

20. Kupchikova N. V. Numerical researches of the work of the pile with end spherical broadening as part of the pile group / N. V. Kupchikova // Building and Reconstruction. – 2019. – № 6 (86). – P. 3–9. – DOI 10.33979/2073-7416-2019-86-6-3-9. – EDN YRHETP.

© Ю. В. Лазуткин, А. А. Еремеев

Ссылка для цитирования:

Лазуткин Ю. В., Еремеев А. А. Результаты численного моделирования НДС оценки уровней вибраций в грунтовом массиве от трех источников // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 1 (51). С. 65–73.

УДК 697.242
DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-73-78

**ИЗМЕНЕНИЕ НИЗКОПЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ В КОНВЕКТОРАХ
ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА
С ПРИМЕСЬЮ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА**

Н. Р. Руппа

Руппа Николай Романович, преподаватель кафедры механизации, автоматизации и роботизации строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Российская Федерация; e-mail: nik.ruppa@mail.ru

В процессе эксплуатации инженерных систем существует множество мест утилизации теплоты, которые требуют проработки энергоэффективности и всестороннего исследования. Цель исследования – выявить аналитическим методом изменение температуры плавления композитного строительного материала с примесью дисульфида молибдена. Для этого используются расчетные данные теплоотдачи материала, полученные авторами для электронных компонентов. В результате выдвинута теория способа применения изучаемого материала в сфере строительства и его энергоэффективности, а также рассмотрены возможные изменения в свойствах композитов. Изучена разница использования классических элементов теплоносителей с применением дисульфида молибдена по сравнению с элементами теплоносителей без его применения, а также выявлены предположительные способы дальнейшего применения этого материала в строительстве.

Ключевые слова: дисульфид молибдена, тепловые потери, применение в строительстве.

**CHANGING LOW-POTENTIAL HEAT IN CONVECTORS BY USING A COMPOSITE MATERIAL
WITH MOLYBDENUM DISULFIDE ADDITION**

N. R. Ruppa

Ruppa Nikolay Romanovich, Lecturer of Mechanization, Automation and Robotics of Construction, Department, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russian Federation; e-mail: nik.ruppa@mail.ru

During the operation of engineering systems, there are many places where heat is utilized that require energy efficiency development and a comprehensive study. The purpose research is to identify the analytical method to change the melting point of composite building material with an admixture of molybdenum disulfide. For this purpose, they are used calculated data on the heat transfer of the material obtained by the authors for electronic components are used. A theory has been put forward about the method of using the studied material in the field of construction and its energy efficiency, as well as possible changes in the properties of composites have been considered. The difference in the use of classical coolant elements with the use of molybdenum disulfide compared with without its use has been studied, as well as possible ways of further using this material in construction.

Keywords: molybdenum disulfide, heat loss, application in construction.

Введение

В настоящее время исследование теплофизических свойств рабочих тел теплотехнических устройств направлено на применение современных композитных материалов, отвечающих повышению надежности и эффективности. Проведенный анализ научных источников [1–8] показывает, что одним из актуальных направлений исследований является повышение эффективности утилизации низкопотенциальной теплоты в инженерных системах в сфере теплогазоснабжения и вентиляции. Требуется внедрение современных строительных материалов или примесей, чтобы повысить тепловые и прочностные

характеристики различных изделий, подверженных термомеханическим нагрузкам. Одним из таких материалов является дисульфид молибдена – неорганическое бинарное химическое соединение четырехвалентного молибдена с двухвалентной серой. Химическая формула – MoS₂. Внешне выглядит как порошок с высокой дисперсностью от серо-голубой до черной расцветки. Его основой выступает минерал молибденит. Дисульфид молибдена – твердое смазочное вещество, имеющее слоистую структуру. Он находит применение главным образом в узлах трения – скольжения, подверженных высоким удельным нагрузкам.

Дисульфид молибдена используется в автомобилестроении, авиации, космической промышленности, электрооборудовании и радиотехнической аппаратуре, текстильной и химической индустрии, производстве лакокрасочных и смазочных товаров, изготовлении лазеров, генераторов, зеркальных поверхностей.

В строительстве применяют различные двигатели и механические изделия, подверженные высокому трению, теплоносущие элементы, распространяющие энергию неподконтрольно, а также случаи, требующие повышения как термических, так и износостойких параметров различных компонентов [9–12]. В работе с системами теплоснабжения и водоотведения было установлено, что большая часть теплоты утилизируется в системы канализации, где в дальнейшем не имеет большого практического использования.

