



Research Article

Received: September 19, 2022

Accepted: October 01, 2022

Published: October 07, 2022

ISSN 2304-6295

Thermal conductivity of aerogel thermal insulation under stationary thermal conditions

Kotlyarskaya, Irina Leonidovna^{1*} Vatin, Nikolai Ivanovich¹ Nemova, Darya Viktorovna¹

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation; iravassilek@mail.ru (K.I.L.); vatin@mail.ru (V.N.I.); darya0690@mail.ru (N.D.V.)

Correspondence:* email iravassilek@mail.ru; contact phone [+79095863919](tel:+79095863919)

Keywords:

Aerogel; Thermal conductivity; Thermal insulation; Nanomaterial; Energy efficiency

Abstract:

The object of research is the thermal conductivity of aerogel thermal insulation under stationary thermal conditions. **Method.** The study uses an experimental research method. **Results.** The actual thermal conductivity coefficient of the innovative aerogel nanomaterial in the form of a roll insulation was determined. It is equal to 0.0227 W/(m*K). This value is within the margin of error. Among the thermal insulation materials in the construction market, the material Alison Aerogel Blanket DRT06-Z stands out with the lowest coefficient of thermal conductivity.

1 Introduction / Введение

Аэрогель - совокупность глобул, размером в несколько нанометров, соединенных между собой разветвленной сетью мезопор, которые заполнены воздухом. Размер пор превышает размер самих кластеров в десять и более раз. Таким образом, материал, являясь твердым веществом, на 99% состоит из воздуха [1]–[6]. В исходном виде аэрогель выглядит как представлено на Рис. 1 (Компания ТИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация).



a



b

Рис. 1 – Аэрогель в чистом виде, гранулят (a) множество глобул (b) одна глобула
Fig. 1 – Aerogel, granulate (a) many globules (b) one globule



В строительной отрасли аэрогель может использоваться в виде утеплителя. Однако, удобное его использование для этой цели возможно лишь при нанесении на подоснову, т.е., в рулонном виде [3], [6]–[13]. Так как материал является новым и малоизученным, то он требует всестороннего рассмотрения, в том числе и его теплофизические характеристики. Для дальнейшей экспериментальной части был приобретен материал Alison Aerogel Blanket серии DRT06 (Компания ТИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация). Заявленная теплопроводность материала при 25 $\lambda_{25}=0,0220$ Вт/(м*К) [14].

Объект исследования – фактическая теплопроводность материала на основе аэрогеля (Alison Aerogel Blanket серия DRT06-Z).

Целью работы является определение теплопроводности материала на основе аэрогеля и сравнение полученного значения со значением, представленным производителем, а также со значениями теплопроводности других теплоизоляционных материалов.

2 Materials and Methods / Материалы и методы

Испытанию подлежали пять образцов теплоизоляции на основе аэрогеля. Размеры каждого образца составляют 250 мм x 250 мм (Рис.2). Заявленная производителем толщина материала – 10 мм.



Рис. 2 – Испытываемые образцы
Fig. 2 – Test samples

Фактическая толщина образцов может отличаться от заявленной производителем из-за нескольких причин: материал мог слежаться и стать тоньше, либо, наоборот, производитель допускает определенную долю осторожности и выпускает материал чуть толще. Таким образом, перед испытанием каждого образца следует измерить его действительную толщину. На Рис. 3 представлена схема образца с обозначением точек, в которых измерялась толщина образца при помощи штангельциркуля (Рис. 4). Полученные данные по образцам описаны в Таблице 1. За толщину образца принималось среднее значение толщин, полученных в точках a_1 – a_{12} .

