

Как спроектировать электромобиль. Опыт “Кама-1”

Антон Поляков

История создания электромобиля “Кама-1” уже начала обрести мифами: что это обновленная “Ока” или перелицованный *Fortwo*, что сделан электрокар только из российских деталей и продавать его начнут уже в 2021 году.

Я поговорил с двумя ведущими инженерами из Инжинирингового центра СПбПУ, Павлом Цветковым и Алексеем Тарасовым, – людьми, которые непосредственно разрабатывали “Каму-1”. Речь шла про разработку, начинку, заказчиков и трудности. Если коротко: прототип машины получился интересный, а вот будущее её пока туманно.

Этап 1. Что происходит до проектирования

Начну с того, что автомобиль разработали не КАМАЗовские конструкторы.

Проект “Создание “умного” цифрового двойника и экспериментального образца малогабаритного городского электромобиля с системой ADAS 3–4-го уровня” создали в Инжиниринговом центре СПбПУ. Завод КАМАЗ – заказчик и промышленный партнер, он совместно с государством профинансировал разработку. Представители предприятия сформулировали первоначальные требования, при этом в производстве запчастей для прототипа сам КАМАЗ не участвовал.

Первоначальные требования оказались довольно общими, так что перед группой разработчиков встал выбор, как перед былинными богатырями у путеводного камня. Можно пойти “налево”: взять уже существующую платформу крупного автоконцерна, придумать новый обвес и выдать за новую российскую разработку. Или отправиться “направо”: начать разработку с нуля, создать собственный электродвигатель, батарею и все другие элементы, включая чипы в контроллерах. А когда закончатся время и деньги, сказать, как в анекдоте про лошадь: “Ну не смогла я”. Ребята из СПбПУ пошли “прямо” – проектировали авто, как написано в учебниках, но с современным ПО и без ограничений на использование уже существующих компонентов.

Почему А-класс, а не популярные SUV или B

Любой электрокар для потребителя сейчас и в ближайшие годы будет стоить значительно больше сравнимой по характеристикам машины с ДВС. Поэтому электромобили будут покупать в



значительном количестве только в двух случаях: либо это субсидирует государство в рамках каких-нибудь “зеленых” инициатив, либо покупатели – крупные структуры с большим автомобильным парком. Последних не так много – это логистические компании, городской транспорт и... каршеринг!

Именно на эту нишу изначально нацелен проект, ведь в каршеринге нужен компактный, недорогой, но удобный автомобиль для массового пользования в черте города.

Добавок, создавая новую автомобильную платформу, проектирование разумно и логично начинать именно с малого автомобиля.

Сделать из компактного электрокара машину с большей колесной базой проще, чем идти в обратную сторону. В “Каму-1” как раз закладывали

Табл. 1. Характеристики электромобилей А-класса

Характеристики	e.Go Life 60	Fiat 500 electric	Mitsubishi i-MiEV	Smart Fortwo Electric Drive	«Кама-1»
Запас хода, км	158	140	160	160	до 250
Аккумулятор, кВт*ч	23,9	24	16	17,6	33
Максимальная скорость, км/ч	152	137	130	130	150
Разгон, км/ч, с	3,4	–	–	–	–
- до 50	–	–	–	–	3,2
- до 60	–	9,3	15,9	11,5	6,7
- до 100	–	–	–	–	–
Электродвигатель, кВт	60	83	49	60	80–160
Привод	задний	передний	задний	задний	задний
Время зарядки, ч.м					
- полная	9:48	4:00	8:00	6:00	6:00
- быстрая, ч.м	0:28 (до 80%)	0:35 (до 80%)		0:45	2:30
Клиренс	–	115	150	132	160
Колесная база, мм	2200	2300	2550	1873	2100
Колеса, мм					
- передняя	1475	1407	1310	1469	1500
- задняя	1483	1397	1270	1430	1500
Масса, кг	950	1355	1110	1085	1300
Схема посадки	2+2	2+2	4	2	2+2
Габариты, мм					
	3348	3617	3475	2695	3250
	1700	1627	1475	1663	1700
	1567	1527	1610	1555	1550
Размерность шин	205/45 R17	185/55 R15	145/65 R15	165/65 R15	195/55 R16

возможность расширения модельного ряда до полноценного пятидверного автомобиля B-класса.

Если идти по учебнику, то на предпроектном этапе, кроме сферы применения, определяют круг потенциальных конкурентов. В целом на рынках Европы, Китая, стран Азии и Америки не так уж и много автомобилей этого сегмента. Из самых известных – *Smart Fortwo Electric Drive*, *Fiat 500 electric*, *Mitsubishi i-MiEV* и *e.Go Life* (табл. 1). Правда, когда наш проект стартовал, о последней модели еще почти ничего не знали.

