

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Галкин А.Ф., Жирков А.Ф., Плотников Н.А., Панков В.Ю. Параметрический критерий (симплекс) коэффициента теплопроводности снега // Арктика и Антарктика. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.3.75478 EDN: UQHJIV URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=75478

Параметрический критерий (симплекс) коэффициента теплопроводности снега

Галкин Александр Фёдорович

ORCID: 0000-0002-5924-876X

доктор технических наук

Главный научный сотрудник; лаборатория геотермии криолитозоны; Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

677010, Россия, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36, ИМЗ СО РАН. Лаборатория геотермии криолитозоны

✉ afgalkin@yandex.ru



Жирков Александр Федотович

ORCID: 0000-0001-6721-5338

кандидат технических наук

Ведущий научный сотрудник; лаборатория геотермии криолитозоны; Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

677010, Россия, республика РС(Я), г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

✉ zhirkov_af@mail.ru



Плотников Николай Афанасьевич

ORCID: 0000-0001-6013-931X

аспирант; Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

677010, Россия, республика Саха(Якутия), г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

✉ plotnikov-nikolay96@mail.ru



Панков Владимир Юрьевич

кандидат геолого-минералогических наук

доцент; кафедра Строительства дорог и аэродромов; Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

677027, Россия, республика Саха(Якутия), г. Якутск, ул. Белинского, 58

✉ pankov1956@gmail.ru



[Статья из рубрики "Природные ресурсы Арктики и Антарктики"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2025.3.75478

EDN:

UQHIJV

Дата направления статьи в редакцию:

11-08-2025

Аннотация: Предметом исследований являлась функциональная зависимость коэффициента теплопроводности снега от плотности при различной температуре. Цель исследований: установление связи безразмерного значения коэффициента теплопроводности (симплекса теплопроводности) с безразмерным значением плотности (симплекс плотности) снега. Для получения безразмерных параметрических критериев (симплексов) в качестве масштабных единиц использовались коэффициент теплопроводности и плотность льда, которые в общем случае являются функцией температуры. Подробно рассмотрена зависимость коэффициента теплопроводности и плотности льда от температуры, которые представлены в виде линейных функциональных зависимостей. Особое внимание уделяется оценке ошибок, возникающих при линеаризации функциональных зависимостей и усреднении исходных данных. В качестве базовой функциональной зависимости коэффициента теплопроводности снега от плотности использовалась классическая формула Г.П. Абельса. Для получения параметрических критериев (симплексов) коэффициента теплопроводности и плотности снега использовался метод натуральных масштабов, позволяющий привести размерные физические величины к безразмерным параметрам. В качестве масштабных единиц использовались средние значения коэффициента теплопроводности и плотности льда в заданном температурном диапазоне. С помощью метода натуральных масштабов получены параметрические критерии (симплексы) коэффициента теплопроводности и плотности снега. На основании классической формулы Г.П. Абельса установлена функциональная связь между найденными параметрическими критериями, которую можно сформулировать так: "Симплекс теплопроводности снега равен квадрату симплекса его плотности". Данная закономерность получена впервые и определяет научную новизну выполненных теоретических исследований. Используя зависимость коэффициента теплопроводности и плотности льда от температуры по известному значению симплексов легко определить влияние температуры на изменение коэффициента теплопроводности снега от плотности. Сделана оценка ошибок, которые возникают при использовании в расчетах усредненных данных масштабных единиц. Показано, что усреднение исходных величин не вызывает ошибок, значения которых больше допустимых значений, принятых в инженерной практике. Например, ошибка в определении коэффициента пропорциональности между симплексами теплопроводности и плотности изменяется в пределах от $\pm 9,0\%$ в диапазоне изменения температуры от 0 до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом, в наиболее реальном диапазоне изменения температуры снега (от -5 до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) средняя ошибка не превосходит $3,0\%$.

Ключевые слова:

снег, лёд, плотность, теплопроводность, коэффициент, критерий, симплекс, точность, закономерность, температура

Работа выполнена по государственному заданию по теме «Тепловое поле и криогенная толща Северо-Востока России. Особенности формирования и динамика» (№ 122011800062-5).

