

Научная статья

DOI: 10.15593/24111678/2023.01.05

УДК 551.578.46

Н.В. Чмых, А.М. Бургонутдинов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА ДЛЯ РАСЧЕТА ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ПРИМЕРЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ

При решении задач распределения температуры в дорожной конструкции, в том числе при определении глубины промерзания, необходимо уделить особое внимание слою снежного покрова, расположенного на откосах и у основания насыпи автомобильной дороги. Дорожная конструкция промерзает неравномерно. Снег имеет малую теплопроводность, что способствует защите грунта от глубокого промерзания. В течение зимнего периода с проезжей части производят механизированную уборку снега, в то время как на откосах и у основания насыпи происходит накопление снежного массива на протяжении всего зимнего периода. Это создает сложную картину промерзания и существенно влияет на распределение изотермы $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ внутри дорожной конструкции. В связи с этим необходимо определить характеристики снежного покрова на территории Пермского края для получения более точной картины промерзания конструкции. Характеристики снежного покрова существенно зависят от внешних климатических факторов и условий местности. Произведен анализ климатических характеристик на восьми метеостанциях Пермского края. Выявлено различие между нормативными и фактическими значениями температуры наружного воздуха в период с октября по апрель. Определена средняя месячная высота снежного покрова, а также вероятность установления снежного покрова в осенние месяцы и вероятность сохранения снежного покрова в апреле. Проанализирован опыт исследования теплофизических характеристик снежного покрова российских и зарубежных ученых и выбраны необходимые значения плотности и теплопроводности снега. Рассчитана удельная теплоемкость снежного покрова толщиной до 30 см.

Ключевые слова: снежный покров, промерзание, дорожная конструкция, характеристики снежного покрова.

N.V. Chmykh, A.M. Burgonutdinov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia Federation

DETERMINATION OF SNOW COVER CHARACTERISTICS FOR CALCULATING THE FREEZING DEPTH OF A ROAD STRUCTURE ON THE EXAMPLE OF THE PERM REGION

When solving problems of temperature distribution in a road structure, including when determining the depth of freezing, it is necessary to pay special attention to the layer of snow cover located on the slopes and at the base of the embankment of the highway. The road structure freezes unevenly. Snow has a low thermal conductivity, which helps to protect the soil from deep freezing. During the winter period, mechanized snow removal is carried out on roadway, while snow accumulation occurs on the slopes and at the base of the embankment throughout the winter period. This creates a complex picture of freezing and significantly affects the distribution of the $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ isotherm inside the road structure. In this regard, it is necessary to determine the characteristics of the snow cover on the territory of the Perm Region in order to obtain a more accurate picture of the freezing of the structure. The characteristics of the snow cover significantly depend on external climatic factors and terrain conditions. The article analyzes the climatic characteristics at eight weather stations of the Perm Region. The difference between the standard and actual values of outdoor air temperature in the period from October to April was revealed. The average monthly snow cover height has been determined, as well as the probability of establishing snow cover in the autumn months and the probability of maintaining snow cover in April. The experience of studying the thermophysical characteristics of the snow cover by Russian and foreign scientists is analyzed and the necessary values of the density and thermal conductivity of snow are selected. The specific heat capacity of snow cover up to 30 cm thick is calculated.

Keywords: snow cover, freezing, road construction, snow cover characteristics.

Учет природно-климатических факторов необходимо начинать с определения дорожно-климатической зоны (ДКЗ). Территорию Пермского края относят ко II дорожно-климатической зоне. Вторая зона – это зона избыточного увлажнения. Занимает среднюю часть европейской части Российской Федерации и юг азиатской части. Это зона леса, в которой верхние слои грунтов имеют избыточное увлажнение за счет преобладания количества осадков над испарением (коэффициент водного баланса – более 1) и высокого уровня стояния грунтовых вод [1]. Во II ДКЗ наиболее распространенным видом грунтов являются сезоннопромерзающие грунты.

Детальные исследования климата Пермской области описаны А.С. Шкляевым и В.А. Балковым [2], которые обобщили материалы метеорологических наблюдений с 1881 по 1954 г. Авторы предложили вместо четырех стандартных сезонов учитывать шесть, добавив предвесенье и предзимье. Дальнейшее исследование климатических характеристик этих сезонов, в том числе дат перехода температуры воздуха через 0 °С, будет полезно при планировании дорожных работ.