Предполагается, что внедрение дисульфида молибдена в элементы теплопереноса позволит исключить хаотичное распространение теплоты на различных элементах, передающих теплоту в пространство, и сделать распространение более сконцентрированным или получить свойство, напоминающее теплоизолятор. Вместе с тем до настоящего времени в строительстве отсутствуют области применения дисульфида молибдена как элемента контроля распространения и утилизации теплоты.

Материалы и методы

Цель исследования – выявить аналитическим методом изменение температуры плавления композитного строительного материала с примесью дисульфида молибдена. Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить существующие области применения исследуемого материала;
- познакомиться с приборами и технологиями создания и применения материала;
- узнать способы нанесения состава на готовые изделия;
- выполнить расчет плавкости композита в зависимости от плотности искомой примеси;
- проанализировать, какие свойства можно получить посредством использования проектируемого состава;
- предложить места и способы внедрения в строительстве.

Необходимо выявить температуру и теплоту плавления полученных композитных материалов, применив метод дифференциальной сканирующей калориметрии. Толщина ламелей композитного материала рассчитывается с использованием уравнения Томсона – Гиббса [4]:

$$T_m = T_m^0 \left(1 - \frac{2\sigma_e}{l\Delta H^0\rho} \right), \quad (1)$$

где T_m – температура плавления композита; $T_m^0 = 418,7\text{K}$ – равновесная температура плавления композита; $\sigma_e = 90 \times 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$ – поверхностная свободная энергия; $\Delta H^0 = 293 \text{ Дж/г}$ – энтальпия плавления кристаллической области; $\rho = 0,990 \text{ г/см}^3$ – плотность кристаллитов; l – толщина кристаллических ламелей (в нм).

Для сканирования калориметрии будет использоваться прибор “DSC Netzsch 204 F1”. Данный прибор работает по термоаналитическому методу, при котором разница в количестве теплоты, необходимой для повышения температуры образца и эталона, измеряется как функция температуры [13]. В данном методе образец и эталон находятся в выверенной температуре на протяжении всего измерительного процесса. При анализе используется температурная программа, при которой температура образца увеличивается линейно в течение времени. Контрольный образец должен обладать точно измеренной теплоемкостью в пределах температур, которые будут сканироваться.

Результаты

Проведенный анализ по изучению внедрения дисульфида молибдена в композиционные материалы показал:

- возможность внедрения изучаемого материала, повышающего термические свойства композитов и адаптацию скорости производства;
- увеличение продолжительности эксплуатационных свойств.

На основании формулы (1) прогнозируется изменение температуры плавкости композита. Исходные данные и результаты расчетов температуры плавления композита приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Согласно расчетам, можно сделать вывод, что добавление дисульфида молибдена как примеси (расчеты 4–6) позволяет снизить общую температуру плавления композита. Данное изменение показывает, насколько применение небольшой части дисульфида молибдена позволяет снизить температуру плавления композитных материалов. Полученный результат связан с особенностью исследуемого материала, позволяющего пропускать теплоту концентрированно и направлено [14–16]. Исходя из первичных расчетов, предполагается, что внедрение дисульфида молибдена как составляющей примеси в сферу строительства способствовало значительному ускорению процессов изготовления различных изделий.

Проведя расчеты с добавлением пропорционального количества примеси, были получены результаты (табл. 2) по изменению теплотехнических свойств композитов при увеличении процентного содержания дисульфида молибдена как примеси. Толщина кристаллических ламелей принимается равной 30 нм.

Таблица 1

Прогнозные значения увеличения плавкости композита при добавлении дисульфида молибдена (построено автором на основе проведенных измерений)

№ расчета	$\rho = 0,990 \text{ г/см}^3$ - плотность кристаллитов	l - толщина кристаллических ламелей (в нм)	T_m - температура плавления композита
1	0,99	15	401,38
2	0,99	26	408,71
3	0,99	32	410,58
4	0,86	15	398,76
5	0,86	26	407,20
6	0,86	32	409,35