Этап 2. Разработка технических требований: описать всё и вся

Понимание рынка – это даже не начало проекта. Начало – это разработка технических требований, когда абстрактные представления о запросах потребителей, стоимости и свойствах автомобиля превращаются в цифры конкретных характеристик.

Сначала формируют *VTS (Vehicle Technical Specification)*, в которой описывают общие целевые характеристики автомобиля: колесную базу, колею, габариты, свесы, мощность, дальность пробега и так далее.

Потом на базе *VTS* создают другой документ – так называемый *Product Definition*. Это очень подробное описание автомобиля: как он будет выглядеть для конечного пользователя, какими функциями будет обладать. Например, туда входит информация о том, что в машине должен быть козырек, который откидывается сверху, а также может поворачиваться и закрывать солнце, светящее в боковое стекло. Или что камера заднего вида будет располагаться там-то.

Некоторые из параметров задают жестко, без возможности изменений, а другие уточняют в процессе проектирования.

Этап 3. Эскизный проект и подготовка ТЗ – теперь можно и нарисовать

Дальше работа строится так: сначала создают стиливое решение автомобиля, потом – эскизную компоновку автомобиля в целом, компоновку узлов и деталей и, наконец, макеты этих узлов.

Для разработки стиливого решения университет привлек внешних подрядчиков. Сначала дизайном занималась российская компания, но что-то пошло не так, и заканчивать пришлось одной итальянской фирме.

Результатом работы стали обычные двумерные эскизы, скетчи и рисунки. На основе этих эскизов уже своя команда модельеров готовила 3D-модели, по которым определялись габариты автомобиля и компоновочный объем, а также разрабатывала интерьер.

Как ведется компоновка? Сначала определяют схему шасси, решают,



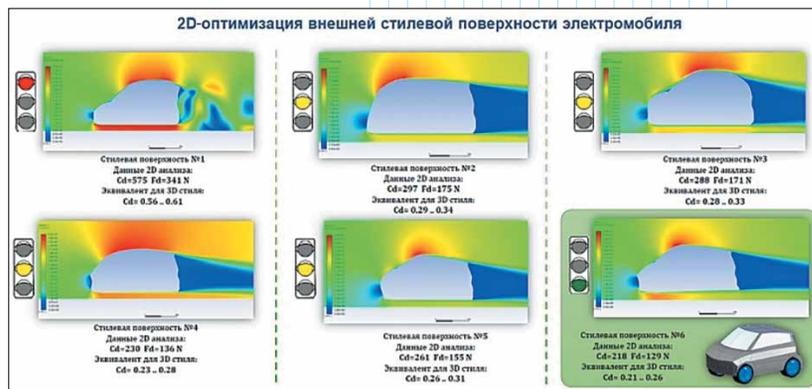
Так выглядит стиливое решение



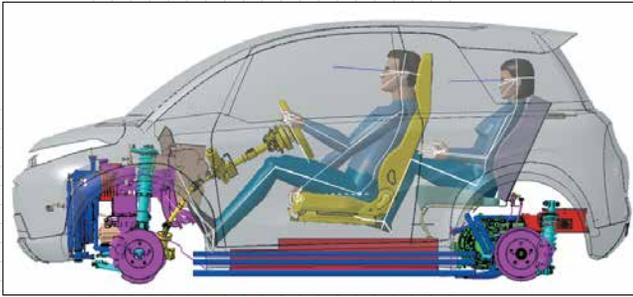
А так – элементы экстерьера на каркасе электромобиля

какой будет привод – передний или задний, где будет стоять мотор. В “Каме-1” двигатель стоит сзади, рядом с ведущими колесами. Такой вариант за счет загрузки задних колес обеспечивает хороший разгон, высокую проходимость и маневренность.

Затем прорабатывают схемы посадки, вместимости и обзорности. Определяют положение водителя и пассажира. В точку посадки помещают



Разумеется, коэффициент лобового сопротивления учитывают уже на этом этапе, но пока в 2D-модели. 3D-модель будут “продувать” чуть позже



Так выглядит схема посадки на рисунке...

