

Вестник Томского государственного  
архитектурно-строительного университета.  
2026. Т. 28. № 1. С. 260–270.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)  
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo  
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –  
Journal of Construction and Architecture.  
2026; 28 (1): 260–270.  
Print ISSN 1607-1859  
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.855.3

DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-260-270

EDN: STROAU

## **ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩИХ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ РАСЧЕТНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВЕРХНЕГО СЛОЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ**

**Виталий Евгеньевич Сиволап, Сергей Владимирович Ефименко,  
Владимир Николаевич Ефименко, Владимир Сергеевич Чурилин,  
Алексей Владимирович Сухоруков, Заур Рашидович Галяутдинов,  
Александр Дмитриевич Башарин**

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Томск, Россия*

*Аннотация. Актуальность.* Существующие нормативные документы (ГОСТ Р 71404–2024 и др.), регламентирующие расчет дорожных одежд на морозоустойчивость, не учитывают деформационно-прочностные характеристики асфальтобетона и основываются на данных, не отражающих специфику сложных природно-климатических условий юго-востока Западной Сибири. Это приводит к занижению минимальных расчетных температур верхнего слоя покрытия (ВСП), необоснованному завышению требований к битумному вяжущему и росту стоимости дорожного строительства.

*Цель.* Оценка достоверности действующих нормативных методик определения минимальной расчетной температуры ВСП и сравнение их с альтернативным методом – зависимостью Робертсона – для условий юго-востока Западной Сибири.

*Методы.* Проведены расчеты минимальной расчетной температуры ВСП по методикам ГОСТ Р 71009–2023 и ГОСТ Р 58400.3–2025, а также по эмпирической зависимости Робертсона. Полученные результаты сопоставлены с фактическими данными температуры покрытия, зарегистрированными автоматической дорожной метеостанцией за трехлетний период наблюдений (2023–2025 гг.) на участке автодороги Р-255 «Сибирь». Анализ климатических данных выполнен на основе архивов погоды за 24-летний период для сети метеостанций региона.

*Результаты.* Установлено, что нормативные методики, основанные на анализе экстремальных минимальных суточных температур воздуха, приводят к занижению расчетной температуры ВСП на 22–27 % относительно фактически измеренных значений. В ряде случаев расчетные значения оказались ниже средних минимальных годовых температур воздуха, что противоречит физике теплообмена. Зависимость Робертсона, использующая температуру наиболее холодной пятидневки, показала значительно лучшую сходимость с фактическими данными, с отклонением всего 0,3–5,3 %.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, асфальтобетонное покрытие, минимальная расчетная температура верхнего слоя покрытия, морозоустойчивость, температура воздуха

*Для цитирования:* Сиволап В.Е., Ефименко С.В., Ефименко В.Н., Чурилин В.С., Сухоруков А.В., Галаяутдинов З.Р., Башарин А.Д. Оценка достоверности действующих методик определения минимальных расчетных температур верхнего слоя асфальтобетонного покрытия // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2026. Т. 28. № 1. С. 260–270. DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-260-270. EDN: STROAU

ORIGINAL ARTICLE

## ACCURACY ASSESSMENT OF MINIMUM DESIGN TEMPERATURES FOR ASPHALT CARPET

Vitaliy E. Sivolap, Sergey V. Efimenko, Vladimir N. Efimenko,  
Vladimir S. Churilin, Aleksei V. Sukhorukov, Zaur R. Galyautdinov,  
Aleksandr D. Basharin

*Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia*

**Abstract.** Regulatory documents (GOST R 71404–2024) governing the pavement design for frost resistance do not consider the stress-strain state of asphalt concrete and are based on data that do not reflect natural and climatic conditions of the southeastern part of Western Siberia. This leads to an underestimation of the minimum design temperatures for asphalt carpet, unjustifiably stringent requirements for bituminous binder, and increased road construction costs.

**Purpose:** To assess the reliability of regulatory methods for the minimum design temperature of the asphalt carpet and compare them with an alternative method—the Robertson dependence—for the conditions of southeastern Western Siberia.

**Methodology:** Calculations of the minimum design temperature were based on GOST R 71009–2023 and GOST R 58400.3-2025, and the empirical Robertson dependence. The obtained results were compared with the actual pavement temperature recorded by an automatic road weather station over a three-year observation period (2023–2025) on a section of the R-255 "Sibir" highway. The data was based on 24-year weather recordings for the regional network of meteorological stations.

