

МОДЕЛИРОВАНИЕ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОТ ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ДО ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ КАК КЛЮЧЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ И УСКОРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ

А.С. Стрюкова¹, А.В. Полуэктов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье показано, как компьютерное моделирование меняет автомобильную промышленность. Сегодня такие технологии, как многофизическое моделирование и цифровые двойники, – это уже не просто вспомогательные инструменты, а ключевой способ создавать инновации. Их комплексное применение позволяет значительно сократить время и расходы на разработку новых автомобилей. Необходимость в этом продиктована современными вызовами: глобальной конкуренцией, строгими экологическими нормами и развитием автономного транспорта. На основе анализа отраслевых практик и научных публикаций в работе определены главные направления использования моделирования, описаны перспективные тренды и доказана их экономическая эффективность для автопроизводителей.

Ключевые слова: моделирование систем, автомобильная промышленность, цифровой двойник, виртуальные испытания.

MODELING IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY: FROM VIRTUAL TRIALS TO DIGITAL DOUBLES AS A KEY TOOL TO REDUCE COSTS AND ACCELERATE INNOVATION

A.S. Stryukova¹, A.V. Poluektov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov

Abstract. The article shows how computer modeling is changing the automotive industry. Today, technologies such as multiphysical modeling and digital twins are no longer just auxiliary tools, but a key way to create innovations. Their comprehensive application significantly reduces the time and cost of developing new cars. The need for this is dictated by modern challenges: global competition, strict environmental regulations and the development of autonomous transport. Based on the

analysis of industry practices and scientific publications, the paper identifies the main areas of use of modeling, describes promising trends and proves their economic effectiveness for automakers.

Keywords: modeling of systems, automotive industry, digital twin, virtual tests.

Современный автомобиль – это уже не просто механическое устройство. Под влиянием трендов, объединенных аббревиатурой CASE (электрификация, автономность, связность и сервисные модели), он превратился в сложный компьютер на колесах. В такой машине механика, электроника и миллионы строк кода работают как одно целое. Создавать их старыми способами – путем многократных переделок дорогих железных прототипов – стало слишком долго и дорого.

Чтобы справиться с этой сложностью, инженеры уже давно используют компьютерные модели. Существуют проверенные программы для расчета прочности деталей (FEA), обтекаемости воздуха (CFD) и поведения подвески (MBD). Многочисленные исследования и примеры из промышленности подтверждают, что эти инструменты отлично работают по отдельности.

Однако сегодня самой большой задачей становится не просто использовать эти модели, а заставить их «общаться» друг с другом. Следует разработать систему, в которой можно было бы соединить разрозненные расчеты, разработанные различными инженерами в единую цифровую цепочку, которая бы сопровождала автомобиль от чертежа до утилизации. Данный подход получил название «цифровой двойник».

Рассмотрим более подробно становление и переход к «цифровому двойнику», но при этом следует учесть, что без понимания истории невозможно понять введение новшеств.

Как развивалось моделирование в автопроме

Эволюцию моделирования в автомобильной промышленности можно представить как путь от простых задачек к целой цифровой вселенной. Раньше инженеры моделировали что-то одно, какую-нибудь отдельную деталь. А сегодня они строят целые взаимосвязанные миры, где тестируется весь автомобиль – от маленького винтика до ИИ, который им управляет. Этот путь проходит через несколько ключевых этапов. Давайте разберём их.

Первый этап: детали и их геометрия (CAD/CAE)

На этом этапе инженеры работают с программами как с виртуальными конструкторами. Они смотрят, выдержит ли деталь нагрузку (это называется FEA-анализ), или моделируют потоки воздуха вокруг кузова и внутри двигателя (CFD). Всё это – фундамент, основа для будущей концепции машины. Без него дальнейшая работа просто невозможна. Здесь оптимизируют форму, убирают лишний вес (и у кузова, и у отдельных деталей), предотвращают возможные поломки – и при этом не тратят ни грамма металла на реальную обработку. Но есть проблема. Автомобиль – это не набор деталей, а сложный механизм, где всё должно работать вместе, согласованно.

Второй этап: системы и агрегаты

На следующем этапе моделируют уже целые системы и их взаимодействие. Для этого есть специальные программы – например, Modelica или Simulink. Они позволяют создавать виртуальные копии тормозной системы, гибридной трансмиссии и так далее. Такой подход даёт возможность увидеть, как сотни компонентов ведут себя вместе: как давление в тормозной магистрали реагирует на сигнал датчика, или как бензиновый двигатель и электромотор делят нагрузку. По сути, инженеры собирают и отлаживают сложные системы на компьютере. Это экономит месяцы на изготовлении и испытаниях реальных образцов.

Третий этап: электроника, алгоритмы и цифровой двойник

Разработка «железа» – не самое сложное. Дальше идёт создание электронной начинки. Это алгоритмы автопилота и систем помощи водителю (ADAS). Тут уже моделируют и мехатронику, и софт. Сначала алгоритмы «учат» ездить в идеальной виртуальной среде. А потом проверяют, как тот же код поведёт себя на реальном автомобильном процессоре.