Введение

В настоящее время существует не один десяток формул для определения коэффициента теплопроводности снега. Известно несколько обзорных работ, в которых сделана попытка сравнения результатов расчетов по различным формулам, например [\[1,2,3\]](#). В работах [\[4,5\]](#) приведены обобщенные формулы для определения коэффициента теплопроводности на основе усреднения, как утверждают авторы, параметров 20 известных формул. В работах [\[6,7\]](#) нами было показано, что без большого ущерба для точности расчетов обобщенная формула может быть линеаризована. Ошибка при этом, как правило, не превышает значений, допустимых в инженерной практике: « На основе линеаризации базовой функциональной зависимости были получены простые линейные формулы для определения коэффициента теплопроводности в зависимости от плотности снега для двух характерных диапазонов плотности (200-300) и (300-400) кг/м³. Определены процентные ошибки в расчетах коэффициента теплопроводности снега, которые возможны при упрощении коэффициентов и линеаризации базовой параболической зависимости коэффициента теплопроводности от плотности снежного покрова. Установлена, что возникающие при линеаризации базовой функции ошибки не превышают 4,5%, что является вполне допустимым в инженерных расчетах. Расхождение результатов расчетов по базовой и упрощенной формуле (с округленными до целых значений первого порядка коэффициентами) не превышают 2,3% во всем рассмотренном диапазоне изменения плотности снега».

Во всех обзорных работах отмечается большое расхождение между результатами расчетов по конкретным формулам при идентичных исходных данных. Относительные ошибки в расчетах составляют десятки, а для снега низкой плотности и изморози сотни процентов. То есть, согласия нет вообще. Более того, это подчеркивает ярко выраженную условность использования закона Фурье в случае исследования взаимодействия снежного покрова и грунта. Поэтому само понятие коэффициента теплопроводности, как коэффициента пропорциональности между тепловым потоком и градиентом температуры ставится под сомнение. Предлагается заменить понятие коэффициента теплопроводности «эффективным коэффициентом теплопроводности», указывая на его условность. В работах [\[8,9,10,11\]](#) предлагается при получении зависимостей коэффициента теплопроводности снега от плотности учитывать вид снега [\[12\]](#) и его температуру. Так, в работе [\[11\]](#) показано, что при одинаковой плотности двух видов снега – изморози и зернистого, имеющих разную структуру, коэффициент теплопроводности может отличаться кратно. Автором проведены комплексные лабораторные исследования различных видов снега на 70 образцах, отобранных из снежного покрова в средней климатической зоне, на основании которых установлено, что в отличие от свежевыпавшего (так называемого «нового снега») и зернистого снега, другой вид снега, классифицированного как изморось, имеет линейную зависимость от плотности. При этом, абсолютные значения коэффициента теплопроводности изморози, в среднем, на 30-60% ниже, чем у зернистого снега аналогичной плотности в диапазоне 150 - 450 кг/м³. Эти результаты качественно соответствует ранее полученным выводам в работе [\[8\]](#), но отличаются количественно: разные градиенты теплопроводности в зависимости от плотности. Причем, для изморози градиент выше, чем для нового или

зернистого снега.

В то же время, системные аналитические исследования, результаты которых приведены в работах [13,14], показывают, что усложненные численные модели, где, по сути, отсутствует понятие коэффициента теплопроводности, и снег рассматривается как сложная среда, в которой происходят процессы тепло-массопереноса, тоже не дают достоверных результатов. Прогноз по более сложным моделям оказывается менее надежным, чем по упрощенным.

Одна из первых формул для определения коэффициента теплопроводности снега в зависимости от его плотности была получена Г.П. Абельсом и опубликована в 1893 году [15]. Данная формула является классической и успешно используется в научном анализе до настоящего времени. Интересно отметить, что, например, выполненные спустя 130 лет, комплексные лабораторные и теоретические исследования сотрудников МГТУ им. Н.Э. Баумана по изучению взаимосвязи коэффициента теплопроводности и плотности снега, результаты которых приведены в работе [16], показали полное совпадение полученных формул, с формулой Г.П. Абельса.