**Research findings:** It is shown that regulatory methods, based on the analysis of extreme minimum daily air temperatures, lead the design temperature underestimation by 22–27% compared to the actual values. In some cases, the calculated values are lower than the average minimum annual air temperatures, which contradicts the heat exchange physics. The Robertson dependence, which uses the temperature of the coldest five-day period, shows significantly better agreement with the actual data, with a deviation within 0.3–5.3%.

**Keywords:** automobile road, asphalt concrete, minimum design temperature, reliability, air temperature

**For citation:** Sivolap V.E., Efimenko S.V., Efimenko V.N., Churilin V.S., Sukhorukov A.V., Galyautdinov Z.R., Basharin A.D. Accuracy Assessment of Minimum Design Temperatures for Asphalt Carpet. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2026; 28 (1): 260–270. DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-260-270. EDN: STROAU

Природно-климатические условия территории юго-востока Западной Сибири, включающей в себя Томскую, Новосибирскую, Кемеровскую области, Алтайский край и Республику Алтай, считаются сложными [1]. Использование в строительстве переувлажненных глинистых грунтов и недостаточная морозоустойчивость дорожных одежд (в том числе капитального типа) являются при-

чиной недостаточной надежности дорожных конструкций, что обуславливает чрезмерные затраты на восстановление требуемых транспортно-эксплуатационных показателей [2–4]. Существующие нормативные документы, в частности ГОСТ Р 71404–2024<sup>1</sup>, базируются на исследованиях, проведенных в европейской части России, и не учитывают особенностей геокомплекса юго-востока Западной Сибири. Кроме того, рекомендации по допустимой величине морозного пучения, приведенные в ГОСТ Р 59120–2021<sup>2</sup> для марок битума и асфальтобетона, основаны на сведениях, полученных в шестидесятые годы прошлого столетия [5].

Изменение технологий производства вяжущих, а соответственно, свойств современных видов асфальтобетона, наиболее часто используемых на территории юго-востока Западной Сибири, таких, например, как А16Вн, позволяет считать актуальным уточнение диапазона расчетных отрицательных температур верхних слоев покрытия (ВСП). Существующие методики его определения, регламентированные действующими нормативными документами ГОСТ Р 71009–2023<sup>3</sup>, ГОСТ Р 58400.3–2025<sup>4</sup>, основаны на анализе массива минимальных суточных температур воздуха. Данный подход приводит к фиксации статистических выбросов – аномально низких температур за отдельные сутки в рассматриваемом году. В результате указанного подхода происходит необоснованное занижение минимальной расчетной температуры ВСП, что, в свою очередь, приводит к завышению требований к асфальтобетонной смеси и, как следствие, к неоправданному росту ее стоимости из-за изменения марки битумного вяжущего.

При определении деформационных и прочностных характеристик асфальтобетона учитывают значения минимальной расчетной температуры ВСП [6, 7]. По методике, представленной в ГОСТ Р 71009–2023<sup>3</sup>, применяют данные о минимальных годовых температурах воздуха  $T_i$ , °С за 24-летний период, полученные по сведениям метеостанций, расположенных в районе исследования, дислокация которых отражена на рисунке.

Для валидации результатов, полученных по нормативной методике, были проанализированы фактические данные о минимальных температурах из открытых источников. На основе открытых климатических ресурсов были собраны ряды минимальных суточных температур воздуха за зимние месяцы для каждого года в период с 2001 по 2025 г. Для каждого года определялось минимальное годовое значение температуры воздуха, на основе которого затем было рассчитано среднее значение за 24-летний период. В результате сравнения установлено, что полученные расчетные значения минимальных температур