Вершина всей этой эволюции – «цифровой двойник». В отличие от старых моделей, которые были просто наборами чертежей и алгоритмов, цифровой двойник – это живая, динамическая копия конкретной машины. Он постоянно получает данные с датчиков реального автомобиля и подстраивается в реальном времени. Это позволяет не просто разбирать уже случившиеся поломки, а предсказывать будущее. Например, понять, что через 500 километров потребуется заменить какой-то подшипник. Так что цифровой двойник – это уже не просто

инструмент для разработчиков, а основа для новых бизнес-моделей: прогнозного обслуживания и персонализированного сервиса.

Что даёт переход к сквозному цифровому моделированию

Переход на сквозное цифровое моделирование – это не просто замена одних инструментов на другие. Это стратегическое решение, которое даёт реальные и очень весомые плюсы. Эффект чувствуется на всех этапах жизненного цикла. И измеряется он в сэкономленных деньгах, времени и даже в снижении вреда для экологии.

Меньше физических прототипов. Раньше инженеры делали десятки, а порой до 70 физических прототипов, чтобы проверить каждую доработку. Это были колоссальные траты на материалы, работу и перевозки. Сейчас благодаря комплексным симуляциям ведущие автопроизводители сократили число «железных» макетов до 10–15 за цикл. Представьте, сколько ресурсов освобождается, когда большинство проверок можно сделать на компьютере, не выходя из офиса.

Быстрее выход на рынок. Когда проектирование двигателя, подвески, электроники ведётся параллельно в одной виртуальной среде, исчезает куча бюрократических и логистических задержек. Но главный ускоритель – сами испытания. Полноценный виртуальный краш-тест выполняется за несколько часов и позволяет прогнать десятки сценариев. А подготовка и проведение одного реального краш-теста занимают месяцы. В условиях, когда каждый месяц задержки на рынке – это потеря конкурентного преимущества, сокращение сроков разработки на 20–40% становится решающим фактором.

Выше качество и безопасность. Цифровые инструменты позволяют тестировать по-настоящему досконально. Можно «прогнать» автомобиль через миллионы километров в разную погоду, смоделировать тысячи аварийных ситуаций с виртуальными пешеходами и манекенами. В реальности такие экстремальные сценарии воспроизводить сложно, дорого, а иногда и неэтично. В итоге инженеры находят и исправляют слабые места на самых ранних стадиях – а это напрямую повышает надёжность и безопасность для водителя.

Экологический эффект. Это сегодня выходит на первый план. Моделирование помогает устойчивому развитию с двух сторон. Во-первых, можно проектировать более «зелёные» автомобили: оптимизировать аэродинамику, чтобы снизить расход энергии, облегчать кузов, тонко настраивать работу силовой установки электромобиля для максимального КПД. Во-вторых, и это прямая экономия, сильно сокращается углеродный след от самого производства – ведь не нужно выпускать, возить и утилизировать десятки лишних прототипов.

Какие есть проблемы на пути к цифровому проектированию

Учитывая все плюсы, нельзя сказать, что путь к полноценному цифровому проектированию совсем гладкий. Есть свои трудности. Рассмотрим основные проблемы при переходе к новой доктрине проектирования. (Здесь текст обрывается, но по логике дальше должны идти сами проблемы. Если нужно, я могу их тоже переработать, как только вы пришлёте продолжение.)

Первый и самый очевидный барьер – это проблема с вычислительными мощностями, и она связана с тем, что высокоточные симуляции, учитывающие физику, прочность, температуру и электронику одновременно, – это огромный объём вычислений и для них требуются мощные суперкомпьютеры (HPC-кластера), доступ к которым есть не у каждой команды, что может ограничивать возможности небольших инноваторов или повышать затраты [7].

Второй, более фундаментальный вызов – это вопрос доверия к модели, или, говоря техническим языком, верификация и валидация. Виртуальные испытания бессмысленны, если их результаты не соответствуют реальности, поэтому каждую модель необходимо тщательно калибровать, сверяя с данными с реальных датчиков и испытательных стендов и разработка универсальных и строгих методик такой проверки является одной из ключевых научно-технических задач.

Третья проблема лежит в организационно-технической плоскости – это «разобщённость цифрового мира», т.к. на разных этапах проектирования используются десятки программ и зачастую они плохо «общаются» друг с другом, что создаёт сложности в обмене данными и приводит к ошибкам или потере времени на ручной перенос информации.

Подводя итог можно сделать вывод, что успех приносит не просто использование отдельных программ, а именно комплексная стратегия, выстроенная по принципу иерархии, когда данные от точного CAE-расчёта детали передаются в модель системы, а та, в свою очередь, становится частью глобального цифрового двойника, возникает синергетический эффект. Именно такая сквозная цепочка и является главным драйвером для сокращения издержек, ускорения выхода новинок и, в конечном счёте, повышения конкурентоспособности. Современный автомобиль, насыщенный электроникой и сложными системами, уже просто невозможно грамотно разработать без его глубокой и всесторонней виртуальной проработки.

