

УДК 536.21:625.87

DOI 10.51691/2541-8327_2021_4_7

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ

Панков В.Ю.

к.г.-м.н., доцент

*Северо-Восточный федеральный университет им.М.К.Аммосова,
Якутск, Россия*

Атаманова А.А.

студент

*Северо-Восточный федеральный университет им.М.К.Аммосова,
Якутск, Россия*

Аннотация. Теплопроводность дисперсных горных пород является одним из важнейших показателей физических свойств, определяющих интенсивность тепловых процессов в дорожных одеждах и дорожных основаниях. Точность определения коэффициента теплопроводности в талом и мерзлом состоянии во многом определяет и точность расчета термического сопротивления конструктивных слоев дорожной одежды, состоящих из бинарных смесей. Сделана комплексная оценка влияния коэффициентов теплопроводности исходных материалов на коэффициент теплопроводности бинарной смеси. Представлены 2D и 3D графики, позволяющие как в широком, так и характерном диапазоне изменения исходных величин оценить возможный диапазон изменения коэффициента теплопроводности бинарной смеси для строительных материалов дорожной одежды.

Ключевые слова: автомобильная дорога, многолетняя мерзлота, прогноз, коэффициент теплопроводности, бинарная смесь.

THERMAL CONDUCTIVITY OF BINARY MIXTURES

Pankov V. Yu.

PhD, Associate Professor,

North-Eastern Federal University,

Yakutsk, Russia

Atamanova A. A

Student,

North-Eastern Federal University,

Yakutsk, Russia

Abstract. The thermal conductivity of dispersed rocks is one of the most important indicators of physical properties that determine the intensity of thermal processes in road clothing and road foundations. The accuracy of determining the thermal conductivity coefficient in the thawed and frozen state largely determines the accuracy of calculating the thermal resistance of the structural layers of the road surface consisting of binary mixtures. A comprehensive assessment of the influence of the thermal conductivity coefficients of the starting materials on the thermal conductivity coefficient of the binary mixture is made. 2D and 3D graphs are presented that allow us to estimate the possible range of changes in the thermal conductivity coefficient of a binary mixture for road pavement construction materials in a wide and characteristic range of changes in the initial values.

Keywords: road, permafrost, forecast, thermal conductivity coefficient, binary mixture.

Введение. Защита автомобильных дорог от негативных криогенных процессов является актуальной задачей, которой уделяется большое внимание в научном и инженерном сообществах[1,2,3]. Во многих, практически значимых случаях, тепловой фактор определяет надежность и безопасность эксплуатации

автомобильных дорог в криолитозоне [3,4,5]. Точность прогноза теплового режима различных объектов, в том числе и автомобильных дорог, зависит от точности исходных параметров. В частности, точности определения теплофизических свойств материалов для дорожных одежд и грунтов дорожного основания [6,7,8,9]. Искусственные дисперсные породы (смеси на основе песка) широко используются при конструировании дорожных одежд [8,10]. Такие смеси, как правило, являются бинарными, то есть состоят из двух компонентов: связующего и наполнителя. В принципе, даже простой влажный песок может рассматриваться как бинарная смесь. Естественная влажность (льдистость) материала конструктивных слоев, а особенно ее сезонное изменение при эксплуатации дорог в криолитозоне, во многом является определяющим показателем надежности дорожной одежды [2,4]. Поэтому прогноз изменения термического сопротивления конструктивных слоев уже на стадии проектирования, позволит выбрать обоснованные технические решения, повышающие надежность эксплуатации автомобильных дорог в криолитозоне и продлить их безремонтный период.

Целью настоящей работы было установление количественных закономерностей изменения коэффициента теплопроводности для бинарных смесей различного состава, как теплоизоляционных, так и теплоаккумулирующих.

Метод. Коэффициент теплопроводности смеси $\lambda(m)$ может быть определен по формуле Швердфейгера [11] или формуле Оделевского [12]. Как показали сравнительные расчеты, полненные по этим формулам, разность в определении коэффициента теплопроводности бинарной смеси не превышает десяти процентов, что является допустимой погрешностью в инженерной практике [13]. То есть, обе формулы дают приблизительно одинаковые результаты в широком диапазоне исходных данных и в практических расчетах можно пользоваться любой из них. В данном случае воспользуемся формулой Оделевского, которую запишем в виде

$$\lambda(m) = \lambda_1 (1 - m/g) . \quad (1)$$

$$g = 1/((1 - k) - (1 - m)/3) \quad (2)$$

Здесь $k = \lambda_2/\lambda_1$. λ_1, λ_2 - коэффициенты теплопроводности связующего и наполнителя, Вт/мК;

Представим формулу (1) в удобном для интерпретации расчетов виде: $\lambda(m) = \lambda_1 \cdot b$. Где $b = (1 - m/g)$. Параметр «b» является безразмерным, как и параметр «k», что значительно облегчит анализ полученных результатов и расширит диапазон возможных исходных данных. Зная значение параметра «b» легко определить коэффициент бинарной смеси заданной концентрацией наполнителя простым умножением на коэффициент теплопроводности связующего. При этом основной задачей было установление количественной связи между безразмерными параметрами «b», «k» и «m».

