

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕМОГОЛЕТНИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Хажеев И. И.¹

(ФГБУН Институт систем энергетики
им. Л.А.Мелентьева СО РАН, Иркутск)

Статья посвящена проблеме определения среднемоглетних показателей интегральной разности температур внутри и вне здания, продолжительности и суточной разности температур за отопительный период. Традиционный для расчета средних метод – среднеарифметический, не подходит. Поскольку дополнительным условием, применяемым к средним, становится выполнение равенства: произведение средней продолжительности и среднесуточной разности температур за отопительный период должно равняться средней интегральной разности температур внутри и вне здания за отопительный период. Разрабатывается аксиоматический подход с двумя наборами требований, предъявляемых к методам определения средних. Искомый метод должен удовлетворять требованиям непрерывности, о среднем значении, мультипликативности и в зависимости от набора условию однотипности или симметричности. Получены два метода, по одному для каждого набора требований. Произведены численные расчеты среднеарифметического метода и двух методов аксиоматического подхода по г. Якутск, г. Москва и г. Калининград. Для выбора метода, наиболее подходящего в определении среднемоглетних значений показателей, оцениваются относительные отклонения средних, вычисленных по методам аксиоматического подхода, от соответствующих средних арифметических. В целом, отклонения между методами не превышают 1 %.

Ключевые слова: интегральная разность температур внутри и вне здания, продолжительность отопительного периода, среднесуточные температуры, мультипликативность, симметричность, однотипность.

1. Введение

Для России в силу продолжительного отопительного периода и низких зимних температур большее значение имеет исследование климатических показателей отопительного

¹ Иван Ильич Хажеев, аспирант ИСЭМ СО РАН (ivan-khazheev@yandex.ru).
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-07-00322

периода. Таковыми являются температуры наружного воздуха, скорость ветра, влажность воздуха, интенсивность солнечной радиации. Значения этих показателей применяются для оценки зимнего сезона рассматриваемого региона.

Обычно отопительный период рассматриваемого региона определяется его продолжительностью и температурами атмосферного воздуха. В приморских районах дополнительную холодовую нагрузку может вызывать относительная влажность воздуха.

В статье исследуется проблема определения средних для показателей интегральной разности температур, продолжительности и среднесуточной разности температур за отопительный период.

Показатели мультипликативно взаимодействуют друг с другом. Интегральная разность температур может быть представлена в виде произведения продолжительности и среднесуточной разности температур за отопительный период. Применение этого свойства к средним делает нетривиальным задачу определения среднесуточных значений показателей. Обычный, применяемый для расчета средних, среднеарифметический метод здесь не подходит.

Поэтому возможность разложения средней интегральной разности температур на среднюю продолжительность отопительного периода и среднесуточную разность температур за отопительный период становится основным условием, предъявляемым к «новым» средним. Разрабатывается аксиоматический подход. В рамках подхода формулируются наборы требований, применяемых к искомым методам получения средних. Поиску и обоснованию этих методов посвящена данная статья.

2. Три климатические характеристики регионов

Пусть $\tau = \overline{1, T}$ – номера исследуемых отопительных периодов, T – количество отопительных периодов. Обозначим L_τ продолжительность отопительного периода τ . Значения

$i = 1, \overline{L_\tau}$ соответствуют последовательности номеров суток отопительного периода τ .

Каждый отопительный период начинается осенью одного календарного года и заканчивается весной следующего календарного года. Поэтому каждому порядковому номеру τ отопительного периода соответствует два календарных года. Так, последний отопительный период начался в 2019 году и завершился в 2020 году.

В статье используется расчетная продолжительность отопительного периода L_τ . Для ее определения воспользуемся следующим правилом: считается, что отопительный период наступает, если в течение пяти суток подряд среднесуточная температура атмосферного воздуха ниже 8°C . Отопительный период считается законченным, если температура воздуха выше 8°C в течение пяти суток подряд. Этого формализованного правила обычно придерживаются системы отопления населенных пунктов [11].

