

УДК 697.132

*Д.В. КРАЙНОВ, инженер (dmitriy.kraynov@gmail.com) Р.А. САДЫКОВ, д-р техн. наук,  
Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

## Методика расчета энергетического эффекта от изменения температуры наружного или внутреннего воздуха

*Предлагаемая методика расчета энергетического эффекта от изменения температуры наружного или внутреннего воздуха позволяет обосновать эффективность применения систем теплоснабжения с автоматическим регулированием подачи теплоносителя и графиков поддерживаемой температуры внутреннего воздуха для зданий различного назначения и района строительства.*

**Ключевые слова:** энергетический эффект, температура воздуха, градусо-сутки отопительного периода.

Для создания энергоэффективных зданий необходимо правильно рассчитывать и следить за потреблением энергии на всех этапах: разработки концепции (эскиза), проектирования, строительства, экспертизы и эксплуатации. Согласно действующим нормативным документам (СП 60.13330.2012 СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха»), вновь проектируемые и реконструируемые здания и сооружения должны быть оснащены системами теплоснабжения с автоматическим регулированием температуры теплоносителя по температурному графику в зависимости от изменения температуры наружного воздуха. При этом уровень автоматизации и контроля систем выбирается в зависимости от технологических требований, экономической целесообразности и задания на проектирование. Поэтому особую роль приобретает необходимость правильного назначения поддерживаемых параметров микроклимата и управляющих закономерностей автоматизации.

(Казань) [1]. Отбор данных проводился по временному признаку – для периода с 1900 по 2010 г.

С помощью статистической обработки результатов наблюдений [2] получены регрессионные линейные модели изменения среднемесячной температуры наружного воздуха для каждого месяца в виде:

$$Y_i = B_0 + B_1 X_i, \quad (1)$$

где:  $X_i$  – независимая переменная (предиктор);  $Y_i$  – зависимая переменная (отклик);  $B_0$  и  $B_1$  – коэффициенты регрессии.

Параметры полученных регрессионных моделей сведены в табл. 1.

Анализ полученных результатов показал, что коэффициенты при независимой переменной (год выборки) имеют положительные значения для всех месяцев года, а также

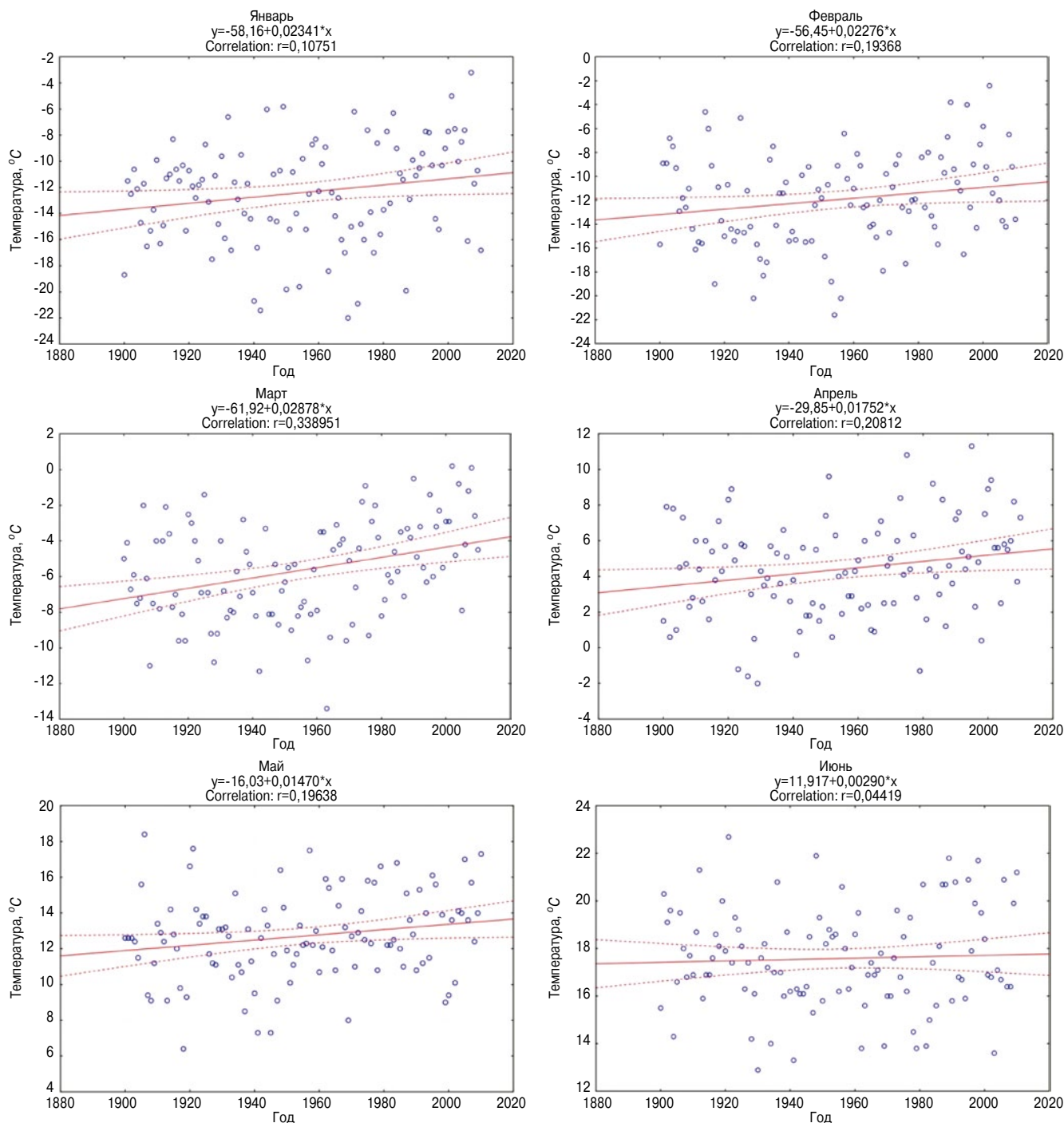
### Анализ многолетних климатических данных на примере Казани

