку речь идет о регулировании уже произведенной тепловой энергии, на производство которой в источнике уже затрачено топливо.