

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-19-31

*\*Шеремет Е.О., Старченко С.Ф.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**\*E-mail: 66910@mail.ru*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА ПО АРХИВУ ТЕМПЕРАТУР

**Аннотация.** В последние десятилетия все сильнее прослеживается тенденция к глобальному потеплению планеты. Многочисленные исследования направлены на оценку воздействия изменения климата на строительную отрасль и на инфраструктурную сферу в целом. В то же время не так много работ направлены на изучение влияния климатических изменений на потребность здания в энергии для отопления. Целью работы было исследование изменения основных параметров отопительного сезона Белгородской области, необходимых для расчета тепловой защиты зданий. Проанализированы минимальные, средние и максимальные годовые температуры, даты начала и окончания отопительных периодов, продолжительности отопительных периодов, минимальные температуры отопительных периодов, температуры наиболее холодных пятидневок отопительных периодов, средние температуры отопительных периодов, градусо-сутки отопительных периодов с 1936 по 2023 год. Также была выполнена прогнозная оценка вышеперечисленных параметров с прогнозом до 2050, с учетом появления тренда повышения среднегодовых температур с 1980-х годов. Выявлены тенденции к повышению минимальных температур отопительных сезонов, повышению температур наиболее холодных пятидневок, повышению средних температур отопительных периодов и уменьшению градусо-суток отопительных периодов. Сделан вывод о корреляции глобального потепления и потепления климата в Белгородской области. Даны рекомендации к проектированию систем отопления с учетом тенденции к увеличению градусо-суток отопительных периодов.

**Ключевые слова:** отопление, энергосбережение, система отопления, изменение климатических параметров, прогнозирование.

**Введение.** В настоящее время энергетическая политика РФ [1–3] осуществляет мероприятия по повышению энергоэффективности и энергосбережения во всем топливно-энергетическом комплексе страны. Эти мероприятия также касаются снижения энергоёмкости, энергопотребления, повышения функциональности, гибкости работы систем отопления [4–8]. Данные вопросы в условиях РФ невозможно решать без учета глобального потепления в целом и каждого региона в частности.

Большое количество трудов посвящено изучению изменения климата в различных регионах планеты, а также на территории РФ. Однако не так много исследований направлены на изучение изменений основных параметров отопительного сезона, которые могут повлиять на конструкцию будущих зданий, а также их теплопотребляющих систем, и на оценку снижения тепловой потребности существующих конструкций. В основном это обширные исследования, направленные на общую оценку воздействия глобального потепления на различные сферы инфраструктуры [9]. Есть ряд зарубежных исследований [10–14] изучающих влияние глобального потепления на энергосбережение зданий.

Наиболее детальное исследование изменений параметров отопительного периода на европейской части России в результате глобального

потепления были описаны в работе [15], опубликованной в 2002 году. На основании данных 90 метеостанций, расположенных в центральной части России, производился расчет продолжительности отопительных периодов, средней температуры и дефицита тепла отопительных сезонов во временном диапазоне с 1881 по 1995 гг. Как указывается в исследовании, данные также были подвергнуты сглаживанию 10-летней скользящей средней. Для изучения динамики региональных климатических характеристик авторами указанной работы применялась регрессионно-аналитическая модель климата [16] алгоритм которой представлен в работах [17, 18]. В результате анализа были получены карты центральной европейской части России с нанесенными на них изолиниями продолжительности отопительных периодов, средней температуры отопительных периодов и дефицитом тепла отопительных периодов на момент исследования и с прогнозом на 2050 год. Для Белгорода продолжительности отопительных периодов на момент исследования авторов работы составляли в районе 190 дней, к 2050 году – 180 дней.

**Материалы и методы.** Для исследования изменения основных параметров отопительного сезона в Белгородской области были необходимы климатические данные региона за наиболее продолжительный промежуток

времени. Первоначально планировалось взять для исследования данные метеостанции Международного аэропорта имени В.Г. Шухова, находящиеся в открытом доступе [19]. Однако глубина данных метеостанции ограничивались 2005 годом, что было принято недостаточным временным промежутком для исследования. После некоторых поисков наиболее близкой метеостанцией с достаточной глубиной метеоданных была выбрана метеостанция Готня, расположенная в поселке Пролетарский Ракитянского района Белгородской области [20]. Данная метеостанция находится на расстоянии около 60 километров от Белгорода и располагает данными среднесуточных температур местности начиная с 1936 года. При обработке данных не учитывались года с неполными данными за год. В выборке отсутствуют данные в промежутке с 1941 по 1944 включительно, а также данные 1976 года.

На первом этапе решался вопрос насколько отличаются метеоданные Международного аэропорта имени В.Г. Шухова от данных метеостанции Готни, для чего было решено сравнить средние суточные температуры за временной промежуток с 2005 по 2023 год. На втором этапе обрабатывались метеоданные Готни.

Для обработки информации использовались: Pandas - программная библиотека на языке Python для обработки и анализа данных; Matplotlib - библиотека на языке программирования Python для визуализации данных; Scipy – библиотека на языке программирования Python,

с открытым исходным кодом, предназначенная для решения научных и математических задач. Для улучшения визуализации информации, сглаживания краткосрочных колебаний и выделения наиболее явных основных тенденций для построения графиков использовалась скользящая средняя с периодом 10.

**Основная часть.** Для оценки сходства данных метеостанций Готни и Белгорода использовался t-критерий Стьюдента. В качестве нулевой гипотезы было выдвинуто предположение, что данные среднесуточных температур двух метеостанций не отличаются друг от друга. Сравнивались среднесуточные данные температур с 2005 по 2023 год. Для расчетов использовалась модуль stats библиотеки Scipy. Значение t-критерия Стьюдента составило -1,36. Далее вычислялся p-уровень значимости, его значение составило 0,174, что оказалось больше p-уровня значимости 0,05, что говорит о том, что мы не можем отвергнуть нулевую гипотезу и данные температур метеостанций значимо не отличаются друг от друга. В равной степени можно говорить об исследовании средних температур Готни, как о средних температурах Белгорода. Однако данный критерий используется для сравнения средних значений выборок. Для сравнения распределения температур были посчитаны описательные статистики для среднесуточных температур метеостанций Готни и Белгорода, значения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

#### Описательные статистики распределения данных исторических среднесуточных температур метеостанции Готни и Белгорода с 2005 по 2023 года

| Описательные статистики               | Данные метеостанции Готни | Данные метеостанции Белгорода |
|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Число измерений, кол-во               | 6384,0                    | 6384,0                        |
| Среднее значение                      | 8,07                      | 8,33                          |
| Стандартное отклонение                | 10,67                     | 10,88                         |
| Минимальное значение                  | -26,4                     | -27,24                        |
| 25% процентов наблюдений (1 квартиль) | -0,1                      | -0,1125                       |
| 50% процентов наблюдений (2 квартиль) | 8,6                       | 8,855                         |
| 75% процентов наблюдений (3 квартиль) | 17,3                      | 17,79                         |
| Максимальное значение                 | 30,0                      | 31,16                         |

Как видно из таблицы среднесуточные температуры Белгорода несколько выше среднесуточных температур метеостанции Готни. Это хорошо согласуется с отрицательным значением t-критерия Стьюдента, который говорит о том, что среднее значение одной

выборки, в нашем случае метеостанции Готни, меньше среднего значения другой выборки (данные метеостанции Белгорода).