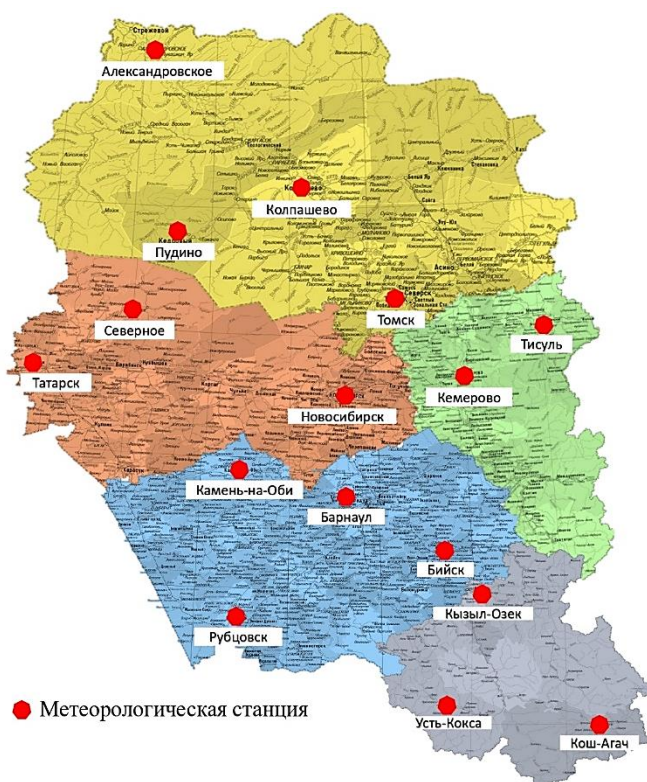
<sup>1</sup> ГОСТ Р 71404–2024. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования. Введ. 05.08.2024. Москва: Российский институт стандартизации, 2024. 147 с.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 59120–2021. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования. Введ. 01.05.2021. Москва: Стандартинформ, 2021. 24 с.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 71009–2023. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Правила выбора марок. Введ. 01.02.2024. Москва: Российский институт стандартизации, 2023. 46 с.

<sup>4</sup> ГОСТ Р 58400.3–2025. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Порядок определения марки. Введ. 01.06.2025. Москва: Российский институт стандартизации, 2025. 20 с.

асфальтобетонного покрытия оказались ниже средних значений минимальных годовых температур воздуха [8]. Это свидетельствует о том, что стандартизированная методика рекомендует фиксировать статистические выбросы (экстремально низкие температуры за отдельные сутки), что приводит к занижению расчетной температуры ВСП.



Карта-схема дислокации метеорологических станций на территории исследования  
Map of meteorological station locations

При определении минимальной расчетной температуры для верхних слоев покрытия по методике, представленной в ГОСТ Р 71009–2023, применяют данные о минимальных годовых температурах воздуха  $T_i$ , °С за 24-летний период, полученные с метеостанций, расположенных в районе исследования. Отметим, что 24-летний интервал выбран в соответствии с межремонтным периодом для капитального типа покрытия дорожных одежд. Среднее значение минимальных годовых температур  $T_{\min}$  вычисляют по формуле

$$T_{\min} = \sum_{i=1}^{24} \frac{T_i}{24}, \quad (1)$$

где  $T_i$  – минимальная годовая температура в  $i$ -й год наблюдения, °С.

Стандартное отклонение минимальных годовых температур воздуха  $s$  вычисляют по формуле

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(T_i - T_{\min})^2}{n-1}}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество лет наблюдений ( $n = 24$  для 24-летнего периода);  $T_i$  – минимальная годовая температура в  $i$ -й год наблюдения, °С;  $T_{\min}$  – среднее значение минимальных годовых температур воздуха, °С.

В зависимости от типа дорожной одежды принимается значение надежности  $N$ , по которому определяется значение аргумента функции стандартного нормального распределения  $Z$ . Значение требуемой надежности для капитального типа дорожных одежд – 98 %. Аргумент функции стандартного нормального распределения для надежности 98 % равен 2,055 [9]. Минимальная расчетная температура ВСП с надежностью 98 %  $TM_{98}$ , °С, по ГОСТ Р 71009–2023 и ГОСТ Р 58400.3–2025 определяется по одной методике, но временной период, за который определяются минимальные годовые температуры воздуха, отличается и составляет 24 года и 20 лет соответственно. Значение минимальной расчетной температуры ВСП вычисляется по формуле

$$TM_{98} = -1,56 + 0,72T_{\min} - 0,004(Lat)^2 + 6,26\log_{10}(H + 25) - Z(4,4 + 0,52s^2)^{0,5}, \quad (3)$$

где  $T_{\min}$  – среднее значение минимальных годовых температур воздуха, °С;  $Lat$  – географическая широта участка расположения дороги, град;  $H$  – глубина слоя от поверхности автомобильной дороги, мм (для ВСП  $H = 0$ );  $s$  – стандартное отклонение минимальных годовых температур.

