



17. Кудрявцев С. А. Численное моделирование процессов оттаивания многолетнемерзлых грунтов инфраструктурных железнодорожных объектов Дальнего Востока / С. А. Кудрявцев, Т. Ю. Вальцева // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений : тезисы докладов VIII Международного симпозиума, Тамбов, 17–21 мая 2023 года. – Тамбов : ИП Чеснокова А. В., 2023. – С. 146–147. – EDN LPSMGK.

18. Алехин В. С. Экспериментальные исследования и численный анализ деформационно-прочностных характеристик буронабивных микросвай с уширенной пятой из щебня / В. С. Алехин, Н. В. Купчикова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2016. – Т. 43, № 4. – С. 123–132. – DOI: 10.21822/2073-6185-2016-43-4-123-132. – EDN YTNLST.

19. Житомирский Б. Л. О влиянии теплового скольжения в общем переносе тепла и влаги при термическом воздействии на мерзлые грунты при строительстве площадных объектов нефтегазопроводов / Б. Л. Житомирский // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина. – 2020. – № 4 (301). – С. 72–77. – DOI: 10.33285/2073-9028-2020-4(301)-72-77. – EDN NWAQGM.

20. Кудрявцев С. А. Расчетно-теоретическое обоснование проектирования и строительства сооружений в условиях промерзающих пучинистых грунтов : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / С. А. Кудрявцев. – Санкт-Петербург, 2004. – 40 с. – EDN NHXKYH.

© Н. В. Купчикова, П. Д. Никулина

Ссылка для цитирования:

Купчикова Н. В., Никулина П. Д. Технико-экономическая эффективность устройства фундаментов из свай с одно- и многоместными уширениями для строительства в арктической зоне // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 1 (51). С. 61–66.

УДК 624.131.7

DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-66-73

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НДС ОЦЕНКИ УРОВНЕЙ ВИБРАЦИЙ
В ГРУНТОВОМ МАССИВЕ ОТ ТРЕХ ИСТОЧНИКОВ**

Ю. В. Лазуткин, А. А. Еремеев

Лазуткин Юрий Викторович, аспирант, Российский университет транспорта (РУТ МИИТ); заместитель директора по городскому наземному электрическому транспорту, Научно-исследовательский и проектный институт городского транспорта города Москвы «МосТранс-Проект», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: LazutkinYV@mtp.mos.ru;

Еремеев Алексей Александрович, студент, Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

Для оценки уровней вибраций в грунтовом массиве использовался метод конечных элементов с применением программного комплекса для геотехнических расчетов и транспортной вибрации MIDAS GTS NX. Для расчета выбрана плоская схема, в соответствии с геометрией анализируемого участка и транспортной загруженности от трех видов транспорта (метро, трамвая и автотранспорта) по ул. Краснопрудная г. Москвы. Представлен сравнительный анализ результатов виброускорений, полученных экспериментально и в результате численного моделирования в четырех точках при частотах 8, 16 и 31,5 Гц.

Ключевые слова: транспортная вибрация, метро, трамвай, автотранспорт, геотехнический расчет, численное моделирование.

**THE RESULTS OF NUMERICAL MODELING AND ESTIMATION OF VIBRATION LEVELS
IN THE SOIL FROM THREE SOURCES**

Yu. V. Lazutkin, A. A. Yermeyev

Lazutkin Yuriy Viktorovich, postgraduate student, Russian University of Transport (RUT MIIT); Deputy Director for Urban Ground Electric Transport, Research and Design Institute of Urban Transport of Moscow "MosTrans-Project", Moscow, Russian Federation; e-mail: LazutkinYV@mtp.mos.ru;

Yermeyev Aleksey Aleksandrovich, student, Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russian Federation

The finite element method was used to estimate vibration levels in the soil mass using the MIDAS GTS NX software package for geotechnical calculations and transport vibration. A flat scheme was chosen for the calculation, in accordance with the geometry of the analyzed section and traffic congestion from three types of transport (metro, tram and motor transport) along Krasnoprudnaya Street in Moscow. A comparative analysis of the vibration acceleration results obtained experimentally and as a result of numerical simulation at four points at frequencies of 8, 16 and 31.5 Hz is presented.

Keywords: transport vibration, metro, tram, motor transport, geotechnical calculation, numerical modeling.

