

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАТУРНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И КОМПЛЕКСОВ

Б.Б. Косицын

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1

E-mail: kositsyn_b@bmstu.ru

Н.В. Бузунов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1

E-mail: buzunovnv@bmstu.ru

К.Б. Евсеев

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1

E-mail: kb_evseev@bmstu.ru

Ключевые слова: Метод натурно-математического моделирования, режимы нагружения, недетерминированные нагрузочные режимы.

Аннотация: В настоящее время с развитием робототехники и электронных систем управления при разработке дистанционно управляемых или беспилотных наземных транспортно-технологических средств и комплексов, а также их систем управления широко применяется метод натурно-математического моделирования, позволяющий имитировать движение транспортных средств в режиме «реального времени» для решения широкого спектра задач. Наиболее полную оценку показателей эксплуатационных свойств роботизированных наземных транспортно-технологических средств и комплексов возможно провести с помощью объёмных натуральных испытаний, однако на этапе проектирования, очевидно, такая возможность отсутствует. В этом случае эффективным является применение метода натурно-математического моделирования. В статье рассматривается классификация комплексов натурно-математического моделирования, приводится описание разработанного комплекса и приводится описание его возможностей и решаемых задач.

1. Введение

Метод натурно-математического моделирования (НММ) основан на совместном применении физического и математического моделирования функционирования системы «человек-машина-среда». Исследования гусеничных и колёсных машин эффективно проводить на комплексах натурно-математического моделирования (КНММ), в которых динамические процессы, протекающие в узлах и системах шасси,

моделируются математически, а режимы работы задаются человеком-оператором, имитирующим действия водителя. Для повышения достоверности и выявления особенностей работы реальных технических систем в модель могут быть включены отдельные натурные приборы и устройства исследуемого объекта.

Основной особенностью применения рассматриваемого метода является участие человека (водителя-оператора) или дискретной системы управления при движении транспортного средства или робота во внешней среде, что позволяет исследовать режимы нагружения машины и ее узлов, проводить обучение водителей-операторов, синтезировать автоматические системы управления и проводить анализ их реакции на изменение внешних условий движения, приближенных к реальной эксплуатации, таких как внезапное появление препятствия, изменение в свойствах опорной поверхности и других. В случае разработки системы управления дистанционно управляемых роботизированных машин используемый комплекс натурно-математического моделирования должен иметь возможность воздействовать на органы чувств человека, например, применение графического интерфейса и экрана позволит обеспечить водителя визуальной информацией об условиях движения, использование динамических платформ симулирует влияние на вестибулярный аппарат и другие.

2. Структура комплекса натурно-математического моделирования

В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан подобный комплекс натурно-математического моделирования, предназначенный для исследования нагруженности элементов трансмиссий колесных и гусеничных машин, анализа взаимодействия транспортного средства, водителя и внешней среды, а также исследования подвижности транспортных средств [1-3].

Комплекс включает следующие аппаратные части (рис. 1):

- ЭВМ, на которой в режиме «реального времени» выполняется специально разработанная имитационная модель динамики транспортного средства. Динамика машины рассматривается как движение твёрдого тела в горизонтальной плоскости по ровной плотной опорной поверхности [4]. В модели учтено перераспределение нормальных реакций под колёсами/катками от действия внешних сил. Взаимодействие движителя с опорной поверхностью в плоскости опорного основания описывается при помощи подхода, основанного на представлении об «эллипсе трения» [5];
- органы управления, служащие для передачи управляющих воздействий от водителя-оператора к имитационной модели, а также для реализации силовой обратной связи на руле;
- дисплей с графическим изображением внешней среды и интерфейсом.