На рис.1 показаны графики изменения среднегодовых температур в Белгородской области по данным метеостанции Готни.

Показаны минимальные, средние, максимальные температуры и скользящие средние с периодом 10 для этих же температур для выявления тренда возможных изменений. Как видно из рисунка с начала 1985-х для всех температур характерно повышение значений. Если до 1985 года округленные минимальные, средние и максимальные температуры колеблются в

области соответственно 2 °С, 6 °С, 10-11 °С, то после 1985 года в результате трендового изменения температур к началу 2020-х эти же температуры приближаются к 4 °С для минимальных округленных температур, к 8 °С для средних округленных температур, и к 12,5 °С для максимальных средних температур.

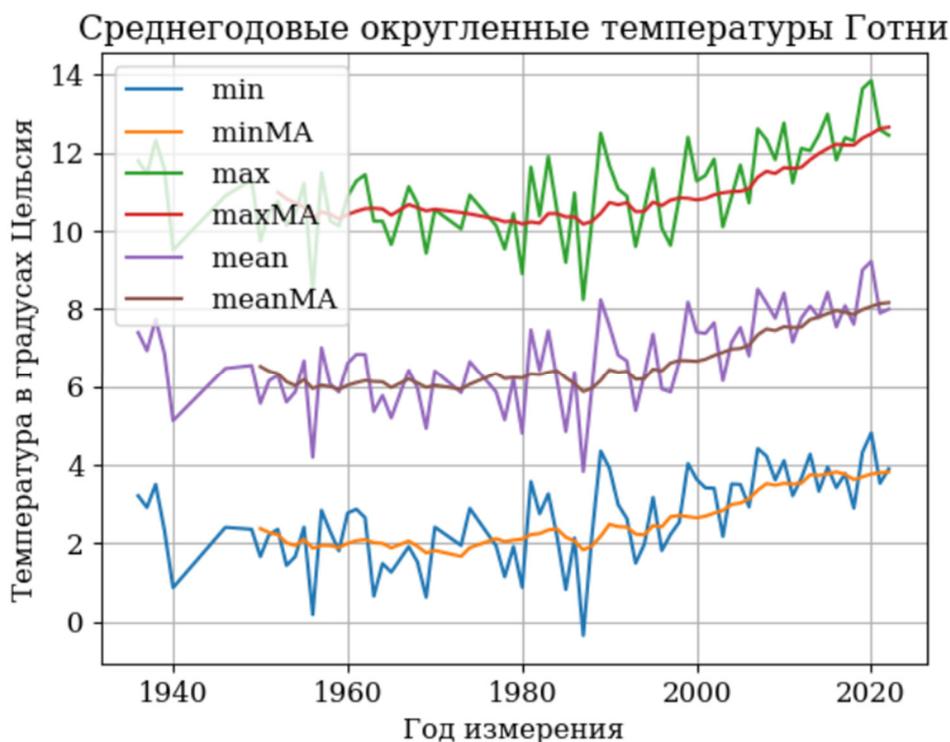


Рис. 1. Динамика изменения среднегодовых температур Готни: min, max, mean – минимальные, максимальные и средние температуры по данным метеостанции; minMA, maxMA, meanMA – округленные минимальные, максимальные и средние температуры (скользящая средняя с периодом 10)

Для более детального исследования изменения температур была составлена таблица со статистиками распределения данных годовых температур. Данные разбивались на две части: до 1988 года, включая аномальные понижения температуры в 1987-1988 году, и после 1988 года. Результаты представлены в таблице 2. Также в таблице приведены разницы статистик полученных периодов, по которым можно заметить, что почти все показатели более позднего периода исследования выше предыдущих. Для минимальных значений температур до 1988 года 75 процентов наблюдений не превышает 2,65 °С, в тоже время только 25 процентов значений минимальных температур выборки после 1988 года меньше 2,91 °С. Эти данные говорят о том, что минимальные температуры воздуха имеют тенденцию к повышению, причем разница количества наблюдаемых значений превышает 2 квантиля. Максимальные годовые температуры отличаются не столь значительно: 75 процентов наблюдений средних температур до 1988 года

лежат в пределе до 11,21 °С, что соответствует значениям средних температур между 1 и 2 квартилями для выборки после 1988 года. Причем средние значения также имеют достаточно сильные различия повторяемости значений температур: для средних значений температур до 1988 года 75 процентов наблюдений не превышает 6,65 °С, в тоже время только 25 процентов значений максимальных температур выборки после 1988 года меньше 6,81 °С.

Для определения вклада холодного периода года в итоговое увеличение среднегодовых температур с помощью программы [21] были вычислены даты начала и окончания отопительных периодов, продолжительности отопительных периодов, температуры наиболее холодных дней и температуры наиболее холодных пятидневок отопительных периодов, средние температуры отопительных периодов, градусо-сутки отопительных периодов на всем протяжении наблюдений.