Метод

Для получения симплекса коэффициента теплопроводности воспользуемся общей формулой определения коэффициента теплопроводности от плотности снега в виде усеченного полинома

$$\lambda_c = m\rho_c^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

Для классической формулы Абельса коэффициент «m» равен 2,85. В работах других авторов значение этого коэффициента изменяется от 2,1 до 3,5 в зависимости от вида и плотности снега. Так, в известной формуле Кондратьевой данный коэффициент равен 3,5 и относится к фирновому снегу. Для изморози, наоборот, коэффициент ближе к 2,0.

Используя в качестве масштабных единиц плотность и теплопроводность льда, получим следующие соотношения

$$\lambda = \lambda_c/\lambda_{\pi} \quad \text{и} \quad \rho = \rho_c/\rho_{\pi} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Подставляя их в формулу (1) получим искомый симплекс (безразмерный параметрический критерий) коэффициента теплопроводности

$$\lambda = Z\rho^2 \quad \text{где} \quad Z = m\rho_{\pi}^2/\lambda_{\pi} \quad \dots\dots\dots(3)$$

В общем случае все параметры льда здесь являются функциями температуры.

Используя данные из «Гляциологического словаря» [17] можно предложить следующие простые функциональные зависимости плотности и коэффициента теплопроводности льда от температуры:

$$\rho(T) = 917 + 0,125|T| \quad \text{и} \quad \lambda(T) = 2,21 + 0,0115|T| \quad \dots\dots\dots(4)$$

Формулы для определения относительных ошибок усреднения (%) будут иметь вид:

$$e(\rho) = 100 * (1 - \rho_{\text{ср.}}/\rho(T)) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$e(\lambda) = 100 * (1 - \lambda_{\text{ср.}}/\lambda(T)) \dots\dots\dots(6)$$

$$e(Z) = 100 * (1 - Z_{\text{ср.}}/Z(T)) \dots\dots\dots(7)$$

Обсуждение результатов. Для расчета коэффициента «Z» в формуле (3) примем средние значения коэффициента теплопроводности льда $\lambda_{\text{ср.}} = 2,44 \text{ Вт/мК}$ и плотности льда $\rho_{\text{ср.}} = 919,5 \text{ кг/м}^3$ в диапазоне температур $0,0 \leq T \leq 40,0 \text{ }^\circ\text{C}$. А, именно: $\lambda_{\text{ср.}} = 2,44 \text{ Вт/мК}$ и $\rho_{\text{ср.}} = 919,5 \text{ кг/м}^3$. Далее, используя формулу Абельса для определения зависимости коэффициента теплопроводности от плотности, найдем, что параметр «Z» в формуле (3) приблизительно равен 0,99. То есть, без ущерба для точности можно считать, что симплекс теплопроводности снега равен квадрату симплекса плотности снега: $\lambda = \rho^2$. На рис.1 приведен график, характеризующий изменение параметра «Z» в зависимости от допустимых колебаний значения коэффициента теплопроводности ($\pm 10,0 \%$), вычисленного по формуле Абельса. Фактически этот диапазон определяется диапазоном изменения коэффициента «m» в формуле (3): $2,6 \leq m \leq 3,2$.

