

Заключение. Предложенный метод расширения возможностей системы, основанный на свойствах рычажных механизмов, изменение параметров которых позволяет корректировать динамические режимы. Предложена методика упрощенного подхода к оценке динамических свойств системы, основанная на исключении переменных и переходе исходной системы к системе с двумя степенями свободы, что позволяет ввести в рассмотрение ряд новых динамических свойств. Получены амплитудно-частотные характеристики при изменении передаточных отношений рычажных механизмов.

Список литературы

- 1 **Елисеев, С. В.** Прикладной системный анализ и структурное математическое моделирование (динамика транспортных технологических машин: связность движений, вибрационные взаимодействия, рычажные связи) / С. В. Елисеев. – Иркутск : ИрГУПС, 2018. – 692 с.
- 2 **Eliseev, S. V.** Theory of oscillations. Structural mathematical modeling in problems of dynamics of technical objects / S. V. Eliseev, A. V. Eliseev. – Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2019. – 521 p.
- 3 **Большаков, Р. С.** Особенности вибрационных состояний транспортных и технологических машин. Динамические реакции и формы взаимодействия элементов / Р. С. Большаков. – Новосибирск : Наука, 2020. – 411 с.
- 4 **Елисеев, С. В.** Возможности структурного математического моделирования в оценке динамических свойств технологических вибрационных машин / С. В. Елисеев, Р. С. Большаков, И. С. Ситов // Системы. Методы. Технологии. – 2019. – № 1 (41). – С. 7–15.
- 5 The dynamical condition of the vibration machine: nodes of oscillations, flexural centers, connectivity parameters / S. V. Eliseev [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Collection of materials of the International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science (ICMTMTE 2019) / Sevastopol State University, National University of Science and Technology «MISIS», Polzunov Altai State Technical University, Crimean Federal University, Inlink Ltd. and International Union of Machine Builders. – 2020. – 044004.

УДК 004.94, 004.8

АНАЛИЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭМЕРДЖЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Г. В. ВАНЬКИНА, Т. О. СУНДУКОВА

Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого, Российская Федерация

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) интегрируют информационные, сенсорные, управляющие и коммуникационные технологии для предоставления транспортных услуг. Их пользователи варьируются от обычных пассажиров до политиков и градостроителей. Учитывая окружение и сложность этих систем, их изучение в реальных условиях зачастую неосуществимо. Моделирование помогает решить данную задачу, при этом представляет свои собственные проблемы: могут быть непреднамеренные ошибки при переходе от моделей к коду; исследовательские платформы часто смещают моделирование; трудно сравнивать работы, в которых используются разные модели и инструменты. Для преодоления выявленных проблем рассмотрим метод для разработки моделей на основе моделей, называемый эмерджентным моделированием [11]. Он основан на специфическом языке моделирования, который поддерживает интегрированную спецификацию множества аспектов ИТС: людей, их транспортных средств и внешней среды; сети датчиков и исполнительных механизмов, удобно расположенных и распределенных, которые формируют базу результатов. Фреймворк работает с редактором моделей для создания спецификаций, совместимых с языком описания и обработки, генератором кода для создания приложения с использованием спецификаций платформы. В технической и исследовательской литературе существуют также рекомендации, помогающие исследователям в применении этой инфраструктуры.

Концепция умного города предстает как ответ на вызовы, возникающие при управлении сильно взаимосвязанными физическими и информационными технологиями (ИТ) инфраструктур во взаимоотношениях с их сообществами и окружающей средой [3]. Цель состоит в том, чтобы использовать преимущества искусственного интеллекта в таких сложных системах для получения более эффективной, устойчивой и адекватной среды [5]. ИТС [10] играют ключевую роль в этом контексте, их функционал направлен на улучшение трафика в плане безопасности, устойчивости и снижения затрат времени, денег, энергии и воздействия на окружающую среду. Для этой цели эти системы используют повсеместное присутствие сетей датчиков и исполнительных механизмов (Sensor

Networks – SNs), интегрированных в устройства пользователей, транспортные средства и окружающую среду интеллектуальных мест, обеспечивают высокую доступность данных об участниках дорожного движения и их деятельности [6].