Результаты и обсуждение. По полученным формулам были проведены варианты расчеты, которые представлены в виде графиков на рисунках. На рис.1 и рис.2 приведены графики, характеризующие изменение значений безразмерного параметра «b» от параметра «k» при различной концентрации наполнителя в бинарной смеси (диапазон $k \leq 1$) (рис.1) и (диапазон $k \geq 1$) (рис.2).

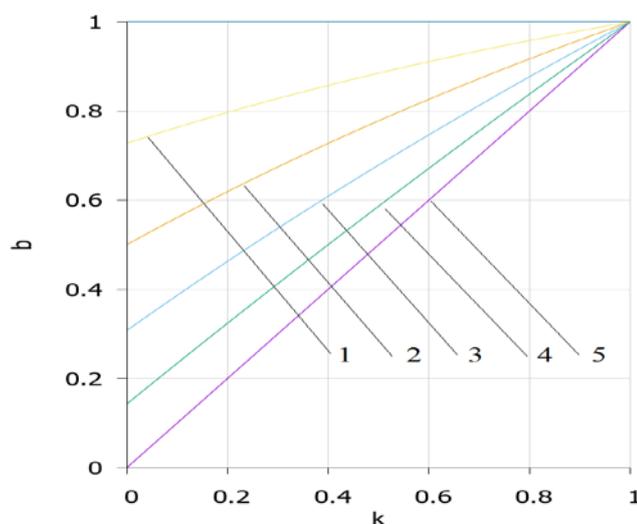


Рис.1.* Изменение безразмерного параметра «b» от параметра «k» при различной концентрации наполнителя в бинарной смеси (диапазон $k \leq 1$):

1 – 20%; 2 – 40%; 3 – 60%; 4 – 80%; 5 – 100%.

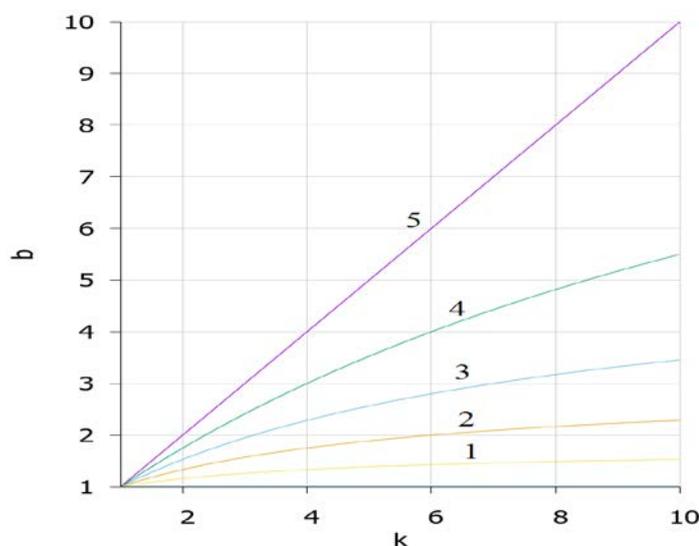


Рис.2.* Изменение безразмерного параметра «b» от параметра «k» при различной концентрации наполнителя в бинарной смеси (диапазон $k \geq 1$):

1 – 20%; 2 – 40%; 3 – 60%; 4 – 80%; 5 – 100%.

*Примечание. На рисунке авторские данные представлены в виде графиков, сформированных на основе лицензионного пакета программ «Статистика».

Диапазон изменения параметра «k» определяет качественную характеристику бинарных смесей. Если $k \leq 1$, то смесь является теплоизоляционной: коэффициент теплопроводности связующего больше коэффициента теплопроводности наполнителя. Если $k \geq 1$, то смесь является теплоаккумулирующей: коэффициент теплопроводности связующего меньше коэффициента теплопроводности наполнителя. Сравнение кривых на графиках рис.1 и рис.2 показывает, что как для теплоизоляционных так и теплоаккумулирующих бинарных смесей зависимость между рассматриваемыми безразмерными параметрами является прямой: с ростом параметра «k» растет и значение безразмерного параметра «b». Хотя темп роста для теплоизоляционных смесей выше. На рис.3 представлен 3D график изменения параметра «b» от отношения коэффициентов теплопроводности

наполнителя и связующего (параметр « k ») и концентрации наполнителя в бинарной смеси.