При решении многих задач, связанных с теплоснабжением зданий используется показатель интегральной разности температур внутри и вне здания за отопительный период. Для рассматриваемого населенного пункта или района показатель интегральной разности температур вычисляется по формуле:

$$(1) \quad B_\tau = \sum_{i=1}^{L_\tau} (\hat{t} - t_{\tau i}), \quad \tau = \overline{1, T}.$$

Здесь величина $t_{\tau i}$ – среднесуточная температура атмосферного воздуха в день i отопительного периода τ . Определяется на основе метеорологических наблюдений [12].

Величина \hat{t} в формуле (1) является заданным нормативным значением температуры воздуха внутри здания. В зависимости от предназначения здания могут быть различные значения нормативных температур. Для жилых помещений за норматив может использоваться температура в 20°C , для детских учреждений – 24°C , для служебных помещений – 18°C . Тогда как в производственных помещениях, складах нормативная

температура может составлять 14 °С [3]. В представленных в данной статье расчетах использовалось нормативное значение \hat{t} , равное 18 °С.

Использование показателя интегральной разности температур внутри и вне здания за отопительный период (1) базируется на законе теплопроводности: потери тепловой энергии через ограждения, при конструкции зданий пропорциональны разности температур внутри и вне здания. Поэтому соотношения показателя интегральной разности температур в разных населенных пунктах или в разные годы для одних и тех же населенных пунктов отражают соотношения расхода теплоэнергии на отопление и, как следствие, расхода топлива на теплоэнергию для отопления.

Интегральная разность температур на практике применима для расчетов оптимальных конструкций зданий, при которых минимизируются тепловые потери.

Температура наружного воздуха – не единственный фактор, формирующий требования к теплоснабжению зданий. В некоторых случаях, существенную роль играют и другие природные факторы, такие как скорость и направление ветра, влажность воздуха, интенсивность солнечной радиации, а также технические характеристики и особенности эксплуатации зданий.

Вместе с тем, показатель интегральной разности температур является одной из важнейших характеристик степени суровости климата за отопительный период для рассматриваемого района.

Интегральную разность температур внутри и вне здания можно представлять в виде произведения двух других показателей: продолжительности отопительного периода и среднесуточной разности температур внутри и вне здания за отопительный период.

$$(2) \quad B_{\tau} = L_{\tau} \cdot N_{\tau}, \quad \tau = \overline{1, T},$$

где N_{τ} – среднесуточная за отопительный период разность температур внутри и вне здания:

$$(3) \quad N_{\tau} = \frac{1}{L_{\tau}} B_{\tau}.$$

Формально формулы (2) и (3) равносильные. Формулу (3) следует рассматривать как правило вычисления N_{τ} .

Формула (2) является представлением показателя интегральной разности температур в виде мультипликативного взаимодействия показателей продолжительности отопительного периода и среднесуточной разности температур внутри и вне здания за отопительный период. Может быть полезна для исследования интенсивности и синхронности возможных колебаний потребности в теплоэнергии и топливе при исследовании задач надежности энергоснабжения [4].

При решении различных научно-прикладных задач интерес представляют все три выделенные климатические характеристики. Так, данные о продолжительности отопительных периодов определяют требования к срокам проведения ремонтных и профилактических работ систем теплоснабжения.

3. Проблемы и методы вычисления среднегодовых значений климатических характеристик

Значения интегральной разности температур, продолжительности и среднесуточной разности температур внутри и вне здания за отопительный период могут существенно различаться в разные отопительные периоды для одних и тех же населенных пунктов.

Для оценки обобщенных за период наблюдения T показателей интегральной разности температур, продолжительности и средней разности температур важно определять их среднегодовые значения.