Таблица 2

**Описательные статистики распределения данных исторических среднегодовых температур метеостанции Готни**

| Описательные статистики               | Значения после 1988 года |       |      | Значения до 1988 года |       |      | Разница статистик |      |      |
|---------------------------------------|--------------------------|-------|------|-----------------------|-------|------|-------------------|------|------|
|                                       | min                      | max   | mean | min                   | max   | mean | min               | max  | mean |
| Среднее значение                      | 3,35                     | 11,67 | 7,44 | 2,00                  | 10,50 | 6,09 | 1,35              | 1,17 | 1,35 |
| Стандартное отклонение                | 0,82                     | 1,05  | 0,91 | 0,90                  | 0,92  | 0,87 | -0,08             | 0,13 | 0,04 |
| Минимальное значение                  | 1,50                     | 9,60  | 5,38 | -0,35                 | 8,24  | 3,83 | 1,84              | 1,36 | 1,55 |
| 25% процентов наблюдений (1 квартиль) | 2,91                     | 10,88 | 6,81 | 1,49                  | 10,13 | 5,60 | 1,43              | 0,75 | 1,21 |
| 50% процентов наблюдений (2 квартиль) | 3,50                     | 11,82 | 7,57 | 2,17                  | 10,47 | 6,17 | 1,33              | 1,34 | 1,40 |
| 75% процентов наблюдений (3 квартиль) | 3,93                     | 12,42 | 8,08 | 2,65                  | 11,21 | 6,65 | 1,27              | 1,21 | 1,43 |
| Максимальное значение                 | 4,82                     | 13,85 | 9,22 | 3,57                  | 12,32 | 7,73 | 1,24              | 1,53 | 1,48 |

На рис. 2 показаны графики изменения продолжительности отопительных периодов в Белгородской области. Продолжительность отопительного периода имеет волнообразный график. С 1980 года прослеживается тенденция с понижающимися минимумами и максимумами.

С начала 2000 до 2010 гг. наблюдается резкое снижение средних значений продолжительности отопительного периода со 195 до 180 дней. В настоящее время средняя продолжительность отопительного периода составляет 180–185 дней.



Рис.2. Продолжительность отопительных периодов: long – продолжительность отопительного периода по данным метеостанции, MAlong – округленные значения продолжительностей отопительного периода (скользящая средняя с периодом 10).

На рис.3 показаны графики изменения температур наиболее холодных дней отопительных периодов в Белгородской области. Температуры наиболее холодных дней имеют волнообразный график с повышающимися максимумами и минимумами, что особенно

отчетливо прослеживается на временном промежутке с 1970 по 2023 гг. Если с 1950-х по конец 1970-х годов средние температуры наиболее холодных дней находились в пределах от -24 до -21 °С, средние температуры с 1990-х годов по 2005 балансируют в диапазоне от -22,5

до  $-19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а с 2005 по 2023 от  $-21,5$  до  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше, если брать в расчет округленные значения. Если рассматривать пиковые значения, то

впервые за историю наблюдений средняя температура наиболее холодного дня не опустилась ниже  $-10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  в 2019–2020 годах.

### Температура наиболее холодного дня отопительного периода Готни

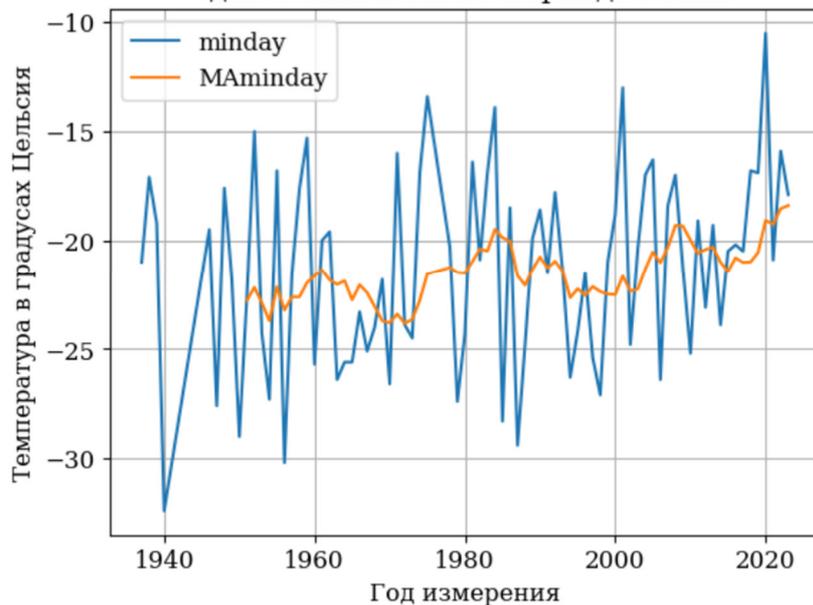


Рис. 3. Температуры наиболее холодных дней в течение отопительного периода: minday – температура наиболее холодного дня по данным метеостанции, MAminday – округленные температуры наиболее холодных дней в течение отопительного периода (скользящая средняя с периодом 10)

Схожая картина наблюдается и при изучении графиков изменения температур наиболее холодных пятидневок (рис. 4). Здесь усредненные температуры с 1980-х годов не опускаются ниже  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а максимальные пределы температуры наиболее холодных

пятидневок приближаются к средним значениям в районе  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше. Также можно наблюдать что в аномально теплый 2019–2020 отопительный сезон температура наиболее холодной пятидневки составила приблизительно  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Температуры наиболее холодной пятидневки Готни

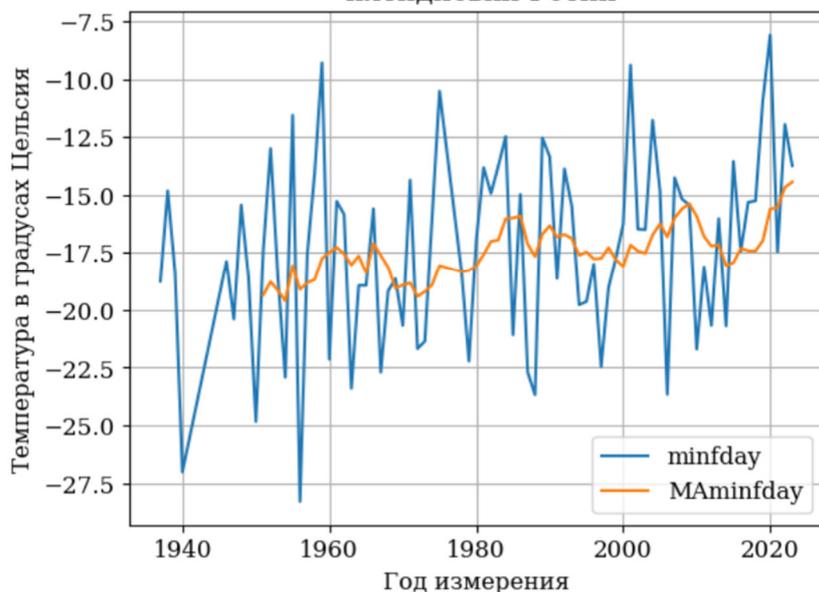


Рис. 4. Температуры наиболее холодных пятидневок в течение отопительного периода: minfday – температура наиболее холодных пятидневок отопительного периода по данным метеостанции, MAminfday – округленные температуры наиболее холодных пятидневок в течение отопительного периода (скользящая средняя с периодом 10)

Достаточно хорошим индикатором потепления климата в регионе являются усредненные изменения средней температуры отопительного сезона (рис.5). Можно наблюдать достаточно плавное повышение средней температуры отопительных сезонов на всем

диапазоне исследований. Изменение температуры к настоящему времени по сравнению с 1950-1960 годами составило около 2,5 °С. Самую высокую среднюю температуру отопительного периода можно наблюдать в 2019–2020 когда она составила 2,73 °С.