На основании данных климата Пермской области [2] средние даты появления снежного покрова приходятся на вторую, третью декады октября (Чердынь – 14, Пермь – 18 и Чернушка – 21 октября). Наиболее раннее появление снежного покрова наблюдалось в Чердыни 11 сентября, в Перми – 28, в Чернушке – 25 сентября, наиболее позднее соответственно 15, 16 и 16 ноября. Даты перехода температуры воздуха через –5° (начало зимы) и образование устойчивого снежного покрова почти совпадают.

Нормативные данные климатических характеристик, необходимые при проектировании, строительстве и содержании автомобильных дорог, представлены в СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». В данном документе приведены данные с четырех метеостанций, расположенных на территории Пермского края: Бисер, Ножовка, Пермь и Чердынь (табл. 1).

В качестве расчетных характеристик холодного периода приняты:

- 1) средняя месячная температура наружного воздуха;
- 2) средняя месячная высота снежного покрова;
- 3) среднее количество дней с снежным покровом в весенние и осенние месяцы;
- 4) средняя плотность снежного покрова;
- 5) удельная теплоемкость снега;
- 6) эффективная теплопроводность снега.

Для сравнения нормативных данных с фактическими проведем анализ величин средней месячной температуры воздуха на метеостанциях Пермского края. В качестве массива данных был использован архив погоды, размещенный на сайте gr5.ru [3]. В дополнение к уже имеющимся населенным пунктам были добавлены еще четыре: Гайны, Кудымкар, Большое Савино и Оханск. Информация с данных метеостанций уже давно используется при разработке проектов организации строительства автомобильных дорог.

Таблица 1

Средняя месячная температура воздуха холодного периода по СП 131.13330.2020

№ п/п	Населенный пункт	Средняя месячная температура воздуха, °С						
		Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
1	Бисер	-0,5	-8,4	-13,9	-16,7	-14,6	-6,8	0,9
2	Ножовка	3,2	-4,5	-10,7	-13,7	-12,5	-4,9	3,8
3	Пермь	2,3	-5,3	-11,2	-13,9	-12,2	-4,5	3,7
4	Чердынь	0,5	-7,3	-13,1	-16,1	-13,8	-5,7	1,6

В процессе проведения исследования осуществлен анализ природно-климатических показателей за период с 01.02.2005 по 31.12.2021. Было допущено исключение для метеостанций Бисер и Большое Савино, где началом периода наблюдений является 25.03.2009 и 26.09.2012 соответственно. Данные допущения связаны с ограничением доступа к архивам и возможностями сайта. Измерения температуры воздуха производили восемь раз в сутки через каждые

3 ч, первое измерение в 02:00, последнее в 23:00, за исключением метеостанции на территории аэропорта Большое Савино, где измерения производятся каждые полчаса. Фактические данные средней месячной температуры воздуха в холодный период года представлены в табл. 2.

Сравнение нормативных значений температуры воздуха с фактическими представлено в табл. 3.

Таблица 2

Расчетная средняя месячная температура воздуха холодного периода

№ п/п	Населенный пункт	Средняя месячная температура воздуха, °С						
		Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
1	Бисер	0,2	-7,7	-13,6	-16,2	-13,7	-6,6	1,4
2	Ножовка	3,9	-3,2	-9,7	-12,7	-11,7	-4,2	4,2
3	Пермь	3,3	-4,0	-10,0	-12,9	-11,6	-3,9	4,2
4	Чердынь	1,6	-5,7	-11,6	-14,9	-13,2	-5,4	2,3
5	Гайны	1,9	-5,2	-10,8	-14,1	-12,5	-5,1	2,6
6	Кудымкар	2,5	-4,6	-10,6	-13,8	-12,5	-4,9	3,1
7	Большое Савино	3,0	-4,1	-9,7	-12,2	-10,1	-3,7	4,0
8	Оханск	3,5	-3,8	-10,1	-13,2	-12,0	-4,2	4,1