Рассмотрим влияние температуры наружного воздуха. На этапе проектирования и определения энергопотребления здания используются расчетные нормативные значения температуры, в ходе эксплуатации и регулирования подачи теплоты – текущие. Однако проведенный анализ показывает необходимость ревизии расчетных климатических данных, представленных в СНиП 23-01-99\* «Строительная климатология».

Сравним нормативные данные, в частности среднемесячную температуру наружного воздуха, со специализированными массивами данных для климатических исследований Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД). Цифры получены из архива оперативных климатических наблюдений температуры приземного воздуха с метеорологической станции № 27595

Таблица 1

Месяц	Коэффициент свободного члена, $B_0$	Коэффициент при независимой переменной, $B_1$	Квадрат коэффициента множественной корреляции (детерминации), $R^2$
Январь	-58,158	0,023	0,039
Февраль	-56,453	0,023	0,038
Март	-61,916	0,029	0,115
Апрель	-29,855	0,018	0,043
Май	-16,031	0,015	0,039
Июнь	11,917	0,003	0,002
Июль	7,193	0,006	0,011
Август	14,061	0,002	0,001
Сентябрь	-4,566	0,008	0,02
Октябрь	-23,97	0,014	0,047
Ноябрь	-21,892	0,009	0,012
Декабрь	-58,011	0,025	0,052
Среднегодовое	-25,307	0,015	0,167