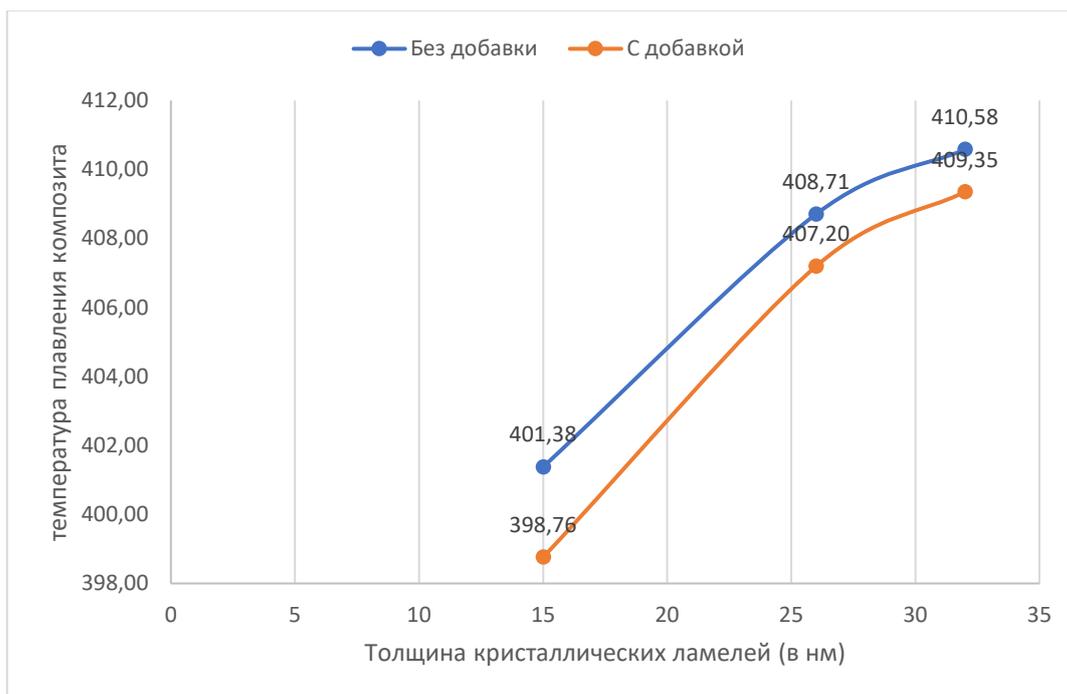


Рис. 1. График зависимости изменения температуры плавления композита при добавлении дисульфида молибдена (построено автором на основе проведенных измерений)

Таблица 2

Температура плавления композита при различных добавках дисульфида молибдена (построено автором на основе проведенных измерений)

№ расчета	$\rho = 0,990 \text{ г/см}^3$ - плотность кристаллитов	l - толщина кристаллических ламелей (в нм)	T_m - температура плавления композита
1	0,99	30	410,04
2	0,86	30	408,73
3	0,71	30	406,62
4	0,56	30	403,39
5	0,47	30	400,46
6	0,36	30	394,88

На основании полученных данных выявлена закономерность изменения плотности вещества: при пропорциональном увеличении примесей значительно снижается температура плавления композита. Результаты показали уменьшение теплотехнических свойств, которое помогает повысить эффективность производства. Подробно на рисунке 2.

Проводится расчет изменения температуры плавления композита при шаговом изменении толщин кристаллических ламелей с идентичным пропорциональным количеством примеси,

как в полученных ранее данных. Результат проведенного расчета представлен в таблице 3.

На основании полученных результатов нанесения более мелкой структуры и увеличения пропорций добавления дисульфида молибдена температура плавления композита значительно снижается. Аналогичная закономерность наблюдается при сравнении с температурой плавления композита без примеси. Подробные изменения теплотехнических свойств изучаемого материала показаны на рисунке 3.

Дисульфид молибдена (MoS_2), типичный член группы дихалькогенидов – переходных металлов (TMD), известен своими превосходными электронными характеристиками и считается кандидатом в полупроводники следующего поколения. Подготовка нанохлопьев MoS_2 к использованию в качестве ядра полупроводнико-

вых устройств зависит от механического отшелушивания. Но его качество еще не оптимизировано. Было обнаружено, что размер и выход распадающихся хлопьев улучшается после термической обработки в течение двух часов при температуре $110\text{ }^\circ\text{C}$ с последующим предварительным охлаждением в течение 10 мин. на воздухе [17–20].