Развитие таких сложных систем сталкивается с серьезными проблемами [4, 6, 10]. Во-первых, их потенциальное воздействие на окружающую среду и живые существа затрудняет создание подходящих контролируемых сред для экспериментов. Во-вторых, эти системы обычно включают в себя несколько распределенных компонентов (как аппаратных, так и программных), часто встроенных в другие элементы, такие как транспортные средства, телефоны, светофоры или дороги. Такая система имеет высокие затраты на разработку, тестирование и развертывание. В-третьих, существует множество взаимодействующих элементов в реальной обстановке трафика, что затрудняет проверку гипотез о поведении ИТС.

Моделирование представляется полезным инструментом для решения вышеперечисленных проблем [9], оно позволяет контролировать соответствующие параметры задачи, проводить многочисленные эксперименты и постепенно развивать ИТС (постепенно заменять модели и программные реализации реальными компонентами и средой). Такой подход также имеет некоторые недостатки [1], главным образом связанные с трудностями обеспечения согласованности между результирующим моделированием и исходной абстрактной моделью.

Модельно-управляемая инженерия (Model-Driven Engineering – MDE) [2] была предложена в качестве способа преодоления таких ограничений моделирования. При разработке на основе моделей исследователи в основном уточняют свои модели, используя модели, совместимые с четко определенными языками моделирования (Modeling Languages – MLs). Эти модели объединяются и уточняются (добавляя новую информацию или модифицируя ее) до тех пор, пока не становится возможным генерировать из них код. Преобразования автоматизируют некоторые повторяющиеся модификации моделей, кода и других связанных с ними артефактов. Вся информация, необходимая для создания симуляции, представляется в явном виде, что облегчает проверку артефактов с помощью теорий и перекрестную проверку среди экспериментов. Одна и та же теоретическая модель поведения объектов может быть основой для моделирования на разных платформах, различные модели транспортных потоков в городе могут быть сопоставлены с реализациями на одной и той же платформе, и все они могут быть повторно использованы и проверены в разных проектах, если они сохраняют одну и ту же теоретическую основу или инфраструктуру моделирования.

В зарубежной литературе активно предлагается и анализируется структура MDE для разработки имитационных моделей ИТС. Эта структура включает в себя: ML для своих экспертов; редактор моделей и инструменты генератора кода; рекомендации по применению этих элементов. Все рассматриваемые фреймворки используют подходы MDE, а все их MLs следуют агентной парадигме [2, 3]. Рассматриваемый метод эмерджентного моделирования продемонстрировал свои неоспоримые положительные результаты, при этом необходимо учитывать сохраняющиеся возможные риски и проблемы. Во-первых, метамодель должна быть обогащена дополнительными примитивами, при этом примитивы для представления порядка задач или предпочтений недоступны. В частности, спецификация деталей транспортного средства и их действий невозможна в силу индивидуальности объекта, дорожной ситуации, поведения водителя и других субъективных факторов [8]. Во-вторых, определенные ограничения на модель, в частности, в количестве экземпляров класса, отношениях наследования или значениях атрибутов, не могут быть выражены. Использование языка ограничений [7] могло бы уменьшить неопределенность без необходимости прибегать к коду. В-третьих, необходимо расширить руководящие принципы развития, которые указывают на возможное упорядочение шагов и оставляют для определения метамодели указания на то, как идентифицировать различные концепции моделирования. Идентификационные подсказки также должны быть перенесены в спецификацию процесса. В-четвертых, для подтверждения правильности выбранной структуры требуются дополнительные эксперименты. Современные исследования ограничены по количеству, типам моделируемых объектов и рассматриваемым моделирующим инфраструктурам, что свидетельствует о необходимости продолжать эксперименты в данной области.

Список литературы

- 1 **Axtell, R.** Agent-based modeling: Understanding our creations / R. Axtell, J. Epstein // The Bulletin of the Santa Fe Institute. – 1994. – Vol. 9. – No. 4. – P. 28–32.
- 2 **Bézivin, J.** Model driven engineering: An emerging technical space / J. Bézivin // International Summer School on Generative and Transformational Techniques in Software Engineering. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. – P. 36–64.