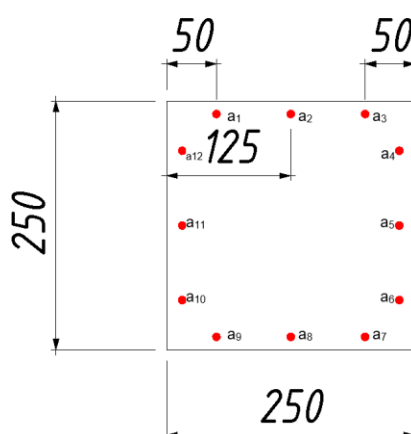


Рис. 3 – Схема образца с обозначением точек для измерения толщины образца
Fig. 3 – Scheme of the sample with the designation of points for measuring the thickness of the sample



Рис. 4 – Штангельциркуль
Fig. 4 – Sliding calipers

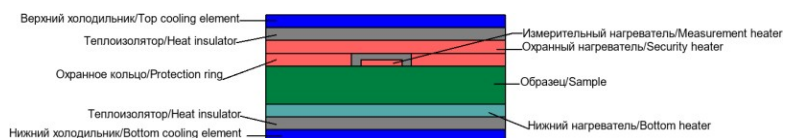
Таблица 1. Данные для определения толщины образца
Table 1. Data for determining the thickness of the sample

№ обр.	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	a ₉	a ₁₀	a ₁₁	a ₁₂	Средн. знач.
1	11,3	11,1	10,8	11,2	11,2	11,0	10,8	10,9	11,1	10,6	11,2	10,9	11
2	11,4	11,5	11,8	11,6	11,8	11,8	11,6	11,3	11,8	11,8	11,7	11,1	11,6
3	10,0	10,1	11,0	10,0	10,1	10,2	10,0	10,2	10,1	10,3	10,0	10,7	10,2
4	11,5	11,5	11,4	11,4	11,7	11,5	11,6	11,3	11,6	11,7	11,7	11,7	11,6
5	11,6	11,6	11,4	11,5	11,7	11,5	11,7	11,5	11,6	11,7	11,7	11,7	11,7

Теплопроводность образца определяется на приборе ПИТ 2.1 (Рис. 5). Основные характеристики прибора представлены в Таблице 2 [15].



a



b

Рис. 5 – Прибор для измерения теплопроводности ПИТ-2.1 (а) прибор (б) схема работы прибора

Fig. 5 – Instrument for measuring thermal conductivity PIT-2.1 (a) the device (b) the scheme of the device

Таблица 2. Характеристика прибора ПИТ-2.1
Table 2. Characteristics of the device PIT-2.1

Характеристика	Значение
Диапазон измерения коэффициента теплопроводности, Вт/(м*К)	0,02-1,2
Относительная погрешность измерения коэффициента теплопроводности, %	3
Средняя температура образцов, °С	+10-+40

3 Results and Discussion / Результаты и обсуждение

Результаты испытаний пяти образцов представлены в Таблице 3.

Таблица 3. Результаты испытаний
Table 3. Results of experiment

№ обр.	Результат на панели прибора	λ
1		0,0235 Вт/(м*К)
2		0,0232 Вт/(м*К)
3		0,0205 Вт/(м*К)
4		0,0234 Вт/(м*К)
5		0,0233 Вт/(м*К)
Средн.зн.		0,0227 Вт/(м*К)

Среднее значение коэффициента теплопроводности составляет 0,0227 Вт/(м*К). От значения, представленного производителем ($\lambda_{25}=0,0220$ Вт/(м*К)) теплопроводность отличается на 3% (это заявленная погрешность прибора). Таким образом, проведенное испытание подтверждает заявленное производителем значение теплопроводности аэрогеля Alison Aerogel Blanket серия DRT06-Z.

Ниже представлена сравнительная Таблица 4 с современными строительными теплоизоляционными материалами для анализа перспективы использования теплоизоляции на основе аэрогеля в строительной области [13], [16]–[19].