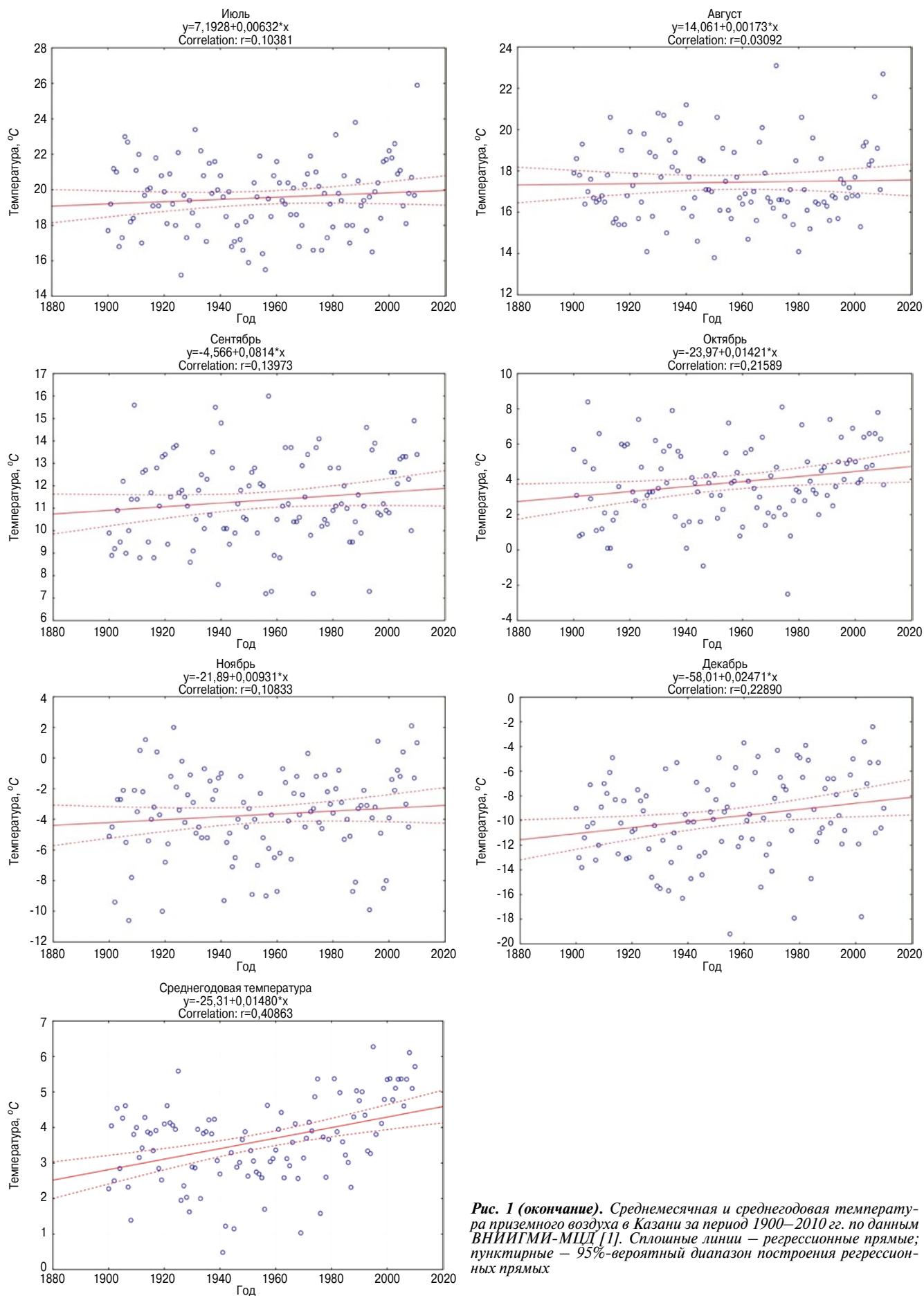


**Рис. 1 (начало).** Среднемесячные и среднегодовая температура приземного воздуха в Казани за период 1900–2010 гг. по данным ВНИИГМИ-МЦД [1]. Сплошные линии – регрессионные прямые; пунктирные – 95%-вероятный диапазон построения регрессионных прямых

для среднегодовой температуры воздуха. Соответственно найденные функции регрессии (температуры в течение времени) являются возрастающими (рис. 1). При этом интенсивности возрастания температуры (углы наклона прямых) неодинаковы для разных месяцев. Например, для июня и августа линия регрессии является практически горизонтальной (коэффициент  $B_1 \rightarrow 0$ ), что говорит о стабильности температуры за рассматриваемый период. Максимальные возрастания температуры получены для периода декабрь–март: декабрь –  $2,5^\circ\text{C}$  за 100 лет; январь, февраль –  $2,3^\circ\text{C}$  за 100 лет; март –  $2,9^\circ\text{C}$  за 100 лет.

Малые величины коэффициента детерминации ( $R^2$ ) для каждого месяца указывают на большой разброс ежегодных значений, что характерно для климатических данных.