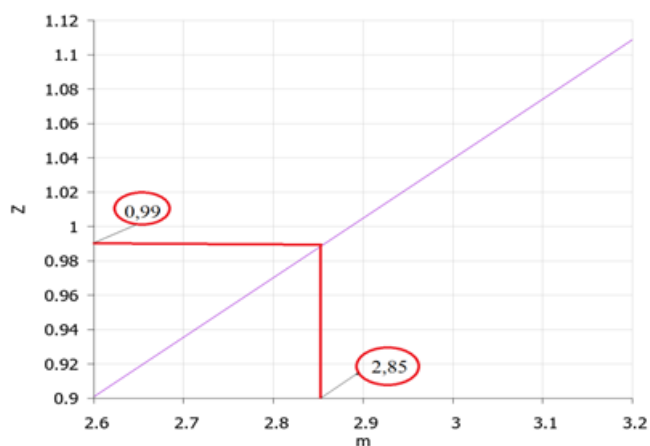


Рис. 1. Изменение параметра «Z» в допустимом диапазоне колебаний коэффициента «m» в формуле Абельса

Как видно из графика, параметр «Z» изменяется в пределах $0,9 \leq Z \leq 1,1$ и с достаточной для инженерных расчетов точностью может быть принят равным единице. Для оценки достоверности данного утверждения оценим ошибку, которую мы допускаем при усреднении параметра «Z» (фактически, усреднения плотности льда и коэффициента теплопроводности льда в заданном температурном диапазоне). Воспользуемся формулами для расчета процентной относительной ошибки усреднения (5)-(7) и проведем варианты расчеты, результаты которых приведены в графической форме на рис. 2.

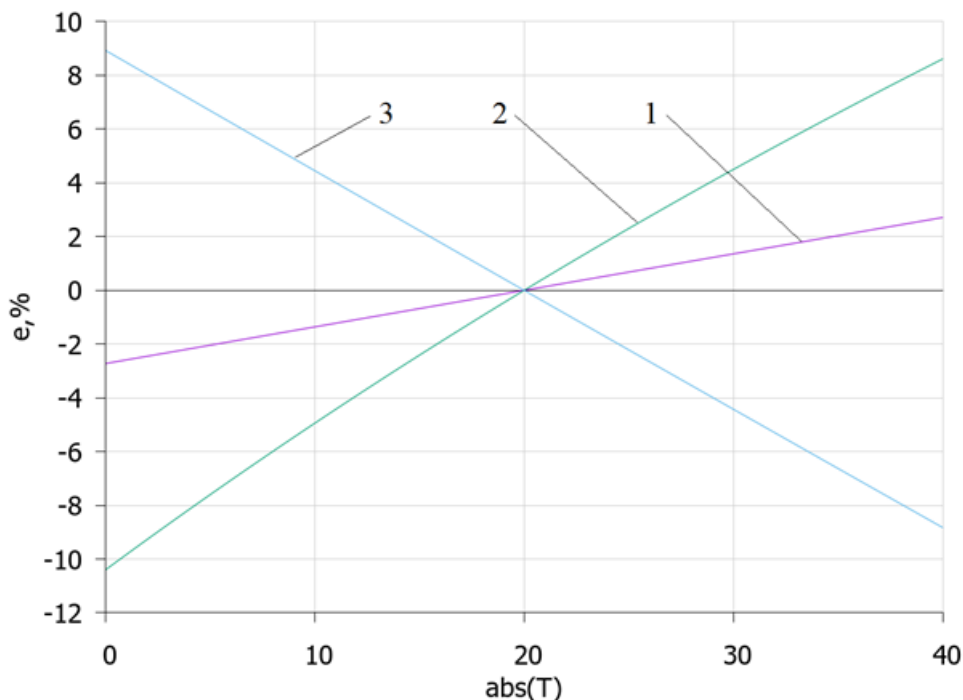


Рис. 2. Ошибка усреднения плотности льда, теплопроводности льда и параметра «Z» в зависимости от абсолютного значения температуры: 1 - плотность льда ($10 \cdot e, \%$); 2 - теплопроводность льда; 3 - параметр «Z».