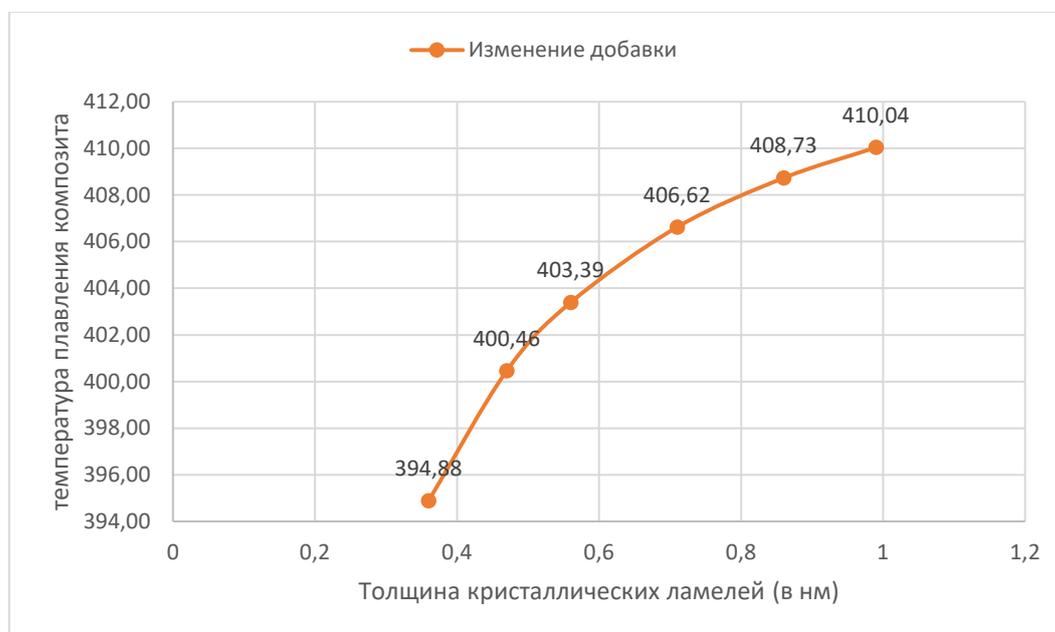


Рис. 2. График зависимости изменения температуры плавления композита при добавлении дисульфида молибдена при постоянной толщине кристаллических ламелей (построено автором на основе проведенных измерений)

Таблица 3

Температура плавления композита при различных добавках дисульфида молибдена с различными толщинами кристаллических ламелей (построено автором на основе проведенных измерений)

№ расчета	$\rho = 0,990\text{ г/см}^3$ - плотность кристаллитов	l - толщина кристаллических ламелей (в нм)	T_m - температура плавления композита
1	0,99	42	412,51
2	0,86	42	411,58
3	0,71	42	410,07
4	0,56	42	407,76
5	0,47	42	405,67
6	0,36	42	401,69
7	0,99	34	411,06
8	0,86	34	409,90
9	0,71	34	408,04
10	0,56	34	405,19
11	0,47	34	402,60
12	0,36	34	397,69
13	0,99	27	409,08
14	0,86	27	407,62
15	0,71	27	405,28
16	0,56	27	401,69
17	0,47	27	398,43
18	0,36	27	392,24
19	0,99	23	407,40
20	0,86	23	405,70
21	0,71	23	402,95
22	0,56	23	398,73
23	0,47	23	394,91
24	0,36	23	387,63

