



## Строительные материалы и изделия Construction Materials and Products

ISSN  
2618-7183

journal homepage: <https://bstu-journals.ru>

DOI: DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-3-18-30



# Большие данные при прогнозировании климатической стойкости строительных материалов. I. Температура и влажность воздуха

Низина Т.А.\* <sup>1</sup>, Низин Д.Р. <sup>1</sup>, Селяев В.П. <sup>1</sup>,  
Спирин И.П. <sup>1</sup>, Станкевич А.С. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Россия

\**Ответственный автор E-mail: [nizinata@yandex.ru](mailto:nizinata@yandex.ru)*

**Аннотация:** в статье проведен сравнительный анализ количественных значений температуры и относительной влажности окружающего воздуха, рассчитанных согласно ГОСТ 16350-80 для умеренно континентального климата (представительный пункт – г. Москва), и полученных на метеорологической станции НИ МГУ им. Н.П. Огарева (г. Саранск) за период с 2015 по 2022 гг. Установлено существенное расхождение расчетных и накопленных значения метеорологических факторов. На исследуемом временном отрезке разброс значений разницы между расчетными и накопленными значениями составил от -5,8 до 10 °С для температуры воздуха и от -36,4 до 32,5% для относительной влажности. Также наблюдается существенное варьирование значений разницы исследуемых показателей в зависимости от календарного месяца и отклонение ряда кривых распределения от нормального вида, что, в целом, свидетельствует о невозможности достоверной оценки распределений с помощью только значения квадратичного отклонения, рекомендуемой ГОСТ 16350-80. Установлено, что использование расчетных распределений практически не позволяет учитывать события, возникающие вблизи границ распределений исследуемых метеорологических параметров. Это, в свою очередь, необратимо сказывается на точности прогнозирования процессов климатического старения строительных материалов. При прогнозировании климатической стойкости материалов методами машинного обучения предложено использовать вместо относительной влажности значения абсолютной влажности воздуха, как признака, имеющего четкий физический смысл (масса водяных паров, содержащихся в 1 м<sup>3</sup> воздуха), а также определенного только на интервале неотрицательных значений.

**Ключевые слова:** большие данные, климатическая стойкость, температура воздуха, относительная влажность, абсолютная влажность, тепловая карта, умеренно континентальный климат

**Для цитирования:** Низина Т.А., Низин Д.Р., Селяев В.П., Спирин И.П., Станкевич А.С. Большие данные при прогнозировании климатической стойкости строительных материалов. I. Температура и влажность воздуха // Строительные материалы и изделия. 2023. Том 6. № 3. С. 18 – 30. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-3-18-30

# Big Data in Predicting the Climatic Resistance of Building Materials. I. Air Temperature and Humidity

Nizina T.A.\* <sup>1</sup>, Nizin D.R. <sup>1</sup>, Selyaev V.P., <sup>1</sup>,  
Spirin I.P., <sup>1</sup>, Stankevich A.S. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Research Mordovia State University, Russia

\*Corresponding author E-mail: nizinata@yandex.ru

---

**Abstract:** the article provides a comparative analysis of the quantitative values of temperature and relative humidity of the ambient air calculated according to GOST 16350-80 for a moderate continental climate (representative location – Moscow), and obtained at the meteorological station of Ogarev State University (Saransk) for the period from 2015 to 2022. A significant discrepancy between the calculated and accumulated values of meteorological factors has been established. In the studied time interval, the spread of the difference between the calculated and accumulated values ranged from -5.8 to 10 °C for air temperature and from -36.4 to 32.5% for relative humidity. There is also a significant variation in the difference of the studied indicators depending on the calendar month, as well as a deviation of a number of distribution curves from the normal form, which, in general, indicates the impossibility to reliably assess distributions using only the value of the quadratic deviation recommended by GOST 16350-80. It has been established that the use of calculated distributions virtually does not allow taking into account events occurring near the boundaries of the distributions of the studied meteorological parameters. This, in turn, irreversibly affects the accuracy of forecasting the climatic aging of building materials. When predicting the climatic resistance of materials by machine learning methods, it is proposed to use absolute humidity values instead of relative humidity as a sign that has a clear physical meaning (mass of water vapor contained in 1 m<sup>3</sup> of air), as well as defined only in the range of non-negative values.

**Keywords:** big data, climatic resistance, air temperature, relative humidity, absolute humidity, heat map, temperate continental climate

**Please cite this article as:** Nizina T.A., Nizin D.R., Selyaev V.P., Spirin I.P., Stankevich A.S. Big data in predicting the climatic resistance of building materials. I. Air temperature and humidity. Construction Materials and Products. 2023. 6. (3). P. 18 – 30. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-3-18-30

---

## ВВЕДЕНИЕ

Окружающая среда представляет собой самый распространенный вид агрессивного воздействия, которому подвержены все строительные изделия и конструкции. Как следствие, помимо требований по обеспечению бесперебойной эксплуатации, они также должны обладать достаточной стабильностью свойств в условиях действия природных климатических факторов [1, 2].

Климатическое районирование макроклиматических районов земного шара с холодным и умеренным климатом определяется согласно ГОСТ 25870-83 «Макроклиматические районы земного шара с холодным и умеренным климатом. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей». При этом выделяют четыре климатических района, относящихся к холодному макроклимату (очень холодный (ОХЛ), холодный с очень влажным летом (ХЛ<sub>1</sub>), холодный с холодным летом (ХЛ<sub>2</sub>), холодный с теплым летом (ХЛ<sub>3</sub>)) и три района – к умеренному (умеренно холодный (У<sub>1</sub>), умеренный (У<sub>2</sub>), умеренно теплый (У<sub>3</sub>)). Районирование климата Российской Федерации уже более сорока лет регламентируется ГОСТ 16350-80 «Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей, согласно которому холодный макроклиматический район подразделяется на очень холодный (I<sub>1</sub>) и холодный (I<sub>2</sub>) климатические районы, а умеренный макроклиматический район – на 12 климатических районов, в частности, арктический приполюсной (II<sub>1</sub>),

арктический восточный (П<sub>2</sub>), арктический западный (П<sub>3</sub>), умеренно холодный (П<sub>4</sub>), умеренный (П<sub>5</sub>), умеренно влажный (П<sub>6</sub>), умеренно теплый (П<sub>7</sub>), умеренно теплый влажный (П<sub>8</sub>), умеренно теплый с мягкой зимой (П<sub>9</sub>), теплый влажный (П<sub>10</sub>), жаркий сухой (П<sub>11</sub>) и очень жаркий сухой (П<sub>12</sub>). Необходимо отметить, что после развала СССР часть представительных пунктов (Киев (П<sub>7</sub>), Минск (П<sub>8</sub>), Одесса (П<sub>9</sub>), Батуми (П<sub>10</sub>), Ташкент (П<sub>11</sub>), Ашхабад (П<sub>12</sub>) и др.) осталась за пределами территории Российской Федерации.