Актуальность

Численное моделирование и анализ результатов напряженно-деформированного состояния транспортной вибрации от разных источников позволяют выявить взаимосвязь между характеристиками дорожного покрытия, типами транспортных средств и вибрационными явлениями. Определить уровень вибрационного напряжения, который зависит от состояния дорожного покрытия, скорости и типа транспортного средства. Установить математические зависимости виброускорения конструкций фундаментов зданий от исследуемых параметров. Например, моделирование демонстрирует нелинейную зависимость виброускорения фундамента от расстояния до источника вибрации. Оценить влияние различных факторов на вели-

чину вибрационного воздействия автотранспорта на основания и фундаменты. К таким факторам относят расстояние до источника, массу транспортного средства, грунтовые условия, тип фундамента, состав и характер движения, состояние покрытия и т. п. [1–20].

Метод

Для оценки уровней вибраций в грунтовом массиве применялся метод конечных элементов с применением программного комплекса для геотехнических расчетов и транспортной вибрации MIDAS GTS NX. Для расчета выбрана плоская схема, в соответствии с геометрией анализируемого участка и транспортной загруженности от трех видов транспорта (метро, трамвая и автотранспорта) по ул. Краснопрудная г. Москвы (рис. 1, 2).

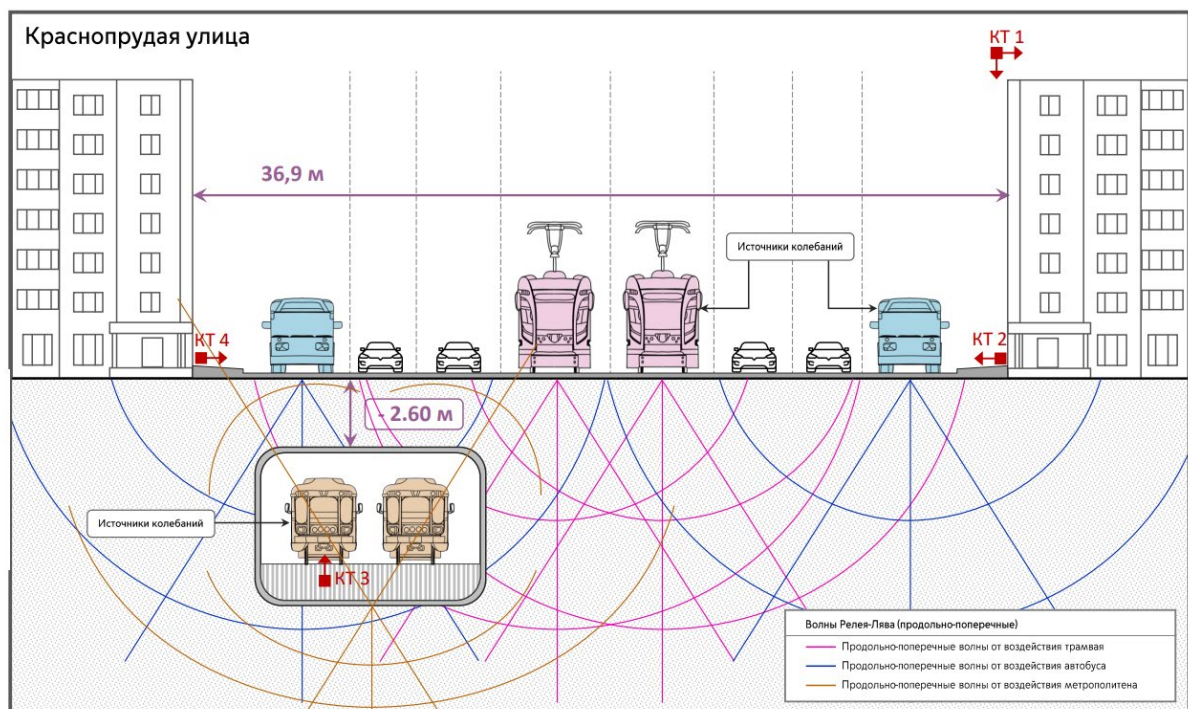


Рис. 1. Расчетная схема расположения строений, дорожного полотна, источников колебаний и транспортных средств при проведении натурного эксперимента по ул. Краснопрудная в г. Москве

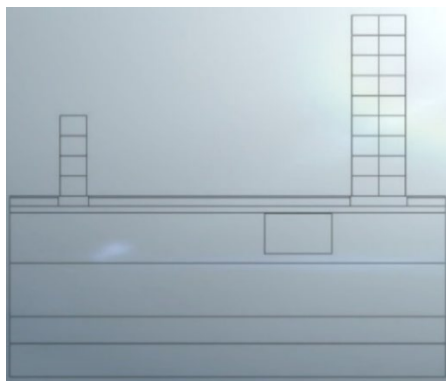


Рис. 2. Геометрия расчетной модели

При расчете использована модель грунтов 2d Equivalent. Характеристики грунтов определены на основании отчета по инженерно-геологическим изысканиям (рис. 3), ГОСТ 25100-2020 и СП 22.13330.2016. Заданные характеристики грунтов приведены на рисунке 3.