В качестве среднегодовых могут рассматриваться среднеарифметические значения:

$$(4) \quad \bar{B}^A = \frac{1}{T} \sum_{\tau=1}^T B_{\tau},$$

$$(5) \quad \bar{L}^A = \frac{1}{T} \sum_{\tau=1}^T L_{\tau},$$

$$(6) \quad \bar{N}^A = \frac{1}{T} \sum_{\tau=1}^T N_{\tau}.$$

Недостаток полученных средних состоит в том, что произведение среднеарифметических значений продолжительности и суточной разности температур внутри и вне здания за отопительный период не совпадает со средней арифметической интегральной разностью температур:

$$(7) \quad \bar{B}^A \neq \bar{L}^A \cdot \bar{N}^A.$$

Рассмотрим численные примеры по трем городам России, иллюстрирующих три различных отопительных периода с холодной, средней и теплой зимами. Для простоты расчеты основаны на данных метеонаблюдений всего двух отопительных периодов ($T = 2$): пусть для $\tau = 1$ - отопительный период 2000-2001 гг., и $\tau = 2$ - отопительный период 2010-2011 гг.

Таблица 1. – Исходные данные и среднеарифметические показатели климатических характеристик по городам России

Метод \ показатель	Интегральная разность температур	Продолжительность отопительного периода	Среднесуточная разность температур
г. Якутск			
$\tau = 1$	9 957,01	256,00	38,89
$\tau = 2$	9 040,94	246,00	36,75
среднеарифметические значения	9 498,98	251,00	37,82
г. Москва			
$\tau = 1$	3 685,92	187,00	19,71
$\tau = 2$	4 230,43	200,00	21,15
среднеарифметические значения	3 958,18	193,50	20,43
г. Калининград			
$\tau = 1$	2 700,88	166,00	16,27

$\tau = 2$	3 474,62	191,00	18,19
среднеарифметические значения	3 087,75	178,50	17,23

Исходные данные примеров приведены в первых двух строках по каждому городу. В третьей строке приведены среднеарифметические значения рассматриваемых климатических характеристик.

Для первого примера (г. Якутск) отопительный период реализуется со средней продолжительностью 251 день, среднесуточной температурой наружного воздуха $-19,82$ °С и средней интегральной разностью температур $9\,499$ °С. В то же время произведение среднеарифметических значений продолжительности и среднесуточной разности температур за отопительный период составляет $9\,492,8$ °С, расхождение – около $0,06$ %.

Для второго примера (г. Москва) расхождение между произведением средней продолжительности и среднесуточной разности температур за отопительный период от среднеарифметического значения интегральной разности температур составляет $0,12$ %. Для Калининграда расхождение – $0,39$ %.

Приведенные примеры выявляют закономерность: при переходе от холодных к теплым регионам, при происходящем в результате этого уменьшении продолжительности отопительных периодов и среднезимних температур происходит возрастание отклонений произведений среднеарифметических многолетних значений показателей \bar{L}^A , \bar{N}^A от среднемноголетнего значения \bar{B}^A .

В целом, расхождения представляются малосущественными. Однако принципиальное значение имеет наличие таких расхождений.

Расхождения могут приводить к существенно большим расхождениям в результате дальнейших исследований. Поэтому, как показано в [6], по экономическим районам СССР интенсивность отклонений показателя B_τ от его среднего

значения составляет от 3 до 9 %. Под интенсивностью отклонений понимается среднее значение абсолютных величин отклонений. Изменения на 1 % среднего значения означают, что показатель интенсивности отклонений может измениться на 5-15 %. Эти значения уже существенны при определении необходимого состава средств обеспечения устойчивости энергоснабжения на случай холодных зим.