Таблица 3

Отклонение расчетных значений температуры воздуха от нормативных

№ п/п	Населенный пункт	Месяцы холодного периода						
		Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Разница между нормативными данными и фактическими, °С								
1	Бисер	0,7	0,7	0,3	0,5	0,9	0,2	0,5
2	Ножовка	0,7	1,3	1	1	0,8	0,7	0,4
3	Пермь	1	1,3	1,2	1	0,6	0,6	0,5
4	Чердынь	1,1	1,6	1,5	1,2	0,6	0,3	0,7
Среднее значение		0,8						
Разница между нормативными данными и фактическими, %								
1	Бисер	140,00	8,33	2,16	2,99	6,16	2,94	55,56
2	Ножовка	21,88	28,89	9,35	7,30	6,40	14,29	10,53
3	Пермь	43,48	24,53	10,71	7,19	4,92	13,33	13,51
4	Чердынь	220,00	21,92	11,45	7,45	4,35	5,26	43,75
Среднее значение		26,73						

Из данных табл. 3 видно, что фактические значения температур отличаются от нормативных, приведенных в СП 131.13330.2020. На протяжении всего холодного периода наблюдается рост температуры в диапазоне от 0,2 до 1,6 °С. Средний прирост температуры составил 0,8 °С. Данное изменение средней месячной температуры воздуха может существенно повлиять на работу дорожной конструкции. Наибольшее изменение температуры в процентном соотношении наблюдается в периоды октябрь-ноябрь и март-апрель, когда на территории Пермского края начинаются процессы промерзания и оттаивания сезоннопромерзающих грунтов. Выявленные изменения влияют на сроки наступления зимних заморозков и начало весенней распутицы, поэтому необходимо рассмотреть возможность корректировки дат начала производства дорожных работ.

При разработке проектной документации на строительство автомобильной дороги, а также для численного расчета глубины промерзания дорожной конструкции на территории Пермского края рекомендуется принимать уточненные данные для получения более точной картины распространения температурных полей.

Для оценки климатических характеристик, необходимых для моделирования процессов промерзания конструкции, необходимо увеличить число метеостанций в СП 131.13330.2020 для повышения точности результатов решаемых инженерных задач.

В качестве примера рассмотрим высоту снежного покрова на территории Пермского края на основании данных метеостанций по аналогии с температурой наружного воздуха. Высота снежного покрова, а также количество дней со снежным покровом в весенние и осенние месяцы холодного периода не измерялась на метеостанции Большое Савино, так как станция находится на территории аэропорта г. Перми. Результаты анализа средней высоты снежного покрова и среднего количества дней со снежным покровом представлены в табл. 4 и 5 соответственно.

Таблица 4

Средняя высота снежного покрова

№ п/п	Населенный пункт	Средняя высота снежного покрова, см						
		Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
1	Бисер	7,2	17,8	36,9	55,7	68,6	79,9	48,5
2	Ножовка	4,9	8,3	21,9	36,8	48,4	50,5	21,8
3	Пермь	6,8	10,8	26,3	45,0	56,1	57,43	21,3
4	Чердынь	6,0	14,1	36,1	60,1	76,1	82,2	44,6
5	Гайны	5,5	11,1	25,0	44,0	59,0	66,0	35,9
6	Кудымкар	5,3	10,9	26,1	45,8	56,6	61,4	29,3
7	Большое Савино	-	-	-	-	-	-	-
8	Оханск	13,1	7,7	21,5	39,2	52,3	55,4	21,5

Таблица 5

Среднее количество дней со снежным покровом в весенние и осенние месяцы холодного периода

№ п/п	Населенный пункт	Среднее количество дней со снежным покровом			
		Октябрь	Ноябрь	Март	Апрель
1	Бисер	15	28	31	27
2	Ножовка	4	20	31	16
3	Пермь	7	25	31	17
4	Чердынь	11	27	31	24
5	Гайны	9	26	31	21
6	Кудымкар	7	25	31	21
7	Большое Савино	-	-	-	-
8	Оханск	5	23	31	17

Снежный покров появляется на территории Пермского края в октябре, его наличие было зафиксировано на всех рассматриваемых метеостанциях. Наибольшая высота снежного покрова достигает в марте, а в апреле начинается процесс снеготаяния. Устойчивый снежный покров формируется в первую декаду ноября, в то время как в октябре весь выпавший снег тает, и покров не успевает сформироваться, это особенно важно учесть при моделировании процесса промерзания дорожной конструкции. Из-за различия величин высоты снежного покрова необходимо в дальнейшем рассчитывать промерзание конструкции отдельно в каждый месяц холодного периода.