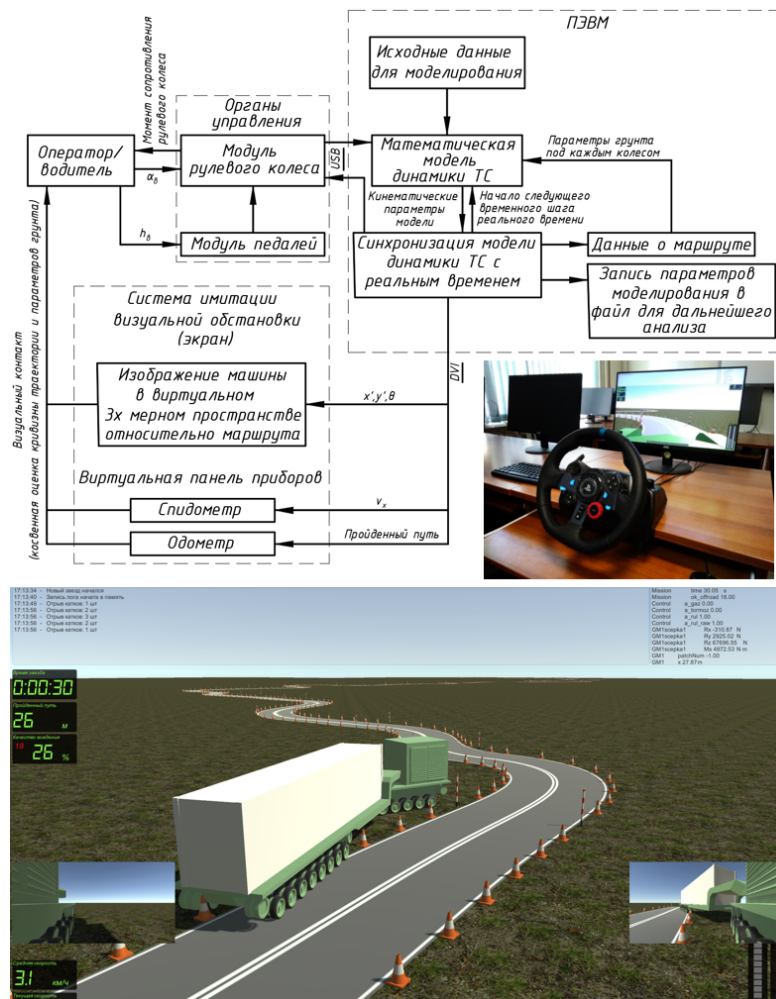


Рис. 1. Структурная схема, общий вид рабочего места и графический интерфейс комплекса натурно-математического моделирования.

Графическая информация, отображаемая на дисплее, позволяет водителю-оператору косвенно оценивать кривизну предстоящего поворота, условия движения, тип опорного основания, как это делает водитель реальной машины или дистанционно управляемого робота. Также оператор получает информацию о текущих параметрах движения: мгновенная и средняя скорость, пройденный путь и другие.

Характерной особенностью разработанного комплекса натурно-математического моделирования является имитация движения в специально «разыгранных» дорожных условиях, с целью обеспечения высокой достоверности получаемых нагрузочных режимов и реакции системы управления на изменение внешней среды. Типовые трассы для виртуальных испытаний создаются на основе статистических данных о дорожной кривизне, максимальном коэффициенте взаимодействия движителя с опорной поверхностью, коэффициенте сопротивления движению [6].

3. Классификация комплексов натурно-математического моделирования

КНММ позволяют решать задачи, которые, применительно к транспортным машинам, целесообразно разделить на три группы:

- подготовка водителей-операторов и других членов экипажа;
- тестирование агрегатов и систем управления транспортных машин;

- развитие теоретических и практических знаний, связанных с разработкой и эксплуатацией транспортных машин.

В соответствии с представленными задачами предлагается разделять моделирующие комплексы реального времени по назначению следующим образом: тренажёрно-обучающие системы, стенды натурно-математического моделирования и исследовательские комплексы натурно-математического моделирования.

Тренажёрно-обучающие системы предназначены для формирования навыков вождения, проведения технологических операций и т.д. В настоящее время тренажеры широко применяются для обучения водителей вождению транспортных средств. Такой подход широко распространен в авиации для подготовки пилотов. Также распространение получили тренажёрно-обучающие системы для тренировки и подготовки водителей-операторов для обучения вождению наземными безрельсовыми транспортными средствами, позволяющие обеспечить безопасное обучение водителей без существенных ресурсных затрат (топливо, амортизация материально-технической базы и т.д.).

