

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ**

УДК 621.878.2

**КОМПЬЮТЕРНОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН**

**И.Г. Кириченко, проф., д.т.н.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

*Аннотация.* Рассмотрены основные положения физического и компьютерного моделирования и определены зоны эффективного использования этих методов изучения технических объектов на стадии проектирования и подготовки производства строительных и дорожных машин.

*Ключевые слова:* компьютерное моделирование, модель, машина, объект.

**КОМП'ЮТЕРНЕ ТА ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
БУДІВЕЛЬНИХ І ДОРОЖНИХ МАШИН**

**І.Г. Кириченко, проф., д.т.н.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

*Анотація.* Розглянуто основні положення фізичного та комп'ютерного моделювання і визначено зони ефективного використання цих методів вивчення технічних об'єктів під час проектування та підготовки виробництва будівельних і дорожніх машин.

*Ключові слова:* комп'ютерне моделювання, модель, машина, об'єкт.

**COMPUTER AND PHYSICAL SIMULATION OF CONSTRUCTION AND ROAD  
MACHINES**

**I. Kyrychenko, Prof., Dr., Eng. Sc.,  
Kharkiv National Automobile and Highway University**

*Abstract.* Main principles of physical and computer simulation have been considered. Zones of efficient employment of the methods to study technical objects at the stage of design and preparation for manufacturing construction and road machines have been determined.

*Key words:* computer simulation, model, machine, object.

**Введение**

Создание сложных технических объектов, к которым относятся строительные и дорожные машины, сопровождается проведением значительного объема промежуточных экспериментальных исследований с последующими испытаниями готового изделия. Чем больше объем этих опытно-конструкторских исследований, тем меньше ошибок и недочетов в новом образце машины. Значительная роль в проведении таких исследований отво-

дится моделированию как методу исследования и изучения технических объектов и систем.

**Анализ публикаций**

Начиная с 60-х годов прошлого столетия сформировалось научное направление, в основу которого было заложено физическое моделирование рабочих процессов землеройных машин. Родоначальником этого направления является профессор В.И. Балов-

нев, под руководством которого был выполнен огромный объем экспериментальных работ на физических моделях землеройных машин, разработаны критерии подобия рабочих органов и методы формирования моделей разрабатываемого грунта. Теория физического моделирования рабочих процессов и в настоящее время эффективно применяется при поиске новых технических решений рабочих органов землеройных и землеройно-транспортных машин. В Украине это направление возглавляет профессор Л.А. Хмара, под руководством которого выполняются глубокие экспериментальные исследования в грунтовом канале Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. Эффективно используются грунтовые каналы при исследовании рабочих процессов в вузовских лабораториях Харькова, Ровно, Макеевки и других исследовательских центров, занимающихся решением подобных задач.

Развитие вычислительных средств и компьютерно-интегрированных технологий привело к созданию программных продуктов, позволяющих выполнять цифровое моделирование технических объектов и физических моделей. Вполне закономерно возникает вопрос о сочетании и противоборстве этих методов получения новых знаний при анализе рабочих процессов и конструктивного совершенствования строительных и дорожных машин.

### **Цель и постановка задачи**

Целью работы является определение эффективности методов моделирования на современном этапе развития научных исследований в машиностроении, а также установление возможности компьютерного моделирования и его места в комплексных исследованиях при проектировании и эксплуатации строительных и дорожных машин.

### **Компьютерное моделирование**

На механическом факультете ХНАДУ выполняется комплексная тема: «Совершенствование конструктивного исполнения модульных технологических машин и исследование их рабочих процессов методами компьютерного моделирования». Разработкой этой комплексной темы занимаются четыре кафедры факультета. Базовой является

кафедра строительных и дорожных машин, на которой формируется тематика научных исследований, генерируются новые технические решения, проводятся необходимые сравнительные испытания и исследования на физических моделях, стендах и натуральных образцах машин. Кафедра инженерной и компьютерной графики вносит существенный вклад в разработку методов графического и геометрического моделирования деталей, узлов, агрегатов, металлоконструкций рабочих органов, а также в создание 3D-моделей машин. Кафедра автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий осуществляет научное сопровождение в области автоматизации систем проектирования и управления исполнительными механизмами проектируемых машин, как на уровне реальных технических объектов, так и их физических и компьютерных моделей. Кафедра метрологии обеспечивает создание современных информационно-измерительных и диагностических систем, предназначенных для проведения экспериментальных исследований машин на полигоне механического факультета, а также разрабатывает новые системы регистрации и обработки внешних сигналов с целью получения оптимальных управляющих воздействий на базе нейронных технологий. Основная задача этих исследований заключается в подготовке средств и методов работы компьютерно-интегрированных систем, обеспечивающих реальную помощь оператору машины, за счёт автоматизации и интеллектуализации управления (рис. 1).