Мощность слоев грунта составляет 1,25; 1,00; 7,50; 8,00; 4,00; 5,00 м с первого по шестой соответственно. Помимо грунта выше первого слоя, в границах автомобильной дороги уложен слой щебня 0,25 м. Для построения сетки конечных элементов необходимо выбрать шаг их разбивки. В данной модели принят шаг от 0,25 м в двух верхних слоях грунта и конструктивных элементах, до 2 м – в нижних слоях грунта (рис. 4).

Для создания сетки 1d конструктивных элементов зданий, тоннеля, автомобильной дороги и трамвайного пути применена модель Isotropic-

Elastic с характеристиками, представленными в таблице 1.

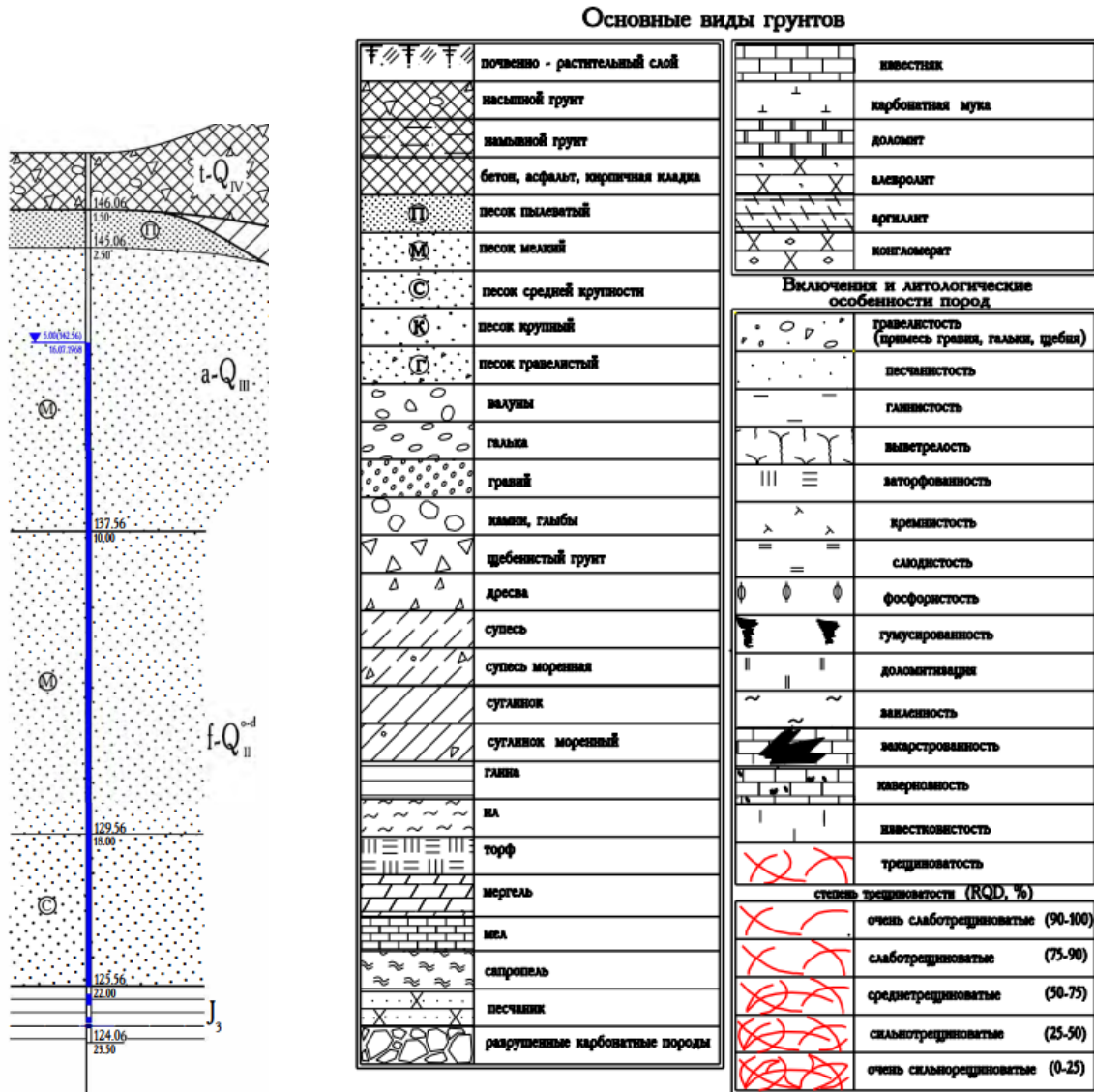


Рис. 3. Геологический разрез анализируемого участка

Таблица 1

Свойства оснований				
Наименование слоя основания	G, кН/м ²	v,	γ, кН/м ³	Коэффициент демпфирования (Damping Ratio)
Щебень	15000	0,35	19,6	0,05