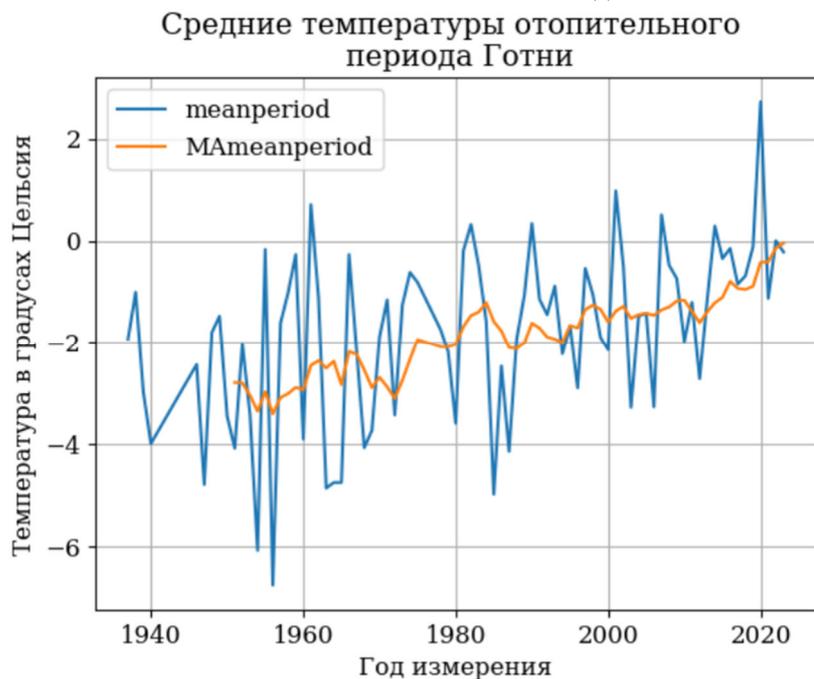


Рис. 5. Динамика средних температур отопительных периодов в Белгородской области: meanperiod – по данным метеостанции и MAmeanperiod – округленные (скользящая средняя с периодом 10)

При изучении графика изменения градусо-суток отопительного периода с учетом температуры внутреннего воздуха в помещении 18°C (рис. 6) можно сделать вывод о плавном снижении количества градусо-суток

отопительных периодов с течением времени. Если в 1950–1960 годах усредненное значение градусо-суток находилось в диапазоне 4000–4100, в 2010–2020 годах это значение опускается ниже 3500.

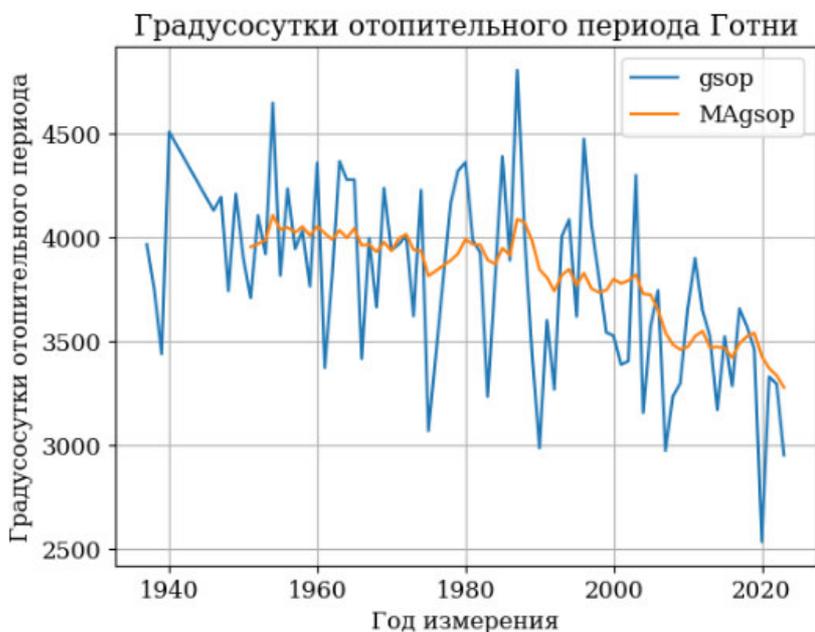


Рис. 6. Градусо-сутки отопительных периодов в Белгородской области: gsop - по данным метеостанции и MAGsop – округленные (скользящая средняя с периодом 10)

Также была произведена прогнозная оценка изменения среднегодовых температур,

продолжительностей отопительного периода, изменения температур отопительного периода и

градусо-суток отопительного периода. Так как тренд на повышение среднегодовых температур пришелся примерно на конец 1980-х, было принято решение прогнозировать изменение вышеперечисленных параметров приблизительно с этого же временного диапазона. Так как целью работы было получить прогнозные значения к 2050 году, решено было использовать линейную регрессию для прогнозирования тренда по средним значениям указанного периода исследования.

Для прогнозирования использовался класс LinearRegression библиотеки Scikit-learn. Данный класс позволяет подбирать линейную модель к набору данных, предсказывать новые значения, а также оценивать производительность модели.

На рисунке 7 показана прогнозная оценка изменения среднегодовой температуры Готни. Как видно из графика прогнозное значение среднегодовой температуры к 2050 году составляет около 9,8 °С. Стандартное отклонение модели составило 0,57 °С.