На рис. 2 в виде прямоугольников выделен диапазон, в котором располагается 50% рассматриваемых значений температуры каждого ряда. Линия проходит через медианные значения для каждого месяца и показывает изменение температуры в течение года. Диапазон между минимальным и максимальным значениями среднемесячной температуры для рассматриваемого периода колеблется от  $9,3^\circ\text{C}$  (август) до  $19,2^\circ\text{C}$  (февраль).



**Рис. 1 (окончание).** Среднемесячная и среднегодовая температура приземного воздуха в Казани за период 1900–2010 гг. по данным ВНИИГМИ-МЦД [1]. Сплошные линии – регрессионные прямые; пунктирные – 95%-вероятный диапазон построения регрессионных прямых

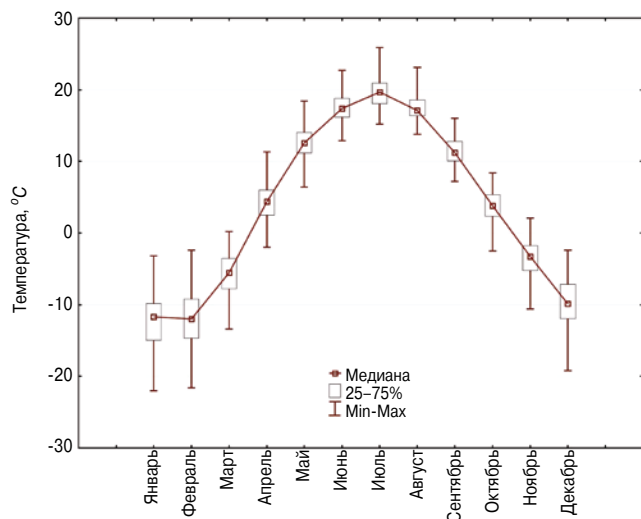


Рис. 2. Диапазоны среднемесячной температуры за период 1900–2010 гг. для каждого месяца

На рис. 1 можно наблюдать, что ориентировочно после 1980 г. среднемесячная температура для большинства месяцев выше среднего за период 1900–2010 гг. Соответственно для определения значения температуры, занесимой в СНиП, необходимо правильно выбрать периоды осреднения, для чего выделены следующие временные диапазоны:

- 1900–2010 гг. – весь период наблюдений (110 лет);
- 1900–1980 гг. – этот период характерен достаточно устойчивыми показателями теплового режима;
- 1981–2010 гг. – период наблюдений после 1980 г. (30 лет);
- 1961–1990 гг. – период осреднения по данным Гидрометцентра России [3] (30 лет) взят для сравнения данных;
- каждое десятилетие.

Проведенный расчет осреднения данных за каждое десятилетие рассматриваемого периода (рис. 3), а также другие выбранные более длительные сроки позволил установить, что температура в зимние и осенне-весенние

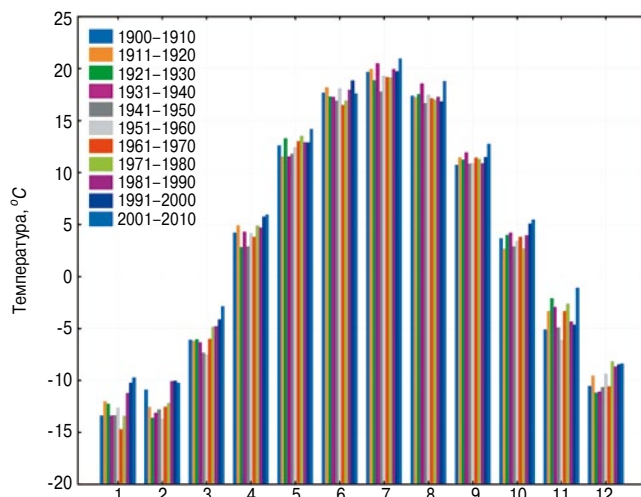


Рис. 3. Среднемесячная температура воздуха за десятилетия для Казани (период 1900–2010 гг.)