Насыпной грунт	5200	0,3	17,84	0,05
Песок пылеватый	7205	0,31	17,15	0,05
Песок мелкий	15180	0,32	17,64	0,05
Песок средний	18620	0,33	18,62	0,05
Глина	15410	0,34	17,93	0,05

Граничные условия представлены жестким закреплением по всем направлениям нижней границы модели и горизонтальной оси для ее боковых границ. Для исключения влияния от отраженных волн предусмотрены демпфирующие узлы перед каждой границей (рис. 5).

Нагрузка от подвижного состава задается в виде динамической узловой нагрузки по временной функции с дискретизацией 0,01 с, 150 кН на ось для метро, 100 кН – на ось для трамвая, 90 кН – на ось для автобуса (рис. 6).

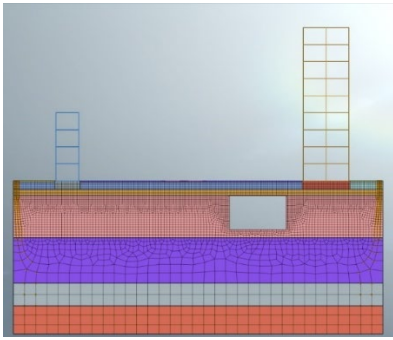


Рис. 4. Сетка конечных элементов

При расчете использован метод Linear time history (Modal) (модальный линейный анализ по времени) с дискретизацией 0,005 с, на частотах 8;16; 31,5 Hz (рис. 7).