Линия 1 на рисунке соответствует расчетам по формуле (5). Процентная ошибка усреднения плотности льда в рассматриваемом диапазоне изменения температур имеет минус первый порядок (изменяется от $-0,3\%$ до $+0,3\%$). Поэтому на рисунке приведена линия, соответствующая расчетному значению относительной ошибки, увеличенному в 10 раз. Линия 2 на рисунке представляет результаты расчетов по формуле (6) и характеризует влияние усреднения значений коэффициента теплопроводности льда в заданном температурном диапазоне на величину относительной ошибки. Процентная ошибка в этом случае уже более значительная, но не выходит за допустимый интервал и изменяется в пределах $-10,1 \leq e \leq +9,0 \%$. Линия 3 на рисунке характеризует процентную относительную ошибку, которую мы допускаем, не учитывая функциональную зависимость характеристик льда от температуры и заменяя их в формуле (3) средними значениями. Как видно из графика, усреднение параметров не приводит к ошибкам больше 10% (диапазон изменения $\pm 9,0\%$). Причем максимальные значения характерны для предельных значений интервала температур: $0,0^\circ\text{C}$ и $-40,0^\circ\text{C}$. В наиболее реальном диапазоне изменения температуры снежного покрова (минус пять - минус двадцать градусов) средняя ошибка, возникающая от усреднения масштабных параметров не превышает $3,0\%$). Таким образом, можно считать, что полученная зависимость, устанавливающая количественную связь между симплексами теплопроводности и плотности снега, достаточно надежна и может быть рекомендована для инженерных расчетов характеристик снежного покрова. В отличие от классической формулы Абеляса такое представление (в виде безразмерных параметров - симплексов) дает возможность косвенно учесть влияние температуры на изменение коэффициента теплопроводности при переходе от безразмерных параметров к размерным параметрам. Но, главным достоинством, такого представления функциональной зависимости является возможность оперативно оценивать изменение характеристик снежного покрова при зимней мелиорации грунтов. Например, степень изменения термического сопротивления при уплотнении снежного покрова. Введем новый параметр - коэффициент уплотнения снежного покрова «k», равный отношению высоты снежного покрова до (h_1) и после (h_2)

уплотнения, т.е. ($k = h_1 / h_2$). Отношение двух термических сопротивлений снежного покрова будет равно

$$R = (R_1/R_2) = (h_1 / h_2) * (\lambda_2 / \lambda_1) = k * (\rho_2 / \rho_1)^2 = k * k^2 = k^3 \dots \dots \dots (8)$$

Данное выражение означает, что снежная мелиорация трамбованием позволяет уменьшить термическое сопротивление снежного покрова на величину, равную коэффициенту уплотнения в третьей степени. Аналогичным образом может быть рассчитана степень изменения и других теплофизических характеристик снежного покрова при уплотнении, например, температуропроводности и тепловой устойчивости.

Заключение

На основании метода натуральных масштабов осуществлено представление зависимости коэффициента теплопроводности снега от плотности в виде безразмерных параметрических критериев (симплексов). Для получения безразмерных параметрических критериев (симплексов) в качестве масштабных единиц использовались коэффициент теплопроводности и плотность льда, которые в общем случае являются функцией температуры. В качестве базовой функциональной зависимости коэффициента теплопроводности снега от плотности использовалась классическая формула Абельса. В результате качественного анализа и количественных оценок получена обобщенная зависимость между симплексом теплопроводности и симплексом плотности снега. В рамках сделанных допущений, установлена новая закономерность, имеющая научное и практическое значение: «Симплекс теплопроводности снега равен квадрату симплекса его плотности». Используя зависимость коэффициента теплопроводности и плотности льда от температуры по известному значению симплексов легко определить влияние температуры на изменение коэффициента теплопроводности снега от плотности. Сделана оценка ошибок, которые возникают при использовании в расчетах усредненных данных масштабных единиц. Показано, что усреднение исходных величин не вызывает ошибок, значения которых больше допустимых значений, принятых в инженерной практике ($\pm 10\%$). Показано, что с помощью полученной зависимости легко получить количественные характеристики изменения параметров снежного покрова при зимней мелиорации трамбованием. Установлено, что степень изменения термического сопротивления снежного покрова при уплотнении пропорциональна коэффициенту уплотнения в кубе. Выполнены варианты расчеты, результаты которых представлены в виде графиков, позволяющих наглядно убедиться в достоверности проведенных исследований и сделанных выводов. Дальнейшие исследования в необходимо направить на получение функциональных связей между теплофизическими характеристиками снежного покрова и коэффициентом уплотнения, при полном и частичном уплотнении снежного покрова. Также представляет научный и практический интерес оценка влияния вида исходной функциональной зависимости коэффициента теплопроводности снега от плотности на параметрический критерий (симплекс) теплопроводности. Статья имеет как научное, так и прикладное значение и может быть полезна специалистам в области гляциологии (снеговедение) и зимней мелиорации, а также студентам и аспирантам, обучающимся по направлению «Инженерное мерзлотоведение».