Согласно сведениям, приведенным в ГОСТ 16350-80, возможно рассчитать математическое ожидание температуры и относительной влажности воздуха с шагом в один час, а также их возможные отклонения, оцениваемые согласно нормальному закону распределения для всех вышеуказанных климатических районов. Построенные на основе предсказанных числовых значений температуры и относительной влажности воздуха тепловые карты распределений будут рассмотрены в данной работе ниже. Статистические показатели, представленные в вышеуказанном ГОСТ, рассчитаны на основе многолетних данных (от 25 лет и более), накопленных до 1980 года.

Учитывая тенденцию к ускорению антропогенного изменения климата в последние десятилетия, что подтверждено результатами научных исследований, представленных в Шестом (2021 г.) оценочном докладе Межправительственной группы по изменению климата [3], а также Втором (2014 г.) и Третьем (2022 г.) оценочных докладах Росгидромета [4, 5], на данный момент уже с уверенностью отмечается, что человечество ожидает дальнейшее изменение климата, сопровождающееся корректировкой соответствующих климатических воздействий. Согласно сведениям, приведенным в [5], период с 2011 по 2020 гг. стал самым теплым десятилетием за всю историю наблюдений. А начиная с 1980-х годов каждое последующее десятилетие было теплее, чем любое предыдущее после 1850 года. В последние десятилетия также наблюдается увеличение глобальных осадков над сушей (в среднем, на 5-10 мм/год за десятилетие), причем темпы роста также увеличиваются. Согласно всем рассмотренным Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) сценариям выбросов, глобальная приземная температура будет продолжать повышаться (по крайней мере, до середины XXI века).

В качестве последствий изменения климата на территории Российской Федерации, в частности, в Центральном, Приволжском, Северо-Западном, Южном, Уральском, Сибирском, Дальневосточном федеральных округах в области жилищно-коммунального хозяйства и строительства ожидается [5], что потепление в зимний период приведет к увеличению числа дней с переходом температуры через 0 °С, что, в свою очередь, ускорит старение ограждающих конструкций зданий и сооружений, дорог, тоннелей, взлетно-посадочных полос аэродромов и др. и, как следствие, существенно повысит эксплуатационные расходы на их содержание [6-8]. Также ожидается рост повторяемости гололедно-изморозевых отложений на дорогах, связанных с повышением зимних температур и увеличением количества осадков в холодный период.

Кроме того, для ряда регионов РФ уже сейчас наблюдается повышение числа дней с максимальной температуры воздуха выше 30°C, что приводит к перегреву зданий и ухудшению комфортности жилища при отсутствии кондиционирования. В области транспортного строительства повышение температуры приведет к интенсификации процесса увеличения колеяности и разрушения дорог, особенно в условиях их большой загруженности [5].

Значения климатических параметров, используемых при проектировании зданий и сооружений, в том числе систем отопления, вентиляции, кондиционирования, водоснабжения, а также при планировке и застройке городских и сельских поселений территорий Российской Федерации регламентируются СП 131.13330 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология», регулярно обновляемым в последние годы (2012, 2018, 2020). С 01 июля 2022 года подведомственные учреждения Росгидромета перешли на использование в оперативно-производственной практике климатических норм, рассчитанных за период 1991-2020 годы.

Современные методы обработки и анализа данных, в частности, машинное обучение, позволяют использовать при оценке климатической стойкости и долговечности строительных материалов, изделий и конструкций, эксплуатирующихся в условиях натурального климатического воздействия, помимо статистических параметров (среднее значение, абсолютные минимальные и максимальные уровни и др., в том числе рассчитанные с различной обеспеченностью – 0,92, 0,94, 0,95 и 0,98), представленных в СП 131.13330.2020, также наборы рядовых значений кли-

матических показателей, фиксируемых с высокой частотой снятия показаний [9-12]. Их использование позволит существенно повысить точность прогнозирования климатической стойкости материалов. Сбор количественных значений факторов окружающей среды целесообразно осуществлять с применением станций автоматического контроля. У авторского коллектива накоплен достаточный опыт работы (с 2013 года) с подобной станцией [9, 13], что позволяет проанализировать полученные данные и сравнить их с показателями, представленными в ГОСТ 16350-80.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Традиционно, согласно Наставлениям гидрометеорологическим станциям и постам (выпуск 3, часть I. Метеорологические наблюдения на станциях, 1985; изменение №1, 1997), приземные метеорологические наблюдения на станциях, входящих в наземную сеть наблюдений, выполняются по всей территории синхронно в сроки 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 ч среднего гринвичского времени, что соответствует 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21, 24 ч московского зимнего времени. Обработка материалов метеорологических наблюдений регламентируется РД 52.04.614-2000 [14].

Авторским коллективом использовалась автоматическая станция контроля загрязнения атмосферного воздуха МР-28, расположенная в г. Саранск (умеренно-континентальный климат, метеостанция Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва), включающая в свой состав: павильон с системой жизнеобеспечения и энергоснабжения; метеорологический комплекс, актинометрический и газоаналитический комплексы; сертифицированные средства измерения параметров загрязнения и метеорологических величин с выдачей информации по стандартному интерфейсу RS485; средства обработки и передачи данных; центральное устройство; аппаратуру для приема-передачи данных. Метеорологический комплекс позволяет в круглосуточном режиме (частота снятия показаний – 20 минут) измерять и фиксировать: температуру и относительную влажность воздуха; атмосферное давление; скорость и направление ветра; осадки (общее количество за интервал измерения). Актинометрический комплекс позволяет количественно определять (частота фиксации показаний каждые 10 минут): солнечную радиацию; мягкий ультрафиолет А (400 – 320 нм); жесткий ультрафиолет В (320 – 28 нм). Газоаналитический комплекс фиксирует концентрацию в воздухе следующих веществ: оксид углерода СО; озон О<sub>3</sub>; диоксид азота NO<sub>2</sub>; оксид азота NO<sub>x</sub>; диоксид серы SO<sub>2</sub>; сероводород H<sub>2</sub>S; аммиак NH<sub>3</sub>.