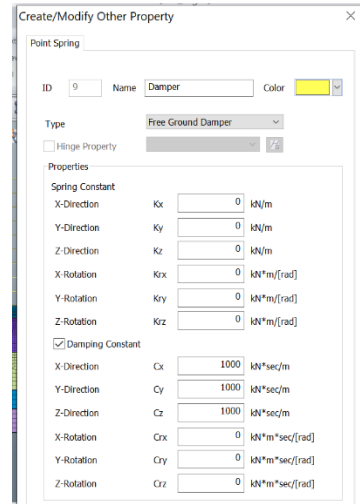


Рис. 5. Характеристики демпфера

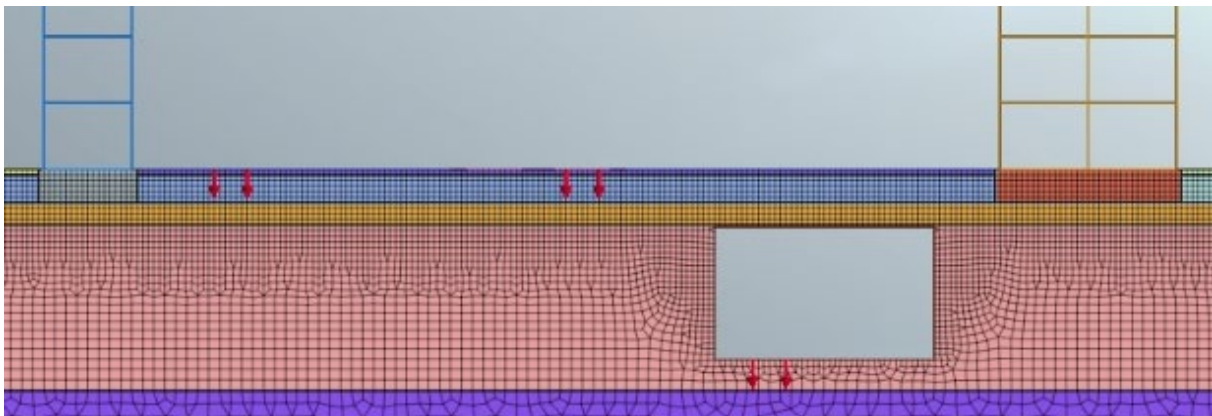


Рис. 6. Места приложения нагрузки от подвижного состава

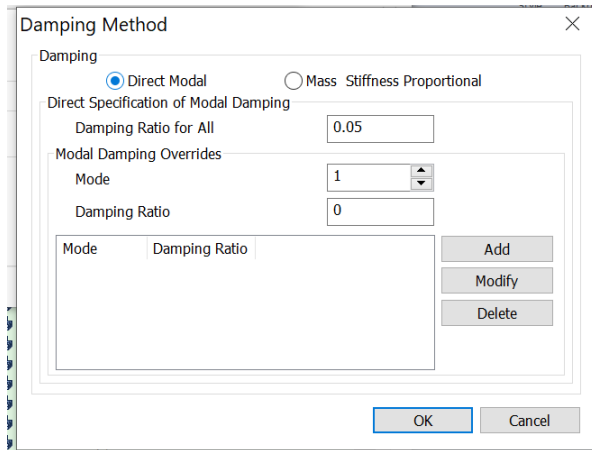
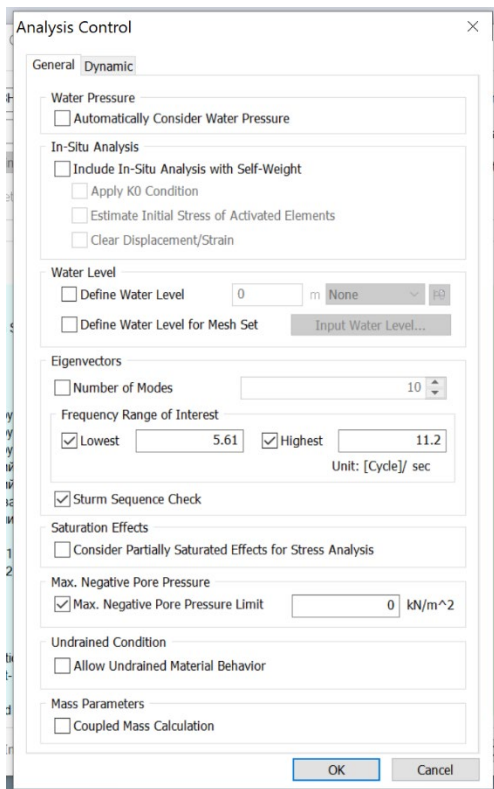


Рис. 7. Настройки расчета с частотой 8 Hz

Результаты

В результате численного моделирования определены уровни вибрационного напряжения. Полученные изополя (рис. 8–11) перемещений и ускорений при максимальных значениях от трех типов нагрузок для частот от 8 до 31,5 Гц позволили оценить влияние различных факторов на величину вибрационного воздействия автотранс-

порта, метро и трамвая на основания и фундаменты, а именно: расстояние до источника, массу транспортного средства, грунтовые условия, тип фундамента, состав и характер движения, состояние покрытия и другие. В таблице 2 представлен сравнительный анализ результатов виброускорений, полученных экспериментально и в результате численного моделирования в четырех точках при частотах 8, 16 и 31,5 Гц.