Октябрь и ноябрь отличаются от остальных месяцев расчетного периода тем, что снежный покров еще не сформирован. Также следует обратить внимание, что в апреле происходит интенсивное снеготаяние. Для этих случаев рассмотрим распределение сумм твердых осадков. Ученые Изюмов и Дэвенпорт [4] выяснили, что распределение сумм твердых осадков в условиях умеренного климата описывается распределением Вейбулла [5]:

$$p(>S, t) = p(S \neq 0, t) \exp \left\{ - \left[S |_{c(t)} \right]^{k(t)} \right\}, \quad (1)$$

где $p(>S, t)$ – вероятность снегопада с суммой осадков, превышающей S в день t ; $p(S \neq 0, t)$ – вероятность выпадения снега в день t ; $c(t)$ и $k(t)$ – параметры Вейбулла, характеризующие преобладающие значения сумм твердых осадков и асимптотичность.

Следует отметить, что уравнение справедливо только в случае однородных и независимых в совокупности данных. Определим вероятность появления снежного покрова (сохранения снежного покрова для апреля) и вероятность того, что образуется установившийся снежный покров высотой больше средней для октября и ноября, высотой меньше средней – для апреля. За минимальную величину снежного покрова примем 0,5 см из допущения, что приборы метеостанций не фиксируют значения ниже данной величины. Результаты представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты расчета распределения сумм твердых осадков

№ п/п	Населенный пункт	Вероятность появления снежного покрова (сохранения снежного покрова для апреля) / вероятность установления снежного покрова с высотой больше средней (меньше для апреля), %		
		Октябрь	Ноябрь	Апрель
1	Бисер	48,1 / 5,9	92,3 / 3,9	88,5 / 54,3
2	Ножовка	11,4 / 7,2	64,9 / 4,6	51,8 / 62,8
3	Пермь	20,9 / 3,7	81,4 / 5,0	56,9 / 58,0
4	Чердынь	37,5 / 6,1	91,0 / 3,9	81,4 / 55,5
5	Гайны	29,8 / 6,6	85,1 / 4,9	70,2 / 57,1
6	Кудымкар	22,0 / 4,7	83,1 / 4,0	68,6 / 59,6
7	Большое Савино	-	-	-
8	Оханск	14,6 / 4,9	77,3 / 4,8	57,8 / 60,0

По результатам расчета распределения сумм твердых осадков вероятность установления снежного покрова в октябре меньше 50 % на всех рассматриваемых метеостанциях. Также в октябре наблюдается положительная средняя месячная температура наружного воздуха (см. табл. 2). Исходя из этих фактов, не рекомендуется рассматривать снежный покров в октябре как установившийся для решения задач промерзания дорожной конструкции.

Рассмотрим величину плотности снежного покрова, которая является одним из основных показателей. Выбор величины плотности снега – это сложная комплексная задача, требующая непосредственных измерений данной величины. Плотность снега зависит от температуры воздуха и ветровой нагрузки, а также других внешних параметров. Определением плотности снега занимались многие ученые отечественные и зарубежные ученые [6–9].

В качестве расчетной плотности снега предлагается использовать послойную плотность снега в лесу по Н.Г. Евфимову [7], графическая зависимость плотности снега от глубины расположения слоя представлена на рис. 1, средняя плотность снега при этом равна 0,26 г/см³. Следует отметить, что другие авторы, изучавшие значение плотности снега, предлагают сопоставимые значения плотности в качестве расчетных. Наибольшая плотность свежеснежного покрова наблюдается в осенние месяцы, затем плотность постепенно уменьшается, достигая минимума в январе, и вновь увеличивается к весне [11].

Далее определим термические свойства снега, необходимые для решения задач распределения температуры в дорожной конструкции. В самом простом случае для решения такого типа задачи необходимы два параметра – удельная теплоемкость и теплопроводность снега.

Удельная теплоемкость напрямую зависит от температуры снега. Для описания зависимости воспользуемся уравнением Дорсея [12]:

$$C = 2,115 + 0,00779T, \quad (2)$$

где C – удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С); T – температура снега, °С.