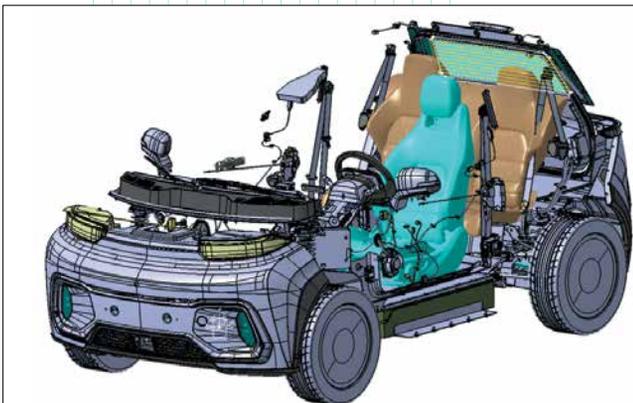


...а так – посадочный макет “вживую”

разные манекены, чтобы задать диапазон размеров для сидений, стоек, педалей, границ подкапотного пространства.

На виртуальный остов машины навешивают все необходимые компоненты. Сначала используют габаритные модели, кубики и параллелепипеды, чтобы зарезервировать место. По мере проработки узлов и компонентов компоновка становится всё более подробной. Для покупных узлов у производителей обычно уже есть готовые 3D-модели, остальное приходится строить самостоятельно.

В ходе наполнения постоянно следят за тем, чтобы новый элемент не нарушал ранее заданных граничных условий, – для этого есть куча правил,



Цифровой макет “Кама-1”

регламентов и требований. Так как отследить все соответствия вручную невозможно, для этого используют специализированное ПО.

В компоновочной модели хранятся все варианты конструкции, все компоненты, которые можно применить. По ней проводят проверки на соответствие регламентам и требованиям по геометрической интеграции. Модель включает и все результаты проверок – например, проочки подвески, зон обзора водителя, положения сидений.

Когда почти всё подобрано, из компоновочной модели создают цифровой макет. В нём уже нет никаких вариантов, все узлы и компоненты зафиксированы. Эта конфигурация утверждена и проверена на все требования. В рамках цифрового макета постепенно собирают готовый автомобиль, который потом передадут на изготовление.

Мотор и батарея нашлись только у китайцев

Двигатель подбирают под технические требования автомобиля. В спецификации *VTS* и *Product Definition* указан набор параметров: целевой пробег, скорость разгона и максимальная скорость движения. По ним делают тягово-динамический расчет, который выдает требуемые характеристики: мощность электродвигателя, его обороты, передаточное число трансмиссии, емкость аккумуляторной батареи, ток отдачи аккумуляторной батареи и так далее. И уже по ним подбирают связку “электродвигатель – батарея”.

Для “Камы” подходящего российского движка не нашлось, а проектировать с нуля не было ни времени, ни финансов. Оставался вариант выбрать из существующих серийных моделей европейского или китайского производства (прототипы и перспективные движки никто бы университету и не продал). По мощности отобранный образец превосходил требования, превращая “трёхдверку” в резвый электрокар. Зато его без изменений можно будет использовать в пятидверном варианте “Камы”.

Батарея в автомобиле собрана на базе ячеек *Li-NMC*, изготовленных в Китае. Корпус с системой управления и подогрева спроектировали и



Размещение силовой установки

рассчитали сотрудники Инжинирингового центра. По заданным размерам и параметрам его изготовил всё тот же производитель ячеек.

Но вернемся к процессу разработки. Полученные на этапе эскизного проекта технические решения группируют в технические предложения по конструкции электрокара. А в сумме технические предложения и технические требования – это и есть техническое задание.

На подготовку этих документов у разработчиков “Камы-1” ушло полгода. А затем начались полтора года активной работы по воплощению всех этих идей в “железе”.

Этап 4. Цифровой двойник создавали с помощью собственного ПО

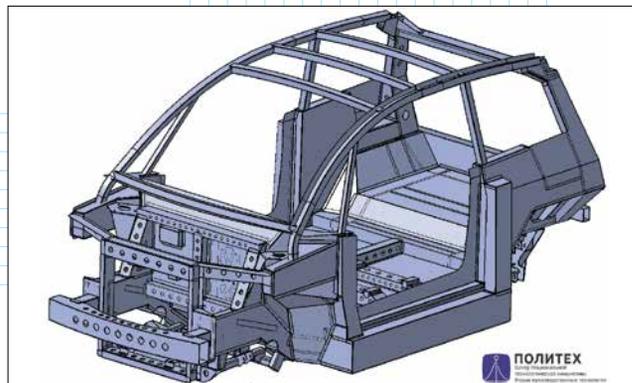
Обычно на изготовление прототипа автопроизводители тратят 3–5 лет. Питерцам помогло наличие собственной платформы для создания цифровых двойников и проведения испытаний – **CML-Bench**. Для проектирования использовали популярную среди автопроизводителей CAD-систему CATIA компании *Dassault Systèmes*.