Кроме средней арифметической можно использовать другие виды средних. Так, класс степенных средних для величин $x_j > 0, j = 1, \dots, T$ предоставляет следующие функции, зависящие от выбора параметра $p \in (-\infty; \infty)$:

$$(8) \quad f_p(x) = \left(\sum_{j=1}^n \frac{1}{n} x_j^p \right)^{1/p}.$$

При $p=1$ формула переходит в среднюю арифметическую, при $p=-1$ получим формулу средней гармонической. При $p=0$ формула (8) переходит в среднюю геометрическую:

$$(9) \quad f_0(x) = \left(\prod_{j=1}^n x_j \right)^{1/n}.$$

Перейдем к векторной записи климатических характеристик. Пусть B – вектор, компоненты которого состоят из значений интегральных разностей температур $B_\tau, \tau = \overline{1, T}$; L – вектор значений продолжительностей отопительных периодов $L_\tau, \tau = \overline{1, T}$; N – вектор среднесуточных разностей температур внутри и вне здания $N_\tau, \tau = \overline{1, T}$. Поскольку интегральная разность температур может быть представлена как произведение продолжительности и среднесуточной разности температур внутри и вне здания за отопительный период, тогда в вектором записи формула (2) принимает вид:

$$(10) \quad B = L \otimes N.$$

Компоненты векторов B, N, L положительные, поэтому областями определения векторов является подмножество векторов пространства R^n с положительными компонентами:

$$(11) \quad B, N, L \in R_+^T \subset R^n,$$

где T – количество исследуемых отопительных периодов.

Аксиоматический подход с набором требований 1.

Представим среднегодовые значения интегральной разности температур внутри и вне здания \bar{B} , продолжительности \bar{L} и суточной разности температур \bar{N} за отопительный период как функции от векторов B, N, L :

$$(12) \quad \bar{B} = f(B),$$

$$(13) \quad \bar{L} = \varphi(L),$$

$$(14) \quad \bar{N} = \psi(N).$$

Приведем требования, предъявляемые к функциям $f(B), \varphi(L), \psi(N)$.

1) непрерывность функций $f(B), \varphi(L), \psi(N)$;

Функции $f(B), \varphi(L), \psi(N)$ – без разрывов и меняются без «скачков»: малым изменениям аргумента соответствуют малые изменения значений функций.

2) требование о среднем значении;

Вторым требованием является условие принадлежности функций $f(B), \varphi(L), \psi(N)$ областям определения $B_\tau, L_\tau, N_\tau, \tau = \overline{1, T}$.

Для функций $f(B), \varphi(L), \psi(N)$ справедливы соотношения:

$$(15) \quad \min_{\tau=1, T} B_\tau < f(B) < \max_{\tau=1, T} B_\tau,$$

$$(16) \quad \min_{\tau=1, T} L_\tau < \varphi(L) < \max_{\tau=1, T} L_\tau,$$

$$(17) \quad \min_{\tau=1, T} N_\tau < \psi(N) < \max_{\tau=1, T} N_\tau.$$

3) мультипликативность;

Произведение среднемноголетних показателей продолжительности \bar{L} и суточной разности температур \bar{N} внутри и вне здания за отопительный период должно составить среднемноголетнюю интегральную разность температур \bar{B} :

$$(18) \quad \varphi(L) \cdot \psi(N) = f(B).$$

4) однотипность.

Для среднемноголетних показателей \bar{B} , \bar{L} , \bar{N} должно выполняться условие однотипности:

$$(19) \quad f = \varphi = \psi.$$

Условие осуществляет отбор методов с одинаковым подходом в определении средних:

$$(20) \quad f(L) \cdot f(N) = f(B),$$

$$(21) \quad \varphi(L) \cdot \varphi(N) = \varphi(B),$$

$$(22) \quad \psi(L) \cdot \psi(N) = \psi(B).$$

Для выполнения первых двух требований в аксиоматическом подходе требуется подобрать функцию без разрывов, определенную в интервале между экстремальными значениями климатических характеристик за период наблюдения T .