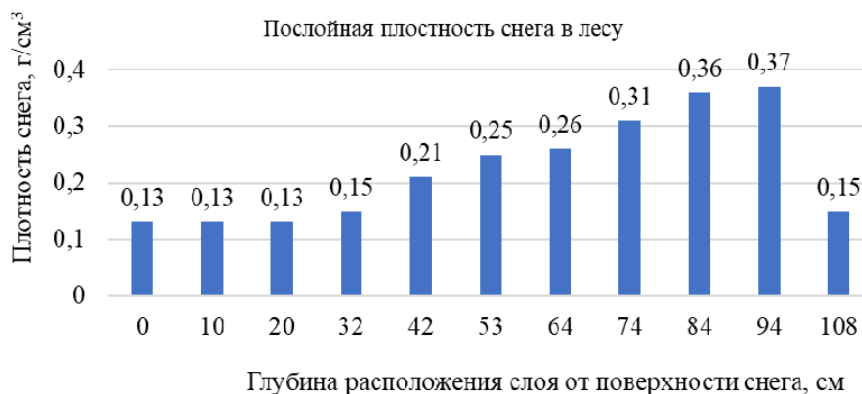


Рис. 1. Послойная плотность снега в лесу (по Н.Г. Евфимову)

Важным аспектом является температура снега. По результатам исследований [13; 14], перепад температур между снегом на поверхности и нижним слоем может быть довольно существенным и достигать от 20° до 25 °С. При этом суточные колебания температуры влияют только на верхний слой толщиной 20–30 см, значение температуры которого соответствует температуре наружного воздуха. При толщине снежного покрова в пределах от 50 до 100 см температура снега у земли остается практически постоянной и находится в пределах от –2 до –5 °С и не зависит от температуры окружающего воздуха в диапазоне от 0 до –40 °С [11].

Рассчитаем удельную теплоемкость верхнего слоя снежного покрова толщиной до 30 см, результаты расчета представлены в табл. 7.

Таблица 7

Удельная теплоемкость снежного покрова толщиной до 30 см

№ п/п	Населенный пункт	Удельная теплоемкость снежного покрова, кДж/(кг·°С)						
		Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
1	Бисер	2,117	2,055	2,009	1,989	2,008	2,064	2,126
2	Ножовка	2,145	2,090	2,039	2,016	2,024	2,082	2,148
3	Пермь	2,141	2,084	2,037	2,015	2,025	2,085	2,148
4	Чердынь	2,127	2,071	2,025	1,999	2,012	2,073	2,133
5	Гайны	2,130	2,074	2,031	2,005	2,018	2,075	2,135
6	Кудымкар	2,134	2,079	2,032	2,007	2,018	2,077	2,139
7	Большое Савино	2,138	2,083	2,039	2,020	2,036	2,086	2,146
8	Оханск	2,142	2,085	2,036	2,012	2,022	2,082	2,147

Величину удельной теплоемкости снежного покрова толщиной свыше 30 см предлагается определять по той же формуле (2), но с условием изменения температуры по глубине. За температуру наружного воздуха принимаем среднюю месячную, за температуру у поверхности грунта принимаем величину от -2 до -5 °С [11], промежуточные значения температуры предлагаем определять при помощи интерполяции.

Рассмотрим параметр теплопроводности снежного покрова. Теплопроводность снега определить достаточно сложно, ее значение зависит от плотности, температуры и микроструктуры снега. Даже фактические измерения этой величины показывают большой разброс данных [14], поэтому измерять теплопроводность необходимо непосредственно на рассматриваемом объекте, поскольку эта величина сильно зависит от условий местности. При отсутствии фактических данных и необходимости проведения предварительных расчетов глубины промерзания дорожной конструкции можно воспользоваться следующей приблизительной зависимостью эффективной теплопроводности от плотности снега, которая представлена на рис. 2 [15].

В дальнейшем при измерении теплопроводности снега можно рассмотреть использование прибора по измерению теплопроводности МИТ-1.