месяцы за последние тридцать лет возрастает, что согласуется с результатами выполненного корреляционно-регрессионного анализа, а также с данными других исследований [4–5]. Определено, что данные ВНИИГМИ-МЦД [1] с периодом осреднения 1900–1980 гг. с точностью, не превышающей 1,5%, совпадают с данными СНиП 23.01.99\*, что говорит о достоверности используемых данных и об устаревшей климатической информации, занесенной в нормативный документ. Превышение фактической среднемесячной температуры для зимних месяцев над нормативной (СНиП 23.01.99\*) составляет: за последнее десятилетие (2000–2010 гг.) от 2,2 до 4,9°C, за последние три десятилетия – от 2 до 3,4°C. Период осреднения 30 лет является статистически наиболее представительным для климатического ряда среднемесячных температур [6–8].

### Методика расчета энергетического эффекта от изменения температуры наружного или внутреннего воздуха

Уточнение расчетных нормативных климатических условий, а также регулирование подачи теплоты в зависимости от изменения температуры наружного воздуха приводят к изменению величины необходимой энергии на отопление здания. Для расчета указанного энергетического эффекта введем величину  $\Delta t_{н}$ , характеризующую либо уточнение расчетных (нормативных) значений, либо изменение температуры наружного воздуха в течение рассматриваемого периода (часа, суток, недели, месяца). Также введем величину  $\Delta t_{в}$ , характеризующую возможность изменения поддерживаемой температуры воздуха в помещении. Последнее технически возможно осуществить при наличии систем климат-контроля. Величины  $\Delta t_{н}$  и  $\Delta t_{в}$  могут быть как положительными, так и отрицательными.

Количество теплоты на отопление (теплотери через ограждающие конструкции) за рассматриваемый период времени (час, сутки, неделя, месяц), кВт·ч/период, определяется по формуле:

$$Q = 0,024 \cdot (t_{в} - t_{н.ср}) \cdot z \cdot \sum_i \left( \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{пп}} \right), \quad (2)$$

а с учетом изменившихся температур наружного или внутреннего воздуха – по формуле:

$$Q^* = 0,024 \cdot ((t_{в} + \Delta t_{в}) - (t_{н.ср} + \Delta t_{н})) \cdot z \cdot \sum_i \left( \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{пп}} \right), \quad (3)$$

где  $t_{в}$  – температура внутреннего воздуха, °C;  $t_{н.ср}$  – средняя температура наружного воздуха рассматриваемого периода, °C;  $z$  – продолжительность рассматриваемого периода, сут/период;  $A_{\phi,i}$  – площадь  $i$ -го фрагмента ограждающей конструкции здания, м<sup>2</sup>;  $R_{o,i}^{пп}$  – приведенное сопротивление теплопередаче  $i$ -го фрагмента ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>·°C/Вт.

Градусо-сутки рассматриваемого периода отопления с учетом изменившихся температур внутреннего и наружного воздуха, (°C·сут)/период, можно определить по формуле:

$$\text{ГСОП}^* = (t_{в} - t_{н.ср}) \cdot z + (\Delta t_{в} - \Delta t_{н}) \cdot z = \text{ГСОП} + \Delta \text{ГСОП}, \quad (4)$$

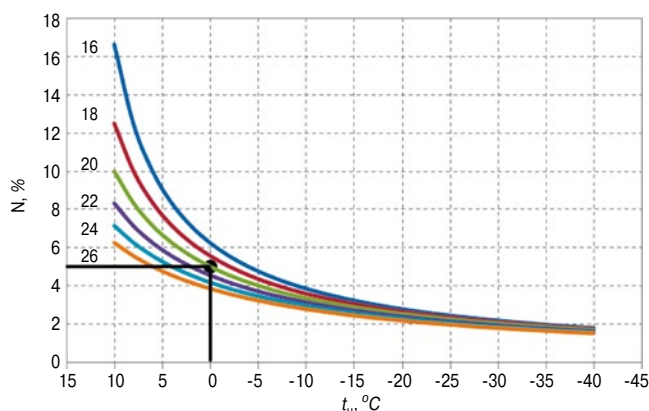


Рис. 4. Зависимость  $N(t_n)$  для различных  $t_b$  при  $\Delta t_n = 1^\circ\text{C}$  и  $\Delta t_n = 0^\circ\text{C}$

где ГСОП – расчетные градусо-сутки рассматриваемого периода отопления, ( $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$ )/период;  $\Delta\text{ГСОП}$  – градусо-сутки, вызванные изменением температуры внутреннего и наружного воздуха в течение рассматриваемого периода отопления, ( $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$ )/период.