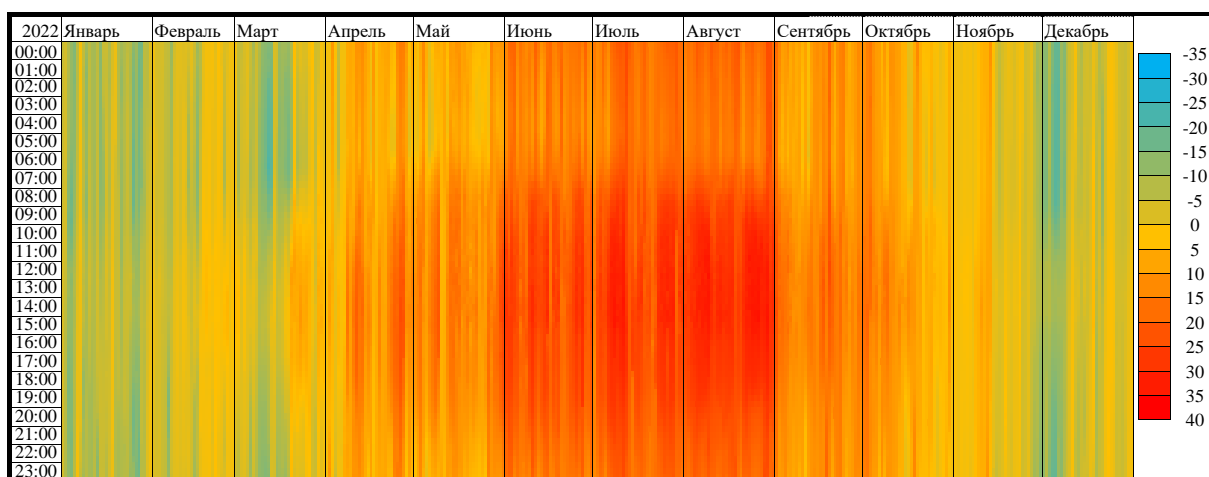
Диспетчерский и архивный комплексы позволяют в автоматическом режиме осуществлять решение следующих задач:

- идентификацию и входной контроль принятых данных;
- подготовку наборов данных для загрузки с помощью сервера баз данных;
- оперативный анализ текущей экологической обстановки (контроль параметров экологической обстановки; сравнение текущих значений контролируемых параметров с нормативами, расчет коэффициентов превышения);
  - оперативный контроль и управление параметрами работы станции;
  - информационный поиск по запросу;
  - вычисление расчетных характеристик;
  - формирование выходных документов (отчетов).

В качестве основных факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на эксплуатационные характеристики строительных материалов, изделий и конструкций на их основе, принято рассматривать температуру и относительную влажность воздуха, а также интенсивность актинометрических показателей (солнечная радиация, ультрафиолетовые излучения диапазонов А и В). В работе проведено исследование алгоритмов анализа температуры и влажности (относительной и абсолютной) окружающего воздуха на основе данных, накопленных авторским коллективом с 2015 по 2022 гг. Результаты исследования других видов метеорологических показателей будут представлены в следующих публикациях.

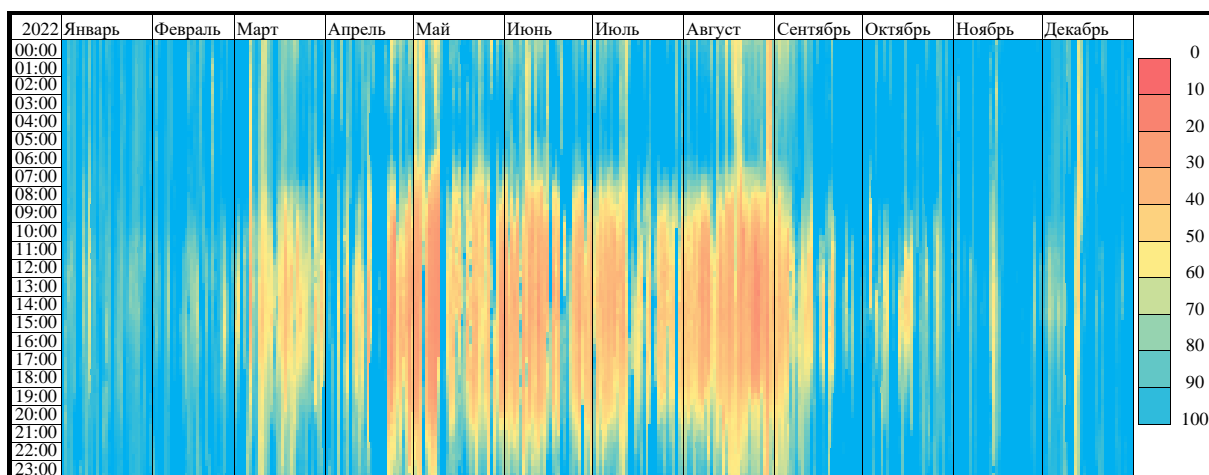
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Традиционно, результаты климатических испытаний представляют в виде многочисленных таблиц и графических зависимостей [4, 5, 15]. На наш взгляд, наиболее наглядное представление об изменении метеорологических показателей, фиксируемых с высокой частотой снятия в зависимости от дня года и времени суток можно получить из анализа тепловых карт, подобных представленным на рис. 1 и 2 (2022 год, частота фиксации показаний 20 минут). Анализ тепловых карт позволяет выделить области с различными уровнями метеорологических показателей. Накапливаемые в процессе исследований объемы данных, содержащих для одного календарного года от 26280 до 26352 показаний для каждого метеорологического параметра, позволяют построить кривые распределения метеорологических показателей, например, в зависимости от месяца натурного экспонирования (рис. 3).



**Рис. 1.** Тепловая карта распределения температуры окружающего воздуха в условиях умеренно континентального климата (г. Саранск) в 2022 году

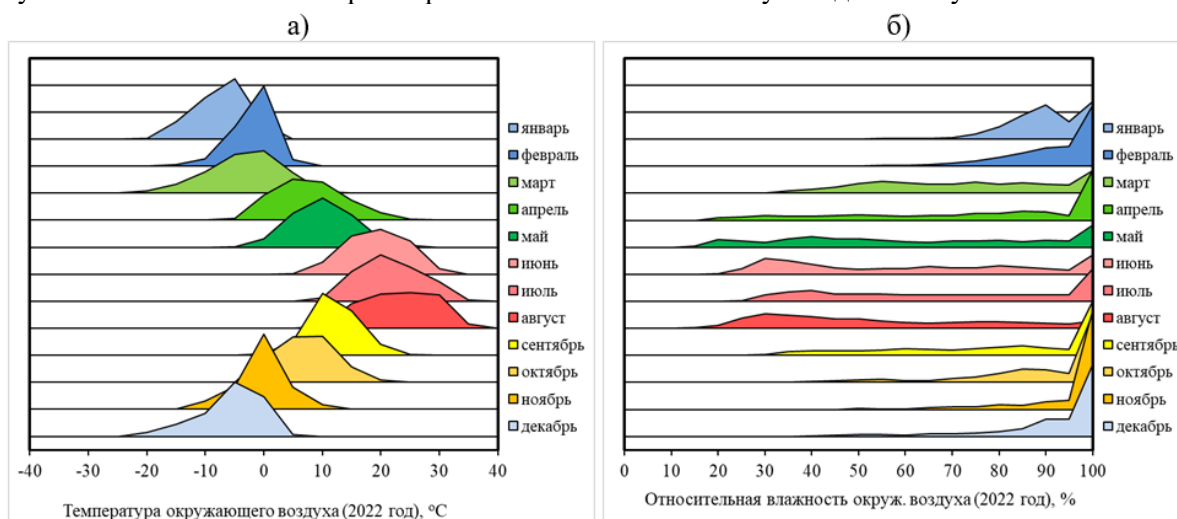
**Fig. 1.** Heat map of the ambient air temperature distribution in a temperate continental climate (Saransk) in 2022