С самого начала, как только появился цифровой макет, разработчики начали формировать цифровой двойник электромобиля.

Цифровой двойник – это не просто трехмерная модель, а комплекс взаимосвязанных моделей, отражающих физико-механические свойства применяемых материалов, свойства сварных соединений, кинематику подвески, электрическую подсистему и другие элементы. Они перекрывают почти все возможные расчеты, которые можно производить с автомобилем.

А расчетов, надо сказать, проводят немало: анализ жесткости, прочности и вибраций в различных режимах, микроклимата в салоне, исследования управляемости и устойчивости автомобиля, расчеты по динамике и по кинематике подвески.

Цифровой двойник позволил провести большую часть испытаний виртуально, значительно сэкономив время и бюджет разработки. На изготовление передавали уже полный набор требуемых документов и моделей.



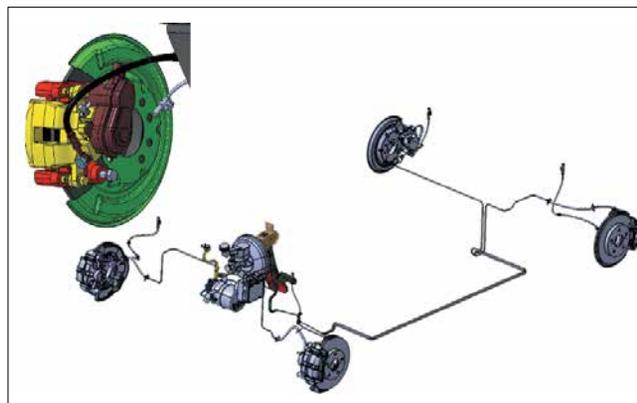
Силовой каркас кузова электромобиля



А здесь силовой каркас кузова и каркасы навесных элементов



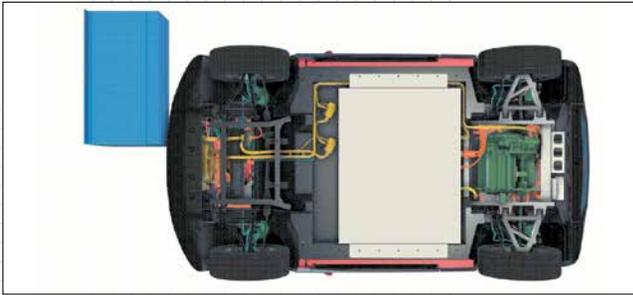
Процесс сборки и сварки каркаса основания на ступе



Цифровой макет тормозной системы



Каркас кузова на натурных испытаниях жесткости

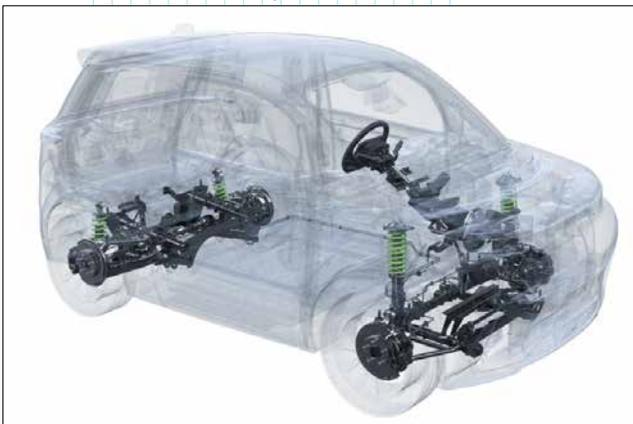


Так моделируют лобовой удар о сминаемый барьер с 40-процентным перекрытием

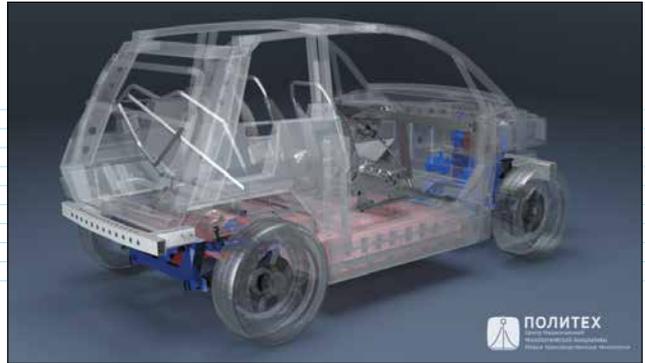
Кузов “Камы-1” разработали полностью с нуля. Из готовых компонентов там только стеклоочистители, стеклоподъемники, ремни безопасности и замки. Работы по изготовлению уникальных запчастей и сборке электрокара проводил субподрядчик – предприятие, специализирующееся на создании прототипных образцов автотранспорта.