При создании тренажерно-обучающих систем большое внимание уделяют соответствию органов управления и панели приборов реальным (рис. 2). Эти узлы тренажёра часто изготавливаются на основе деталей серийной машины и могут быть единственными натурными элементами обучающей системы (существующими не в виде математической модели).

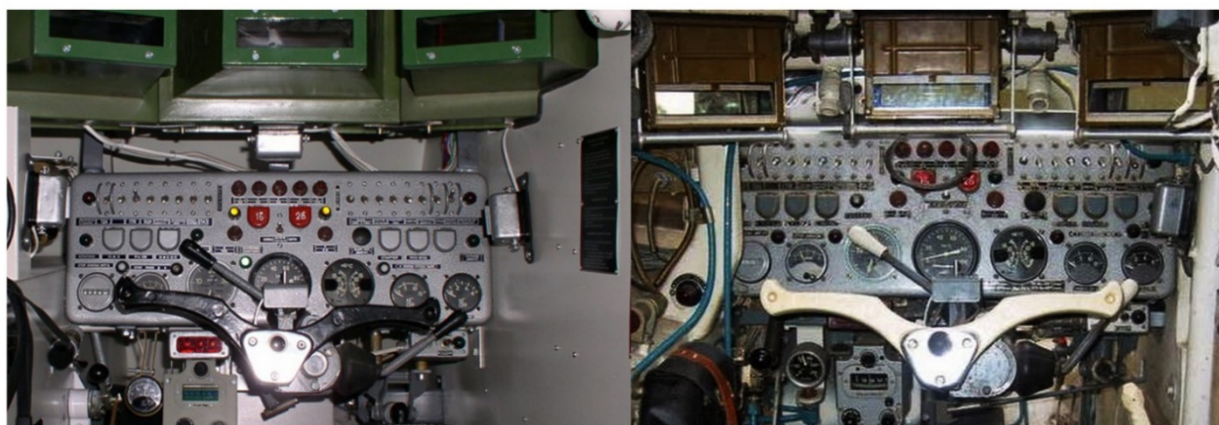


Рис. 2. Внешний вид панели приборов тренажёра механиков-водителей (слева) и серийной БМП-2 (справа).

Кроме этого, считается важным правдоподобие имитации движения («эффект присутствия»), поэтому тренажёры могут оснащаться устройствами, предназначенными для воздействия на органы чувств человека (зрение, слух, вестибулярный аппарат).

Стенды натурно-математического моделирования находят все более широкое распространение при испытаниях агрегатов и систем управления транспортными машинами. Здесь подразумевается широкий спектр задач, решаемый с помощью НН-тестов (Hardware in the loop simulation – моделирование с натурными агрегатами). Суть данного подхода заключается в применении математического моделирования на всех этапах разработки изделия, причем, чем ближе разработка к внедрению, тем больше устройств физически присутствуют в комплексе моделирования и тем меньше его виртуальная часть. Подразумевается, что лишь самые ранние тесты могут проводиться внутри компьютерной среды имитационного моделирования (MiL – Model in the loop), основная же часть исследований должна осуществляться в реальном времени и на

аппаратной платформе (на электронных блоках управления, микроконтроллерах) готовящихся к выпуску машин.

В редких случаях, с целью учёта человеческого фактора, в состав стендов натурно-математического моделирования могут включать органы управления и водителя-оператора (driver-in-the-loop). При этом водитель получает информацию о заезде в довольно упрощённом, абстрактном виде, без попытки достичь эффекта присутствия.

В колесных машинах HiL-тесты часто используются для отработки мехатронных систем: системы стабилизации в повороте, контроля за вредными выбросами и построения карты экономичности двигателя, отработки системы управления трансмиссией электрических и гибридных транспортных средств, испытаний антиблокировочных систем и т.д.

Исследовательские комплексы натурно-математического моделирования предназначены для изучения процессов, происходящих при различных режимах движения транспортных машин, влияние на эти процессы человека и их влияние на человека. В последние годы крупные производители транспортных средств предприняли значительные усилия по строительству сложных и громоздких симуляторов вождения, например, исследовательский комплекс, приведенный на рис. 3.



Рис. 3. Исследовательский комплекс натурно-математического моделирования DAIMLER MTC-DRIVING SIMULATOR [7].