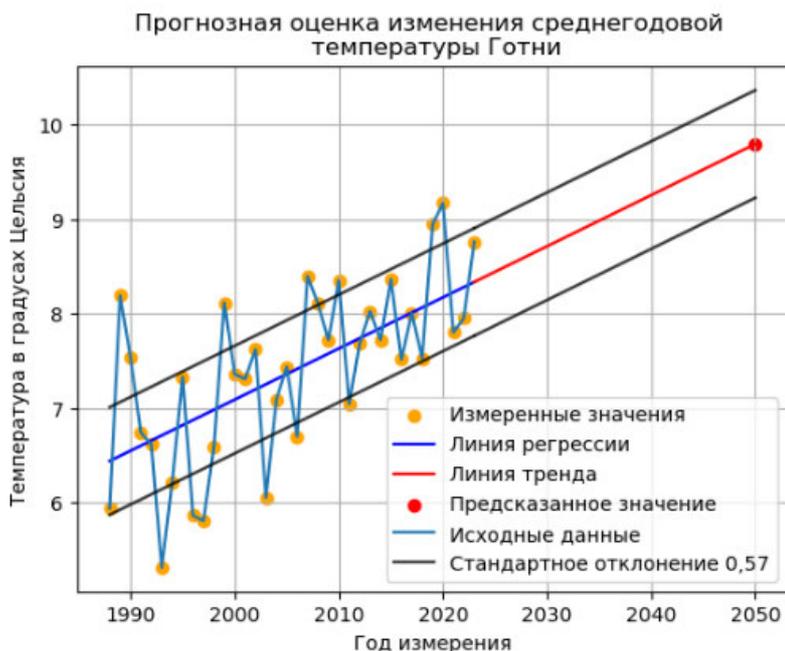


Рис. 7. Прогнозная оценка изменения среднегодовой температуры Готни

На рисунке 8 показана прогнозная оценка изменения продолжительности отопительного периода Готни. Прогнозное значение

продолжительности отопительного периода к 2050 году составляет 167 дней. Стандартное отклонение модели составило 11 дней.

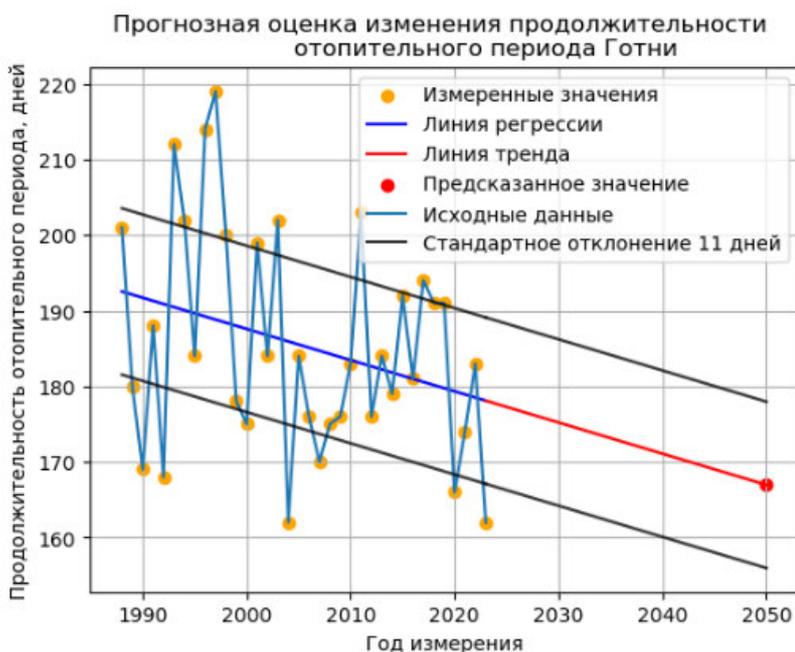


Рис. 8. Прогнозная оценка изменения продолжительности отопительного периода Готни

На рисунке 9 показана прогнозная оценка изменения средней температуры отопительного периода Готни. Как видно из графика прогнозное значение средней температуры отопительного периода к 2050 году составляет  $-0,37\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Стандартное отклонение модели составило  $1,19\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На рисунке 10 показана прогнозная оценка изменения градусо-суток отопительного периода Готни. Прогнозное значение градусо-суток отопительного периода к 2050 году составляет 3043 градусо-суток. Стандартное отклонение модели составило около 350 градусо-суток.



Рис. 9. Прогнозная оценка изменения средней температуры отопительного периода Готни.

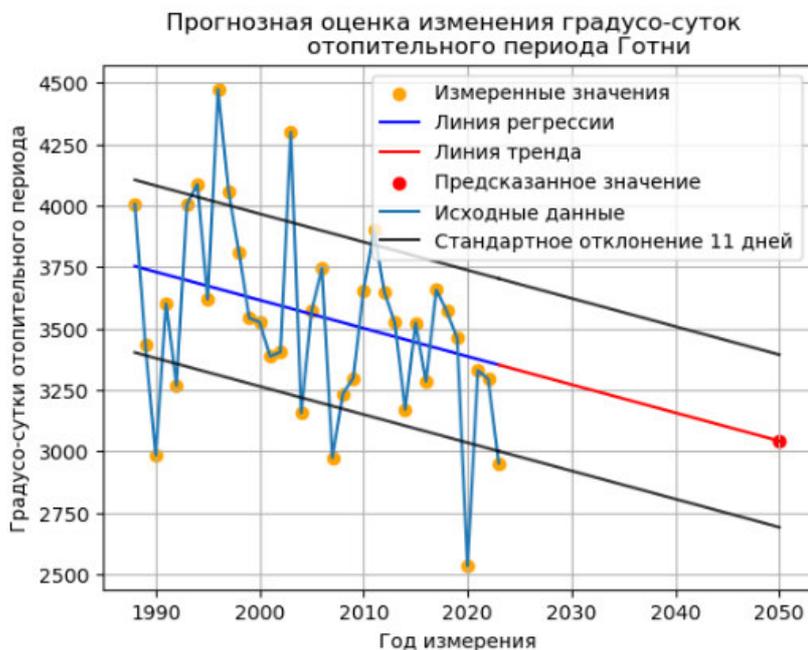


Рис. 10. Прогнозная оценка изменения градусо-суток отопительного периода Готни.

При сравнении с данными, полученными в настоящей работе, можно сказать, что продолжительности отопительного периода на 1995–2000 годы совпадают с существующими данными исследования [15]. Однако реальное уменьшение

средней продолжительности отопительного периода до 180 дней, которое прогнозируется к 2050 году по данным [15], по результатам настоящих исследований происходит к 2012-2013 годам, и в настоящее время составляет около 183 дней.

Значения средних температур отопительных периодов в работе [15] на момент исследования и прогноз на 2050 год меняется приблизительно на  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , от  $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на момент написания статьи и до  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  для прогноза на 2050 год, который в целом имеет близкое значение с данными настоящего исследования.

При изучении графика изменения градусо-суток отопительного периода с учетом температуры внутреннего воздуха в помещении  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис.6) можно сделать вывод о плавном снижении количества градусо-суток отопительных периодов с течением времени. Если в 1950-1960 годах усредненное значение градусо-суток находилось в диапазоне 4000-4100, в 2010-2020 годах это значение опускается ниже 3500. Минимальное число градусо-суток отопительного периода зафиксировано в отопительном сезоне 2019-2020 и составило 2535.