Требование однотипности выполняется для всего класса степенных средних:

$$(23) \quad f = \varphi = \psi = f_p.$$

Однако при $p \in (-\infty; \infty)$, $p \neq 0$ не выполняется требование мультипликативности. При $p \in (-\infty; 0)$, получим:

$$(24) \quad f_p(L) \cdot f_p(N) > f_p(B).$$

При $p \in (0; \infty)$:

$$(25) \quad f_p(L) \cdot f_p(N) < f_p(B).$$

Только для среднегеометрических выполняется условие мультипликативности:

$$(26) \quad f_0(L) \cdot f_0(N) = f_0(B).$$

Таким образом, альтернативным методом получения средних, кроме средних арифметических, является расчет среднегеометрических показателей:

$$(27) \quad \bar{B}^{\Gamma} = T \sqrt[T]{\prod_{\tau=1}^T B_{\tau}},$$

$$(28) \quad \bar{L}^{\Gamma} = T \sqrt[T]{\prod_{\tau=1}^T L_{\tau}},$$

$$(29) \quad \bar{N}^{\Gamma} = T \sqrt[T]{\prod_{\tau=1}^T N_{\tau}},$$

где \bar{B}^{Γ} , \bar{L}^{Γ} , \bar{N}^{Γ} – среднегеометрические значения интегральной разности температур, продолжительности и суточной разности температур за отопительный период за период наблюдения T .

При работе со среднегеометрическими показателем необходимо учитывать расхождения от среднеарифметических:

$$(30) \quad \bar{x}^{\Gamma} < \bar{x}^A,$$

где \bar{x}^A , \bar{x}^{Γ} – среднеарифметическое и среднегеометрическое значения для величин $x_j > 0$, $j = 1, \dots, T$. Наличие таких расхождений приводит к сложностям в интерпретации среднегеометрических.

Однако очевидным достоинством среднегеометрических показателей является относительная устойчивость к различного рода выбросам в наблюдениях, которой не обладают среднеарифметические. Это свойство определяется спецификой расчета, как результат взаимного умножения $x_j > 0$, $j = 1, \dots, T$ и извлечения корня с индексом T .

Как выясняется, для получения искомым средних необходимо, с одной стороны, использовать среднеарифметические показатели – решение проблемы интерпретации средних. С другой стороны, обязательным является выполнение требования мультипликативности

средних. Точное следование каждому из этих крайностей приводит к невыполнению другого, условия взаимоисключающие.

Ниже рассмотрим уточненный подход в определении средних климатических характеристик.

Аксиоматический подход с набором требований 2.

В этом подходе среднепогодную интегральную разность температур \bar{B} определим как среднее арифметическое. Средние продолжительность \bar{L} и суточную разность температур \bar{N} за отопительный период как функции от векторов B и L :

$$(31) \quad \bar{B} = \bar{B}^A,$$

$$(32) \quad \bar{L} = \bar{\varphi}(L, B),$$

$$(33) \quad \bar{N} = \bar{\psi}(B, L).$$

Требования, предъявляемые к функциям $\bar{\varphi}(L, B)$ и $\bar{\psi}(B, L)$:

- 1) непрерывность функций $\bar{\varphi}(L, B)$ и $\bar{\psi}(B, L)$;
- 2) требование о среднем значении:

$$(34) \quad \min_{\tau=1, T} L_{\tau} < \bar{\varphi}(L, B) < \max_{\tau=1, T} L_{\tau},$$

$$(35) \quad \min_{\tau=1, T} N_{\tau} < \bar{\psi}(B, L) < \max_{\tau=1, T} N_{\tau}.$$

- 3) мультипликативность;

$$(36) \quad \bar{\varphi}(L, B) \cdot \bar{\psi}(B, L) = \bar{B}^A.$$

- 4) симметричность.

$$(37) \quad \bar{\varphi}(L, B) = \bar{\psi}(L, B),$$

$$(38) \quad \bar{\varphi}(B, L) = \bar{\psi}(B, L).$$

Требование о симметричности средних является аналогичным требованию однотипности. Осуществляет отбор методов с одинаковым подходом в определении средней продолжительности \bar{L} и среднесуточной разности температур \bar{N} .