**Рис. 2.** Тепловая карта распределения относительной влажности окружающего воздуха в условиях умеренно континентального климата (г. Саранск) в 2022 году

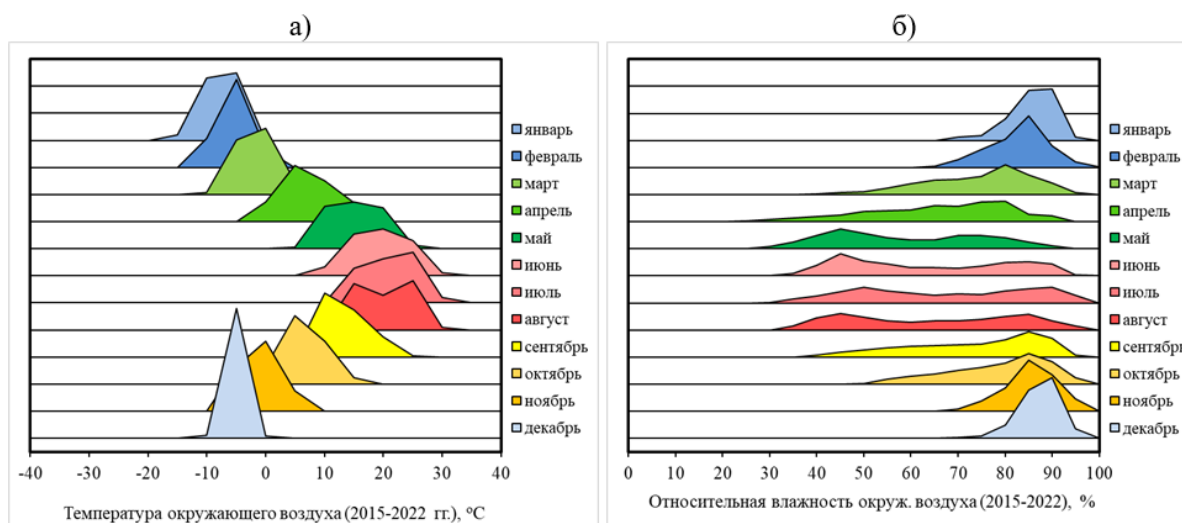
**Fig. 2.** Heat map of the ambient air relative humidity distribution in a temperate continental climate (Saransk) in 2022

Необходимо отметить, что при построении кривых распределения (рис. 4) для средних уровней метеорологических параметров (в данном случае, фиксируемых в течение 2015-2022 гг.) наблюдается существенное сужение диапазонов варьирования, что объясняется законом больших чисел – среднее выборки независимых одинаково распределенных случайных величин с увеличением объема выборки стремится к математическому ожиданию случайно величины.



**Рис. 3.** Кривые распределения температуры (а) и относительной влажности (б) воздуха в условиях умеренно континентального климата (г. Саранск) в зависимости от месяца 2022 года

**Fig. 3.** Distribution curves of the ambient air temperature (a) and relative humidity (b) in a temperate continental climate (Saransk), depending on the month of 2022



**Рис. 4.** Кривые распределения средних значений температуры (а) и относительной влажности (б) воздуха, рассчитанных для 2015-2022 гг., в условиях умеренно континентального климата (г. Саранск) в зависимости от месяца

**Fig. 4.** Distribution curves of the ambient air temperature (a) and relative humidity (b) average values calculated for 2015-2022 in a temperate continental climate (Saransk) depending on the month

Проведем сравнение реальных (2015-2022 гг.) и модельных значений, рассчитанных согласно ГОСТ 16350-80 для умеренно континентального климата (представительный пункт – г. Москва). Характер изменения температуры и относительной влажности окружающего воздуха предлагается описывать случайным процессом:

$$t(\tau) = \bar{t}(\tau) + \psi_t(\tau), \quad (1)$$

$$\varphi(\tau) = \bar{\varphi}(\tau) + \psi_\varphi(\tau), \quad (2)$$

где  $t, \varphi$  – случайная температура и относительная влажность, соответствующие времени  $\tau$ , °С;  
 $\tau$  – время, принимающее значения от -4380 (для 00-00 1 января) до 4380 (для 24-00 31 декабря);

$\bar{t}, \bar{\varphi}$  – средняя температура и относительная влажность, соответствующие времени  $\tau$ , °С;

$\psi_t, \psi_\varphi$  – случайные составляющие температуры и относительной влажности, соответствующие времени  $\tau$ , °С.

Расчет средних показателей температуры и относительной влажности проводился по формулам:

$$\bar{t}(\tau) = A_o + \sum_{i=1}^n (A_i \cos(\omega_{ti}\tau) + B_i \sin(\omega_{ti}\tau)), \quad (3)$$

$$\bar{\varphi}(\tau) = C_o + \sum_{i=1}^n (C_i \cos(\omega_{\varphi i}\tau) + D_i \sin(\omega_{\varphi i}\tau)), \quad (4)$$

где  $A_o, C_o$  – коэффициенты, численно равные математическому ожиданию средней годовой температуры (°С) и относительной влажности воздуха (%);  $A_i$  – амплитуды колебаний математического ожидания температуры, соответствующие частоте  $\omega_{ti}$ ;  $C_i$  – амплитуды колебаний математического ожидания относительной влажности, соответствующие частоте  $\omega_{\varphi i}$ .