Таблица 4. Теплоизоляционные материалы
Table 4. Thermal insulation materials

№	Материал	Область применения	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)	Источник литературы
1	Минеральный утеплитель	Наружное и внутреннее утепление, утепление трубопроводов	0,038-0,045	[20]–[22]
2	Экструдированный пенополистирол	Наружное утепление, утепление подземных частей	0,038-0,041	[22]–[24]
3	Стекловата	Наружное и внутреннее утепление, утепление трубопроводов	0,037-0,046	[22], [25], [26]
4	Эковата	Внутреннее утепление	0,035	[27]
5	Каменная вата	Наружное и внутреннее утепление	0,035-0,039	[25], [26]
6	Вспененный пенополистирол	Внутреннее утепление, утепление в слоистой кладке	0,03-0,04	[22], [28]–[30]
7	Аэрогелевая теплоизоляция Alison Aerogel Blanket	Для промышленной теплоизоляции элементов с экстремально высокой или низкой температурой; применение в строительной области в перспективе	0,0227 (эксперимент) 0.022 (данные производителя)	[14]
8	Полиизоцианурат (PIR или ПИР)	Наружное утепление	0,023	[31], [32]

Среди наиболее распространенных теплоизоляционных материалов аэрогелевая теплоизоляция выделяется наиболее низким коэффициентом теплопроводности. Аэрогелевый теплоизоляционный слой толщиной 10 мм эквивалентен 17,3 мм минеральной ваты или 16 мм эковаты.

4 Conclusions / Выводы

1. Получено фактическое значение коэффициента теплопроводности изучаемого материала. С учетом заявленной погрешности прибора ПИТ-2.1 полученное фактическое значение коэффициента теплопроводности аэрогеля Alison Aerogel Blanket серия DRT06-Z подтверждает значение от производителя ($\lambda_{\text{производителя}}=0,0220$ Вт/(м*К); $\lambda_{\text{эксперимент}}=0,0227$ Вт/(м*К)).

2. Теплоизоляционный материал на основе аэрогеля по коэффициенту теплопроводности не уступает наиболее распространенным строительным теплоизоляционным материалам.

5 Acknowledgements

Авторы выражают благодарность Лаборатории самовосстанавливающихся конструкционных материалов Центра национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, 195251, Российская Федерация) за полезные рекомендации и советы, а также компании ТИМ (Санкт-Петербург, Российская Федерация) за предоставленный аэрогель в чистом виде для дальнейшего изучения.

6 Fundings

Статья подготовлена при поддержке Российского научного фонда, соглашение 21-79-10283 от 29.07.2021 <https://rscf.ru/project/21-79-10283/> (дата обращения 01.07.2022).