Выполнение требования мультипликативности при использовании средних арифметических можно достигнуть следующим образом. Примем среднеголетние интегральную разность температур \bar{B} и продолжительность отопительного периода \bar{L} как средние арифметические. Среднеголетнюю суточную разность температур – как отношение среднеголетних интегральной разности температур и продолжительности отопительного периода.

$$(39) \quad \bar{B} = \bar{B}^A,$$

$$(40) \quad \bar{L} = \bar{L}^A,$$

$$(41) \quad \bar{N} = \bar{N} = \bar{B}^A / \bar{L}^A.$$

Представим формулу (41) в виде средневзвешенной:

$$(42) \quad \bar{N} = \sum_{i=1}^T \alpha_i N_i,$$

где α_i – удельный вес продолжительности отопительного периода i :

$$(43) \quad \alpha_i = \frac{L_i}{\sum_{\tau=1}^T L_{\tau}}, \quad i = \overline{1, T},$$

$$(44) \quad \sum_{i=1}^T \alpha_i = 1.$$

Среднеголетняя суточная разность температур (41) отличается от среднеарифметической:

$$(45) \quad \sum_{i=1}^T \alpha_i N_i \neq \bar{N}^A.$$

Можно использовать обратный способ расчета: принять среднеголетнюю продолжительность отопительного периода как отношение среднеарифметических интегральной разности температур и суточной за отопительный период разности температур:

$$(46) \quad \bar{B} = \bar{B}^A,$$

$$(47) \quad \bar{N} = \bar{N}^A,$$

$$(48) \quad \bar{L} = \bar{L} = \sum_{j=1}^T \beta_j L_j,$$

где $\beta_j = \frac{N_j}{\sum_{\tau=1}^T N_{\tau}}$, $\sum_{j=1}^T \beta_j = 1$.

Однако для полученных средних (39), (40) и (42), также как для (46)-(48) выполняются все требования аксиоматического подхода, кроме условия симметричности.

От асимметрии в определении среднесуточных разностей температур внутри и вне зданий и продолжительностей отопительных периодов можно избавиться, применив среднегеометрические из \bar{L}^A и \bar{L} , \bar{N}^A и \bar{N} :

$$(49) \quad \bar{L}_{cp} = \sqrt{\bar{L}^A \cdot \bar{L}},$$

$$(50) \quad \bar{N}_{cp} = \sqrt{\bar{N}^A \cdot \bar{N}},$$

где \bar{L}_{cp} , \bar{N}_{cp} – усредненные показатели продолжительности и средней разности температур за отопительный период.

Средние \bar{B}^A , \bar{L}_{cp} , \bar{N}_{cp} удовлетворяют всем требованиям аксиоматического подхода.

4. Численные расчеты по городам России

Для определения среднесуточных показателей интегральной разности температур, продолжительности и суточной разности температур за отопительный период были исследованы пять методов. Первый из них, самый простой – среднеарифметический метод, далее второй – среднегеометрический: результат применения аксиоматического подхода с набором требований 1. Третий метод – со среднеарифметическими интегральной разностью температур,

продолжительностью отопительного периода и средневзвешенной суточной разностью температур. Четвертый метод – обратный третьему: со средневзвешенной продолжительностью отопительного периода. И последний, пятый метод – результат применения аксиоматического подхода с набором требований 2, со среднеарифметической интегральной разностью температур и среднегеометрическими из средних продолжительностей и суточных разностей температур, полученных третьим и четвертым методами.

Однако только два метода, по одному от каждого набора аксиоматического подхода, могут быть использованы для расчета средних показателей. Это второй и пятый методы. Оба метода удовлетворяют требованию мультипликативности. Оценим относительные отклонения средних, вычисленных этими методами, от среднеарифметических значений климатических характеристик.