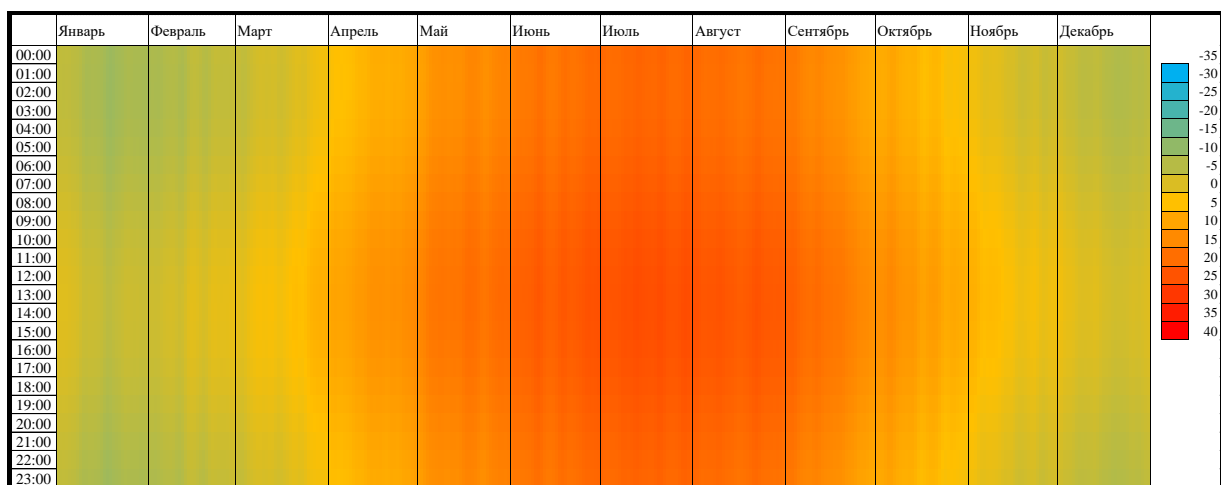
Значения  $A_o, A_i, B_i, \omega_{ti}$  и  $C_o, C_i, D_i, \omega_{\varphi i}$  приведены, соответственно, в таблицах 11 и 14 ГОСТ 16350-80. Случайные составляющие температуры  $\psi_t$  и относительной влажности воздуха  $\psi_\varphi$  рассчитывалась по нормальному закону распределения с математическим ожиданием, равным нулю, и средними квадратическими отклонениями  $\sigma_t, \sigma_\varphi$ , равными соответственно 5,0 и 11,9 (таблица 12 ГОСТ 16350-80).

Для удобства визуального анализа при построении тепловых карт с модельными показателями средних значений температуры и относительной влажности (рис. 5, 6) использовалась та же цветовая палитра, что и для рис. 1 и 2. Шаг оценки температуры и относительной влажности в данном случае составлял один час. Из анализа карт распределения модельных средних значений видно значительное сужение диапазонов разброса показателей (рис. 5, 6), что наиболее ярко наблюдается для относительной влажности воздуха. Кривые распределения в зависимости от календарного месяца разницы между фактическими (2015-2022 гг., г. Саранск) и модельными значениями, рассчитанными по формулам (3) и (4) для умеренно континентального климата (г. Москва), свидетельствуют (рис. 7) об изменении вышеуказанного показателя для температуры в интервале от -5,8 до 10 °С, для относительной влажности – от -36,4 до 32,5%. При этом в зависимости от анализируемого календарного месяца наблюдается значительное варьирование исследуемой разницы, а также отклонение ряда кривых от нормального вида, что свидетельствует о недостаточной точности оценки распределений с помощью одного значения квадратичного отклонения, как рекомендуется в ГОСТ 16350-80.

Приведенный выше анализ подтверждает важность непрерывного мониторинга метеорологических показателей при проведении натуральных климатических испытаний, а также использование полученных массивов значений при оценке климатической стойкости материалов. Целесообразность использования рядовых данных перед статистическими значениями также обусловлена физико-химическими основами протекания ряда процессов в строительных материалах. Так, в случае эпоксидных полимеров, основная доля протекания процессов термовлажностного старения соответствует диапазону температур, как правило, расположенных ближе к границе нормального распределения [16]. Как следствие, при использовании исключительно статистических данных, столь важная часть воздействия может быть утеряна, что, в свою очередь, необратимо сказывается на точности прогнозирования процесса климатического старе-

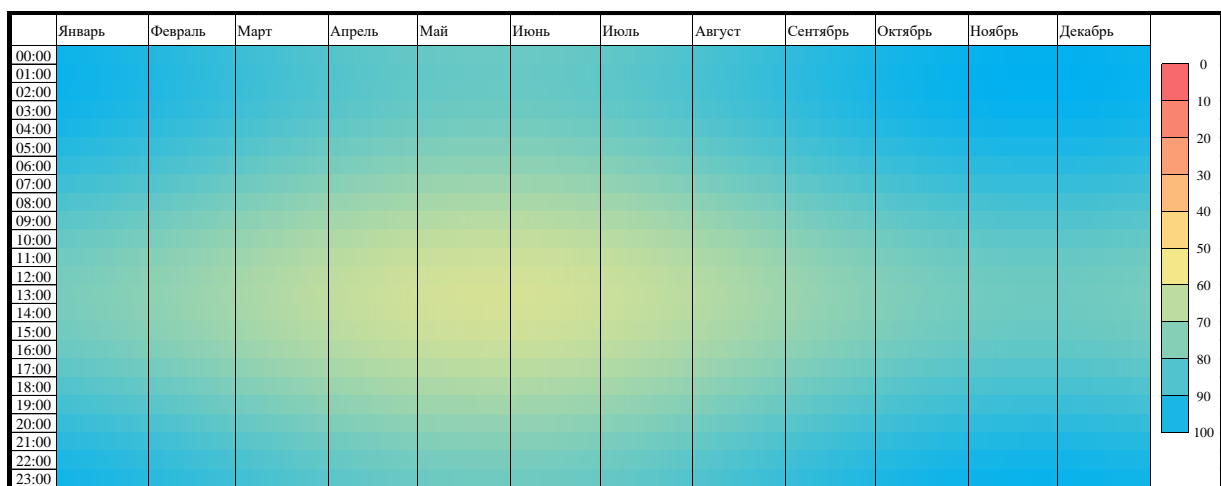
ния. Вероятно, именно использование статистических данных при моделировании процессов климатического старения не позволяет получить воспроизводимых результатов как в натуральных, так и в лабораторных условиях.

Отбор и конструирование признаков при подготовке наборов данных для моделей машинного обучения требует наличия, как минимум, гипотезы относительно возможного влияния исследуемого признака на значение целевого признака. В ходе исследования, была выдвинута гипотеза о возможности использования вместо относительной влажности значений абсолютной влажности воздуха, характеризующей концентрацию водяных паров, содержащихся в 1 м<sup>3</sup> воздуха при определенной температуре. Важным преимуществом использования данного признака является, с одной стороны, наличие определенного физического смысла. С другой стороны, именно влагосодержание оказывает сильное влияние на эксплуатационные характеристики многих строительных материалов [21].