Методика определения минимальной расчетной температуры по ГОСТ Р 71009–2023 обязательна к применению при выборе битумного вяжущего, но есть и альтернативный способ определения, описанный в ГОСТ Р 58400.3–2025.

Существуют и иные методы определения минимальной расчетной температуры, они описаны в работе Г.Н. Кирюхина [10]. Одной из наиболее обоснованных экспериментально корреляционных зависимостей является формула Робертсона, которая связывает минимальную температуру поверхности асфальтобетонного покрытия и температуру воздуха наиболее холодной пятидневки [11]:

$$T_n^{\min} = 0,859T_{\min} + 1,7, \quad (4)$$

где  $T_n^{\min}$  – минимальная температура асфальтобетонного покрытия, °С;  $T_{\min}$  – температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С.

Данная зависимость (4) также отображена и в диссертационной работе В.С. Чурилина [12], что подтверждает возможность ее применения как альтернативы стандартизированному методу в природно-климатических условиях юго-востока Западной Сибири.

Для определения температуры покрытия применяют не только расчетные методики, но и специальные автоматические дорожные метеорологические станции, которые фиксируют температуру воздуха, скорость ветра, влажность и атмосферное давление, а также температуру дорожного покрытия. Одна из таких станций установлена на территории исследования (КМ 82+450 а/д Р-255

«Сибирь», Подъезд к г. Томску) и фиксирует метеорологические данные с начала 2023 г.

При определении минимальных расчетных температур ВСП по формуле (3) значения минимальных годовых температур воздуха за период с 2001 по 2025 г. приняты из архива погоды для метеостанций юго-востока Западной Сибири [13]. В результате расчета было зафиксировано, что значения минимальных расчетных температур ВСП для ряда районов территории исследования оказались ниже средних значений минимальных годовых температур воздуха в течение 24-летнего периода. Было установлено, что расчет минимальных температур воздуха несколько ниже средних значений наблюдений при возрастании значения надежности. Результаты расчета минимальных расчетных температур ВСП представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Результаты определения минимальных расчетных температур ВСП

Table 1

## Minimum design temperatures of asphalt carpet

Расположение метеостанции	Регион	Координаты метеостанции		Среднее значение минимальных годовых температур воздуха за 24-летний период, °С	Минимальная расчетная температура ВСП, °С			Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С	Минимальная температура асфальтобетонного покрытия, °С
		Широта	Долгота		для N 92 %	для N 95 %	для N 98 %		
Александровское	Томская область	60°43'	77°87'	-42,0	-43,2	-44,1	-45,7	-42,0	-34,4
Колпашево		58°32'	82°88'	-42,0	-41,7	-42,5	-44,0	-42,0	-34,4
Пудино		57°57'	79°43'	-42,6	-41,6	-42,4	-43,8	-38,0	-30,9
Томск		56°50'	84°92'	-37,7	-38,3	-39,3	-40,9	-39,0	-31,8
Северное	Новосибирская область	56°33'	78°37'	-39,9	-38,7	-39,5	-40,8	-39,0	-31,8
Татарск		55°22'	75°37'	-36,4	-36,4	-37,2	-38,7	-37,0	-30,1
Новосибирск		54°90'	82°93'	-37,7	-36,6	-37,4	-38,7	-37,0	-30,1
Тисуль	Кемеровская область	55°75'	88°30'	-40,8	-40,1	-41,1	-42,6	-39,0	-31,8
Кемерово		55°25'	86°22'	-40,0	-39,2	-40,1	-41,7	-39,0	-31,8
Камень-на-Оби	Алтайский край	53°82'	81°27'	-40,5	-38,5	-39,4	-40,8	-37,0	-30,1
Бийск		52°68'	85°12'	-40,3	-38,3	-39,2	-40,8	-37,0	-30,1
Барнаул		53°43'	83°53'	-38,0	-36,5	-37,4	-38,8	-36,0	-29,2
Рубцовск		51°58'	81°20'	-37,7	-36,0	-37,0	-38,5	-37,0	-30,1
Кызыл-Озек	Республика Алтай	51°90'	86°00'	-34,2	-32,7	-33,5	-34,8	-24,0	-18,9
Усть-Кокса		50°27'	85°36'	-37,0	-34,1	-34,9	-36,2	-36,0	-29,2
Кош-Агач		50°00'	88°67'	-42,2	-37,5	-38,3	-39,5	-42,0	-34,4