Отношения величин энергопотребления за рассматриваемый период времени без учета и с учетом изменений температуры внутреннего и наружного воздуха будет равно:

$$\frac{Q}{Q^*} = \frac{\text{ГСОП}}{\text{ГСОП}^*} = \frac{\text{ГСОП}}{\text{ГСОП} + \Delta\text{ГСОП}}, \quad (5)$$

или

$$Q^* = Q \cdot (1 + N), \quad (6)$$

где  $N$  – энергетический эффект от изменения температуры наружного или внутреннего воздуха, д. ед., определяемый по формуле:

$$N = \frac{\Delta\text{ГСОП}}{\text{ГСОП}} = \frac{\Delta t_b - \Delta t_n}{t_b - t_{n,\text{cp}}}. \quad (7)$$

Из отношения (7) видно, что величина  $N$  не зависит от продолжительности рассматриваемого периода;  $N$  зависит от назначения помещения или здания ( $t_b$ ), от средней (или

текущей) температуры наружного воздуха ( $t_{n,\text{cp}}$ ), а также от величины изменения температуры внутреннего и наружного воздуха. Для простоты восприятия удобно величину  $N$  выражать в процентах.

### Пример расчета энергетического эффекта от изменения температуры наружного или внутреннего воздуха

Из выражения (7) видно, что величина получаемого энергетического эффекта определяется в четырехмерном пространстве. Приведем один из возможных анализов.

Рассмотрим зависимость  $N(t_n)$  для различных  $t_b$  при  $\Delta t_n = 1^\circ\text{C}$  и  $\Delta t_n = 0^\circ\text{C}$  (температура внутреннего воздуха постоянна) (рис. 4).

Рис. 4 показывает, что энергетический эффект от изменения температуры наружного воздуха на  $1^\circ\text{C}$  больше при более высокой температуре наружного воздуха. Особенно это характерно для промежутка от  $-15^\circ\text{C}$  до  $+10^\circ\text{C}$ .

Для зданий различного назначения получается разный энергетический эффект. При этом он будет больше для тех зданий, где поддерживается более низкая температура воздуха (склады, производственные помещения). Следовательно, для таких зданий особо эффективно применение систем теплоснабжения с автоматическим регулированием параметров теплоносителя в зависимости от изменения температуры наружного воздуха. Однако при пониженных значениях  $t_n$  (ниже  $-20^\circ\text{C}$ ) энергетический эффект становится мал (менее 3%) и практически не зависит от  $t_b$ .

При изменении температуры наружного воздуха не на  $1^\circ$ , а на  $3\text{--}5^\circ\text{C}$ , получим эффект, в  $3\text{--}5$  раз больший (или меньший). Например, для жилого здания ( $t_b = 20^\circ\text{C}$ ) при  $t_n = 0^\circ\text{C}$  изменение температуры наружного воздуха на каждый градус приводит к изменению теплового потока на 5% (рис. 4). Соответственно изменение  $t_n$  на  $5^\circ\text{C}$  изменит тепловой поток в пять раз (на 25%).

Применение данной методики для рассчитанного ранее повышения температуры наружного воздуха для месяцев с  $t_{n,\text{cp}} \leq 8^\circ\text{C}$  (октябрь–март) приводит к уменьшению необходимой теплоты на отопление (при  $t_b = 20^\circ\text{C}$ ) для этого периода в среднем на 8% (табл. 2).

Таблица 2

Месяц	Среднемесячная температура наружного воздуха, $t_{n,\text{cp}}$ , $^\circ\text{C}$		Изменение температуры наружного воздуха, $\Delta t_n$ , $^\circ\text{C}$	Энергетический эффект, $N$ , %
	СНиП 23.01.99*	ВНИИГМИ-МЦД		
Январь	-13,5	-10,2	3,3	10
Февраль	-13,1	-10	3,1	9
Март	-6,5	-4	2,5	10
Апрель	3,7	5,5	1,8	11
Май	12,4	13,2	0,8	–
Июнь	17	18	1	–
Июль	19,1	20	0,9	–
Август	17,5	17,5	0	–
Сентябрь	11,2	11,5	0,3	–
Октябрь	3,4	4,8	1,4	9
Ноябрь	-3,8	-3,6	0,2	1
Декабрь	-10,4	-8,4	2	7

Следует отметить, что возможны случаи отсутствия энергетического эффекта при одновременном наличии одинаковых изменений  $\Delta t_{в}$  и  $\Delta t_{н}$ .