**Рис. 5.** Тепловая карта распределения модельных значений средней температуры окружающего воздуха в условиях умеренно континентального климата (ГОСТ 16350-80, г. Москва)

**Fig. 5.** Heat map of the ambient air temperature average model values distribution in a temperate continental climate (GOST 16350-80, Moscow)



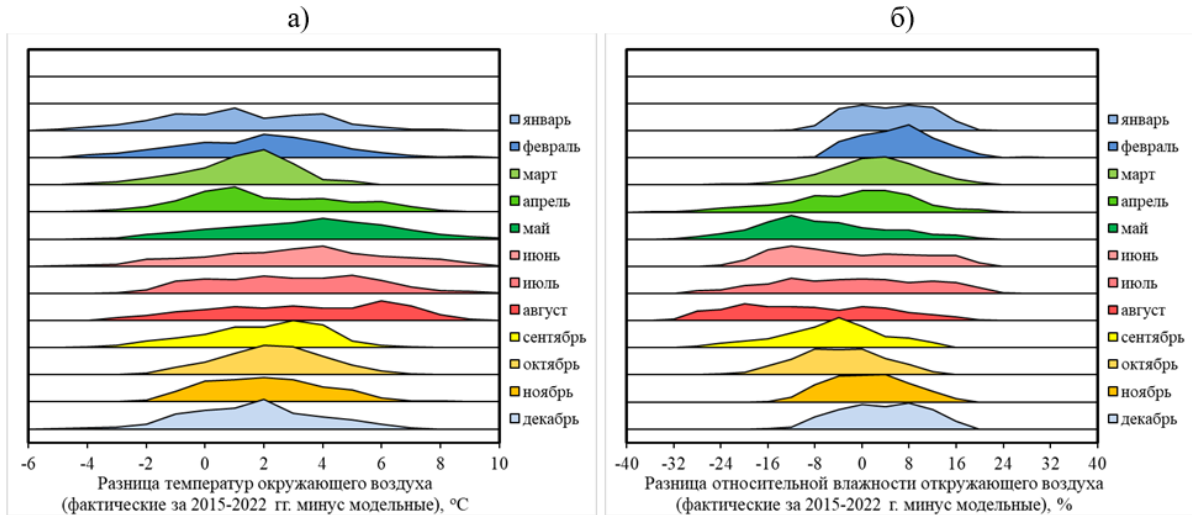
**Рис. 6.** Тепловая карта распределения модельных значений средней относительной влажности окружающего воздуха в условиях умеренно континентального климата (ГОСТ 16350-80, г. Москва)

**Fig. 6.** Heat map of the ambient air relative humidity average model values distribution in a temperate continental climate (GOST 16350-80, Moscow)

Относительная и абсолютная влажность воздуха связаны между собой соотношением:

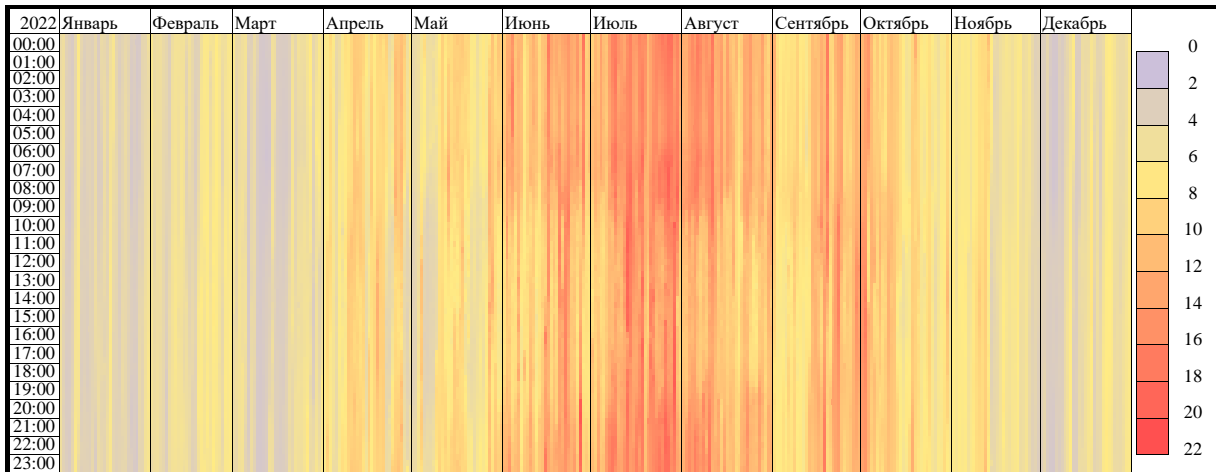
$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\% \quad (5)$$

где  $\varphi$  – относительная влажность, %;  $\rho$  – абсолютная влажность, г/м<sup>3</sup>;  $\rho_0$  – плотность насыщенного пара при той же температуре, г/м<sup>3</sup>.



**Рис. 7.** Кривые распределения разницы между фактическими (2015 – 2022 гг., г. Саранск) и модельными (умеренно континентальный климат, г. Москва) значениями температуры (а) и относительной влажности (б) окружающего воздуха в зависимости от месяца

**Fig. 7.** Distribution curves of the difference between the actual (2015 – 2022, Saransk) and model (temperate continental climate, Moscow) values of the ambient air temperature (a) and relative humidity (b) depending on the month