Примечание. Красным цветом выделены температуры ниже минимальной годовой температуры воздуха за 24-летний период; зеленым – выше этой температуры; оранжевым – минимальные температуры асфальтобетонного покрытия выше температуры воздуха наиболее холодной пятидневки.

Значения наиболее холодной пятидневки в годовом цикле необходимы для расчета минимальной температуры асфальтобетонного покрытия по формуле Робертсона. При выборе требуемого значения для территории исследования руководствовались нормативным документом СП 131.13330.2025<sup>5</sup>.

При вычислении минимальной расчетной температуры ВСП в качестве значения минимальной годовой температуры воздуха принимают экстремальные значения из архива погоды юго-востока Западной Сибири [14], из-за чего происходит занижение минимальной расчетной температуры ВСП автомобильных дорог.

Также при исследовании влияния отрицательной температуры воздуха на асфальтобетонное покрытие по формуле (4) рассчитана минимальная температура асфальтобетонного покрытия, представленная в табл. 1

Значения температуры покрытия, взятые со специальной автоматической дорожной метеорологической станции, можно принять как фактические. Проведено сравнение фактических данных температуры ВСП с расчетными значениями, определенными по нормативной документации, а также фактических данных с минимальной расчетной температурой, определенной по зависимости Робертсона. Результаты сравнения сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты сопоставления фактической температуры ВСП со значениями, полученными расчетом**

Table 2

**Asphalt carpet temperature vs. calculated values**

Год наблюдений	Фактическая мин. температура покрытия, °С	Расчетная мин. температура покрытия, °С (ГОСТ Р 71009–2023)	Относительное различие между фактической и расчетной температурой, % (ГОСТ Р 71009–2023)	Расчетная мин. температура покрытия, °С (зависимость Робертсона)	Относительное различие между фактической и расчетной температурой, % (зависимость Робертсона)
2023	–31,7	–40,88	22,5	–31,80	0,3
2024	–30,1		26,4		5,3
2025	–34,2		26,6		4,4

Относительное различие между фактической минимальной и расчетной минимальной температурой покрытия ВСП за 3 года наблюдений составляет от 22,5 до 26,6 %. При сравнении расчетной минимальной температуры покрытия, определенной по уравнению Робертсона, и фактической температуры покрытия ВСП относительное различие варьируется от 0,3 до 5,3 %. Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее достоверные результаты по определению

<sup>5</sup> СП 131.13330.2025. Строительная климатология. Москва: Российский институт стандартизации, 2025. 215 с.

нию минимальной расчетной температуры верхнего слоя асфальтобетонного покрытия получены по формуле Робертсона, обоснованной в США при разработке методологии «Суперпейв».

Предельная относительная деформация асфальтобетонного покрытия является функцией его минимальной расчетной температуры<sup>6</sup>. Согласно расчетам по методике (3), средняя минимальная расчетная температура верхнего слоя покрытия ВСП для юго-востока Западной Сибири составляет  $-40,39$  °С. При этом для ряда районов исследуемой территории полученные значения минимальной расчетной температуры ВСП оказываются ниже минимальной годовой температуры воздуха, что противоречит физическим закономерностям теплообмена. В свою очередь, расчет по альтернативной методике (4) дает среднюю минимальную температуру покрытия, равную  $-30,57$  °С. Расхождение между результатами двух методик достигает 24 %, что свидетельствует о значительной погрешности, заложенной в нормативный подход, и приводит к необоснованному завышению требований к битумному вяжущему.

### Выводы

По методике, представленной в ГОСТ Р 71009–2023 и ГОСТ Р 58400.3–2025, значения расчетных отрицательных температур с повышением значения надежности превышали значения средних минимальных отрицательных температур воздуха. Такой расчет при выборе марки битумного вяжущего приводит к увеличению стоимости асфальтобетонной смеси.