Графическое моделирование предназначено для визуального восприятия проектируемого объекта. При этом соблюдаются размеры и пропорции машины и её отдельных элементов. Наиболее эффективно с помощью графических 3D-моделей решаются дизайнерские задачи. Эти модели позволяют анализировать и конструктивное исполнение машин. Графическое моделирование позволяет определить массу каждого изделия, входящего в состав машины, а также совокупности всех её элементов. Точное графическое моделирование исключает необходимость экспериментального определения положения центра масс проектируемой машины и позволяет корректировать этот параметр ещё на стадии выполнения компоновочных решений. 3D-модели позволяют определять не только продольное, но поперечное смещение центра



Рис. 1. Структурная схема управления технологической машиной

масс – это, весьма характерно для таких машин как трубоукладчики, автогрейдеры и др. Геометрические модели – это, по сути, чертёжно-конструкторские документы, на которых условными изображениями показаны свойства деталей, узлов и машины в целом.

Так, например, сварные соединения показаны как по размерам, так и по технологии их выполнения, однако физические основы соединения деталей сваркой при этом не моделируются. Поэтому дальнейшие расчёты на прочность будут выполняться как для однородной металлоконструкции, что приведет к искажению реальных прочностных свойств. На базе геометрического моделирования могут быть выполнены расчёты технологического характера, которые позволяют анализировать закономерности формирования себестоимости машины на стадии проектирования и подготовки производства. Для этого должны быть установлены корреляционные зависимости между массой и стоимостью изделия, способом механической обработки и стоимостью и т.п. При необходимости более точного определения стоимостных характеристик следует иметь независимый программный модуль технологического моделирования. Геометрическое моделирование является первым этапом создания полномасштабной 3D модели, обладающей всеми необходимыми физическими или только кинематическими свойствами.

Информационное компьютерное моделирование – это прежде всего базы данных, предназначенные для хранения любой техниче-

ской информации, как в виде чертежей, так и формул, технических характеристик машин, их технико-экономических показателей и других справочных данных. Информационная компьютерная модель строится под конкретного потребителя; в противном случае она становится громоздкой и сложной в использовании. Информационная компьютерная модель обязательно должна содержать путеводитель и инструкцию по эксплуатации, с помощью которых конструктор может в кратчайшие сроки получить ответы на интересующие его вопросы. Другими словами, информационные компьютерные модели должны создаваться самими конструкторами и обеспечивать фактор преемственности. Иногда как отдельный вид моделирования выделяют так называемое статистическое или эконометрическое моделирование, имея в виду построение регрессионных моделей по известным статистическим данным. На наш взгляд, построение регрессионных зависимостей, как и другие формы представления статистических данных, имеет прямое отношение к информационному компьютерному моделированию. На рис. 2 показаны примеры использования регрессионных моделей для определения технического уровня машин и одного из основных показателей – энергоёмкости.

Кинематическое компьютерное моделирование обеспечивает воспроизведение всех закономерностей перемещения рабочего оборудования и самой машины в пространстве без учёта деформаций и упругих свойств отдельных элементов.