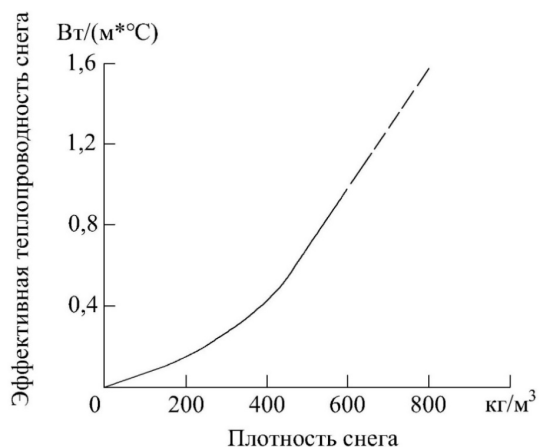


Рис. 2. Зависимость эффективной теплопроводности снега от его плотности

Данный прибор является измерителем теплопроводности строительных материалов, но его можно использовать при определении теплопроводности снега, так как данный прибор работает в широком диапазоне температур до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ при соответствующей калибровке.

Заключение

1. Анализ температуры воздуха холодного периода на восьми метеостанциях Пермского края показал, что фактическая величина температуры наружного воздуха отличается от нормативной, приведенной в СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», в среднем на $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, или на 27 %. Эта разница является существенной при решении задач распределения температуры в дорожной конструкции.

2. Была определена средняя высота снежного покрова с октября по апрель по данным соответствующих метеостанций на территории Пермского края, а также вероятность установления снежного покрова в осенние месяцы и вероятность сохранения снежного покрова в апреле. На основании полученных данных для решения задач распределения температуры рекомендуется учитывать наличие снежного покрова в ноябре и апреле, так как вероятность появления / сохранения снежного покрова находится в диапазоне то 64,9 до 92,3 % в ноябре и от 51,8 до 88,5 % в апреле соответственно. В октябре вероятность появления снежного покрова существенно ниже, чем в ноябре, – от 11,4 до 48,1 %, а средняя месячная температура наружного воздуха имеет положительные значения. В соответствие с этими данными допускаем, что для октября нет необходимости рассматривать слой снежного покрова при решении задач распределения температуры и учитывать дорожные работы по очистке проезжей части от снежно-ледяных отложений.

3. Математически определена удельная теплоемкость снежного покрова толщиной до 30 см и свыше 30 см с учетом изменения температуры в течение холодного периода на территории Пермского края.

4. Рекомендуется использовать вышеперечисленные характеристики снежного покрова только для получения предварительной картины распределения температуры в дорожной конструкции. Для получения более достоверных данных необходимо производить непосредственные фактические измерения данных параметров, поскольку свойства снега существенно зависят от климатических факторов и условий местности.

Список литературы

1. Бондарева Э.Д., Клековкина М.П. Изыскания и проектирование автомобильных дорог: учебное пособие для среднего профессионального образования. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2018. – 210 с.

2. Шкляев А.С., Балков В.А. Климат Пермской области. – Пермь: Пермское книжное издательство, 1963. – 192 с.
3. Архив погоды [Электронный ресурс]. – URL: <https://rp5.ru> (дата обращения: 22.09.2022).
4. Izyumov N., Davenport A.G. A portable approach to the prediction of snow loads // *Can. J. Civil Eng.* – 1974. – Vol. 1. – P. 28–49.
5. Снег: справочник / под ред. Д.М. Грея, Д.Х. Мэйла; пер. с англ. под ред. В.М. Котлякова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. – 751 с.
6. Вейнберг Б.П. Снег, иней, град, лед и ледники. – М., Л.: ОНТИ, 1936. – 231 с.
7. Евфимов Н.Г. О плотности снега в связи с его структурой и глубиной залегания // *Метеорология и гидрология.* – 1941. – № 2. – С. 18–22.
8. Маевский А.П. Исследование процесса движения гусеничного трелевочного трактора по снежной целине [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 1964. – 18 с.
9. Church J.E. The melting of snow // *Proc. Central Snow Conf., East Lansing, Mich.* – 1941. – P. 21–32.
10. Gray D.M., Norum D.I., Dyck G.E. Densities of prairie snowpacks // *Proc. 38th Annu. Meet. West. Snow Conf.* – 1970. – P. 24–30.
11. Кручинин И.Н. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог при освоении лесосырьевых баз многолесных регионов: дис. ... д-ра техн. наук 05.21.01. – Воронеж, 2016. – 350 с.
12. Dorsey N.E. Properties of Ordinary Water-substance in all its Phases Water Vapor, Water and all the Ices // *Mono. Am. Chem. Soc. Reinhold Publ. Corp. (reprinted Hafner Publ. Co., New York, 1968).* – 1940. – Ser. No. 8. – 673 p.
13. Войтковский К.Ф. Механические свойства снега. – М., 1977. – 158 с.
14. Кузьмин П.П. Физические свойства снежного покрова. – Л., 1957. – 84 с.
15. Mellor M. Engineering properties of snow // *Journal of Glaciology.* – 1977. – Vol 19, no. 81. – P. 15–66.

