



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:

$$\xi_z = \frac{2,214}{\sqrt{P_{cp}}},$$

где P_{cp} – среднее давление на основание под подошвой фундамента от расчетных статических нагрузок, МПа.

В механике жесткость определяется способностью конструктивных элементов деформироваться при внешнем воздействии без существенного изменения геометрических размеров [11–13]. Жесткость грунта связана с его сжимаемостью, а следовательно, с плотностью сложения и влажностью. По существу, демпфирующие свойства и жесткость грунтов обуславливаются одними и теми же параметрами и трендом их изменений, т. е. зависят, в основном, от характера структурных связей и их переходов при напряженном состоянии грунтового массива. Для тонкодисперсных несцементированных грунтов, находящихся в частично дегидратированном состоянии или испытавших заметное литогенетическое уплотнение, характерны переходные контакты. Взаимному поджиму частиц при дегидратации во многом способствуют капиллярные силы, создающие значительное дополнительное давление на контакте, которые могут переходить как в коагуляционные, так и в фазовые. При деформировании они проявляют упругое сжатие, а при увлажнении снижают свою прочность и пластифицируются. По мере уплотнения грунта при динамических воздействиях показатели его диссипативных свойств растут, грунт становится более жестким.

Зависимость коэффициента затухания от частоты собственных колебаний образцов грунта носит прямо пропорциональный линейный характер, а коэффициента жесткости – прямо пропорциональный степенной, т. е. демпфирующие характеристики в большей степени связаны со свойствами грунтов, чем показатели жесткости.

Выводы. По результатам лабораторных исследований определены показатели динамических свойств дисперсных трехфазных малосвязных грунтов и песков пылеватых. Показано, что жесткость и свойства демпфирования являются величинами переменными, зависящими от характера структурных связей и их переходов. По мере уплотнения грунта показатели его диссипативных свойств и жесткости растут. При достижении стабилизации деформаций в условиях резонанса с повышением содержания глинистых частиц коэффициенты затухания увеличиваются. Вне резонансной зоны при увеличении частоты вынужденных колебаний диссипативные свойства повышаются.

Полученные характеристики демпфирования малосвязных грунтов использованы при изучении деформирования композитных элементов конструкций, связанных с упругим основанием [14–17].

Список литературы

- 1 Осипов, В. И. Природа прочности и деформационных свойств глинистых пород / В. И. Осипов. – М. : МГУ, 1979. – 231 с.
- 2 Трацевская, Е. Ю. Динамическая неустойчивость квазитиксотропных моренных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Литосфера. – 2017. – № 1 (46). – С. 107–111.
- 3 Трацевская, Е. Ю. Демпфирующие свойства слабосвязных трехфазных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Литосфера. – 2017. – № 2 (51). – С. 115–121.
- 1 Трацевская, Е. Ю. К вопросу о деформационных свойствах трехфазных слабосвязных грунтов в условиях динамического нагружения / Е. Ю. Трацевская // Актуальные вопросы инженерной геологии, гидрогеологии и рационального недропользования : IX Университетские геологические чтения. – Минск : Изд. центр БГУ. – 2015. – С. 146–149.
- 2 Трацевская, Е. Ю. Экспериментальное исследование параметров автотранспортного вибродинамического воздействия на массивы грунтов / Е. Ю. Трацевская // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 1 (40). – С. 58–61. – EDN OBSUWN.
- 3 Трацевская, Е. Ю. Геологическая опасность развития подтопления грунтов и оценка экономических рисков при ее реализации / Е. Ю. Трацевская // Природные ресурсы. – 2009. – № 1. – С. 102–109.
- 4 Трацевская, Е. Ю. Особенности формирования техногенного подтопления дисперсных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 106–112.
- 5 Инженерно-геологическое районирование территории Гомеля / А. Н. Галкин [и др.] // Литосфера. – 2004. – № 2 (21). – С. 108–116. – EDN TXHBOF.
- 6 Роль современных геологических процессов в сложившихся инженерно-геологических условиях территории Гомеля / А. Н. Галкин [и др.] // Литосфера. – 2003. – № 2 (19). – С. 67–73. – ЭДН TXCUKZ.
- 7 Трацевская, Е. Ю. Закономерности формирования геологических опасностей Беларуси / Е. Ю. Трацевская. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2007. – 173 с. – EDN UGWWEA.
- 8 Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с. – EDN RXGSLJ.
- 9 Журавков, М. А. Математические модели механики твердого тела / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2021. – 535 с.

10 Zhuravkov, M. A. Mechanics of Solid Deformable Body / M. A. Zhuravkov, Lyu Yongtao, E. I. Starovoitov. – Singapore : Springer, 2022. – 317 p.

11 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагрузениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.

12 Старовойтов, Э. И. Исследование спектра частот трехслойной цилиндрической оболочки с упругим наполнителем / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 162–169.

13 Деформирование ступенчатой композитной балки в температурном поле / Э. И. Старовойтов [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 88, № 4. – С. 987–993. – EDN UARYZD.

УДК 536.24

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ТЕПЛОАПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

О. В. ТУШАВИНА

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Проблема тепловой защиты конструкции высокоскоростных летательных аппаратов (ВЛА) от аэродинамического нагрева стала одной из важнейших научных проблем в связи с созданием изделий авиационной и ракетно-космической техники, совершающей полет в атмосфере со скоростями, значительно превышающими скорость звука ($M \geq 6$).

Аэродинамический нагрев обусловлен газовой динамикой обтекания тела сверхзвуковым потоком.

Физическая природа аэродинамического нагрева обусловлена тем, что в связи с громадной скоростью полета аппарата молекулы атмосферы обладают относительно аппарата большой кинетической энергией. Достигнув у поверхности аппарата ударной волны, а затем сжатого и вязкого пограничного слоя, молекулы начинают интенсивно тормозиться. При торможении высокоскоростных частиц их кинетическая энергия переходит в тепловую. Этот процесс определяет интенсивность аэродинамического нагрева конструкции аппарата.

Повышаются термодинамические параметры (температура и давление) газа набегающего потока до экстремальных значений. В результате в указанных зонах реализуются химические реакции диссоциации молекул и даже ионизации атомов, т. е. возникает комплекс физико-химических процессов, обусловленных термогазодинамикой и тепломассообменом. В этой связи возникает проблема разработки специальной тепловой защиты конструкции ВЛА, что в свою очередь требует разработки эффективных экспериментально-теоретических и прикладных решений в различных областях науки и техники, например, в разработке материалов теплозащитного назначения для снижения воздействия аэродинамического нагрева на аппараты.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSFF-2023-0007).

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕРМОУПРУГИХ ТЕЛАХ МЕТОДАМИ ГЛУБОКОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

ФАН ТУНГ ШОН

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Г. В. ФЕДОТЕНКОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

Физически информированное машинное обучение – это новый, многообещающий подход к решению различных задач математической физики, зачастую таких, которые не поддаются решению другими методами или требуют значительных затрат как человеческого, так и машинного времени. Машин-