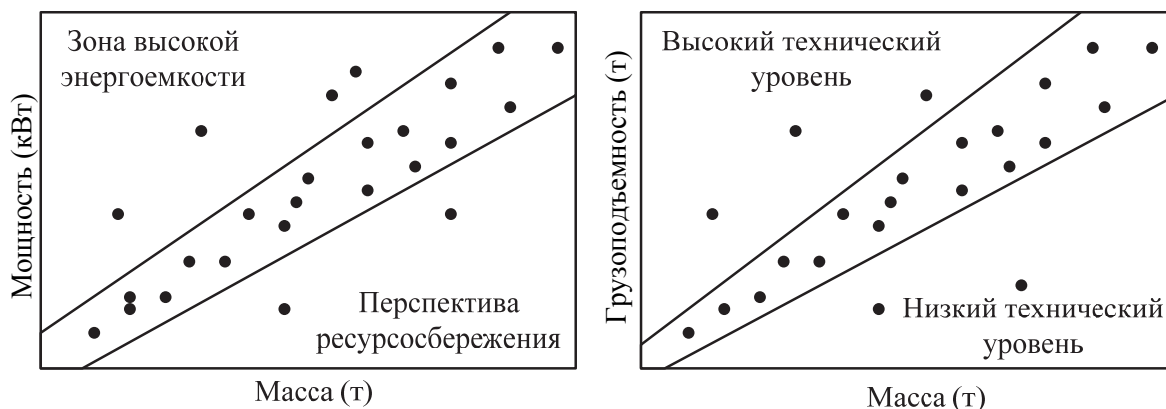


Рис. 2. Примеры моделирования технико-экономических показателей

При этом устанавливаются закономерности наиболее характерных точек объекта, таких как сопряжения подвижных элементов рабочего оборудования, режущих элементов землеройных машин и т.п. Закономерности траекторного перемещения, в зависимости от конструктивного исполнения приводов управления, могут быть получены для любой точки машины. Этот вид моделирования упрощает расчёты и построения, связанные с определением параметров маневренности, профильной или геометрической проходимости, размеров зоны обслуживания. Определение параметров маневренности представляет наибольший интерес при проектировании грузоподъёмных машин на многоосных шасси автомобильного типа, шарнирно-сочленённых машин, машин с прицепным и полуприцепным технологическим оборудованием.

Введем понятие «физическое компьютерное моделирование». На первый взгляд может показаться, что существует некоторое терминологическое несоответствие. Может ли быть компьютерное моделирование физическим? По мнению автора, такого противоречия нет. Физическое и компьютерное моделирование не носит альтернативного характера, поскольку в большинстве программных продуктов физическая сторона вопроса уже нашла своё отражение. Для пользователя с образованием инженера-механика физическая сторона программных средств представляется в виде «чёрного ящика». Поэтому очень важно убедиться в том, что явления, изучаемые на компьютерных моделях, полностью или частично соответствуют реальным результатам, полученным на натуральных образцах машин. Опыт построения и испы-

таний «физических» компьютерных моделей показал, что с их помощью достаточно хорошо моделируются такие процессы как изменение статических нагрузок при перемещении рабочих органов (на примере фронтальных погрузчиков и автогрейдеров). Исследовались также динамические нагрузки ходового оборудования для транспортных режимов пневмоколёсных машин. Такие исследования были проведены с участием магистров Е.Ю. Уминского, Ю.А. Стельмашенко (автогрейдер в пакете «универсальный механизм»), С.Н. Удовиченко (автогрейдер – Autodesk Inventor), А.И. Москаленко, А.С. Оболенского (погрузчик – Autodesk Inventor), М.М. Безсонова, С.А. Ковальского (скрепер – Autodesk Inventor). Удалось смоделировать удар машины рабочим органом в непреодолимое препятствие, а также упор с полным буксованием двигателей и воздействие этих силовых факторов на металлоконструкции машин. Не моделируются процессы взаимодействия с грунтами режущих органов землеройных машин, а также процессы заполнения ковшей и перемещения грунтов перед отвальными рабочими органами.

### Выводы

Компьютерное моделирование является мощным инструментом исследования рабочих процессов строительных и дорожных машин, требующим своего дальнейшего развития и совершенствования. На современном этапе исследования процессов взаимодействия рабочих органов землеройных и землеройно-транспортных машин с грунтом целесообразно использовать достоверные данные, полученные в грунтовых каналах и

на натуральных образцах машин, и с их помощью создавать компьютерно-интегрированные комплексы, предназначенные для расчётов на стадии проектирования и подготовки производства строительных и дорожных машин.

### Литература

1. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. / В.И. Баловнев. – М.: Высш. школа, 1981. – 335 с.
2. Solid-Works. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов и др. – С.Пб.: БХВ – Петербург, 2005. – 800 с.
3. Кириченко И.Г. Особенности компьютерного моделирования операций функционально-технологического анализа / И.Г. Кириченко // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. – 2010. – Вып. 57. – С. 19–21.
4. Кириченко И.Г. Сервисная технологичность и компоновка дорожных машин по модульному принципу. / И.Г. Кириченко, Н.С. Севрюгина // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2013. – Вып. 63. – С. 18–22.
5. Черніков О.В. Комп'ютерне моделювання та аналіз кінематичних особливостей робочого обладнання фронтального навантажувача / О.В. Черніков, І.Г. Кириченко, А.І. Москаленко // Прикл. геометрія та інженерна графіка. – 2010. – Вип. 86. – С. 107–111.
6. Хмара Л.А. Актуальные направления научных исследований в области совершенствования землеройной, строительной и дорожной техники. / Л.А. Хмара // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. – 2004. – Вып. 26. – С. 5–18.

Рецензент: Е.С. Венцель, профессор, д.т.н, ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 12 мая 2014 г.

---