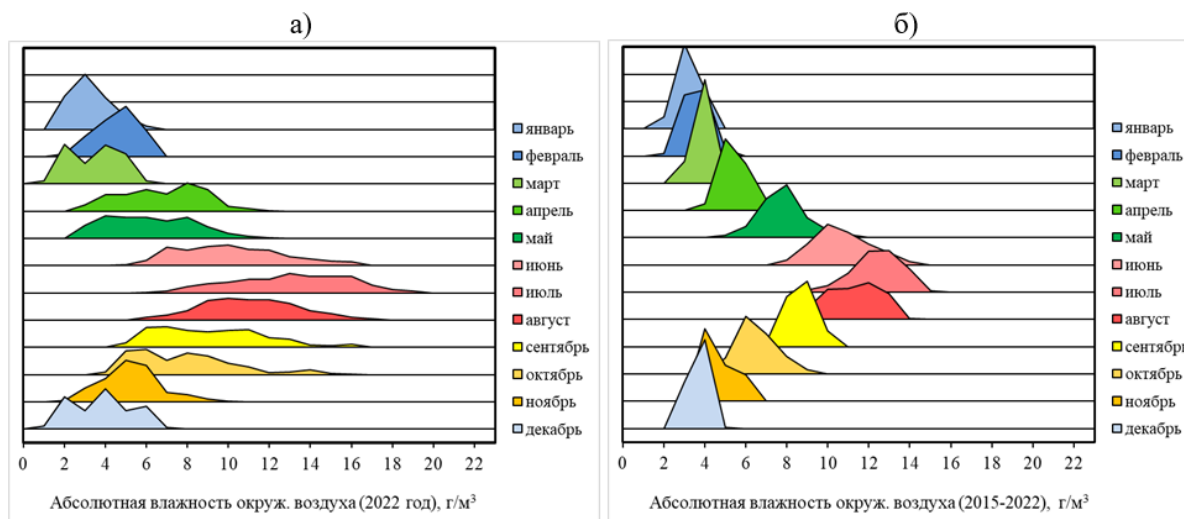


**Рис. 8.** Тепловая карта распределения абсолютной влажности окружающего воздуха (г/м<sup>3</sup>) в условиях умеренно континентального климата (г. Саранск) в 2022 году

**Fig. 8.** Heat map of the ambient air absolute humidity (g/m<sup>3</sup>) distribution in a temperate continental climate (Saransk) in 2022

Тепловая карта распределения абсолютной влажности воздуха в 2022 году представлена на рис. 8, кривые распределения в зависимости от календарного месяца – на рис. 9. Выявлено существенное повышение концентрации влаги в окружающем воздухе во временной период с июня по октябрь (рис. 9, а). Для вышеуказанных месяцев значения абсолютной влажности достигают 16,4 ÷ 19,5 г/м<sup>3</sup>, что в три раза превышает максимальные уровни концентрации влаги

для зимних месяцев. Для кривых распределения средних значений абсолютной влажности, рассчитанных за период с 2015 по 2022 гг., выявлено изменение показателей в интервале от 1,7 до 14,8 г/м<sup>3</sup> (рис. 9, б). Знание концентрации влаги в окружающем воздухе является важным показателем при оценке влагосодержания исследуемых на климатическую стойкость строительных материалов, особенно на основе полимерных связующих. Возможность количественной оценки влажностного состояния исследуемых композитов по изменению метеорологических показателей, фиксируемых в автоматическом режиме, позволит перейти к оценке изменения упругопрочностных характеристик без проведения механических испытаний.



**Рис. 9.** Кривые распределения абсолютной влажности воздуха за 2022 год (а) средних показателей (б), рассчитанных для 2015-2022 гг., в условиях умеренно континентального климата (г. Саранск)

**Fig. 9.** Distribution curves of the ambient air absolute humidity for 2022 (a) and average values (b) calculated for 2015-2022 in a temperate continental climate (Saransk)

## ВЫВОДЫ

Анализ тепловых карт, кривых распределения и статистических показателей температуры и влажности окружающего воздуха, фиксируемых в период с 2015 по 2022 гг. с помощью автоматической станции контроля, показал значительную вариативность вышеуказанных метеорологических показателей в зависимости от года и месяца натурного наблюдения. Использование при прогнозировании климатической стойкости композиционных материалов средних числовых показателей, приведенных в нормативной литературе (ГОСТ 16350-80) для определенного климатического района, а также средних значений, рассчитанных на основе собственного мониторинга, проведенного в предыдущие временные периоды, не целесообразно при использовании методов машинного обучения, так как дает сглаженные оценки, не отражающие фактического изменения факторов окружающей среды. Также, зачастую, это не позволяет учесть воздействия, соответствующие количественным значениям границ распределений факторов окружающей среды, однако, вносящих весомый вклад в итоговое изменение эксплуатационных свойств материалов.

Необходимо отметить, что для описанных условий также не всегда целесообразно использовать данные ближайшего поста Росгидромета (с регулярной фиксацией показаний каждые три часа), так как ряд метеорологических показателей (в частности, осадки, скорость и направление ветра и др., и, как следствие, температура и влажность воздуха) существенно варьируются от реального места расположения испытательной станции. При проведении климатических испытаний строительных материалов, а также прогнозировании изменения их свойств с помощью методов машинного обучения наиболее достоверную оценку можно получить при использовании метеорологических показателей, фиксируемых на этой же испытательной площадке, что с успехом может осуществляться с помощью станций автоматического контроля.

## Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00206, <https://rscf.ru/project/22-79-00206/>

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Климатические испытания строительных материалов / под общ. ред. д-ра техн. наук проф. О.В. Старцева, акад. РААСН д-ра техн. наук проф. В.Т. Ерофеева, акад. РААСН д-ра техн. наук проф. В.П. Селяева. М.: Издательство АСВ, 2017. 558 с.
- [2] Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. № 2. С. 47 – 58.
- [3] Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- [4] Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. М., 2014. 94 с. URL: [http://downloads.igce.ru/publications/OD\\_2\\_2014/v2014/htm/](http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014/htm/)
- [5] Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории российской федерации. Общее резюме. Спб.: Научное издание технологий, 2022. 124 с. URL: <http://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2022/od3.pdf>
- [6] Волкова Н.Г. О разработке климатических нормативов в строительстве // *Academia. Архитектура и строительство*. 2018. № 4. С. 123 – 129.
- [7] Левин Е.В., Окунев А.Ю. О влиянии фазовых переходов вода-лёд в глинистых грунтовых основаниях на теплопотери зданий // *ACADEMIA. Архитектура и строительство*. 2021. № 1. С. 144 – 152.
- [8] Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. 5-е изд., пересмотр. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
- [9] Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р. Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате: монография. Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2020. 188 с.
- [10] Nizin D.R., Nizina T.A., Selyaev V.P., Chernov A.N., Gorenkova A.I. Natural Climatic Aging of Epoxy Polymers Taking into Account the Seasonality Impact. Key engineering materials. 2019. Vol. 799. P. 159 – 165. Doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.799.159
- [11] Nizin D.R., Nizina T.A., Kanaeva N.S., Gorenkova A.I. The Effect of Natural Climatic Aging on Damage Accumulation Kinetics in the Structure of Epoxy Polymers Under Tensile Loads // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol 147. P. 147 – 153. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-68984-1\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68984-1_22)
- [12] Selyaev V.P., Nizina T.A., Nizin D.R., Kanaeva N.S. Analysis of the moisture content effect on the specific index and damage accumulation kinetics in the structure of polymeric materials during natural climatic aging // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2020. № 18 (1) P. 99 – 108.
- [13] Низина Т.А., Селяев В.П. Материальная база вуза как инновационный ресурс развития национального исследовательского университета // *Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всеросс. науч.-техн. конф.* Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. С. 115 – 121.
- [14] Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, часть I. Метеорологические наблюдения на станциях. Ленинград: Гирометеоиздат, 1985. 301 с.