References

1. Vasileva, I.L., Nemova, D.V. Prospects of using aerogels in construction. *AlfaBuild*. 2018. 6(4). Pp. 135–145. DOI:10.34910/ALF.6.12. URL: <https://alfabuild.spbstu.ru/article/2018.6.12> (date of application: 13.10.2022).
2. Fedotov, V.V., Semenov, K.V., Dobrogorskaya, L.V., Videnkov, N.V., Makeeva, A.V. Aerogel-based innovative materials in civil engineering. *AlfaBuild*. 2017. 1(1). Pp. 89–98. DOI:10.34910/ALF.1.7. URL: <https://alfabuild.spbstu.ru/article/2017.1.7> (date of application: 13.10.2022).
3. Reim, M., Reichenauer, G., Körner, W., Manara, J., Arduini-Schuster, M., Korder, S., Beck, A., Fricke, J. Silica-aerogel granulate - Structural, optical and thermal properties. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2004. 350. Pp. 358–363. DOI:10.1016/j.jnoncrysol.2004.06.048.
4. Soleimani Dorcheh, A., Abbasi, M.H. Silica aerogel; synthesis, properties and characterization. *Journal of Materials Processing Technology*. 2008. 199(1). Pp. 10–26. DOI:10.1016/J.JMATPROTEC.2007.10.060.
5. Wei, G., Liu, Y., Zhang, X., Yu, F., Du, X. Thermal conductivities study on silica aerogel and its composite insulation materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2011. 54(11–12). Pp. 2355–2366. DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.02.026.
6. Lamy-Mendes, A., Pontinha, A.D.R., Alves, P., Santos, P., Durães, L. Progress in silica aerogel-containing materials for buildings' thermal insulation. *Construction and Building Materials*. 2021. 286. Pp. 122815. DOI:10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.122815.
7. He, F., Wang, Y., Zheng, W., Wu, J.Y., Huang, Y.H. Effective thermal conductivity model of aerogel thermal insulation composite. *International Journal of Thermal Sciences*. 2022. 179. Pp. 107654. DOI:10.1016/J.IJTHEMALSCI.2022.107654.
8. Laskowski, J., Milow, B., Ratke, L. Aerogel-aerogel composites for normal temperature range thermal insulations. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2016. 441. Pp. 42–48. DOI:10.1016/J.JNONCRY SOL.2016.03.020.
9. Liu, Z. hui, Wang, F., Deng, Z. ping. Thermal insulation material based on SiO₂ aerogel. *Construction and Building Materials*. 2016. 122. Pp. 548–555. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2016.06.096.
10. Yan, Q., Feng, Z., Luo, J., Xia, W. Preparation and characterization of building insulation material based on SiO₂ aerogel and its composite with expanded perlite. *Energy and Buildings*. 2022. 255. Pp. 111661. DOI:10.1016/J.ENBUILD.2021.111661.
11. Elshazli, M.T., Mudaqiq, M., Xing, T., Ibrahim, A., Johnson, B., Yuan, J. Experimental study of using Aerogel insulation for residential buildings. <https://doi.org/10.1080/17512549.2021.2001369>. 2021. 16(5). Pp. 569–588. DOI:10.1080/17512549.2021.2001369. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17512549.2021.2001369> (date of application: 13.10.2022).
12. Mishra, R., Behera, B.K., Muller, M., Petru, M. Finite element modeling based thermodynamic simulation of aerogel embedded nonwoven thermal insulation material. *International Journal of Thermal Sciences*. 2021. 164. Pp. 106898. DOI:10.1016/J.IJTHEMALSCI.2021.106898.
13. Baetens, R., Jelle, B.P., Gustavsen, A. Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings*. 2011. 43(4). Pp. 761–769. DOI:10.1016/j.enbuild.2010.12.012.
14. Thermal insulation Alison Blanket DRT06-Z — TIM . URL: <https://tim-firm.ru/catalog/alison/alisonaerogelblanketdrt06/> (date of application: 12.10.2022).
15. Device for measuring the coefficient of thermal conductivity PIT-2.1. URL: https://www.iztech.ru/izmeriteli_teploprovodnosti/izmeritel_teploprovodnosti_PIT-2_1/ (date of application: 13.10.2022).
16. Hung Anh, L.D., Pásztor, Z. An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials. *Journal of Building Engineering*. 2021. 44. Pp. 102604. DOI:10.1016/J.JOBE.2021.102604.
17. Abu-Jdayil, B., Mourad, A.H., Hittini, W., Hassan, M., Hameedi, S. Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: An overview. *Construction and Building Materials*. 2019. 214. Pp. 709–735. DOI:10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.04.102.
18. Villasmil, W., Fischer, L.J., Worlitschek, J. A review and evaluation of thermal insulation materials and methods for thermal energy storage systems. *Renewable and Sustainable Energy*