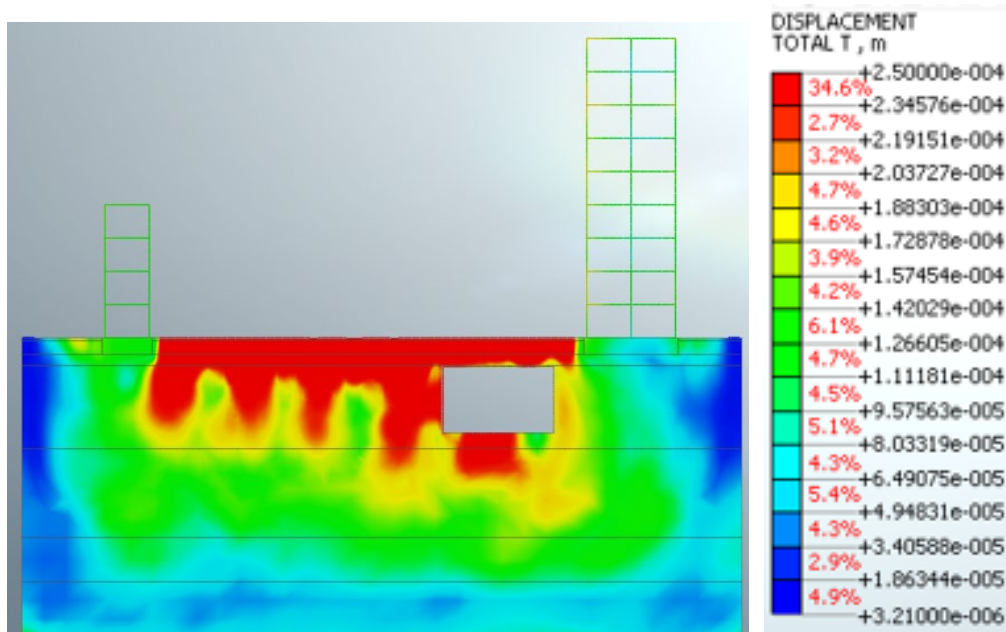


Рис. 8. Изополя общих перемещений от трех нагрузок с максимальным значением $2,5 \times 10^{-4}$ при частоте 8Гц

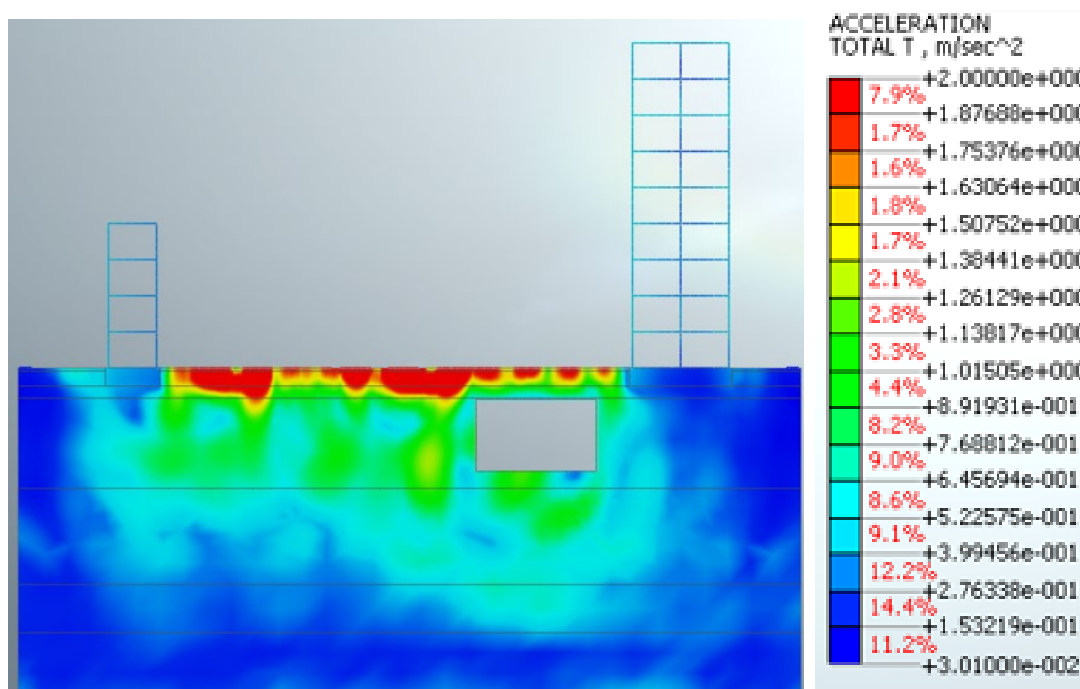


Рис. 9. Изополя ускорений от трех нагрузок с максимальным значением 2 м/с^2 при частоте 8Гц