- 3 Understanding smart cities: An integrative framework / H. Chourabi [et al.] // 45th Hawaii international conference on system sciences. – IEEE, 2012. – P. 2289–2297.
- 4 Towards the development of intelligent transportation systems / L. Figueiredo [et al.] // ITSC 2001. 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems. Proceedings. – IEEE, 2001. – P. 1206–1211.
- 5 **Harrison, C.** A Theory of Smart Cities / C. Harrison, I. A. Donnelly // In Proceedings of the 55th Annual Meeting of the International Society for the Systems Sciences (ISSS 2011). – Hull, UK. – P. 1–15.
- 6 **Klein, L. A.** Sensor Technologies and Data Requirements for ITS / L. A. Klein. – Artech House Publishers Norwood, MA, USA. – 2001. – 549 p.
- 7 Object Management Group. Object Constraint Language, Object Management Group [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access : <http://www.omg.org/>. – Date of access : 28.08.2020.
- 8 Tokyo virtual living lab: Designing smart cities based on the 3D-internet / H. Prendinger [et al.] // IEEE Internet Computing. – 2013. – Vol. 17. – No. 6. – P. 30–38.
- 9 **Pursula, M.** Simulation of traffic systems-an overview / M. Pursula // Journal of geographic information and decision analysis. – 1999. – Vol. 3. – No. 1. – P. 1–8.
- 10 **Tewolde, G. S.** Sensor and network technology for intelligent transportation systems / G. S. Tewolde // 2012 IEEE International Conference on Electro/Information Technology. – IEEE, 2012. – P. 1–7.
- 11 **Сундукова, Т. О.** Эмерджентное моделирование и математическое образование XXI века / Т. О. Сундукова, Г. В. Ванькина, Г. Н. Колесников // Вопросы теории и практики инновационного развития науки и образования. – 2018. – С. 44–51.

УДК 621.891

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФРИКЦИОННОЙ ПАРЫ ТОРМОЗНОГО МЕХАНИЗМА С РАВНОМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ

Э. С. ВЕЛИЗАДЕ

Азербайджанский технический университет, г. Баку

Одним из важнейших узлов, определяющих безопасность, надежность и долговечность колесных машин является фрикционная пара «барабан-накладка» тормозного механизма. Эффективность работы многих типов фрикционных пар тормозного механизма в значительной степени зависит от температуры трущихся элементов. Трущаяся пара «барабан-накладка» грузового автомобиля работает в условиях сложного напряженного состояния. Для управления процессами трения и изнашивания в паре трения «барабан-накладка» тормозного механизма необходимо исследование разрушения материала при трении, вызванного контактным действием температуры и температурного градиента. Тепловым разрушением при разработке пары трения тормозного механизма автомобиля на стадии проектирования можно управлять [1–3] конструкторско-технологическими методами, в частности геометрией поверхности трения. Решение таких задач механики по построению микрогеометрии трибосопряжения будет способствовать уменьшению теплонапряженности и износа.

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние фрикционной накладке при торможении. При многократном повторно-кратковременном режиме торможения происходит взаимодействие между контактирующими поверхностями, возникают силы трения, приводящие к изнашиванию материалов сопряжения. Для определения контактного давления необходимо рассмотреть износоконтактную задачу о вдавлении накладки в поверхность тормозного барабана [4].

Проведем теоретический анализ по определению микрогеометрии поверхности трения, которая обеспечивала бы распределение температуры трущейся поверхности близкое к равномерному. Таким образом, выбором микрогеометрии поверхности трения добьемся снижения температуры.

В качестве управляющих переменных используем параметры микрогеометрии поверхности трения. В качестве математической модели принимаем дифференциальные уравнения термоупругости с соответствующими граничными условиями, которым должны удовлетворять компоненты тензора напряжений и вектора перемещений в накладке и тормозном барабане, а также кинетическое уравнение абразивного износа материалов накладки и барабана.

Считается, что к внутренней поверхности барабана прижимается накладка с другими механическими характеристиками. Область контакта занимает всю ширину накладки и не меняется в процессе торможения. Предполагаем, что выполняются условия плоской деформации. Отнесем накладку к полярной системе координат $r\theta$ и представим неизвестную границу наружного контура накладки в виде