Заглядывая вперёд, можно сказать, что следующий логичный шаг – создание единого и непрерывного информационного пространства на всём жизненном цикле машины: от зарождения идеи у дизайнера до повседневной эксплуатации

и последующей утилизации. Преодолев текущие проблемы с вычислительными мощностями и совместимостью софта, автопроизводители смогут использовать этот «цифровой след» для принципиально новых целей. Результатом станут не просто транспортные средства, а персонализированные, максимально безопасные и энергоэффективные продукты, которые будут постоянно эволюционировать даже после покупки. Таким образом, моделирование окончательно трансформируется из инструмента проектирования в основу для создания совершенно новых потребительских ценностей и бизнес-моделей в автомобильном мире.

Список литературы

1. Цифровая трансформация машиностроения России в контексте четвертой промышленной революции // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-mashinostroeniya-rossii-v-kontekste-chetvertoy-promyshlennoy-revolutsii> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
2. Тренды цифровой трансформации мирового автомобилестроения // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/trendy-tsifrovoy-transformatsii-mirovogo-avtomobilestroeniya> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
3. Определение энергоэффективных режимов работы пневмосистемы сочлененного электробуса путем математического моделирования // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-energoeffektivnyh-rezhimov-raboty-pnevmosistemy-sochlenennogo-elektrobusa-putem-matematicheskogo-modelirovaniya> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
4. Цифровые двойники : характеристики, типология, практики развития // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-dvoyniki-harakteristiki-tipologiya-praktiki-razvitiya> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
5. Перспективы цифровой трансформации российского машиностроения // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-tsifrovoy-transformatsii-rossiyskogo-mashinostroeniya> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
6. Сморгачев, А. Е. Актуальность использования новейших средств и методов при испытаниях систем активной безопасности / А. Е. Сморгачев // Молодой

учёный. – 2020. – № 20 (310). – С. 140–142. – Текст : электронный // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://moluch.ru/archive/310/70260> (дата обращения: 09.02.2026).

7. Высокопроизводительные вычислительные системы // WonderfulPCB : [сайт]. – URL: <https://www.wonderfulpcb.com/ru/blog/high-performance-computing-benefits-challenges-trends-industry/> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.

8. Верификация и валидация компьютерных моделей // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/verifikatsiya-i-validatsiya-kompyuternyh-modeley> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.

9. Облачные технологии в компьютерном моделировании научных и инженерных задач // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/oblachnye-tehnologii-v-kompyuternom-modelirovanii-nauchnyh-i-inzhenernyh-zadach> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.

10. 3D-моделирование в автомобильной промышленности // DigitalCraft3D : [сайт]. – URL: <https://digitalcraft3d.com/blog/3d-modelirovanie/3d-modelirovanie-v-avtomobilnoy-promyshlennosti/> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.

References

1. Digital transformation of Russian engineering in the context of the Fourth Industrial Revolution // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-mashinostroeniya-rossii-v-kontekste-chetvertoy-promyshlennoy-revolyutsii> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

2. Trends in the digital transformation of the global automotive industry // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/trendy-tsifrovoy-transformatsii-mirovogo-avtomobilestroeniya> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

3. Determination of energy-efficient modes of operation of the pneumatic system of an articulated electric bus by mathematical modeling // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-energoeffektivnyh-rezhimov-raboty-pnevmosistemy-sochlenennogo-elektrobusa-putem-matematicheskogo-modelirovaniya> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

4. Digital twins : characteristics, typology, development practices // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-dvoyniki>

harakteristiki-tipologiya-praktiki-razvitiya (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

5. Prospects of digital transformation of Russian engineering // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-tsifrovoy-transformatsii-rossiyskogo-mashinostroeniya> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

6. Morchkov, A. E. The relevance of using the latest tools and methods in testing active safety systems / A. E. Morchkov // Young Scientist. – 2020. – № 20 (310). – Pp. 140-142. – Text : electronic // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://moluch.ru/archive/310/70260> (accessed: 02/09/2026).

7. High-performance computing systems // WonderfulPCB : [website]. – URL: <https://www.wonderfulpcb.com/ru/blog/high-performance-computing-benefits-challenges-trends-industry/> (date of access: 02/09/2026). – Text : electronic.

8. Verification and validation of computer models // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/verifikatsiya-i-validatsiya-kompyuternyh-modeley> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

9. Cloud technologies in computer modeling of scientific and engineering tasks // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/oblachnye-tehnologii-v-kompyuternom-modelirovanii-nauchnyh-i-inzhenernyh-zadach> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

10. 3D modeling in the automotive industry // DigitalCraft3D : [website]. – URL: <https://digitalcraft3d.com/blog/3d-modelirovanie/3d-modelirovanie-v-avtomobilnoy-promyshlennosti/> (date of access: 02/09/2026). – Text : electronic.