

$$H_{,x} - Q = 0,$$

$$M_{,xx} + b_0 q = 0.$$

где H_x, M_x, Q – обобщенные внутренние усилия, запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате; b_0 – ширина стержня.

Заключение. Полученные уравнения равновесия в усилиях позволяют поставить краевую задачу для определения параметров напряженно-деформированного состояния пятислойных стержней, симметричных по толщине.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Конвергенция-25».

Список литературы

- 1 Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с. – EDN RXGSLJ
- 2 Журавков, М. А. Математические модели механики твердого тела / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2021. – 535 с.
- 3 Zhuravkov, M. A. Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.
- 4 Старовойтов, Э. И. Сопrotивление материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 376 с.
- 5 Старовойтов, Э. И. Механика материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 380 с.
- 6 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.
- 7 Деформирование трехслойных пластин при термосиловых нагрузках / Э. И. Старовойтов [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 395 с.
- 8 Захарчук, Ю. В. Напряженно-деформированное состояние круговой трехслойной пластины со сжимаемым заполнителем / Ю. В. Захарчук // Механика. Исследования и инновации. – 2019. – Т. 12, № 12. – С. 66–75.
- 9 Козел, А. Г. Влияние сдвиговой жёсткости основания на напряжённое состояние сэндвич пластины / А. Г. Козел // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2018. – Т. 332, № 6. – С. 25–34.
- 10 Starovoitov, É. I. Vibrations of round three-layer plates under the action of distributed local loads / É. I. Starovoitov, D. V. Leonenko, A. V. Yarovaya // Strength of materials. – Гомель : БелГУТ. – Вып. 16. – 2002. – Vol. 34, no 5. – P. 474–481.
- 11 Deformation of a Step Composite Beam in a Temperature Field / É. I. Starovoitov [et al.] // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2015. – Vol. 88, no 4. – P. 1023–1029.
- 12 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойного стержня в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2013. – Т. 22, № 1. – С. 31–35.
- 13 Суслов, К. В. Изгиб пятислойной балки симметричной по толщине / К. В. Суслов // III Республиканский форум молодых ученых учреждений высшего образования : сб. материалов форума, Брест, 21–24 мая 2024 г. – Брест : БрГТУ, 2024. – С. 61–63.
- 14 Лачугина, Е. А. Поперечные колебания пятислойной упругой круговой пластины с жесткими заполнителями / Е. А. Лачугина // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Вып. 15. – С. 212–219.
- 15 Лачугина, Е. А. Частоты собственных колебаний пятислойной круговой пластины / Е. А. Лачугина // Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. – Минск : БНТУ, 2023. – Вып. 38. – С. 227–233.
- 16 Лачугина, Е. А. Свободные колебания пятислойной круговой пластины с легкими заполнителями / Е. А. Лачугина // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2023. – Вып. 16. – С. 111–116. – EDN RCKKPM.

УДК 629.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ СО СКОЛЬЖЕНИЕМ ТВЕРДОГО ТЕЛА ПО НЕПОДВИЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

О. А. СУХАНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Безопасность движения начинается задолго до эксплуатации транспортных средств. Еще на стадии разработки отдельных систем и узлов механизмов ведется огромная работа по планированию, совершенствованию, отлаживанию, контролю их бесперебойной работы. Известно, что 20–50 % от всех конструктивных и эксплуатационных неисправностей транспортных средств, приводящих к дорожно-транспортным происшествиям, занимает некорректная работа тормозной системы [1].

Вследствие трения при торможении происходит преобразование механической энергии в тепловую, которая сопровождается нагревом соприкасающихся деталей. Пятна касания дискретны, причем имеет место постоянное изменение температурных полей фактических участков контакта за очень малые промежутки времени, что затрудняет измерение температуры таких участков. Часто

перегрев приводит к деформации и выходу из строя отдельных элементов конструкции. В этой связи численное моделирование тепловых процессов в зоне фрикционного контакта представляет особый интерес в прогнозировании теплового поведения отдельных деталей системы, нахождения слабых мест конструкции, оценки изнашивания [2, 3]. Ранее нами рассматривалась задача о взаимодействии элементов тормозной системы без учета изменения температуры [4]. Программа дает возможность создавать именованные группы для работы с выборками геометрических объектов, элементов, узлов [5] и выводить для них результаты.