Рассчитывая минимальную температуру асфальтобетонного покрытия по формуле Робертсона (4), используют значение температуры воздуха наиболее холодной пятидневки, что исключает возможность выбросов значений минимальной отрицательной температуры воздуха.

Таким образом, для дальнейшего изучения деформационных и прочностных характеристик асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог территории юго-востока Западной Сибири приняты минимальные температуры асфальтобетонного покрытия, рассчитанные по уравнению Робертсона.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бляхарчук Т.А., Боброва А.И., Жилина Т.Н. Природно-климатические условия на юго-востоке Западной Сибири и развитие этнокультур Прикетья (V в. до н. э. – XVII в.) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2021. № 4 (55). С. 36–48. DOI: 10.20874/2071-0437-2021-55-4-3. EDN: XLBNKQ
2. Ефименко В.Н. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог при глубоком промерзании грунтов (на примере Юго-Востока Западной Сибири) : специальность 05.22.03 «Изыскание и проектирование железных дорог и автомобильных дорог» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ефименко Владимир Николаевич. Москва, 1978. 216 с.
3. Шеслер А.И. Неравномерность деформации нежестких дорожных одежд под воздействием пучения – осадки грунтов : специальность 05.22.03 «Изыскание и проектирование

<sup>6</sup> ГОСТ Р 58406.6–2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения предела прочности на растяжение при изгибе и предельной относительной деформации растяжения. Введ. 01.06.2020. Москва: Стандартинформ, 2020. 11 с.

- железных дорог и автомобильных дорог» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шеслер Анатолий Иванович. Москва : МАДИ, 1968. 181 с.
4. Шорин В.А., Каган Г.Л., Рахимова И.А. Сравнение результатов расчетов на морозоустойчивость дорожной конструкции по нормативной и предлагаемым методикам // Дороги и мосты. 2015. № 4. С. 76–86.
  5. Пузаков Н.А. Расчет толщины дорожной одежды по условиям морозоустойчивости (теплоустойчивости) // Материалы Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции по прочности дорожных одежд. Харьков, 1968. С. 93–100.
  6. Лунёв А.А., Сиротюк В.В., Иванов Е.В. Результаты исследований деформационных характеристик золошлаковых смесей // Вестник СибАДИ. 2017. № 1 (53). С. 103–110.
  7. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Чурилин В.С. Моделирование напряжений и деформаций дорожных покрытий // Дороги и мосты. 2016. № 2 (36). С. 139–153. EDN: XQSGPB
  8. Попов А.М. Выбор статистически устойчивой процедуры исключения выбросов // Технические науки – от теории к практике. 2016. № 2 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-statisticheski-ustoychivoy-protsedury-isklyucheniya-vybrosov> (дата обращения: 15.01.2026).
  9. Johnson N.L., Leone F.C. Statistics and experimental design in engineering and the physical sciences. New York : Wiley, 1964. 534 p.
  10. Кирюхин Г.Н. Температурные режимы работы асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // Дороги и мосты. 2013. № 30. С. 309–328.
  11. Robertson W.D. Using the SHRP Specification to Select Asphalt Binders for Low Temperature Service // Proceedings of the Canadian Technical Asphalt Association. № 40. 1995. P. 170–195.
  12. Чурилин В.С. Обоснование величины допускаемого пучения грунта для проектирования морозоустойчивых нежестких дорожных одежд (на примере районов Западной Сибири) : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чурилин Владимир Сергеевич. Новосибирск : СГУПС, 2019. 165 с.
  13. Архивы погоды: Россия // Погода и климат : [сайт]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php?id=ru> (дата обращения: 09.01.2026).
  14. Кочеева Н.А., Шанкибаева М.Х. Особенности изменения температуры воздуха на границе гор Алтая и равнин Западной Сибири // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2018. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-izmeneniya-temperatury-vozduha-na-granitse-gor-altaya-i-ravnin-zapadnoy-sibiri> (дата обращения: 15.01.2026).