В таблице 2 приведены среднемноголетние показатели, вычисленные первым, вторым и пятым методами, также их относительные отклонения от среднеарифметических.

Таблица 2. – Среднемноголетние показатели климатических характеристик по городам России

Метод \ показатель	Интегральная разность температур	Продолжительность отопительного периода	Среднесуточная разность температур
г. Якутск			
метод 1 - среднеарифметический	9 498,98	251,00	37,82
метод 2 - среднегеометрический	9 487,93	250,95	37,81
относ. отклонения от среднеариф., %	-0,12%	-0,02%	-0,04%
метод 5	9 498,98	251,07	37,83
относ. отклонения	-	0,03%	0,03%

от среднеариф., %			
г. Москва			
метод 1 - среднеарифметический	3 958,18	193,50	20,43
метод 2 - среднегеометрический	3 948,80	193,39	20,42
относ. отклонения от среднеариф., %	-0,24%	-0,06%	-0,06%
метод 5	3 958,18	193,61	20,44
относ. отклонения от среднеариф., %	-	0,06%	0,06%
г. Калининград			
метод 1 - среднеарифметический	3 087,75	178,50	17,23
метод 2 - среднегеометрический	3 063,42	178,06	17,20
относ. отклонения от среднеариф., %	-0,79%	-0,25%	-0,16%
метод 5	3 087,75	178,85	17,26
относ. отклонения от среднеариф., %	-	0,20%	0,20%

Из таблицы 2 видим, что средние показатели, рассчитанные по второму и пятому методам отклоняются от среднеарифметических незначительно, до 1%.

Учитывая отсутствие отклонений по средней интегральной разности температур, пятый метод более предпочтителен, чем среднегеометрический. В тоже время второй метод более простой в расчете по сравнению с пятым методом.

Для получения среднесезонных показателей интегральной разности температур, продолжительности и суточной разности температур будем использовать более

простой в расчете, удовлетворяющий аксиоматическому подходу среднегеометрический метод.

5. Заключение

Исследована проблема определения среднемноголетних показателей интегральной разности температур, продолжительности и средней разности температур. Разработан аксиоматический подход, в рамках которого сформулированы два набора требований, предъявляемых к искомому методу получения средних. Полученные методы удовлетворяют требованиям непрерывности, о среднем значении, мультипликативности, и в зависимости от набора условию однотипности или симметричности.

На численных примерах оценены величины возможных отклонений между среднеарифметическим и полученными методами. Отклонения между методами не превышают 1 %.

Выбор каждого из методов связан с определенными задачами, стоящими перед исследователем. Так, среднегеометрический метод – простой в расчете, но имеет отклонения своих средних от среднеарифметических. А метод – результат применения аксиоматического подхода с набором требований 2 более сложный, с меньшими отклонениями от среднеарифметических.

Литература

1. АЙВАЗЯН С.А., МХИТАРЯН В.С. *Прикладная статистика и основы эконометрики* –М.: Юнити, 1998. – 1022 с.
2. Аллен Р. *Экономические индексы: Пер. с англ.* - М.: Статистика, 1980. – 256 с.
3. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52219>.
4. Зоркальцев, В.И. *Многолетние колебания температур и проблемы надежности топливоснабжения.* – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. – 84 с.