Библиография

1. Yen, Y.-C. Review of the thermal properties of snow, ice and sea ice (Tech. Rep. No. 81-10). Hanover, NH: Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1981.
2. Calonne, N., Milliancourt, L., Burr, A., Philip, A., Martin, C. L., Flin, F., & Geindreau, C.

- Thermal conductivity of snow, firn, and porous ice from 3-D image-based computations. *Geophysical Research Letters*, 2019, 46, 13, 079-13, 089.
<https://doi.org/10.1029/2019GL085228>
3. Поздняков С.П., Гриневский С.О., Дедюлина Е.А., Кореко Е.С. Чувствительность результатов моделирования сезонного промерзания к выбору параметризации теплопроводности снежного покрова. *Лед и снег*, 2019, т. 59, № 1, с. 67-80. DOI: 10.15356/2076-6734-2019-1-67-80.
4. Osokin N. I., Sosnovskiy A. V., Chernov R. A. Influence of snow cover stratigraphy on its thermal resistance. *Ice and Snow*, 2013, 53(3), 63-70.
5. Осокин Н.И., Сосновский А.В., Чернов Р.А., Накалов П.Р. Термическое сопротивление снежного покрова и его изменчивость. *Криосфера Земли*, 2014, т. XVIII, № 4, с. 70-77.
6. Галкин А.Ф., Плотников Н.А. Расчет коэффициента теплопроводности снежного покрова // *Арктика и Антарктика*. 2023. № 3. С. 16-23. DOI: 10.7256/2453-8922.2023.3.43733 EDN: VMDOVA URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=43733
7. Галкин А.Ф., Жирков А.Ф., Панков В.Ю. Ошибки линеаризации зависимости коэффициента теплопроводности снега от плотности // *Арктика и Антарктика*. 2025. № 2. С. 141-149. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.2.74710 EDN: RJJDIG URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=74710
8. Sturm M., Holmgren J., Konig M., Morris K. The thermal conductivity of seasonal snow. *Journal of Glaciology*, 1997, 43(143), 26-41.
9. Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. Новосибирск: ГЕО, 2008. 230 с.
10. Шмакин А.Б., Турков Дж.В., Михайлов А.Ю. Модель снежного покрова с учетом слоистой структуры и ее сезонной эволюции. *Криосфера Земли*, 2009, т. XIII, № 4, с. 69-79.
11. Чернов Р.А. Экспериментальное определение эффективной теплопроводности глубинной изморози. *Лёд и снег*, 2013, 3(123), 71-77.
12. Фирц Ш., Армстронг Р.Л., Дюран И., Этхеви П., Грин И., МакКланг Д.М., Нишимура К., Сатьявали П.К., Сократов С.А. Международная классификация для сезонно-выпадающего снега (руководство к описанию снежной толщи и снежного покрова). Русское издание, МГИ, 2012, № 2, 80 с.
13. Krinner G., Derksen C., Richard E. et al. ESM-SnowMIP: assessing snow models and quantifying snow-related climate feedbacks. *Geoscientific Model Development*, 2018, 11, 5027-5049. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-5027-2018>.
14. Menard C., Essery R., Turkov D. et al. Scientific and human errors in a snow model intercomparison. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2021, 201(1), E61-E79. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0329.1>
15. Abels, G. Daily variation of temperature in snow and the relation between the thermal conductivity of snow and its density. *Meteorological Vestnik*, 1893, vol. 3.
16. Борисов В. А., Акинин Д. В., Гасилина М. А., Романова А.Р. Теплопроводность снежного покрова и физические процессы, происходящие в нём под влиянием температурного градиента. *Resources and Technology*, 2023, т. 20, № 4, с. 45-73. DOI: 10.15393/j2.art.2023.7243.
17. Гляциологический словарь / под ред. В.М. Котлякова. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 564 с.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом исследования является изучение параметрического критерия (симплекса) коэффициента теплопроводности снега.