- Reviews.2019. 103. Pp. 71–84. DOI:10.1016/J.RSER.2018.12.040.
19. Berardi, U., Sprengard, C. An overview of and introduction to current researches on super insulating materials for high-performance buildings. *Energy and Buildings*. 2020. 214. DOI:10.1016/J.ENBUILD.2020.109890.
 20. Zubarev, K., Gagarin, V. Mathematical Modeling of Heat and Moisture Regimes of Building for the Facade Thermal Insulation Composite System with Mineral Wool Insulation. *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2022. 247. Pp. 625–634. DOI:10.1007/978-981-16-3844-2_54/COVER. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-3844-2_54 (date of application: 8.10.2022).
 21. Vatin, N., Sultanov, S., Krupina, A. Comparison of Thermal Insulation Characteristics of PIR, Mineral Wool, Carbon Fiber, and Aerogel. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. 983. Pp. 877–883. DOI:10.1007/978-3-030-19868-8_86/COVER. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-19868-8_86 (date of application: 8.10.2022).
 22. Gorelik, P.I., Zolotova, J.S. Modern thermal insulation materials and some features of their application. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. 18(3). Pp. 93–103. DOI:10.18720/CUBS.18.8. URL: <https://unistroy.spbstu.ru/article/2014.18.8> (date of application: 8.10.2022).
 23. Lv, D., Wang, J. Construction methods of the extruded polystyrene foam board in the exterior wall external insulation. *Proceedings - 3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, ICIII 2010*. 2010. 3. Pp. 648–651. DOI:10.1109/ICIII.2010.475.
 24. Li, X., Peng, C., Liu, L. Experimental study of the thermal performance of a building wall with vacuum insulation panels and extruded polystyrene foams. *Applied Thermal Engineering*. 2020. 180. Pp. 115801. DOI:10.1016/J.APPLTHERMALENG.2020.115801.
 25. Chen, Z., Liu, T. Development and Application Status of Glass Wool, Rock Wool, and Ceramic Wool. *Green Energy and Technology*. 2022. Pp. 129–161. DOI:10.1007/978-3-030-98693-3_5/COVER. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-98693-3_5 (date of application: 9.10.2022).
 26. Laushkina, E., Radaeva, V. Thickness of insulation layer in the rainscreen system depending on the region. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2018. 65(2). Pp. 7–19. DOI:10.18720/CUBS.65.1. URL: <https://unistroy.spbstu.ru/article/2018.65.1> (date of application: 9.10.2022).
 27. Kramarenko A.V., Kartashev V.K., Shamota M.A. Ecowool as a promising cellulosic material for external insulation of building structures. *Prospects of science*. 2018. Pp. 84–86. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37283838> (date of application: 9.10.2022).
 28. Caliskan, U., Apalak, M.K. Bending impact behaviour of sandwich beams with expanded polystyrene foam core: Analysis. *Journal of Sandwich Structures and Materials*. 2019. 21(1). Pp. 230–259. DOI:10.1177/1099636216689545/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_1099636216689545-FIG2.JPEG. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1099636216689545> (date of application: 9.10.2022).
 29. Moghaddam Fard, P., Alkhansari, M.G. Innovative fire and water insulation foam using recycled plastic bags and expanded polystyrene (EPS). *Construction and Building Materials*. 2021. 305. Pp. 124785. DOI:10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.124785.
 30. Dissanayake, D.M.K.W., Jayasinghe, C., Jayasinghe, M.T.R. A comparative embodied energy analysis of a house with recycled expanded polystyrene (EPS) based foam concrete wall panels. *Energy and Buildings*. 2017. 135. Pp. 85–94. DOI:10.1016/J.ENBUILD.2016.11.044.
 31. Makaveckas, T., Bliudz lus, R. The influence of polyisocyanurate (PIR) facing on the heat transfer through the corners of insulated building partitions. *E3S Web of Conferences*. 2020. 172. Pp. 08008. DOI:10.1051/E3SCONF/202017208008. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/32/e3sconf_nsb2020_08008/e3sconf_nsb2020_08008.html (date of application: 12.10.2022).
 32. Makaveckas, T., Bliūdžius, R., Burlingis, A. The Influence of Different Facings of Polyisocyanurate Boards on Heat Transfer through the Wall Corners of Insulated Buildings. *Energies* 2020,



Vol. 13, Page 1991. 2020. 13(8). Pp. 1991. DOI:10.3390/EN13081991. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/8/1991/htm> (date of application: 12.10.2022).