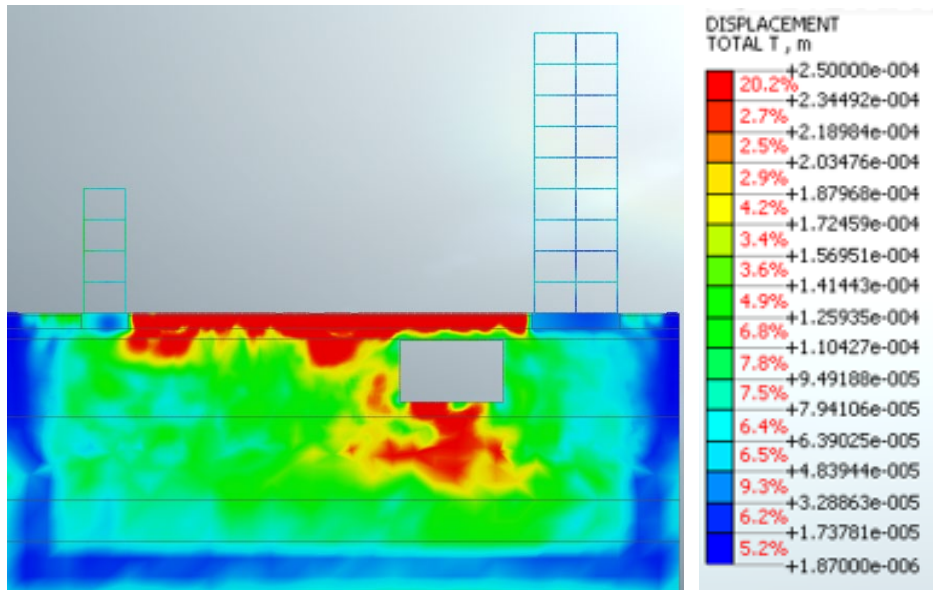


Рис. 10. Изополя общих перемещений от трех нагрузок с максимальным значением $2,5 \times 10^{-4}$ при частоте 16 Гц

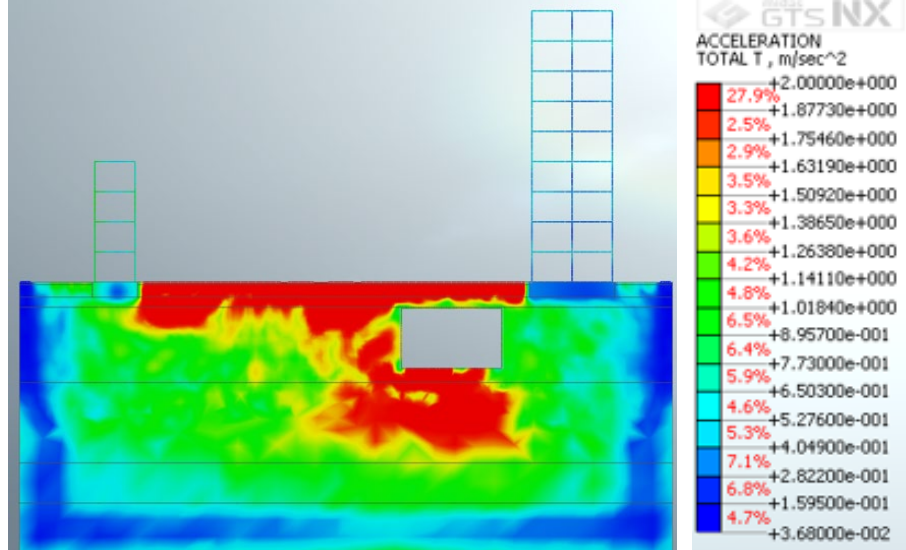


Рис. 11. Изополя ускорений от трех нагрузок с максимальным значением 2м/с^2 при частоте 16 Гц

Таблица 2

Сравнительный анализ результатов виброускорений, полученных экспериментально и в результате численного моделирования в четырех точках при частотах 8, 16 и 31,5 Гц

Виброускорение		
Частота, Гц	Измерение, Дб	Расчет, Дб
Улица		
8	102,30	108,69
16	86,40	117,86
31,5	83,90	114,26
Тоннель		
8	74,30	116,41
16	73,80	119,17
31,5	82,30	117,27
Подвал		
8	97,06	110,58
16	96,95	112,02
31,5	96,60	107,62
4-й этаж		
8	133,98	110,91
16	131,70	115,53
31,5	131,47	112,09