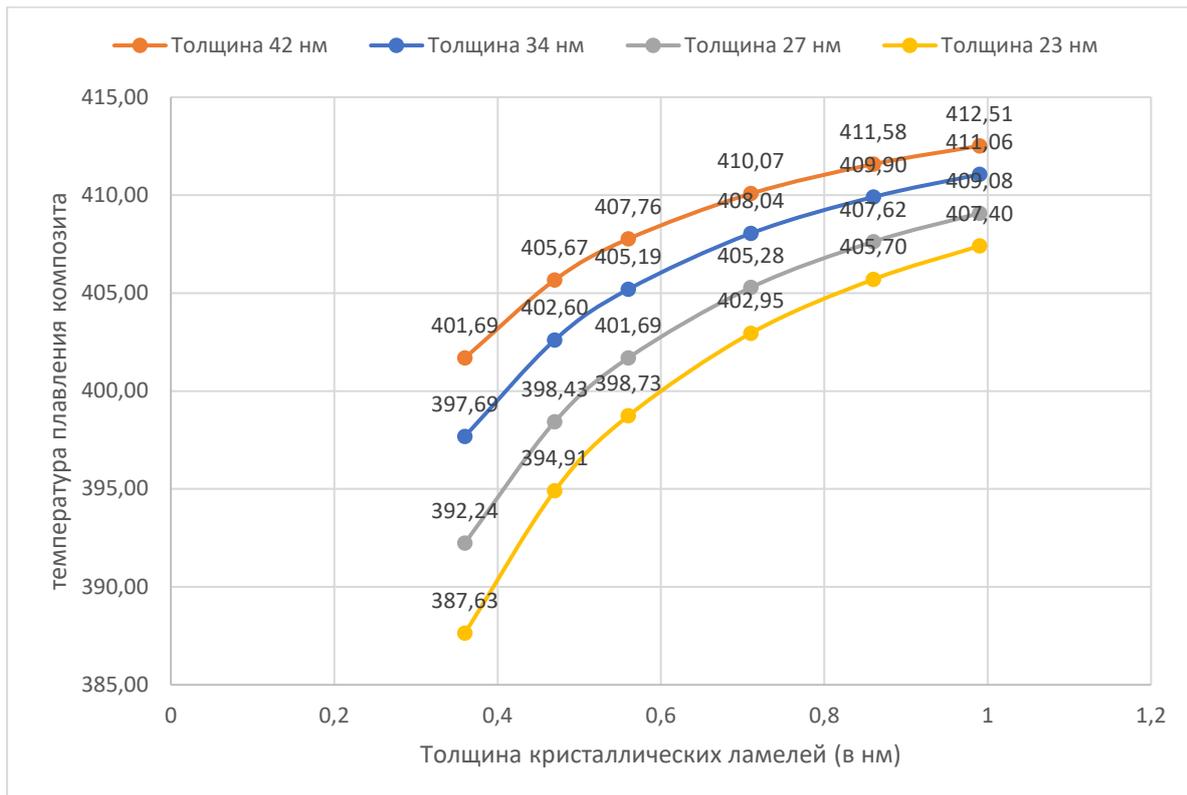


Рис. 3. График зависимости изменения температуры плавления композита при добавлении дисульфида молибдена при постоянной толщине кристаллических ламелей (построено автором на основе проведенных измерений)

Нагрев при 110 °С в течение 120 мин. приводит к полному испарению воды между дисульфидом молибдена и пластиной. Этот механизм играет решающую роль в адекватном склеивании границы раздела с помощью атмосферного давления. Тогда сила Ван-дер-Ваальса на границе раздела может быть больше, чем переслоение объема MoS₂. Таким образом, основная масса легко диссоциирует на нанохлопья на подложке SiO₂. Следует отметить, что температура кипения воды обычно считается равной 100 °С, но, учитывая потери тепла на тепловое излучение и проводимость, фактическая температура нагрева должна быть выше 100 °С и оставаться такой в течение некоторого времени, чтобы обеспечить полное испарение воды на границе раздела фаз. Статистически можно показать, что количество нанохлопьев MoS₂, полученных при температуре нагрева 110 °С, больше, чем при 100 °С.

Характеристика и описание показывают, что полупроводниковые устройства можно легче производить с помощью нового процесса термической обработки благодаря высокому выходу и большому размеру нанохлопьев дисульфида молибдена.

Заключение

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о потенциале применения MoS₂ в производстве композитных материалов. Данный материал может значительно снизить температуру плавления смеси, что позволит увеличить производительность процесса изготовления изделий.

Изучение свойств дисульфида молибдена показало, что его использование позволяет более эффективно передавать тепло и концентрировать его в определенной области. Это открывает новые перспективы для использования данного материала в различных областях промышленности, включая теплогазоснабжение и кондиционирование.

Использование MoS₂ может способствовать повышенной эффективности утилизации низкпотенциальных источников тепла, что позволяет использовать тепло, которое ранее считалось невозможным для применения, а также приведет к снижению затрат на производство, повышению эффективности процесса и улучшению качества конечного продукта.

Список литературы

1. Заболотнов А. С. Влияние кристаллической структуры на комплекс физико-механических характеристик композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена / А. С. Заболотнов, С. С. Гостев, И. А. Маклакова и др. // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б, Химия полимеров. – 2023. – Т. 65, № 5. – С. 341–346.