## REFERENCES

1. Blyakharchuk T.A., Bobrova A.I., Zhilina T.N. Climatic Conditions in the Southeast of Western Siberia and the Development of the Prikety Ethnocultures. *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii*. 2021; 4 (55): 36–48. DOI: 10.20874/2071-0437-2021-55-4-3. EDN: XLBNKQ (In Russian)
2. Efimenko V.N. “Water-thermal regime of road subgrade during deep soil freezing (based on the example of South-Eastern Western Siberia)”. PhD Thesis. Moscow, 1978. 216 p. (In Russian)
3. Shesler A.I. “Uneven deformation of flexible road pavements under the influence of frost heaving, soil settlement”. PhD Thesis. Moscow: MADI, 1968 181 p. (In Russian)
4. Shorin V.A., Kagan G.L., Rakhimova I.A. Comparison of Calculation Results of Frost Resistance of Road Structures According to Standard and Proposed Methods. *Dorogi i mosty*. 2015; (4): 76–86. (In Russian)
5. Puzakov N.A. Pavement Cost According to Frost (Heat) Resistance. In: *Proc. All-Union Sci. Conf. on Pavement Durability*. Kharkov, 1968. Pp. 93–100. (In Russian)
6. Lunyov A.A., Ivanov E.V. Deformation Characteristics of Slag Mixtures. *Vestnik SibADI*. 2017; 1 (53): 103–110. (In Russian)
7. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Churilin V.S. Stress-Strain Modeling of Road Pavements. *Dorogi i mosty*. 2016; 2 (36): 139–153. EDN: XQSGPB (In Russian)

8. Popov A.M. Choosing a Statistically Robust Outlier Exclusion Procedure. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*. 2016; 2 (50). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-statisticheskii-ustoychivoy-protsedury-isklyucheniya-vybrosov> (accessed January 15, 2026). (In Russian)
9. Johnson N.L., Leone F.C. *Statistics and Experimental Design in Engineering and the Physical Sciences*. New York: Wiley, 1964. 534 p.
10. Kiryukhin G.N. Temperature Modes of Operation of Asphalt Concrete Pavements of Motor Roads. *Dorogi i mosty*. 2013; 30: 309–328. (In Russian)
11. Robertson W.D. Using the SHRP Specification to Select Asphalt Binders for Low Temperature Service. *Proceedings of the Canadian Technical Asphalt Association*. 1995; 40: 170–195.
12. Churilin V.S. “Soil thawing in design of frost-resistant non-rigid road surfaces (the Western Siberia case study)”. PhD Thesis. Novosibirsk, 2019. 165 p. (In Russian)
13. Arkhivy pogody: Rossiya. Available: [www.pogodaiklimat.ru/archive.php?id=ru](http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php?id=ru) (accessed January 15, 2026). (In Russian)
14. Kocheeva N.A., Shankibaeva M.Kh. Air Temperature Changes at the Border of the Altai Mountains and the Plains of Western Siberia. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle*. 2018; (4). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-izmeneniya-temperatury-vozduha-na-granitse-gor-altaya-i-ravnin-zapadnoy-sibiri> (accessed January 15, 2026). (In Russian)

#### Сведения об авторах

Сиволоп Виталий Евгеньевич, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vesivolap@mail.ru

Ефименко Сергей Владимирович, докт. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, svefimenko\_80@mail.ru

Ефименко Владимир Николаевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, svefimenko\_80@mail.ru

Чурилин Владимир Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, lex-16-2008@mail.ru

Сухоруков Алексей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, av\_suhar@mail.ru

Галютдинов Заур Рашидович, докт. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, z.galyautdinov@tsuab.ru

Башарин Александр Дмитриевич, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, basharin.2001@inbox.ru

#### Authors Details

Vitaliy E. Sivolap, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, vesivolap@mail.ru

Sergey V. Efimenko, DSc, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, svefimenko\_80@mail.ru

Vladimir N. Efimenko, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, svefimenko\_80@mail.ru

Vladimir S. Churilin, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, lex-16-2008@mail.ru

Aleksey V. Sukhorukov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, av\_suhar@mail.ru

*Zaur R. Galyautdinov*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, z.galyautdinov@tsuab.ru

*Aleksandr D. Basharin*, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, basharin.2001@inbox.ru

#### **Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Authors contributions**

The authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.01.2026  
Одобрена после рецензирования 30.01.2026  
Принята к публикации 02.02.2026

Submitted for publication 28.01.2026  
Approved after review 30.01.2026  
Accepted for publication 02.02.2026