References

1. Bondareva E. D., Klekovkina M. P. Izyskaniia i proektirovanie avtomobil'nykh dorog [Surveys and design of highways]. Moscow, Iurait, 2018, 210 p.
2. Shklyayev A.S., Balkov V.A. Klimat Permskoi oblasti [The climate of the Perm region]. Perm, Perm book publishing house, 1963, 192 p.
3. Arkhiv pogody [Weather archive]. Available at: <https://rp5.ru> (accessed 22.09.2022).
4. Izyumov N., Davenport A. G. A portable approach to the prediction of snow loads. *Can. J. Civil Eng.*, 1974, Vol. 1, pp. 28-49.
5. Gray D. M., Male D. M. Handbook of Snow: Principles, Processes, Management and Use. The Blackburn Press, Caldwell, NJ, USA, 1986, 751 p.
6. Veinberg B.P. Sneg, inei, grad, led i ledniki [Snow, frost, hail, ice and glaciers]. Moscow, Leningrad, 1936, 231 p.
7. Evfimov N.G. O plotnosti snega v sviazi s ego strukturoi i glubinoi zaleganiia [On the density of snow in connection with its structure and depth]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 1941, no. 2, pp. 18-22.
8. Maevskii A.P. Issledovanie protsessa dvizheniia gusenichnogo trelevochnogo traktora po snezhnoi tseline [Study of the process of movement of a caterpillar skidder on virgin snow]. Abstract of Ph. D. thesis. Irkutsk, 1964, 18 p.
9. Church J. E. The melting of snow. *Proc. Central Snow Conf., East Lansing, Mich.*, 1941, pp. 21-32. – англоязычная статья.
10. Gray D. M., Norum D. I., Dyck G. E. 1970. Densities of prairie snowpacks. *Proc. 38th Annu. Meet. West. Snow Conf.*, 1970, pp. 24-30.
11. Kruchinin I. N. Povyshenie transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesovoznykh avtomobil'nykh dorog pri osvoenii lesosyr'evykh baz mnogolesnykh regionov [Improving the transport and operational qualities of logging roads in the development of forest resources bases of richly forested regions]. Doctor's degree dissertation. Voronezh, 2016, 350 p.
12. Dorsey N. E. Properties of Ordinary Water-substance in all its Phases Water Vapor, Water and all the Ices. *Mono. Am. Chem. Soc. Reinhold Publ. Corp. (reprinted Hafner Publ. Co., New York, 1968)* 1940, Ser. No. 8, 673 p.
13. Voitkovskii K.F. Mekhanicheskie svoistva snega [Mechanical properties of snow]. Moscow, 1977, 158 p.
14. Kuz'min P. P. Fizicheskie svoistva snezhnogo pokrova [Physical properties of snow cover]. Leningrad, 1957, 84 p.
15. Mellor M. Engineering properties of snow. *Journal of Glaciology*. 1977, Vol 19, No. 81, pp. 15-66.

Об авторах

Чмых Никита Вячеславович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: chmyhnikita@gmail.com).

Бургонутдинов Альберт Масугутович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: burgonutdinov.albert@yandex.ru).

About Authors

Nikita V. Chmykh (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student of the Department Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: chmyhnikita@gmail.com).

Albert M. Burgonutdinov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Science, Professor of the Department Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: burgonutdinov.albert@yandex.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Вклад авторов равноценен.

Поступила: 26.12.2022

Одобрена: 22.01.2023

Принята к публикации: 01.03.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Чмых, Н.В. Определение характеристик снежного покрова для расчета глубины промерзания дорожной конструкции на примере Пермского края / Н.В. Чмых, А.М. Бургонутдинов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 1. – С. 34–42. DOI: 10.15593/24111678/2023.01.05

Please cite this article in English as: Chmykh N.V., Burgonutdinov A.M. Determination of snow cover characteristics for calculating the freezing depth of a road structure on the example of the Perm region. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2023, no. 1, pp. 34-42. DOI: 10.15593/24111678/2023.01.05