Если сравнивать градусо-сутки отопительных периодов, то изменение с 2000 по 2050 гг. по данным автора [15] составляет от 3900 на 2000 год, и 3300-3400 на 2050 год. Однако прогнозное снижение градусо-суток отопительного периода по результатам настоящих исследований опускается ниже 3400 к 2023 году, а к 2050 году приближается к 3000.

Таким образом, потепление в Белгородской области в целом происходит быстрее прогнозируемых в исследованиях [15] показателей. Прогнозные значения продолжительности отопительных сезонов, средних температур отопительных периодов и градусо-суток отопительных периодов к 2050 году наблюдаются уже к 2023 году, а зачастую и превышают прогнозируемые к 2050 году значения. Однако по сравнению с более поздними источниками, направленными на изучение изменения климатических параметров [22,23], результаты, полученные в настоящем исследовании, имеют похожую тенденцию изменения, касающуюся прогнозирования изменения климата к 2050 году, что говорит о достаточно высокой достоверности и надежности полученных результатов, подтверждая соответствие уже проведенным исследованиям. Также это может говорить о том, что произошло значительное ускорение потепления в регионе, хорошо отслеживаемое после 2000-х годов, которые более ранние исследования не могли отражать. Данный факт может выступать ещё одним аргументом в пользу использования альтернативных источников энергии и технологий, использование которых раньше было в меньшей степени обосновано из-за достаточно низких температур воздуха [24].

**Выводы.** В настоящее время глобальное потепление является неоспоримым фактом, что доказывается многочисленными исследованиями и десятилетиями наблюдений за изменением температурой поверхности земли. Данный процесс происходит вследствие повышения содержания в атмосфере углекислого газа, причиной которого в том числе является развитие промышленности, увеличение количества транспорта, добыча полезных ископаемых, вырубка лесов, эксплуатация зданий. Различные физико-математические модели климатической системы для понимания и предсказания процессов изменения климата в самых оптимистичных сценариях предполагают небольшое дальнейшее повышение средней глобальной температуры как минимум до 2050 года, а затем незначительное её снижение или остановки её роста. Более реальные сценарии предполагают рост глобальной температуры с  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до почти  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  к 2085-2100 году по сравнению с 1986-2005 гг.

При исследовании основных параметров отопительного сезона в Белгородской области, таких как продолжительность отопительного периода, средняя температура отопительного периода и градусо-сутки отопительного периода было выявлено что в Белгородском регионе прослеживается общая тенденция к глобальному потеплению климата, причем потепление происходит более чем в два раза интенсивнее, чем прогнозировали ученые в начале 2000-х.

В связи с этим возникает вопрос о необходимости адаптации существующих методик для определения расчетных параметров отопительных периодов, например, градусо-суток отопительных периодов, для расчета которых используются усредненные данные за последние 50 лет наблюдений, что слабо отражает последние тренды изменения климата. Например, по СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика» наиболее холодной пятидневке обеспеченностью 0,92 соответствует температура  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , такая же расчетная температура указана в СНиП 23-01-99 «Строительная климатология». Что касается последней редакции СП 131.13330.2020 – расчетная температура для той же обеспеченности составляет  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что выглядит достаточно необоснованно, учитывая, что по данным метеостанции температура наиболее холодной пятидневки опустилась ниже  $-22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  не больше четырех раз за последние 50 лет. С одной стороны, это говорит о том, что для полной достоверности необходимо исследовать остальные метеостанции Белгородской области, однако можно сказать, что для части региона актуальной температурой наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 будет температура не ниже  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$

если брать в расчет глубину наблюдений 50 лет, и около  $-21^{\circ}\text{C}$  для тридцатилетнего периода наблюдений. Даже без изменения существующих методик расчета.

Одним из вариантов адаптации под климатологические изменения можно предложить рациональное изменение числа градусо-суток при проектировании в сторону уменьшения, что позволит обоснованно снизить требуемое термическое сопротивление при строительстве ограждающих конструкций новых зданий. Это повлияет на толщину утеплителя и конструкцию наружных ограждений в целом. Данное решение позволит снизить затраты на строительство в зависимости от масштаба применения, что отразится на уменьшении углеродного воздействия на атмосферу в будущем.

Другим способом может являться изменение требуемого термического сопротивления, учитывающего динамику изменения температур последних десятилетий при расчете систем отопления, что позволит уменьшить затраты при проектировании за счет уменьшения стоимости строительства, например, подбора котла меньшей мощности, или меньших диаметров магистралей и стояков, или же меньшей мощности насосного оборудования.

Для существующих зданий, наблюдаемая тенденция к потеплению отопительного периода будет способствовать повышению тепловой эффективности и создаст условия для сокращения энергопотребления в зимний сезон.

*Источник финансирования. Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 23.11.2009 г. №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (в ред. от 11.06.2021 г.)
2. Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы». Методология расчета индекса «Цифровая Россия» субъектов Российской Федерации. Московская школа управления Сколково. [электронный ресурс]. URL:<http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/>
3. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 №1632 Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [электронный ресурс]. URL:<http://base.garant.ru/71734878/>
4. Лупей А.Г. О диагностике состояния систем отопления потребителей тепловой энергии // СОК. 2004. №8. С. 48–52.
5. Safiullin R.N., Afanasyev A.S., Reznichenko V. V. The Concept of Development of Monitoring Systems and Management of Intelligent Technical Complexes // Записки Горного института. 2019. №237. С. 322–330. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.322
6. Elistratova Y., Seminenko A., Elistratov D., Sheps R., Umerenkov A. Reliability of Methods of Calculation of Heating Systems for Digital Model // Lecture Notes in Civil Engineering. 2024. Vol. 372. Pp. 31–39. DOI: 10.1007/978-3-031-36723-6\_4
7. Трухний А.Д., Зройчиков Н.А., Ломакин Б.В., Седов И.В. Информационно-диагностическая система контроля подогревателей сетевой воды турбоустановки Т-250/300-240 // Теплоэнергетика. 1998. № 1. С. 30–34.
8. Tol H.Í., Desmedt J., Salenbien R. A novel demand-responsive control strategy for district heating systems, featuring return temperature reduction // Energy and Built Environment. 2021. Vol. 2(1). Pp. 105–125. DOI:10.1016/j.enbenv.2020.05.001
9. Khlebnikova E.I., Sall' I.A., Shkol'nik I.M. Regional climate changes as the factors of impact on the objects of construction and infrastructure // Russ. Meteorol. Hydrol. 2012. Vol. 37. Pp. 735–745. DOI: 10.3103/S1068373912110076
10. Li Y., Wang W., Wang Y., Xin Y., He T., Zhao G. A Review of Studies Involving the Effects of Climate Change on the Energy Consumption for Building Heating and Cooling // Res. Public Health. 2021. Vol. 18. Pp. 40–58. DOI:10.3390/ijerph18010040
11. Shi Y., Wang G., Gao X., Xu Y. Effects of climate and potential policy changes on heating degree days in current heating areas of China // Scientific reports. 2018. Vol. 8(1). Pp. 10211–10224. DOI: 10.1038/s41598-018-28411-z
12. Andrade C., Mourato S., Ramos J. Heating and cooling degree-days climate change projections for Portugal // Atmosphere. 2021. Vol. 12. Vol. 6. Pp. 715–739. DOI:10.3390/atmos12060715.
13. Chidiac S.E., Yao L., Liu P. Climate change effects on heating and cooling demands of buildings in Canada // CivilEng. 2022. Vol. 3(2). Pp. 277–295. DOI:10.3390/civileng3020017.
14. Janković A., Podračanin Z., Djurdjević V. Future climate change impacts on residential heating