### Заключение

Предлагаемая методика расчета энергетического эффекта от изменения параметров наружного или внутреннего воздуха позволяет обосновать эффективность применения систем теплоснабжения с автоматическим регулированием подачи теплоносителя и графиков поддерживаемой температуры внутреннего воздуха для зданий различного назначения и района строительства.

Как показали расчеты, энергетический эффект от изменения температуры наружного воздуха на  $1^{\circ}\text{C}$  больше при более высокой температуре наружного воздуха (от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+10^{\circ}\text{C}$ ). Следовательно, особая точность регулирования и управления подачей теплоты требуется именно в этом интервале температуры, что достигается правильной настройкой и поддержанием в работоспособности систем автоматизации теплоснабжения зданий.

### Список литературы

1. Специализированные массивы для климатических исследований. Электронный ресурс // ВНИИГМИ-МЦД. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (дата обращения: 24.12.2010).
2. Кендалл М., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736 с.
3. Ежемесячные климатические данные для Казани. Электронный ресурс // Гидрометцентр России. URL: <http://meteoinfo.ru/climate/klimatgorod/1693-1246618396> (дата обращения: 17.01.2011).
4. Переведенцев Ю.П., Салахова Р.Х., Исмагилов Н.В., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Современные изменения климата Казани и их прикладное значение // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2007. Т. 149. № 1. С. 158–179.
5. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Важнова Н.А., Наумов Э.П., Шумихина А.В. Изменения климата на территории Приволжского федерального округа в последние десятилетия и их взаимосвязь с геофизическими факторами // Вестник Удмуртского университета. 2012. № 6–4. С. 122–135.
6. Акентьева Е.М., Кобышева Н.В. Стратегии адаптации к изменению климата в технической сфере для России // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2011. № 563. С. 60–76.
7. Малявина Е.Г., Иванов Д.С., Журавлев П.А., Крюкова О.Ю. Детали в разработке климатической информации специализированного «типового года» // Жилищное строительство. 2013. № 6. С. 36–38.
8. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами / Под ред. Н.В. Кобышевой. СПб.: Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2008. 336 с.

13-17 МАЯ 2014  
**СТРОЙ-КОМПЛЕКС РЕГИОНОВ РОССИИ**

Официальная поддержка:  
Правительство Пермского края  
Администрация города Перми  
Российский Союз промышленников и предпринимателей  
Союз строителей Урала  
Ассоциация деревянного домостроения  
Координационный совет саморегулируемых организаций изыскателей, проектировщиков и строителей Пермского края  
Ассоциация «Пермские строители»

20-й международный специализированный строительный салон современных технологий и оборудования для стройиндустрии, дорожно-строительной техники, инженерных сетей, а также строительных и отделочных материалов

В РАМКАХ СТРОИТЕЛЬНОГО САЛОНА:

Спецпроект  
**«ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»**

Спецпроект  
**«ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И КОММУНИКАЦИИ»**  
Специализированная выставка систем и технологий внутридомового отопления, водоснабжения, газоснабжения, канализации, кондиционирования и вентиляции, а также электрооборудования

Спецпроект  
**«ОТКРЫТИЕ: ОКНА И ДВЕРИ»**  
Специализированная выставка оконных и дверных конструкций, ворот, арочных систем, входных групп, а также элементов фурнитуры и крепежа

Спецпроект  
**«МАЛОЭТАЖНОЕ И ДЕРЕВЯННОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ»**  
Специализированная выставка технологий малоэтажного и деревянного домостроения

УФИ Member RUEF Member

Выставочный центр  
**ПЕРМСКАЯ ЯРМАРКА**

Место проведения  
Специализированный выставочный комплекс «Пермская ярмарка»

614077, Россия, Пермь,  
бульвар Гагарина, 65  
(+7 342) 262-58-72  
[www.exporperm.ru](http://www.exporperm.ru)

Время работы выставок  
13 мая: 12.00-19.00  
14-16 мая: 10.00-19.00  
17 мая: 10.00-17.00