Существуют гораздо более простые и компактные решения, не требующие для своего размещения специальных помещений, однако пригодные как для исследовательских, так и для развлекательных целей.

Значительная часть исследований, проводимых с помощью симуляторов вождения, связана с анализом поведения водителей, то есть объектом исследования является человек.

Другим применением комплексов натурно-математического моделирования являются лабораторные исследования режимов нагружения шасси и трансмиссий транспортных средств в условиях, максимально приближенным к эксплуатационным, с учетом влияния эргономических факторов и технических характеристик агрегатов. Так как полученные результаты существенно зависят от действий водителя-оператора в исследовательских симуляторах вождения уделяется большое внимание моделированию внешней среды, причём не только для достоверности условий нагружения элементов исследуемой машины, но и для обеспечения «эффекта присутствия» оператора.

Обобщая сказанное, составим таблицу, в которой приведена классификация моделирующих комплексов реального времени по назначению (табл. 1).

Таблица 1. Классификация комплексов натурно-математического моделирования по назначению.

| Ключевые особенности | Тренажёрно-обучающие системы | Стенды натурно-математического моделирования | Исследовательские комплексы натурно-математического моделирования |
|--|------------------------------|--|---|
| Наличие компьютерной имитационной модели реального времени | обязательно | обязательно | обязательно |
| Участие водителя-оператора | обязательно | иногда | обязательно |
| Наличие натуральных элементов транспортного средства | только панель приборов | обязательно | иногда |
| Подробность имитации внешних условий | высокая | низкая | высокая |

4. Заключение

Разработанный комплекс натурно-математического моделирования имеет широкий спектр применения и позволяет решать ряд научно-исследовательских задач, связанных с роботизированными транспортными средствами, такие как:

- исследование быстроходности роботов и транспортных машин (определение удельной мощности, необходимой для обеспечения заданной средней скорости и подобные задачи);
- получение нагрузочных режимов элементов трансмиссии;
- отладка алгоритмов управления системами роботов и транспортных машин (системы дистанционного управления, системы стабилизации, системы управления трансмиссией, торможением, поворотом и т.д.)
- изучение взаимодействия водителя транспортной машины или оператора робота с органами управления (прямая и обратная связь);
- обучение водителей транспортных средств или операторов роботов, а также исследование психофизиологических аспектов управления машинами и другие.

Список литературы

1. Косицын Б.Б., Котиев Г.О., Мирошниченко А.В., Падалкин Б.В., Стадухин А.А. Определение характеристик трансмиссий колёсных и гусеничных машин с индивидуальным электроприводом ведущих колёс // Труды НАМИ. 2019. № 3 (278). С. 22-35.
2. Евсеев К.Б., Косицын Б.Б., Котиев Г.О., Стадухин А.А. К вопросу оценки управляемости гусеничных поездов на этапе проектирования с использованием комплекса натурно-математического моделирования // Труды НАМИ. 2022. № 1 (288). С. 35-51.
3. Евсеев К.Б. Математическая модель движения гусеничного поезда для внедорожных контейнерных перевозок // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 5. С. 18-29. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-5-18-29.
4. Котиев Г.О., Чернышев Н.В., Горелов В.А. Математическая модель криволинейного движения автомобиля с колесной формулой 8x8 при различных способах управления поворотом // Журнал автомобильных инженеров. 2009. № 2. С. 34-39.
5. Рождественский Ю.Л., Машков К.Ю. О формировании реакций при качении упругого колеса по недеформируемому основанию // Труды МВТУ. 1982. № 390. С. 56-64.
6. Косицын Б.Б., Мирошниченко А.В., Стадухин А.А. Моделирование реализаций случайных функций характеристик дорожно-грунтовых условий при исследовании динамики колесных и гусеничных машин на этапе проектирования // Известия МГТУ «МАМИ». 2019. №3 (41). С. 36-46.
7. Hahlbrock GmbH Faserverstärkte Kunststoffe.
http://www.hahlbrock.de/fvk/en/projekte/forschungsanlagen/daimler_fahrsimulator_und_en.php (дата обращения: 08.01.2024).