Список литературы

1. Семин А. С. Расчет параметров транспортного потока / А. С. Семин, О. А. Шутова // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2019. – Т. 2. – С. 59–64. – EDN LYXZYU.
2. Шутова О. А. Численное моделирование вибрационного воздействия автотранспорта на фундаменты зданий / О. А. Шутова, А. Б. Пономарев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 9, № 1. – С. 93–102. – DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.09. – EDN YUGJYG.
3. Zakharov A. Model of soil thermal conductivity in the form of a truncated sphere / A. Zakharov, A. Ponomaryov, Ia. Ofrikhter // Magazine of Civil Engineering. – 2022. – № 6 (114). – DOI: 10.34910/MCE.114.3. – EDN WERZBA.
4. Золина Т. В. Исследование влияния вибрационных воздействий от автотранспорта на состояние конструкций фундамента жилого здания / Т. В. Золина, Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 3 (29). – С. 24–29. – EDN KVZSNG.
5. Территориально-пространственное развитие трамвайной транспортной инфраструктуры Москвы и ее влияние на существующую застройку / В. П. Титов, В. И. Гришин, Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 3 (49). – С. 40–49. – DOI: 10.52684/2312-3702-2024-49-3-40-49. – EDN GWIOUT.
6. Экспериментальная динамика сооружений. Мониторинг транспортной вибрации: монография / Е. К. Борисов и др. – Петропавловск-Камчатский : Камчатский государственный технический университет, 2007. – ISBN 978-5-328-00160-1. – EDN QNCCX.
7. Купчикова Н. В. Проектирование радиальных коммуникационных тоннелей при редевелопменте территорий / Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин, Е. Е. Купчиков // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования : материалы VII Национальной научно-практической конференции с международным участием, приуроченной ко Дню российской науки, Астрахань, 09 февраля 2024 года. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – С. 70–78. – EDN AUNVFH.
8. Федоров В. С. Об организации опытно-экспериментальной работы в ходе исследования влияния комплексности вибровоздействий наземного и подземного транспорта на здания и сооружения / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 1 (47). – С. 95–100. – DOI: 10.52684/2312-3702-2024-47-1-95-100. – EDN AVTRYO.
9. Кузнецов А. Н. Снижение уровня транспортной вибрации в кабинах автотракторных средств за счет применения инерционных компонентов в подвеске / А. Н. Кузнецов, О. И. Поливаев // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения для АПК : материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 30 ноября 2023 года. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 61–67. – EDN GDGAYI.
10. Ванин В. С. Метод использования переходных функций при оценке транспортной вибрации / В. С. Ванин, Т. Е. Галаган // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 3. – С. 32–35. – EDN HZEEOZ.
11. Локтев А. А. Моделирование воздействия городского рельсового транспорта на окружающую застройку / А. А. Локтев, Д. А. Локтев, Л. А. Илларионова // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 1. – С. 52–60. – DOI: 10.15593/24111678/2023.01.07. – EDN AKYDVF.
12. Задачи и перспективы развития научных исследований в рамках сотрудничества между ОАО «РЖД» и Российской академией наук / Н. А. Махутов, Б. М. Лапидус, М. М. Гаденин, Е. Ю. Титов // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 7. – С. 6–11. – EDN ZAFGPF.
13. Сычева А. В. Снижение динамического воздействия колеса на рельс применением новой технологии выравнивания рельсовых нитей / А. В. Сычева, А. А. Локтев, В. П. Сычев // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта: Межвузовский сборник научных трудов. – Москва : Российский университет транспорта, 2024. – С. 376–382. – EDN LFDOPH.
14. Ашпиз Е. С. Применение эластомерных подбалластных матов в тоннеле / Е. С. Ашпиз, Е. Ю. Титов, А. В. Гордеев // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 5. – С. 22–25. – EDN FHYWYA.
15. Курбацкий Е. Н. Оценка влияния поверхностных слоев грунта на параметры спектров максимальных реакций / Е. Н. Курбацкий, А. Ш. Хуссейн // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2024. – № 1 (68). – С. 47–48. – EDN JDSRBK.
16. Патент № 2696175 С2 Российская Федерация, МПК В60W 10/02, В60W 10/06, В60W 10/11. Способ и система для регулирования шума, вибрации и резкости работы силового агрегата транспортного средства: № 2017143451: заявл. 12.12.2017: опубл. 31.07.2019 / А. Д. Ричардс, А. Н. Бэнкер, А. Й. Карник, Д. Э. Роллинггер; заявитель Форд Глобал Текнолоджиз, ЛЛК. – EDN SBIGLN.
17. Авторское свидетельство № 653146 А1 СССР, МПК В60G 25/00. Устройство для защиты от вибрации пользователя транспортным средством: № 2485281: заявл. 12.05.1977: опубл. 25.03.1979 / Б. Д. Цвик, Е. Я. Улицкий, Т. Г. Цвик; заявитель Всесоюзный ордена трудового красного знамени научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. – EDN QFBBGO.
18. Купчикова Н. В. Экспертиза геоподосновы, оснований и фундаментов: современные приборы и оборудование при проведении экспериментальных исследований и геотехнического мониторинга / Н. В. Купчикова, А. С. Таркин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4 (38). – С. 47–55. – DOI: 10.52684/2312-3702-2021-38-4-47-55. – EDN OCRXNE.
19. Купчикова Н. В. Технология реконструкции, санации и капитального ремонта зданий, включая экспертизу геоподосновы, оснований и фундаментов / Н. В. Купчикова. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – 105 с. – ISBN 978-5-93026-077-9. – EDN PWKXHV.

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.