Актуальность исследования не вызывает сомнения, поскольку изучение вопроса теплопроводности снега в криолитозоне является важной задачей, направленной на сохранение мерзлотного режима почв. Автору статьи рекомендуется шире рассмотреть актуальность проводимого исследования с точки зрения дальнейшего практического применения полученных результатов исследования.

Автор отмечает, что в настоящее время существует не один десяток формул для определения коэффициента теплопроводности снега. Однако во всех обзорных работах имеется большое расхождение между результатами расчетов коэффициента теплопроводности снега по конкретным формулам при идентичных исходных данных. Относительные ошибки в расчетах составляют десятки, а для снега низкой плотности и изморози сотни процентов. В связи с этим, целью настоящей работы являлось установление связи безразмерного значения коэффициента теплопроводности (симплекса теплопроводности) с безразмерным значением плотности (симплекс плотности) снега на основании формулы Г.П.Абельса.

Методология исследования основана методе математической формализации и методе натуральных масштабов, с помощью которого осуществлено представление зависимости коэффициента теплопроводности снега от плотности в виде безразмерных параметрических критериев (симплексов). Для получения симплекса коэффициента теплопроводности использовали общую формулу определения коэффициента теплопроводности от плотности снега в виде усеченного полинома.

Научная новизна автором в статье не отражена, однако она может заключаться в новом авторском методическом подходе установления связи коэффициента теплопроводности (симплекса теплопроводности) с безразмерным значением плотности (симплекс плотности) снега на основании формулы Г.П. Абельса.

Стиль статьи научный, структура и ее содержание соответствуют требованиям журнала «Арктика и Антарктика». В качестве пожелания автору, следует отметить, что объем статьи необходимо увеличить до 12 тысяч знаков. Статья написано грамотно, иллюстрирована графиками и формулами.

Автором установлено, что снежная мелиорация трамбованием позволяет уменьшить термическое сопротивление снежного покрова на величину, равную коэффициенту уплотнения в третьей степени. Аналогичным образом может быть рассчитана степень изменения и других теплофизических характеристик снежного покрова при уплотнении, например, температуропроводности и тепловой устойчивости. В рамках сделанных допущений, установлена новая закономерность, имеющая научное и практическое значение: «Симплекс теплопроводности снега равен квадрату симплекса его плотности». Используя зависимость коэффициента теплопроводности и плотности льда от температуры по известному значению симплексов легко определить влияние температуры на изменение коэффициента теплопроводности снега от плотности.

Библиография в рецензируемой статье представлена 12 источниками, в том числе 6 – на иностранном языке. Следуя требованиям ВАК РФ для рецензируемых журналов, автору необходимо увеличить библиографический список до 15-20 источников. Апелляция к оппонентам отражена в ссылках на используемые источники.

Выводы в статье обоснованы, отражают цели и задачи исследования. Установлено, что степень изменения термического сопротивления снежного покрова при уплотнении пропорциональна коэффициенту уплотнения в кубе. Дальнейшие исследования могут быть направлены на получение функциональных связей между теплофизическими характеристиками снежного покрова и коэффициентом уплотнения, при полном и

частичном уплотнении снежного покрова.

Статья может быть полезна специалистам в области гляциологии (снеговедение) и зимней мелиорации, а также студентам и аспирантам, обучающимся по направлению «Инженерное мерзлотоведение». Рецензируемая статья рекомендуется к изданию в журнале «Арктика и Антарктика» после доработки замечаний и пожеланий рецензента.