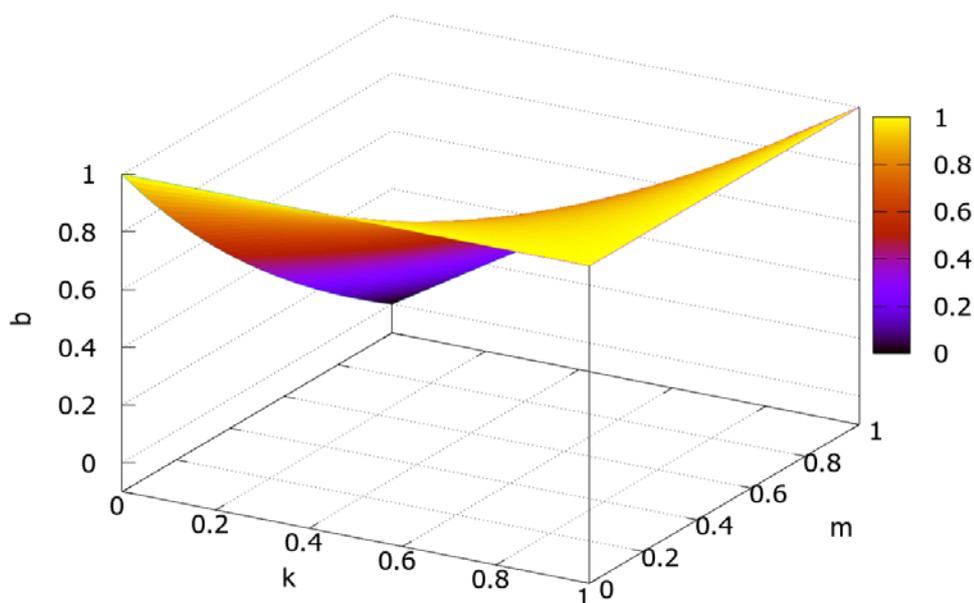


Рис.3. Изменение безразмерного параметра « b » от параметра « k » при различной концентрации « m » наполнителя в бинарной смеси (диапазон $k \leq 1$).

Наличие 3D графика позволяет оперативно оценивать ожидаемые изменения коэффициента теплопроводности бинарной смеси состоящей из различных материалов, как теплоизоляционных, так и теплоаккумулирующих.

Заключение. Предложена простая методика определения коэффициента теплопроводности бинарных смесей строительных материалов, используемых при конструировании дорожных одежд. Результаты расчетов представлены в виде графиков зависимостей безразмерных величин. Такой подход позволяет охватить большую область изменения исходных расчетных характеристик материалов: коэффициентов теплопроводностей связующего и наполнителя, а также концентрацию последнего в бинарной смеси. Построен 3D график, который позволяет оперативно оценивать ожидаемые изменения коэффициента теплопроводности бинарной смеси, состоящей из различных материалов. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

исследования влияния влажности бинарной смеси на значения коэффициенты теплопроводности в талом и мерзлом состоянии.

Библиографический список:

1. Панков В.Ю., Бурнашева С.Г. Анализ способов защиты автомобильных дорог от негативных криогенных процессов//В сб. «Лучшая студенческая статья 2020». – МЦНС «Наука и просвещение». – 2020. – С.52-55.
2. Шац М.М. Современное состояние городской инфраструктуры г. Якутска и пути повышения ее надежности// Геориск. – 2011. – №2. – С. 40–46.
3. Геокриология СССР. Средняя Сибирь / Под. ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра. – 1989. – 414 с.
4. Железняк И. И., Сакисян Р. М. Методы управления сезонным промерзанием грунтов в Забайкалье. – Новосибирск: Наука. – 1987. – 128 с.
5. Галкин А.Ф., Курта И.В. Влияние температуры на глубину оттаивания мерзлых пород// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 2. – С. 82–91. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-82-91.
6. Галкин А.Ф. Расчет параметров теплозащитных покрытий подземных сооружений криолитозоны// «Известия ВУЗов. Горный журнал».– 2008. – № 6. – С.81-89.
7. Galkin A.F. Efficiency evaluation of thermal insulation use in criolithic zone mine openings// Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No 10. – P. 234-237
8. Панков В.Ю., Потапов А.В. Тепловой поток на поверхности дорожного полотна//Тенденции развития науки и образования. – 2020. – №7. – С.91-93. DOI: 10.18411/lj-07-2020-79
9. Панков В.Ю., Бурнашева С.Г. Влияние скорости ветра на температуру поверхности дорожного полотна // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – №8. – С.116-121. DOI: 10.18411/lj-08-2020-63
10. Галкин А.Ф., Курта И.В., Панков В.Ю., Потапов А.В. Оценка эффективности использования слоистой конструкции тепловой защиты при

строительстве дорог в криолитозоне// Энергобезопасность и энергосбережение.
– 2020. – № 4. – С.24-28. DOI: 10.18635/2071-2219-2020-4-24-28

11. Schwerdtfeger P. The thermal properties of sea ice, Journal of Glaciology, vol. 4, issue 36, pp. 789 – 807, 1963.

12. Оделевский В.И. Расчет обобщенной проводимости гетерогенных систем// ЖТФ. – 1951. – Т.21, вып.6. – С.667-685.

13. Galkin A.F., Kurta I.V., Pankov V.Yu. Calculation of thermal conductivity coefficient of thermal insulation mixtures. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. **918** (2020) 012009

Оригинальность 87%