Дверь: так выглядит любая сваренная железяка до того, как зачистили сварные швы



Кое-что в университете собрали самостоятельно (светотехника, сиденья, рулевое колесо, подвеска)



Этап 5. Реальный прототип, и чего в нём нет

Сначала сразу скажу, чего в показанном прототипе “Камы-1” еще нет. Отсутствует фронтальная подушка безопасности. Обычно она прячется в руле, а здесь на нём расположен дисплей. Прорабатывали вариант использования подушек, которые располагаются в надоконном бруссе, но окончательное решение еще не принято.

Нет в прототипе и системы полуавтономного управления **ADAS** (*Advanced Driver-Assistance Systems* – продвинутая система помощи водителю). Её разработкой занимается КАМАЗ, а при создании прототипа только структурно разместили всё электрооборудование и электронику, чтобы эту систему можно было интегрировать. Управление газом, тормозом и рулем реализуется через CAN-шину. В конструкции кузова предусмотрены места крепления под все необходимые камеры машинного зрения, радары, лидары, парктроники. Если это оборудование поставить и настроить, тогда машина действительно покажет все обещанные чудеса: торможение в экстренной ситуации, предотвращение наезда на пешехода, следование в полосе, помощь в пробке, автоматическую парковку, автоматический выезд с парковки и так далее.



Задняя многорычажная подвеска в сборе с мотором и установленными элементами высоковольтного оборудования

В серийном автомобиле, если он будет, ADAS появится.

А теперь о хорошем. Использование цифрового прототипирования позволило с первого раза собрать машину, сравнимую по качеству с предсерийным образцом. “Кама-1” – это первое воплощение в металле всего того, что спроектировали в университете. Сборку электрокара закончили 4 декабря 2020 года, а уже 10 декабря он был на выставке. Времени на ходовые испытания и, тем более, опытную эксплуатацию не было. При этом машина просто взяла и поехала.

Конечно, какие-то недоработки инженеры обнаружили, но мелкие. В одном месте надо увеличить зазор, чтобы при прохлопе дверей не было контакта лакокрасочного покрытия. В другом – изменить место крепления блока переключателей стеклоподъемников. В третьем – перенести реле кнопки открытия двери багажника из-за проблем с электромагнитной совместимостью. Такие мелочи некоторые автопроизводители выявляют и устраняют уже после запуска в серию.

На “Каме-1” все эти мелочи тут же исправляли в цифровом двойнике, сразу проводили пересчет и проверку граничных условий, так что КАМАЗу передали уже “отполированную” документацию.

Когда можно будет купить

Как бы ни хотелось назвать “Каму” предсерийным электромобилем, это всё-таки только прототип. Никто еще не занимался технологической подготовкой производства, не решал, где, как и на чём производить машину, какие запчасти делать самим, какие – закупать у поставщиков. На это уйдет несколько лет как минимум.

Пока КАМАЗ профинансировал проектирование и получил цифровой двойник прототипа. Теперь ему надо просчитать экономическую модель, разработать инвестиционный проект, подготовить всё к серийному производству.

Впрочем, они могут всё это сделать быстро. По слухам, площадку уже подобрали. Вдобавок, если кто-то из каршеринговых или логистических компаний сделает “предзаказ”, шансы пойти в серию у “Камы-1” значительно возрастут. А чтобы цена на электрокар попала в озвученные пределы (1.0–1.3 млн. рублей, то есть меньше 16 тыс. евро, по мелькающим в СМИ цифрам), серия должна быть на уровне 20 тыс. авто в год. 🙄

*К публикации статью подготовила
Светлана Болгова*

<https://habr.com/ru/company/leader-id/blog/544078>.

◆ Выставки ◆ Конференции ◆ Семинары ◆

19-я специализированная выставка

ТЕХНОЭКСПО. 2021



САРАТОВ

Официальная поддержка:

- 🏛️ Правительство Саратовской области
- 🏛️ Министерство промышленности и энергетики Саратовской области
- 🇷🇺 Общероссийская общественная организация «Союз машиностроителей России»

9 - 11 июня

- СТАНКИ И ОБОРУДОВАНИЕ
- ИНСТРУМЕНТ, ОСНАСТКА И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ ИЗДЕЛИЯ
- СПЕЦЭКСПОЗИЦИЯ «МЕТРОЛОГИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ»
- ПРОМЫШЛЕННАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ
- ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
- СВАРКА, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ САЛОН
- НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
С О Ш И Т - Э К С П О
Тел.: (8452) 227-247, 227-248
<http://expo.sefit.ru>