5. ЗОРКАЛЬЦЕВ В.И. *Колебания потребностей в топливе на отопление по экономическим районам СССР*. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 1998. – 26 с.
6. ЗОРКАЛЬЦЕВ В.И. *Индексы цен и инфляционные процессы* – Новосибирск: Наука, 1996. – 279 с.
7. ЗОРКАЛЬЦЕВ В.И., МОКРЫЙ И.В., ХАЖЕЕВ И.И. *Многолетние вариации зимних температур по регионам России и их влияние на надежность энергоснабжения*// Энергетическая политика. – Москва, 2017. – № 4. – С. 81-91.
8. ЗОРКАЛЬЦЕВ В.И., ХАЖЕЕВ И.И. *Как климат влияет на экономику?*// ЭКО. – Новосибирск, 2015. – № 7. – С. 147-162.
9. КЕНДЭЛ М. *Временные ряды*– М.: Финансы и статистика, 1981 – 202 с.
10. НЕКРАСОВ А.С., ВЕЛИКАНОВ М.А. *Многолетнее регулирование расходов топлива на отопление и вентиляцию* // Достижения и перспективы. Сер. Энергетика. – М.: МЦНТИ КСА при Президиуме АН СССР, 1986. – № 46. – С. 85–98.
11. Постановление Правительства РФ от 06.05.2011 № 354 (ред. от 13.07.2019, с изм. от 02.04.2020) "О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов". Пункт 5 раздела 2 «Условия предоставления коммунальных услуг» –URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_114247/b487a4a1b3b62bb473d934b6491d61ebe102bc9d/.
12. Российский гидрометеорологический портал ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных» Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR>.
13. РУДЕНКО Ю.Н. *Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики* // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1976. – № 1. – С. 7–24.

14. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений" (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г. № 21). – URL: <https://base.garant.ru/4173106/>.
15. СУСЛОВ В.И., ИБРАГИМОВ Н.М., ТАЛЫШЕВА Л.П., ЦЫПЛАКОВ А.А. *Эконометрия: учебное пособие* – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 744 с.
16. СУСЛОВ И.П. *Теория статистических показателей*. – М.: Статистика, 1975. – 264 с.
17. ХАЖЕЕВ И.И. *Исследование колебаний потребности в энергоресурсах на отопление на основе многолетних метеорологических данных // Системные исследования в энергетике. Труды молодых ученых ИСЭМ СО РАН*. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. – № 45. – С. 144-151.
18. ХРИЛЕВ Л.С. *Теплофикация и топливно-энергетический комплекс*. – Новосибирск: Наука, 1979. – 277 с.
19. ХРИЛЕВ Л.С. *О влиянии климатического фактора на перспективную структуру топливно-энергетического баланса // Теплоэнергетика*. – 1966. – № 2. – С. 16–20.

RESEARCH OF METHODS FOR DETERMINING MIDDLE-YEAR CLIMATE CHARACTERISTICS BY CITIES OF RUSSIA

Ivan Khazheev, Energy Systems Institute of Siberian Branch of the RAS, Irkutsk, postgraduate (ivan-khazheev@yandex.ru).

Abstract: The article is devoted to the problem of determining the long-term average indicators of the integral temperature difference inside and outside the building, the duration and the daily temperature difference for the heating period. The traditional method for calculating averages is the arithmetic mean, it is not possible. Since the following expression becomes an additional condition applied to the average values: the multiplication of the average duration and the average daily temperature difference during the heating period should be equal to the average integral temperature difference inside and outside the building for the heating period. An axiomatic approach is being developed with two sets of requirements for methods for determining averages. The desired method must satisfy the requirements of continuity, about the mean value, multiplicativity and, depending on the set, the condition of uniformity or

symmetry. Two methods were obtained, one for each set of requirements. The arithmetic mean method and two methods of the axiomatic approach were numerically calculated for the cities of Yakutsk, Moscow, and Kaliningrad. To select the method that is most suitable for determining long-term average values of indicators, the relative deviations of the averages calculated by the methods of the axiomatic approach from the corresponding arithmetic averages are estimated. In general, deviations between the methods do not exceed 1%.

Keywords: the integral temperature difference inside and outside the building, the duration of the heating period, average daily temperatures, multiplicativeness, symmetry, uniformity.

УДК 51.74
ББК 31.3

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...*

*Поступила в редакцию ...заполняется редактором...
Опубликована ...заполняется редактором...*