and cooling degree days in Serbia // IDŐJÁRÁS/QUARTERLY JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE. 2019. Vol. 123(3). Pp. 351–370. DOI:10.28974/idojaras.2019.3.6

15. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г., Микушина О.В. Изменение параметров отопительного периода на европейской территории России в результате глобального потепления // Изв. РАН. Энергетика. 2002. №. 2. С. 10–27.

16. Клименко В.В., Клименко А.В., Андрейченко Т.Н. Энергия, природа и климат. Москва: Изд-во МЭИ, 1997. 214 с.

17. Klimentko V.V., Mikushina O.V., Larin D. A. Temperature changes in Taimyr region in the context of global climate change // Geokol., Inzh. Geol., Hidrogeol., Geokriol. 2001. Vol. 3. Pp. 195–203.

18. Klimentko V.V., Dovgalyuk V.V., Mikushina O.V. Forecast of climate change in the Moscow region under the influence of anthropogenic and natural factors // Vestnik MEI. 2001. Vol. 2. Pp. 36–45.

19. Архив погоды в Белгороде / им. В.Г. Шухова (аэропорт). [электронный ресурс]. URL: [https://tp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Белгороде\\_им.\\_В.Г.\\_Шухова\\_\(аэропорт\)](https://tp5.ru/Архив_погоды_в_Белгороде_им._В.Г._Шухова_(аэропорт)) (дата обращения: 20.03.2024)

20. Действующие метеорологические станции сети Росгидромета (RU\_RIHMI-

WDC\_2667). [электронный ресурс]. URL: [http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU\\_RIHMI-WDC\\_2667](http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2667) (дата обращения: 20.01.2024)

21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682711 Российская Федерация. Программа для анализа параметров отопительного сезона по архиву климатических данных : № 2022682110 : заявл. 17.11.2022; опубл. 25.11.2022 / Е. О. Шеремет, А. С. Семиненко, М. В. Свириг; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

22. Клименко В.В., Терешин А.Г., Микушина О.В. Изменения климатических параметров и их роль в работе систем теплоснабжения страны // Новости теплоснабжения. 2008. №. 8. С. 5–13.

23. Ивахов В.М. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). Санкт-Петербург. 2020. 120 с.

24. Ильина Т.Н., Мухамедов Р.Ю., Веревкин О.В. Перспективы использования тепловых насосов в системах отопления малоэтажных БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 158–162.

#### Информация об авторах

**Шеремет Евгений Олегович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, E-mail: 66910@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Старченко Сергей Федорович**, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: s.starchenko@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 01.04.2024 г.

© Шеремет Е.О., Старченко С.Ф., 2024

**\*Sheremet E.O., Starchenko S.F.**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

*\*E-mail: 66910@mail.ru*

## INVESTIGATION OF CHANGES IN THE MAIN DESIGN PARAMETERS OF THE HEATING PERIOD ACCORDING TO THE TEMPERATURE ARCHIVE

**Abstract.** In recent decades, there has been an increasing trend towards global warming of the planet. Numerous studies are aimed at assessing the impact of climate change on the construction industry and on the infrastructure sector as a whole. At the same time, not many works are aimed at studying the impact of climate change on the building's energy demand for heating. The purpose of the work was to study the changes in the main parameters of the heating season of the Belgorod region, necessary for calculating the thermal protection of buildings. The minimum, average and maximum annual temperatures are analyzed, the dates of the beginning and end of heating periods, the duration of heating periods, the minimum temperatures of heating periods,

*the temperatures of the coldest five-day heating periods, the average temperatures of heating periods, the degree-day heating periods from 1936 to 2023 are analyzed. A forecast assessment of the above parameters was also performed with a forecast up to 2050, taking into account the appearance of a trend of increasing average annual temperatures since the 1980s. The trends towards an increase in the minimum temperatures of the heating seasons, an increase in the temperatures of the coldest five days, an increase in the average temperatures of the heating periods and a decrease in the degree-day of the heating periods are revealed. The conclusion is made about the correlation of global warming and climate warming in the Belgorod region. It has been revealed that warming in the Belgorod region is proceeding faster than estimated in a number of studies at the beginning of the XXI century, but the values of changes in the main parameters correlate well with a number of more modern studies considered in the work. Recommendations are given for the design of heating systems, taking into account the tendency to increase the degree-day of heating periods.*