Целью представленного исследования является разработка алгоритма решения термпрочностной контактной задачи для оценки распределения температуры по времени с использованием программного комплекса ANSYS Mechanical на платформе Workbench. Данная многоцелевая программа позволяет вести расчет связанных термпрочностных задач при помощи элементов связанных полей.

Геометрическая модель (рисунок 1) представлена металлическими платформой (параллелепипед с размерами $200 \times 20 \times 10$ мм) и полуцилиндром (радиус 10 мм, длина 20 мм), между которыми установлен несимметричный контакт. Нижняя плоскость платформы жестко закреплена. Полуцилиндр, верхняя плоскость которого испытывает давление 10 МПа, перемещается по платформе со скоростью 0,01 м/с, коэффициент трения 0,3; температура, при которой тела не испытывают тепловую деформацию, 22°C . Использовался нестационарный прочностной анализ Transient Structural.

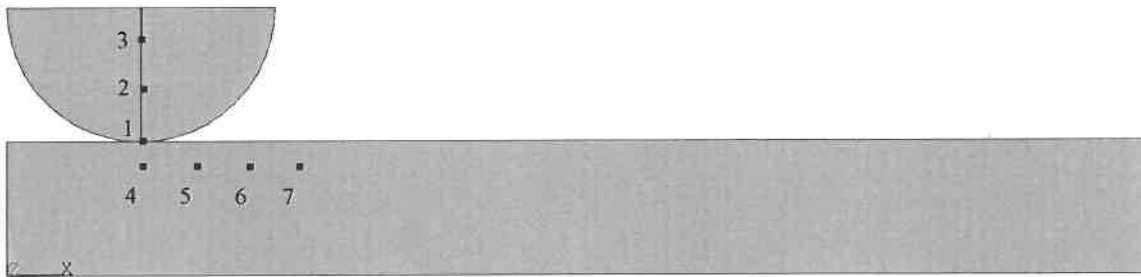


Рисунок 1 – Геометрическая модель

Известно, что для линейных задач численное решение методом конечных элементов как правило не вызывает трудностей, в отличие от нелинейных инженерных расчетов, где для достижения сходимости решения есть необходимость постоянной доработки модели, корректировки настроек решателя, параметров конечно-элементной сетки. Были приняты следующие настройки контактной пары: алгоритм Augmented Lagrange, коэффициент нормальной жесткости 0,1. Конечноэлементная сетка сгенерирована линейными элементами. Для настройки анализа переходных процессов использован шаг по времени 0,001 с.

В результате решения задачи было получено распределение напряжений и температуры на контактных поверхностях в зависимости от времени движения полуцилиндра по платформе.

Был проанализирован характер распределения температуры и эквивалентных по Мизесу напряжений для различных узлов по дорожке контакта вдоль оси x платформы (выбирался каждый второй узел) и узлов полуцилиндра, расположенных по нормали к плоскости контакта в течение 10 секунд. Для выбранных узлов 1–7 (см. рисунок 1) выводились графики (рисунки 2, 3).

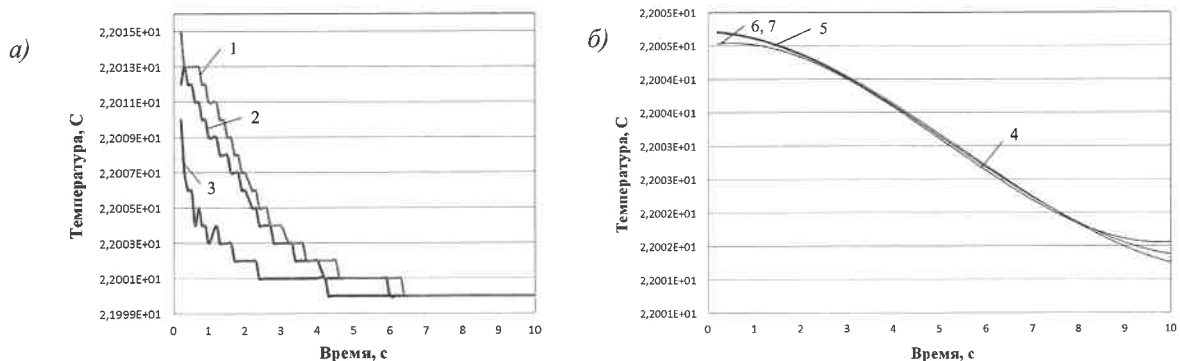


Рисунок 2 – График зависимости температуры от времени перемещения полуцилиндра по платформе: а – в узлах 4–7 платформы; б – в узлах 1–4 полуцилиндра