- [15] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М., 2023. 104 с.
- [16] Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения // Деформация и разрушение материалов. Москва, 2011. № 1. С. 34 – 40.

## REFERENCES

- [1] Climatic tests of building materials. Under the general editorship of Dr. of Engineering Sciences prof. O.V. Startsev, Acad. RAASN Dr. of Engineering Sciences prof. V.T. Erofeev, acad. RAASN Dr. of Engineering Sciences prof. V.P. Selyaev. M.: Publishing House of the ASV, 2017. 558 p. (rus.)
- [2] Kablov E.N., Startsev V.O. System analysis of the influence of climate on the mechanical properties of polymer composite materials according to domestic and foreign sources (review). Aviation materials and technologies. 2018. 2. P. 47 – 58. (rus.)
- [3] Physical scientific basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/\(rus.\)](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/(rus.))
- [4] The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Technical summary. M., 2014. 94 p. URL: [http://downloads.igce.ru/publications/OD\\_2\\_2014/v2014/htm/\(rus.\)](http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014/htm/(rus.))
- [5] The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary. St. Petersburg: Science-intensive technologies, 2022. 124 p. URL: <http://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2022/od3.pdf> (rus.)
- [6] Volkova N.G. On the development of climate standards in construction. Academia. Architecture and construction. 2018. 4. P. 123 – 129. (rus.)
- [7] Levin E.V., Okunev A.Yu. On the influence of water-ice phase transitions in clay soil bases on heat loss of buildings. ACADEMIA. Architecture and construction. 2021. 1. P. 144 – 152. (rus.)
- [8] Fokin K.F. Construction heat engineering of enclosing parts of buildings. Edited by Yu.A. Tabunshchikov, V.G. Gagarin. 5th ed., revised by M.: AVOK-PRESS, 2006. 256 p. (rus.)
- [9] Nizina T.A., Selyaev V.P., Nizin D.R. Climatic resistance of epoxy polymers in a temperate continental climate: monograph. Saransk: Publishing House of Mordovia University, 2020. 188 p. (rus.)
- [10] Nizin D.R., Nizina T.A., Selyaev V.P., Chernov A.N., Gorenkova A.I. Natural Climatic Aging of Epoxy Polymers Tasking into Account the Seasonality Impact. Key engineering materials. 2019. Vol. 799. P. 159 – 165. Doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.799.159
- [11] Nizin D.R., Nizina T.A., Kanaeva N.S., Gorenkova A.I. The Effect of Natural Climatic Aging on Damage Accumulation Kinetics in the Structure of Epoxy Polymers Under Tensile Loads. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. 147. P. 147 – 153. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-68984-1\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68984-1_22)
- [12] Selyaev V.P., Nizina T.A., Nizin D.R., Kanaeva N.S. Analysis of the moisture content effect on the specific index and damage accumulation kinetics in the structure of polymeric materials during natural climatic aging. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2020. 18 (1) P. 99 – 108.
- [13] Nizina T.A., Selyaev V.P. The material base of the university as an innovative resource for the development of the National Research University. Durability of building materials, products and structures: materials of All-Russian Scientific and Technical Conf. Saransk: Publishing House of Mordovia University, 2014. P. 115 – 121. (rus.)
- [14] Instruction to hydrometeorological stations and posts. Issue 3, part I. Meteorological observations at stations. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1985. 301 p. (rus.)

- [15] Report on climate features on the territory of the Russian Federation for 2022. M., 2023. 104 p. (rus.)
- [16] Kablov E.N., Startsev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Climatic aging of composite materials for aviation purposes. III. Significant factors of aging. Deformation and destruction of materials. Moscow, 2011. 1. P. 34 – 40. (rus.)

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Низина Т.А.**, e-mail: nizinata@yandex.ru, тел. +7(917) 993-63-89, ORCID ID: 0000-0002-2328-6238, SCOPUS ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190161363>, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, кафедра «Строительные конструкции», доктор технических наук, профессор

**Nizina T.A.**, e-mail: nizinata@yandex.ru, tel. +7(917) 993-63-89, ORCID ID: 0000-0002-2328-6238, SCOPUS ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190161363>, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogaryov, Department «Building structures», Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor

**Низин Д.Р.**, e-mail: nizindi@yandex.ru, тел. +7(927) 184-84-22, ORCID ID: 0000-0001-8762-5369, SCOPUS ID : <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190172059>, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Научно-исследовательская лаборатория эколого-метеорологического мониторинга, строительных технологий и экспертиз, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

**Nizin D.R.**, e-mail: nizindi@yandex.ru, tel. +7(927) 184-84-22, ORCID ID: 0000-0001-8762-5369, SCOPUS ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190172059>, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogaryov, Research Laboratory of Ecological and Meteorological Monitoring, Construction Technologies and Expertise, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Senior Research Officer

**Селяев В.П.**, e-mail: ntorm80@mail.ru, тел. +7(927) 642-48-52, ORCID ID: 0009-0003-7683-4044, SCOPUS ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56094959100>, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, зав. кафедрой «Строительные конструкции», академик РААСН, доктор технических наук, профессор

**Selyaev V.P.**, e-mail: ntorm80@mail.ru, tel. +7(927) 642-48-52, 0009-0003-7683-4044, ORCID ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56094959100>, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogaryov, Head of the Department "Building structures", Academician of RAACS, Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor

**Спирин И.П.**, e-mail: spirinil2000@yandex.ru, тел. +7(906) 163-78-83, ORCID ID: 0000-0001-6551-9557, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, кафедра строительных конструкций

**Spirin I.P.**, e-mail: spirinil2000@yandex.ru, tel. +7(906) 163-78-83, ORCID ID: 0000-0001-6551-9557, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogaryov, Department of Building Structures

**Станкевич А.С.**, e-mail: ar.stankevich@gmail.com, тел. +7(927) 190-07-33, ORCID ID: 0000-0001-7669-2689, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, кафедра строительных конструкций, аспирант

**Stankevich A.S.**, e-mail: ar.stankevich@gmail.com, tel. +7(927) 190-07-33, ORCID ID: 0000-0001-7669-2689, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogaryov, Department of Building Structures, Postgraduate

Поступила в редакцию 12 марта 2023 г.  
Принята в доработанном виде 18 апреля 2023 г.  
Одобрена для публикации 6 мая 2023 г.

Received: March 12, 2023.  
Revised: April 18, 2023.  
Accepted: May 6, 2023.