**Keywords:** heating, energy saving, heating system, climate change, forecasting.

## REFERENCES

1. Federal Law No. 261 of 11/23/2009 "On Energy Conservation and on Improving Energy Efficiency and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation" [«Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmenenij v otдел'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii»] (as amended. dated 06/11/2021) (rus)
2. Decree of the President of the Russian Federation dated 05/19/2017 No. 203 "On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017-2030" [«O Strategii razvitiya informacionnogo obshchestva v Rossijskoj Federacii na 2017-2030 gody»]. Metodologiya rascheta indeksa «Cifrovaya Rossiya». Methodology for calculating the Digital Russia index of the subjects of the Russian Federation. Moscow School of Management Skolkovo. URL:<http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/> (rus)
3. Decree of the Government of the Russian Federation dated 07/28/2017 No. 1632 On the approval of the program "Digital Economy of the Russian Federation" [«Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federacii»]. URL:<http://base.garant.ru/71734878/> (rus)
4. Lupey A.G. On diagnostics of the state of heating systems for consumers of thermal energy [O diagnostike sostoyaniya sistem otopleniya potrebitel'ev teplovoj energii]. SOC. 2004. No. 8. Pp. 48–52. (rus)
5. Safiullin R.N., Afanasyev A.S., Reznichenko V.V. The Concept of Development of Monitoring Systems and Management of Intelligent Technical Complexes. Notes of the Mining Institute. 2019. Vol. 237. Pp. 322–330. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.322
6. Elistratova Y., Seminenko A., Elistratov D., Sheps R., Umerenkov A. Reliability of Methods of Calculation of Heating Systems for Digital Model. Lecture Notes in Civil Engineering, 2024. Vol. 372. Pp. 31–39. DOI: 10.1007/978-3-031-36723-6\_4
7. Trukhny A.D., Zroychikov N.A., Lomakin B.V., Sedov I.V. Information and diagnostic control system for mains water heaters of the T-250/300-240 turbine unit [Informacionno-diagnosticheskaya sistema kontrolya podogrevatelej setevoy vody turbostanovki T-250/300-240]. Thermal power engineering. 1998. No. 1. Pp. 30–34. (rus)
8. Tol H.I., Desmedt J., Salenbien R.A novel demand-responsive control strategy for district heating systems, featuring return temperature reduction. Energy and Built Environment. 2021. Vol. 2. No. 1. Pp. 105–125. DOI:10.1016/j.enbenv.2020.05.001
9. Khlebnikova E.I., Sall' I.A., Shkol'nik I.M. Regional climate changes as the factors of impact on the objects of construction and infrastructure. Russ. Meteorol. Hydrol. 2012. Vol. 37. Pp. 735–745. DOI: 10.3103/S1068373912110076
10. Li Y., Wang W., Wang Y., Xin Y., He T., Zhao G. A Review of Studies Involving the Effects of Climate Change on the Energy Consumption for Building Heating and Cooling. Res. Public Health. 2021. Vol. 18. Pp. 40–58. DOI: 10.3390/ijerph18010040
11. Shi Y., Wang G., Gao X., Xu Y. Effects of climate and potential policy changes on heating degree days in current heating areas of China. Scientific reports. 2018. Vol. 8(1). Pp. 10211–10224. DOI: 10.1038/s41598-018-28411-z
12. Andrade C., Mourato S., Ramos J. Heating and cooling degree-days climate change projections for Portugal. Atmosphere. 2021. Vol. 12(6). Pp. 715–739. DOI:10.3390/atmos12060715
13. Chidiac S.E., Yao L., Liu P. Climate change effects on heating and cooling demands of buildings in Canada. CivilEng. 2022. Vol. 3(2). Pp. 277–295. DOI:10.3390/civileng3020017
14. Janković A., Podračanin Z., Djurdjević V. Future climate change impacts on residential heating and cooling degree days in Serbia. IDÓJÁRÁS/QUARTERLY JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE. 2019. Vol. 123(3). Pp. 351–370. DOI:10.28974/idojaras.2019.3.6
15. Klimenko V.V., Klimenko A.V., Tereshin A.G., Mikushina O.V. Changes in the parameters of the heating period in the European territory of Russia as a result of global warming [Izmenenie parametrov otopitel'nogo perioda na evropejskoj territorii Rossii

v rezultate global'nogo potepleniya]. Izv. RAS. Energy. 2002. No. 2. Pp. 10–27. (rus)

16. Klimenko V.V., Klimenko A.V., Andreichenko T.N. Energy, nature and climate [Energiya, priroda, klimat]. M.: MPEI publishing house. 1997. 217 p. (rus)

17. Klimenko V.V., Mikushina O.V., Larin D.A. Temperature changes in Taimyr region in the context of global climate change. Geokol., Inzh. Geol., Gidrogeol., Geokriol. 2001. Vol. 3. Pp. 195–203.

18. Klimenko V.V., Dovgalyuk V.V., Mikushina O.V. Forecast of climate change in the Moscow region under the influence of anthropogenic and natural factors. Vestnik MEI. 2001. Vol. 2. Pp. 36–45.

19. Weather archive in Belgorod / im. V.G. Shukhov (airport) [Arhiv pogody v Belgorode / im. V.G. Shuhova (aeroport)]. <https://tp5.ru/> (rus) (date of treatment: 20.03.2024)

20. Operating meteorological stations of the Roshydromet network (RU\_RIHMI-WDC\_2667) [Dejstvuyushchie meteorologicheskie stancii seti Rosgidrometa]. URL: [http://esimo.ru/data-view/viewresource?resourceId=RU\\_RIHMI-WDC\\_2667](http://esimo.ru/data-view/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2667) (rus) (date of treatment: 20.01.2024)

21. Certificate of state registration of the computer program No. 2022682711 Russian Federation. The program for analyzing the parameters of the heating season according to the archive of climatic

data [Programma dlya analiza parametrov otopitel'nogo sezona po arhivu klimaticheskikh dannyh]: No. 2022682110 : application 17.11.2022: publ. 25.11.2022 / E.O. Sheremet, A.S. Seminenko, M.V. Svirin; applicant Federal State budgetary educational institution of higher education "Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov". (rus)

22. Klimenko V.V., Tereshin A.G., Mikushina O.V. Changes in climatic parameters and their role in the operation of heat supply systems of the country [Izmeneniya klimaticheskikh parametrov i ih rol' v rabote sistem teplosnabzheniya strany]. Heat supply news. 2008. No. 8. Pp. 5–13. (rus)

23. Ivakhov V.M. Report on scientific and methodological foundations for the development of strategies for adaptation to climate change in the Russian Federation [Doklad o nauchno-metodicheskikh osnovah dlya razrabotki strategij adaptatsii k izmeneniyam klimata v Rossijskoj Federacii] (in the field of competence of Roshydromet). St. Petersburg. 2020. 120 p. (rus)

24. Ilyina T.N., Mukhamedov R.Yu., Verevkin O.V. Prospects of using heat pumps in heating systems of low-rise residential buildings in the Belgorod region [Perspektivy ispol'zovaniya teplovykh nasosov v sistemah otopleniya maloetazhnykh zhilyh domov Belgorodskoj oblasti]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2009. No. 3. Pp. 158–162. (rus)

#### *Information about the authors*

**Sheremet, Evgeny O.** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation. E-mail: 66910@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

**Starchenko, Sergej F.** Postgraduate student of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation. E-mail: s.starchenko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

---

*Received 01.04.2024*

#### **Для цитирования:**

Шеремет Е.О., Старченко С.Ф. Исследование изменения основных расчетных параметров отопительного периода по архиву температур // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №6. С. 19–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-19-31

#### **For citation:**

Sheremet E.O., Starchenko S.F. Investigation of changes in the main design parameters of the heating period according to the temperature archive. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 6. Pp. 19–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-19-31