2. Гусева О. О. Анализ структуры и свойств медных композиционных электрохимических покрытий, содержащих частицы дисульфида молибдена / О. О. Гусева, М. Н. Бобров // Инновационные материалы и технологии. – 2024. – С 29–32.
3. Головешкин А. С. Слоистые соединения дисульфида молибдена с азотсодержащими органическими молекулами: строение и электрокаталитические свойства / А. С. Головешкин. – 2021.
4. Волков А. И. Электродные материалы на основе дисульфида молибдена для электрохимических источников энергии / А. И. Волков. – 2023.
5. Martirosyan V. Фазовые превращения дисульфида молибдена при механохимическом и термическом воздействии на молибденитовый концентрат / V. Martirosyan, E. Zakaryan, M. Sasuntsyan. – 2019.
6. Жеребцов А. А. Повышение энергоэффективности синхронного электропривода газоперекачивающих станций в постфорсировочных режимах работы: монография / А. А. Жеребцов, О. В. Крюков и др. ; под общ. ред. О. В. Крюкова. – Москва ; Вологда : ИнфраИнженерия, 2022. – 200 с.
7. Данилова Н. Ф. Экономический анализ деятельности предприятия / Н. Ф. Данилова, Е. Ю. Сидорова. – Москва : Экзамен, 2021. – 188 с
8. Дубинина Н. А. Основные направления повышения энергоэффективности на предприятиях нефтегазовой отрасли / Н. А. Дубинина, О. Ю. Мичурина, О. В. Кудрявцева, А. А. Кушнер // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4 (38). – С. 80–85.
9. Просвирина И. С. Методы интенсификации тепла солнечной энергии грунтом / И. С. Просвирина, Д. П. Максимова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 4 (30). – С. 21–25.
10. Хрестенко Р. В. Учет испарений от проливов нефтепродуктов в городской среде / Р. В. Хрестенко, В. Н. Азаров // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 4 (30). – С. 50–54.
11. ГОСТ 32513-2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. – Введен 2013–11–22. – Москва : Стандартинформ, 2014.
12. Гришин С. С. Оценка энергетического и экологического потенциала волнового автоколебательного ветродвигателя / С. С. Гришин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 4 (30). – С. 54–58.
13. Grishin S. S. Theoretical and Experimental Aspects of Building a Model of the Self-Oscillatory Wave Wind Turbine / S. S. Grishin, L. P. Strekalova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. e 224, № 1. – Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/224/1>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
14. Инновационный ветряной генератор Dual Wing Generator. – Режим доступа: <http://www.facte.eu/tehnologii/dual-winggenerator-festo> (дата обращения: 24.11.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Исанова А. В. Анализ использования современной теплоизоляции на основе аэрогеля при проектировании энергоэффективных зданий / А. В. Исанова, Е. Д. Кретова, Д. А. Драпалюк, Н. А. Драпалюк // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 2 (44). – С. 5–11.
16. Дома сферической формы: подарок природы или архитектурное излишество? // Дом и ремонт. – Режим доступа: <https://dom-i-remont.info/posts/proekt-doma/doma-sfericheskoy-formy-podarok-prirody-ili-arhitekturnoe-izlishestvo/> (дата обращения: 18.11.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
17. Исанова А. В. Обеспечение требуемых характеристик внутреннего микроклимата при проектировании квартальной многоэтажной жилой застройки с учетом ее аэрационного режима / А. В. Исанова, И. В. Попова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 1 (36). – С. 25–29.
18. Снижение теплопотерь через окна посредством установки двойных и тройных стеклопакетов // Окна на века. – Режим доступа: <https://okna-veka64.ru/okna/raschet-teplopoter-cherez.html> (дата обращения: 09.12.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
19. Теплоизоляционные материалы: виды утеплителей, применяемых в строительстве // Малоэтажная страна. – Режим доступа: <https://m-strana.ru/articles/teploizolyatsionnye-materialy/> (дата обращения: 11.12.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

© Н. Р. Руппа

Ссылка для цитирования:

Руппа Н. Р. Изменение низкопотенциальной теплоты в конвекторах за счет применения композитного материала с примесью дисульфида молибдена // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 1 (51). С. 73–78.