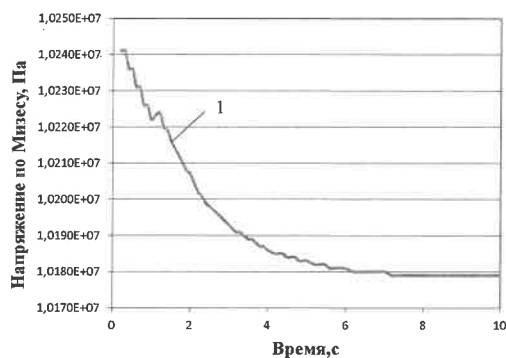


Рисунок 3 – График зависимости эквивалентных по Мизесу напряжений от времени перемещения полуцилиндра по платформе для узла 1

Графики показывают, что на первых секундах движения имеет место неустановившийся режим, напряжения в узлах сопрягаемых тел сходятся в некотором постоянном значении, температура уменьшается по мере отдаления от зоны контакта за счет рассеивания тепла. Изменение значений температуры и напряжений является незначительным вследствие малой скорости движения полуцилиндра.

Разработанная методика дает возможность исследования термоупругого поведения твердых тел, находящихся в динамическом фрикционном контакте при более высоких скоростях скольжения в случае различных контактных нагрузок.

Список литературы

- 1 Пеньшин, Н. В. Методология обеспечения безопасности дорожного движения на автомобильном транспорте : учеб. пособие / Н. В. Пеньшин. – Тамбов : ТГТУ, 2013. – 456 с.
- 2 Numerical analysis of temperature distribution in sliding contacts of pin on disc model / АК. Singh [et al.] // *Vibroengineering Procedia*. – 2019. – Vol. 29. – P. 274–278.
- 3 Belhocine, A. A thermomechanical model for the analysis of disc brake using the finite element method in frictional contact / A. Belhocine, OI Abdullah // *Journal of Thermal Stresses*. – 2020. – Vol. 43, is. 3. – P. 305–320.
- 4 Шимановский, А. О. Изменение напряженно-деформированного состояния элементов дискового тормоза при торможении / А. О. Шимановский, О. А. Суханова // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. – 2020. – Т. 66, № 4. – С. 8–18.
- 5 Бруйка, В. А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench : учеб. пособие / В. А. Бруйка, В. Г. Фокин, Я. В. Кураева. – Самара : СамГТУ, 2013. – 149 с.

УДК 551.332.53:624.131.54

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТРЕХФАЗНЫХ ГРУНТОВ

Е. Ю. ТРАЦЕВСКАЯ

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь

Зависимость демпфирующих свойств от состава, физических свойств и состояния грунтов изучена недостаточно. В научной литературе упоминается, что уменьшение влажности и увеличение пористости грунта приводит к резкому увеличению коэффициента затухания [1–3]. К настоящему времени можно выделить два основных направления в изучении поведения дисперсных грунтов при динамических нагрузках: изучение водонасыщенных и трехфазных образований. Следует отметить, что трехфазные грунты при влажности, близкой к максимальной молекулярной влагоемкости, ориентировочно соответствующей нижнему пределу пластичности, меняют механические свойства – грунт переходит из полутвердого в пластичное состояние [4–6].

Для исследования динамических свойств грунтов на вибростенде ВЭДС-400А лабораторно моделировалось поведение образцов: супеси моренной легкой; супеси моренной тяжелой; песка пылеватого аллювиального. Испытания проводились без внешней пригрузки.

Надежность работы инженерных сооружений как передающих, так и принимающих вибродинамические нагрузки, существенно зависит от демпфирующих свойств грунтовых оснований. Демпфирование – это гашение основанием колебаний, вызванных динамическим воздействием от фундамента. В массивах грунтов демпфирование реализуется в основном за счет диссипации (рассеивания) энергии при переходе ее кинетической части в энергию неупорядоченных процессов, в конечном итоге – в тепло.

Для учета сил затухания наиболее часто используется логарифмический декремент, который является количественной характеристикой затухания колебаний в линейной системе. Во многих случаях в качестве основной характеристики диссипативных свойств грунтов используется модуль затухания. В нормативных документах эти свойства учтены условно через коэффициент относительного демпфирования. Например, для установившихся (гармонических) колебаний: