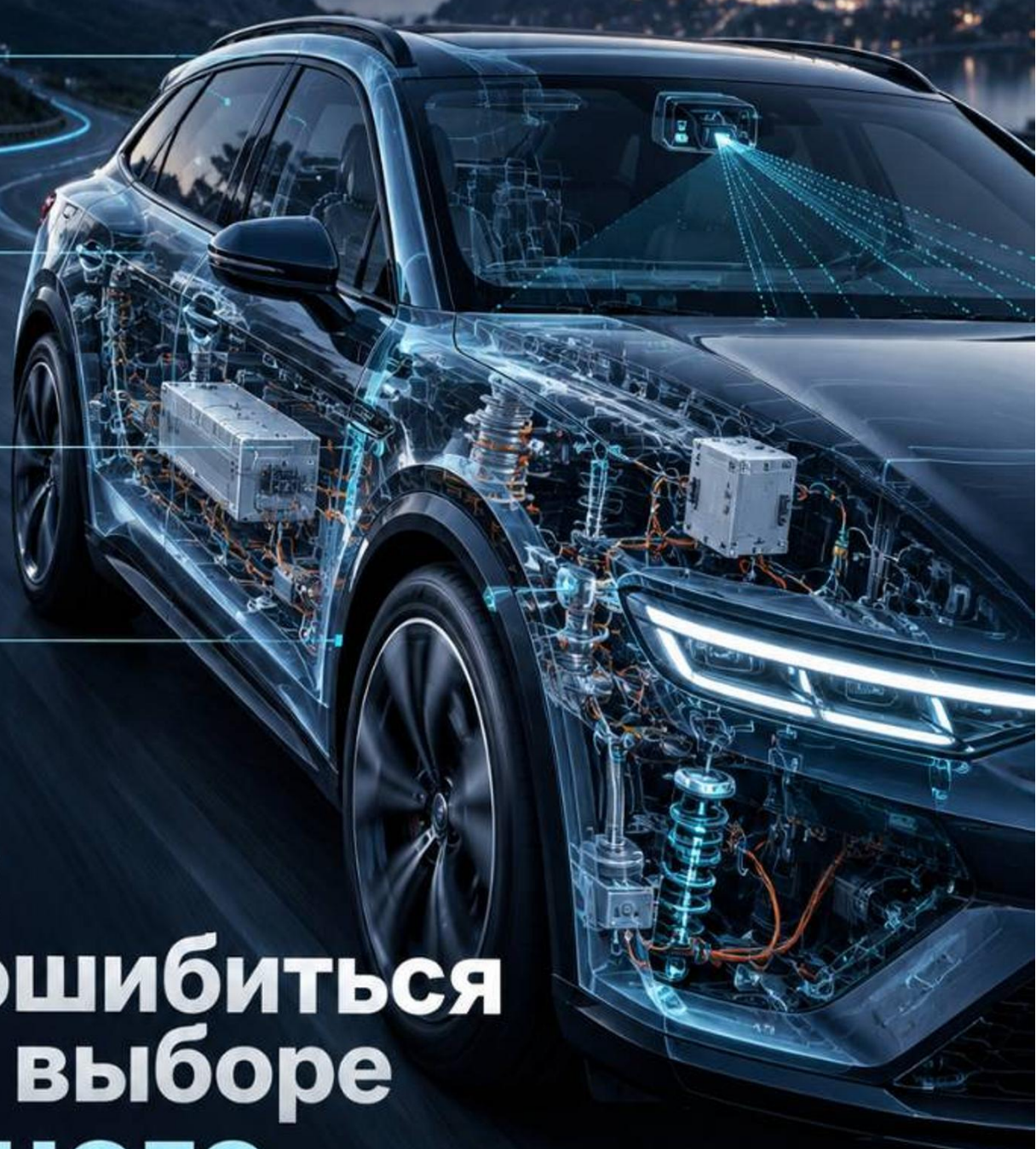


Итон Блейк



Как не ошибиться при выборе **умного** **автомобиля**

Безопасность, ремонт,
электроника и скрытые расходы



Итон Блейк

**Как не ошибиться при
выборе умного автомобиля.
Безопасность, ремонт,
электроника и скрытые расходы**

«Автор»

2026

Блейк И.

Как не ошибиться при выборе умного автомобиля. Безопасность, ремонт, электроника и скрытые расходы / И. Блейк — «Автор», 2026

Вы покупаете умный автомобиль один раз, а платить за ошибку можете годами. Красивый экран, лидар и обещания автопилота ничего не говорят о цене ремонта после легкого удара, страховке, батарее, подписках, OTA-обновлениях и том, кто окажется виноват, когда алгоритм ошибется. Эта книга разбирает автомобиль как систему будущих расходов и рисков: цельнолитой кузов, датчики, L2 и L3, скрытые ограничения автопилота, страховые ловушки, данные после ДТП, подержанный рынок и право на ремонт. После нее вы будете смотреть не на комплектацию, а на то, что продавец предпочитает не обсуждать. Одна неверная покупка может стоить намного дороже этой книги. Прочитайте до салона, а не после счета за ремонт. При подготовке текста использовался Claude как вспомогательный инструмент.

Содержание

Предисловие	7
1. 2026 год: переломный момент для умных автомобилей	7
2. Расчет	9
3. Разрыв	11
4. Как читать эту книгу	12
5. Предупреждение	13
Часть 1. «Оторванность аппаратного обеспечения от реального мира и реструктуризация затрат» — источники рисков на протяжении всего жизненного цикла интеллектуального автомобиля	14
Глава 1. Итерации производственных технологий и разрыв в «экономичности ремонта»	16
1.1 Цена «большой безопасности»: когда соотношение цены запчастей к цене автомобиля превышает 600%	16
1.2 Инженерная логика интегрированного литья под давлением и парадокс затрат	17
1.2.1 Металлургическая логика цельнолитых деталей	20
Вторая необратимость: невозможность обнаружения внутренних повреждений	22
1.3 Подробный анализ случая: задняя поддонная панель Tesla Model Y — весь процесс от столкновения сзади до «предполагаемого полного ущерба»	23
1.4 От Model Y к всей отрасли: экономика ремонта в контексте литья под давлением цельных деталей	25
Тревога в страховой отрасли	26
1.4.1 Основная движущая сила использования цельнолитых деталей: «снижение веса» в обмен на «запас хода»	27
1.5 Физические ограничения кузовных деталей из алюминиевого сплава	29
1.6 Сравнение систем оценки краш-тестов в Китае и США и их «слепые зоны»	30
Китай: двойная система C-NCAP и C-IASI	31
США: «слепые зоны» в оценках IIHS и NHTSA	33
Механизм обратной связи в отношении «слепых зон» системы оценки	34
1.7 Инженерные истоки «антигуманного» дизайна (часть 1): скрытые дверные ручки — физическое препятствие для спасательных операций	35
Логика инженерного проектирования	36
Рекомендации Национального совета по безопасности на транспорте США (NTSB)	38
1.8 Истоки «античеловеческой» конструкции (часть вторая): рулевое колесо типа «Yoke» — опасный эксперимент в области эргономики	39
Эргономический анализ	40
Данные исследования	41

1.9 Истоки «антигуманного» дизайна (часть третья): полностью закрытая ходовая часть — противоречие между защитой аккумулятора и сложностями технического обслуживания	42
1.10 [Технический и правовой анализ I] Конфликт между литейными машинами мощностью 6000/9000 тонн и правом на ремонт	44
1.11 [Технический и правовой анализ, часть 2] Предел текучести алюминиевого сплава и физическая необратимость ремонта кузовных деталей	46
1.12 Дополнительный углублённый анализ: металлургия литых под давлением алюминиевых сплавов — микроскопическое путешествие от кристаллитов до трещин	48
Анизотропия кристаллической структуры и механических характеристик	49
Механизм «активации при ударе» литейных дефектов	50
1.13 Глобальный обзор: исследования в области ремонта цельнолитых деталей в Европе и Японии	52
Япония: попытки «продлить жизнь» традиционному кузовному ремеслу	53
Глава 2. Компонировка аппаратного обеспечения систем автономного вождения и ловушка «соотношения цена/запчасть»	54
2.1 Карта датчиков: топография рисков глазами актуария страховой компании	54
2.2 Физический механизм «каскадного повреждения» датчиков	56
Второй уровень: разрыв цепочки жгутов проводов	57
2.3 Различия в затратах на аппаратное обеспечение в китайской и американской стратегиях развития интеллектуального вождения	58
Китайский подход: интеграция нескольких датчиков — больше аппаратного обеспечения, более высокие прямые затраты	59
Американский подход: «чисто визуальный» подход Tesla — меньше аппаратных компонентов, но более сосредоточенные риски	60
2.4 «Темная сторона» чисто визуального решения Tesla с точки зрения затрат на ремонт	61
Риски, связанные с централизованным контроллером зоны	62
Высокая уязвимость модуля камер	63
Проблемы с возмещением расходов на подписку на программное обеспечение	64
2.5 Интеграция аккумулятора с кузовом (СТС/СТВ) — конечная дилемма ремонта аккумулятора	65
Необратимость: «одноразовый» характер структурного клея для аккумуляторных элементов	66
Безопасность не терпит компромиссов: призрак внутреннего короткого замыкания	67
2.6 [Технический и правовой анализ, часть 3] Литий-железо-фосфатные и тройные литий-ионные аккумуляторы — значение характеристик теплового разгона для страхования	69

2.7 [Анализ технологических и правовых аспектов, часть 4] Проблемы внедрения нового отраслевого правила «ремонтировать, а не заменять»	71
Часть 2. Ограничения алгоритмов и физические границы — резкий рост вероятности страховых случаев, вызванных сбоями в системах автономного вождения	73
Введение: Программное обеспечение поглощает мир — и поглощает запас прочности	73
2.8 Дополнительный анализ: модель количественной оценки рисков датчиков с точки зрения страховой актуарной оценки	75
Межпоколенческий разрыв в актуарных данных	76
Дилемма обратного отбора потребителей	77
2.9 Проблемы с ремонтом в глобальной цепочке поставок оборудования для интеллектуального вождения — игнорируемый «эффект длинного хлыста»	78
Конец ознакомительного фрагмента.	79

Итон Блейк

Как не ошибиться при выборе умного автомобиля. Безопасность, ремонт, электроника и скрытые расходы

Предисловие

1. 2026 год: переломный момент для умных автомобилей

Для начала оговорим одну исходную посылку: именно автомобили на новых источниках энергии положили начало переходу к интеллектуальным автомобилям. Без полностью электрической архитектуры электромобиля — доменных контроллеров, шасси с электронным управлением, OTA-обновлений всего автомобиля — не было бы сегодняшнего распространения технологий L2, NOA и сквозных нейронных сетей. Распределённая архитектура электронных блоков управления (ECU), характерная для традиционных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, не рассчитана на такую вычислительную нагрузку и такой темп обновления программного обеспечения. Поэтому в этой книге, посвящённой безопасности интеллектуальных автомобилей, невозможно отделить системы помощи водителю от самой платформы электромобиля: технологий производства, аккумуляторов, электронной архитектуры и того, как все эти решения отражаются на стоимости ремонта и страховки.

В 2026 году доля легковых автомобилей на новых источниках энергии в Китае превысила 55 %. Более чем каждый второй новый автомобиль — электромобиль. Три четверти электромобилей оснащены системами помощи водителю уровня L2 или выше. Ежедневно на дороги выходит около 40 000 новых автомобилей, которые уже с завода способны самостоятельно держаться за впереди идущим транспортом и менять полосу движения. Однако регулирование таких автомобилей — стандарты безопасности, распределение ответственности при ДТП, условия страхования, права на данные — по-прежнему во многом опирается на нормы, сформированные в эпоху обычных механических автомобилей.

В июне Министерство промышленности и информационных технологий представило пересмотренную версию «Правил допуска и эксплуатации интеллектуальных подключённых автомобилей». Документ разрабатывался три года, прошёл четыре этапа общественного обсуждения и был подписан 12 министерствами и ведомствами. Впервые в нём была установлена нормативная граница для уровня L3: чтобы получить допуск, автопроизводители должны предоставить полные данные о 500 000 км испытаний в закрытых условиях и 1 000 000 км испытаний на дорогах общего пользования, причём сценарии должны охватывать все предсказуемые предельные ситуации в заявленной области допустимых условий эксплуатации (ODD).

Иными словами, L3 — это не просто обновлённая версия L2. Это принципиальный переход от управления человеком к управлению самим автомобилем. Соответствующий проект государственного стандарта L3, находящийся на стадии утверждения, должен вступить в силу 1 января 2027 года. Таким образом, 2026 год становится рубежом между «совместным вождением человека и машины» и автономным вождением.

На другом берегу Тихого океана NHTSA продолжает углублённое расследование очередной серии дефектов системы Tesla Autopilot. На этот раз расследование было расширено с Autopilot на FSD Supervised — систему «полного самостоятельного вождения (под надзором)»,

установленную Tesla более чем на 2 миллионах автомобилей в Северной Америке. Акцент сместился с анализа последствий столкновений на безопасность самой архитектуры: можно ли логически объяснить цепочку принятия решений в сквозной нейронной сети? Насколько точно система, основанная только на видеокамерах, определяет пределы своей работоспособности при разных условиях освещения? Действительно ли контроль водителя работает, когда тот убрал руки с руля, но лишь делает вид, что следит за дорогой?

Эти два подхода — предварительный допуск по стандартам в Китае и расследование дефектов уже после вывода автомобилей на дороги в США — относятся к одной и той же проблеме. Для более чем 40 миллионов владельцев умных автомобилей по всему миру (по состоянию на июнь 2026 года насчитывалось около 42 миллионов автомобилей уровня L2 и выше, из них около 21 миллиона в Китае и около 14 миллионов в США) это не абстрактная особенность регулирования, а вполне конкретные расходы и неудобства.

2. Расчет

Стратегические цели «Плана развития индустрии автомобилей на новых источниках энергии (2021–2035 гг.)»: к 2025 году — проникновение L2 на уровне 50%, коммерциализация L3 в определённых сценариях; к 2030 году — масштабное применение L3 — политические цели определяют направление, а защита потребителей — это совсем другое дело

Умные автомобили переосмысливают само понятие «владение автомобилем».

Раньше покупка автомобиля была в основном разовой крупной тратой. После оплаты машины расходы на топливо, обслуживание и ремонт оставались более или менее предсказуемыми, и бюджет можно было рассчитать заранее. Сейчас всё иначе. Цена автомобиля — лишь входной билет. Главная неопределённость скрывается в трёх статьях: страховые взносы трудно предсказать из-за нехватки актуарных данных; небольшие повреждения могут обернуться дорогим ремонтом из-за цельнолитых деталей и множества уязвимых датчиков; расходы на программное обеспечение постепенно накапливаются — от ежемесячной подписки на функции автономного вождения до возможной модернизации аппаратной части после OTA-обновлений.

Расходы просто перенесены на более поздний срок. При покупке автомобиля бесполезно ориентироваться только на цену — нужно учитывать и скрытые расходы, которые появятся позже.

Расскажу реальную историю. Господину Чжану 36 лет, он работает менеджером по продукту в Шэньчжэне. В декабре 2025 года он потратил 325 800 юаней на полностью электрический седан с лидаром и системой городского автопилота. Вот его расходы за первые полгода:

•

При покупке: страховой взнос за первый год — 9 230 юаней. Для бензинового автомобиля той же ценовой категории он составляет примерно 5 500 юаней. Таким образом, страховка электромобиля обходится примерно на 68 % дороже.

•

Второй месяц: при парковке задним ходом в подземном гараже задний бампер задел стену. В автосалоне оценили замену заднего бампера в сборе — вместе с двумя задними радары миллиметрового диапазона и четырьмя ультразвуковыми датчиками — в 13 800 юаней. При обращении в страховую компанию взнос на следующий год, по оценке, вырос бы ещё на 4 500 юаней. После раздумий господин Чжан решил оплатить ремонт сам.

•

Четвёртый месяц: на скоростной трассе впереди идущий автомобиль резко затормозил. Система АЕВ сработала, и столкновения удалось избежать. Однако при резком торможении форсунка очистки лидара на крыше по инерции ударила о переднюю декоративную накладку, оставив тонкую трещину. Через две недели во время мойки внутрь попала вода, и лидар вышел из строя. В автосалоне заявили, что повреждение вызвано внешним воздействием и гарантией не покрывается. Замена одного лидара — 28 000 юаней.

•

Пятый месяц: господин Чжан ехал по городу с включённой системой NOA и проезжал перекрёсток без светофора, где велись дорожные работы. Система отключилась без предупреждения. На полторы секунды он растерялся, затем резко повернул руль, уходя на соседнюю полосу, и едва не столкнулся со встречным автомобилем. Аварии удалось избежать, но следующие три месяца он не решался пользоваться автопилотом на сложных перекрёстках.

•

Шестой месяц: продление страховки. Во втором месяце автосалон проверил по номеру автомобиля наличие страхового случая;

хотя в итоге владелец не обращался за выплатой, запись сохранилась в системе. В результате страховой взнос вырос с 9 230 до 13 500 юаней. Страховая компания объяснила, что эта модель относится к категории автомобилей с высоким уровнем выплат и даже при базовом тарифе взнос на следующий год будет повышен на 15 %.

За шесть месяцев г-н Чжан дополнительно потратил на автомобиль 13 800 юаней из собственных средств, 28 000 юаней на лидар и ещё 4 270 юаней из-за роста страховой премии — всего 46 070 юаней. Это составляет 14,1 % стоимости автомобиля, то есть примерно три его месячные зарплаты после уплаты налогов.

И это не просто его личная неудача. В «Тематическом отчете о защите прав потребителей в сфере интеллектуальных и подключенных к сети автомобилей», опубликованном Китайской ассоциацией защиты прав потребителей в первом квартале 2026 года, приводится следующая цифра: средняя сумма скрытых затрат на содержание интеллектуального автомобиля в первый год после покупки составляет 26 000 юаней, что в 3,7 раза превышает аналогичный показатель для автомобилей с двигателем внутреннего сгорания (около 7 000 юаней). Цель этой книги — подробно объяснить, куда утекают эти десятки тысяч юаней.

3. Разрыв

Традиционная автомобильная промышленность за 140 лет выстроила целую систему. Эта система опирается на три опоры: автомобиль — это механизм, человек полностью им управляет, а в случае происшествия ответственность лежит на человеке. Страховая математика, определение ответственности за ДТП, оценка безопасности — всё это построено на этом допущении.

У «умного» автомобиля все три опоры были выбиты, и система рухнула.

Аппаратное обеспечение. Автомобиль больше нельзя рассматривать как набор механических деталей, каждую из которых можно отдельно снять и заменить. Цельнолитая конструкция объединяет всю заднюю часть кузова: при серьёзном повреждении локальный ремонт может оказаться невозможен — примерно как в случае со стеной, у которой нельзя заменить только разбитый угол. Датчики при этом расположены в самых уязвимых местах кузова: в переднем бампере, боковых зеркалах, крыльях и на крыше. Даже обычная царапина на парковке может обойтись в 5–10 раз дороже, чем аналогичное повреждение у автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. Но эту разницу в цене определяют не автосервисы и не страховые компании, а решения, принятые инженерами ещё на этапе проектирования модели. Они выбрали литьё под давлением вместо штамповки, разместили лидар посередине крыши, а не за бампером, встроили 12 камер в боковые зеркала и среднюю стойку — и тем самым заранее определили, во сколько через несколько лет обойдётся ремонт.

Алгоритмы. Поведение автомобиля больше не определяется на сто процентов человеком. Модель восприятия может не заметить водоразбрызгиватель со странной формой задней части. Планировщик решений может застрять в бесконечном колебании на перекрестке без светофора. Система АЕВ, взвешивая «безопасное срабатывание» и «ложное срабатывание», может выбрать второе — и в самый ответственный момент тормоза не сработают. Это не механическая неисправность и не ошибка водителя, а «чёрный ящик» нейронной сети, обученной на ограниченном наборе данных, которая, столкнувшись с невиданной ранее ситуацией, принимает решение, которое не может объяснить даже тот, кто её создал.

Ответственность. Причины аварии включают в себя человеческую небрежность, ограничения алгоритма, повреждение датчиков — кто должен нести ответственность? Нынешний ответ закона прост: до официального внедрения уровня L3 все считается уровнем L2, и вся ответственность лежит на водителе. Логически это понятно. А на практике? От человека требуют следить за системой, которая по многим параметрам уже превосходит возможности человеческого восприятия, в то время как структура внимания человеческого мозга совершенно не приспособлена к длительному пассивному мониторингу. Усталость и рассеянность — не исключение, а неизбежность.

Итог виден уже сейчас: все три опоры пошатнулись одновременно. Ремонт становится всё дороже из-за аппаратной части, страховые случаи учащаются из-за особенностей алгоритмов, а распределение ответственности остаётся всё менее определённым. Страховые компании, которые в конечном счёте оплачивают ущерб, защищают свои балансы повышением взносов, ужесточением условий и отказами в выплатах. Между ними оказывается владелец автомобиля: он заплатил больше, но получил ещё больше неопределённости.

4. Как читать эту книгу

Эта книга — не руководство по покупке автомобиля, не юридический справочник и не техническая статья. Это карта, на которой отмечено, какие дороги реальны, где ямы, а где — серые зоны, о которых пока нельзя сказать наверняка.

Шесть направлений:

Часть первая: «Аппаратное обеспечение». Как революция в технологиях производства отразилась на ваших счетах за ремонт. Физическая реальность цельнолитых деталей, «узлы спасения» при отключении электропитания после столкновения из-за скрытых дверных ручек, погрешности управления полурулем при экстренном маневре, нулевая деформация при ударе о дно у батарейного отсека СТС.

Вторая статья: Алгоритмы. Что на самом деле может и чего не может система автопилота в том автомобиле, который вы купили. Правовой разрыв и маркетинговая дымка между уровнями L2 и L3, «слепые зоны» в игре с китайским стилем вклинивания в поток, падение дальности действия камер с 300 до 30 метров в ливень, как режим «одна педаль» медленно, как ножом по плоти, подавляет ваши рефлексy при экстренном торможении, и что вы можете сделать в те несколько секунд, когда на автомагистрали раздается сигнал предупреждения о необходимости взять управление на себя.

Часть третья: Ответственность. Как законодательство распутывает этот клубок, когда в ДТП виноваты и человек, и машина. Логика судебных решений в ориентировочных прецедентах Верховного суда, расчеты, стоящие за обещанием BYD CNOA завершить рассмотрение дела в течение 24 часов, а также тревожные сигналы в виде принудительного отзыва NHTSA и аннулирования лицензии Cruise.

Часть 4: Страхование. Лабиринт исключений из ответственности в страховании новых источников энергии и интеллектуального вождения. «Задний ход» в виде «естественного износа», закреплённый при включении «трёх электрических систем» в основной полис; ОТА как серьёзно недооценённый новый источник риска; две самые острые «красные линии» отказа в выплате — заезд в воду и задевание днища; замкнутый круг интересов в отношении аппаратного обеспечения интеллектуального вождения: «только замена, без ремонта».

Пятая часть: Данные. Инструменты для вскрытия «черного ящика» данных автопроизводителей. Технические и правовые характеристики EDR и DSSAD; право на доступ к данным, предусмотренное статьёй 45 «Закона о защите персональных данных»; «золотое окно» в шесть месяцев для переложения бремени доказывания, предусмотренное статьёй 23 «Закона о защите прав потребителей»; а также эволюция судебной практики от принципа «кто утверждает, тот и доказывает» к принципу «доказывает тот, кто владеет доказательствами».

Часть шестая: Подержанные автомобили. Когда умный автомобиль становится подержанным — кризис принадлежности прав на цифровой контроль. Ловушка «цифрового заложника» при невозможности переоформления учетной записи в приложении, «черная дыра» конфиденциальности, когда данные о вождении продаются по открытой цене, исчезновение ценности подписки на программное обеспечение при сделках с подержанными автомобилями, а также положения о самозащите в одном договоре.

Три правила написания: во-первых, все данные, положения законов, судебные прецеденты и решения основаны на информации, доступной для общего доступа до июня 2026 года; даты источников указаны, и вы можете провести перекрестную проверку. Во-вторых, в технической части ставится цель «точности», а не «полноты» — логика излагается ясно, без перегрузки параметрами. В-третьих, сравнение Китая и США проводится не для того, чтобы определить, чья система лучше, а для того, чтобы показать, что эти вызовы являются продуктом самой технологии и не знают границ.

5. Предупреждение

Это не руководство по покупке автомобилей, не юридический справочник и не техническая статья.

Это междисциплинарный исследовательский отчёт — карта безопасности, составленная на стыке материаловедения, микроэлектроники, эргономики, права о нарушении прав, страховой математики и защиты прав потребителей. На карте некоторые места помечены как «проходимые» — например, право автомобилевладельцев на доступ к данным, закреплённое в «Законе о защите персональных данных», или новейшие правила Верховного суда о распределении бремени доказывания. В некоторых местах указано «проходите с осторожностью» — например, высокое соотношение «цена/комплектация» у автомобилей с цельнолитым кузовом или резкое сокращение эффективной дальности восприятия при использовании чисто визуальных систем в ливень. А в других местах прямо указано «правовой вакуум, спасайтесь сами» — например, как и кем будет определяться степень повреждения аппаратного обеспечения системы автономного вождения.

Лучшая защита для автовладельца — это не обещания какого-либо автопроизводителя взять на себя все риски, не эксклюзивные условия какой-либо страховой компании и тем более не демонстрационное видео какой-либо функции интеллектуального вождения. Это информация — знание о том, какие риски вы несете, откуда они берутся и какие козыри можно разыграть в рамках как инженерных, так и правовых рамок. Предоставить вам эти козыри — и есть вся цель этой книги.

Часть 1. «Оторванность аппаратного обеспечения от реального мира и реструктуризация затрат» — источники рисков на протяжении всего жизненного цикла интеллектуального автомобиля

Введение

: структурный сдвиг затрат

В 2025 году в мировой автомобильной промышленности широко цитировался, но редко подвергался глубокому анализу следующий факт: более половины совокупной рыночной капитализации десяти крупнейших мировых автопроизводителей приходилось на долю двух «новых игроков» — Tesla и BYD. Общим для этих двух компаний является не только производство электромобилей, но и активное продвижение «революции в производственных технологиях» — интегрированного литья под давлением, интеграции кузова и аккумуляторной батареи (СТС/СТВ), а также высокоинтегрированной электронно-электрической архитектуры. Основные обещания этой технологической революции заключаются в «снижении производственных затрат, повышении эффективности производства и усилении конкурентоспособности продукции» — эти три обещания уже в полной мере выполнены и продолжают реализовываться все быстрее.

Однако у этой «революции в производстве» есть один внешний эффект, стоимость которого не была в полной мере учтена: она перекладывает значительную часть затрат со стадии производства на стадию эксплуатации — с заводских цехов автопроизводителей на счета владельцев автомобилей за ремонт после ДТП. А поскольку потребители при покупке автомобиля практически никогда не учитывают «затраты на ремонт и страхование в течение всего жизненного цикла», этот перенос затрат на рынке является «невидимым» — он не влияет на привлекательность автомобиля в автосалоне, не фигурирует в таблицах сравнения конфигурационных параметров и не упоминается ни в одном обзорном видео автообозревателей. И только когда перед владельцем автомобиля появляется первый счет на продление страховки или первое ценовое предложение на ремонт после ДТП, этот «невидимый» перенос затрат становится очевидным.

В рамках столетней парадигмы традиционного автомобилестроения структура затрат на автомобиль является линейной: затраты на НИОКР (около 5–8 %) → производственные затраты (около 40–50 %) → затраты на продажи и маркетинг (около 20–25 %) → прибыль от послепродажного обслуживания и запчастей (около 15–20 %). Расходы владельца на ремонт в течение срока эксплуатации в основном зависят от трёх переменных: частоты ДТП (зависит от уровня вождения и состояния дорог), цен на запчасти (зависит от уровня конкуренции на рынке запчастей) и возможности кузовного и механического ремонта (зависит от материалов и конструкции).

Умные автомобили — особенно модели, в которых на базе чисто электрической платформы интегрировано аппаратное обеспечение систем помощи водителю высокого уровня — нарушают эту линейную структуру. В их затраты на весь жизненный цикл вводятся как минимум три новых переменных:

Во-первых, необратимость ремонта, обусловленная технологией: новые технологии, такие как интегрированное литье под давлением и СТС/СТВ, делают невозможным локальный ремонт большого количества конструктивных элементов. Мастер по кузовному ремонту традиционного автомобиля может за три часа выправить вмятину на стальной двери; но перед

деформированной крупной литой деталью, держа в руках молоток, он сталкивается с безжалостным приговором законов физики.

Во-вторых, вероятность повреждения при столкновении, обусловленная расположением датчиков: в традиционных автомобилях зонами повышенного риска при столкновении являются передний и задний бамперы — эти детали изначально проектировались как «жертвенные элементы», поглощающие энергию столкновений на низких скоростях, а стоимость их замены остается в пределах разумного. Однако ключевые датчики интеллектуальных автомобилей установлены именно в тех местах, где вероятность столкновения максимальна, а стоимость их замены в 10–50 раз превышает стоимость традиционных элементов кузова.

В-третьих, монополия на ремонт, обусловленная электронной архитектурой: для внутренней диагностики, калибровки и ремонта ключевых электронных компонентов, таких как контроллеры доменов, лидар и модули высокоточной навигации, требуется специальное программное обеспечение и инструменты — а все это полностью находится в распоряжении автопроизводителей и их авторизованной сети. Столкнувшись с «визуально исправным, но периодически дающим сбой» контроллером домена, независимая ремонтная мастерская может лишь отправить его обратно на завод-изготовитель — или порекомендовать владельцу автомобиля обратиться в официальный дилерский центр.

Совокупный эффект этих трех новых факторов заключается в следующем: затраты на ремонт и страхование умного автомобиля стоимостью 300 000 юаней в течение всего срока его эксплуатации (исходя из 10 лет или 150 000 км) могут оказаться сопоставимыми с затратами на традиционный автомобиль с двигателем внутреннего сгорания стоимостью 500 000 юаней или даже выше. Такой структурный сдвиг затрат — от «явных затрат» при покупке автомобиля к «скрытым затратам» в процессе эксплуатации — является наиболее распространённым и самым серьёзным информационным пробелом, с которым сталкиваются потребители при принятии решения о покупке автомобиля. Задача первой части данной статьи заключается в том, чтобы как можно полнее раскрыть эти скрытые затраты.

Глава 1. Итерации производственных технологий и разрыв в «экономичности ремонта»

1.1 Цена «большей безопасности»: когда соотношение цены запчастей к цене автомобиля превышает 600 %

В декабре 2025 года 14-й выпуск «Отчёта об исследовании соотношения стоимости запчастей к стоимости автомобиля», опубликованный Китайской ассоциацией страховой индустрии совместно с Китайским банковским Baohin, вызвал в отрасли настоящее «тихое землетрясение». Этот отчёт внимательно изучали актуарные отделы страховых компаний, но он редко попадал в поле зрения широкой публики. В нём приводились ключевые данные: у электромобилей с цельнолитой кузовной конструкцией средний коэффициент отношения стоимости запчастей к цене автомобиля достигал 610,38 %. Иными словами, если такая машина стоит 300 000 юаней, покупка всех её деталей по отдельности с последующей сборкой обошлась бы более чем в 1,83 млн юаней.

Для сравнения: в тот же период средний коэффициент соотношения стоимости запчастей к стоимости автомобиля для традиционных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания составлял 352,17 %, причем для люксовых брендов (Mercedes-Benz, BMW, Audi) он составлял примерно 450–550 %, а для основных совместных брендов — примерно 280–350 %. Иными словами, структура затрат на ремонт интегрированного электромобиля с литым корпусом в ценовой категории 200 000–300 000 юаней в целом превышает затраты на ремонт роскошного автомобиля с двигателем внутреннего сгорания в ценовой категории 500 000 юаней.

Эта цифра не случайное статистическое колебание. С тех пор как в середине 2021 года Китайский институт исследований безопасности на дорогах (CIRDI) впервые включил автомобили на новых источниках энергии в статистику соотношения «детали/автомобиль», показатель для моделей с цельнолитой конструкцией ежегодно рос: около 420 % в 2021 году, 480 % в 2022-м, 530 % в 2023-м, 575 % в 2024-м и более 600 % в 2025-м. Эта динамика во многом совпадает с распространением технологии цельного литья под давлением на мировом рынке автомобилей на новых источниках энергии: от первого применения Tesla в задней части днища Model Y в 2020 году до более чем 15 мировых производителей и свыше 40 моделей, использующих эту технологию к 2025 году. Согласно открытым данным алюминиевого гиганта Novelis и производителя литейного оборудования L.K. Group, в 2026 году мировой годовой выпуск крупных цельнолитых автомобильных деталей, по прогнозам, превысит 1,2 млн штук, тогда как в 2020 году он был близок к нулю.

И 600 % — не предел. По мере того как цельное литьё под давлением распространяется с задней части днища на более крупные элементы — переднюю часть кузова, центральную часть днища и поддон аккумуляторной батареи (у Tesla Cybertruck передняя и задняя цельнолитые детали вместе охватывают около 60 % каркаса кузова), отношение стоимости запчастей к цене автомобиля может вырасти до 700–800 %. Тогда совокупная стоимость запчастей для семейного электрического SUV ценой 300 000 юаней приблизится к 2,5 млн юаней, превысив этот показатель у некоторых моделей Ferrari.

Это не технический прогресс, а структурный перенос затрат — каждый юань, сэкономленный автопроизводителем на производстве, при ремонте автомобиля потребителем увеличивается до пяти, десяти или даже двадцати юаней.

1.2 Инженерная логика интегрированного литья под давлением и парадокс затрат

Прежде чем углубляться в металлургию интегрированного литья под давлением, необходимо сначала разобраться в инженерной картине этого процесса — его преимущества реальны, но и издержки также реальны и систематически недооцениваются.

Технические преимущества — почему автопроизводители стремятся внедрить эту технологию

С точки зрения производственной инженерии цельное литье под давлением дает три явных преимущества, на которые широко ссылаются автопроизводители:

Во-первых, значительно повысилась торсионная жесткость кузова. Благодаря объединению десятков, а то и сотен штампованных и сварных деталей в единую литую деталь, технология цельного литья под давлением позволила устранить тысячи точек сварки и швов, характерных для традиционной технологии точечной сварки, — именно эти точки и швы являются «слабыми местами» жесткости в традиционных кузовах. Согласно официальным данным Tesla, жесткость кузова Model Y при скручивании достигает примерно 46 000 Нм/град. благодаря использованию цельного литого днища, что на 20–30 % превышает показатели традиционных моделей того же класса. Более высокая торсионная жесткость означает лучшую точность управления, более низкий уровень NVH (шум, вибрация и акустическая шероховатость), а также более устойчивую конструкцию салона при столкновении.

Во-вторых, значительное снижение производственных затрат. Сложный производственный процесс, который ранее требовал десятков штамповочных пресс-форм, сотен сварочных приспособлений и нескольких километров сварных швов, был сведен к минималистичной схеме «один литейный пресс → одна отливка». Благодаря сокращению количества деталей и затрат на пресс-формы себестоимость единицы продукции снизилась примерно на 40% — это ключевой экономический аргумент, который автопроизводители неоднократно подчеркивают в финансовых отчетах и на пресс-конференциях.

В-третьих, вклад в снижение веса. По сравнению с традиционными штампованными и сварными узлами, которые они заменяют, интегрированные литые детали позволяют снизить вес примерно на 10–15 % за счет оптимизации толщины стенок и повышения коэффициента использования материала. Для электромобилей каждое снижение веса на 100 кг увеличивает запас хода примерно на 10–15 км — это напрямую влияет на конкурентоспособность продукта.

Парадокс затрат: снижение стоимости единицы продукции

≠ снижение совокупных затрат

Однако широко цитируемый выше показатель «снижение производственных затрат на 40%» описывает себестоимость единицы продукции (per-unit manufacturing cost), а не совокупную стоимость владения (total cost of ownership). С точки зрения совокупной стоимости владения, интегрированное литье под давлением сталкивается с тремя факторами, нивелирующими его преимущество в себестоимости единицы продукции:

Во-первых, потери из-за низкого выхода годного продукта. Фактический выход годного продукта для крупных цельных отливок обычно составляет 85–92 %. Это означает, что из каждых 100 отливок 8–15 штук подлежат утилизации или серьезной доработке из-за внутренних дефектов (количество пор, превышающее норму; усадка; трещины; недостаточное заполнение формы; отклонения в размерах). Затраты, связанные с этими бракованными деталями (энергозатраты на плавку алюминиевого расплава, время занятости литейной машины, износ пресс-формы, энергозатраты на термообработку), необходимо распределить на каждую годную деталь. Когда выход годных изделий резко падает с 99%+ (характерного для традиционных

штампованных деталей) до примерно 90%, его снижение оказывает значительное негативное влияние на себестоимость единицы продукции, которое нельзя игнорировать.

Во-вторых, срок службы пресс-форм и затраты на литьевые машины. Срок службы крупных литьевых пресс-форм (весом до 50–100 тонн), подвергающихся постоянным термическим ударам от расплавленного алюминия при температуре 680–720 °С и давлению литья свыше 80 МПа, значительно короче, чем у традиционных штампов для холодной штамповки. Срок службы одной крупной цельной литейной формы обычно составляет 80–150 тысяч циклов (в то время как у традиционных штампов он может достигать 5–10 миллионов циклов), а затраты на переоснащение и замену формы достигают нескольких миллионов юаней. Кроме того, цена одной гигантской литьевой машины с усилием сжатия 6000–9000 тонн составляет порядка 100–300 млн юаней — амортизация этих инвестиций в оборудование также должна распределяться на каждую отливку.

В-третьих, экстернализация затрат на ремонт. Это ключевое противоречие, которое неоднократно обсуждается на протяжении всей книги: интегрированное литье под давлением перекладывает значительную часть затрат со стадии производства (цеха автомобилестроительных компаний) на стадию эксплуатации (счета за ремонт после ДТП, выставляемые автоладельцам). Этот перенос затрат незаметен в отчетах об издержках производства автомобилестроительных компаний — он не фигурирует ни в одном квартальном финансовом отчете — но становится очевидным, когда автовладелец получает первый счет на ремонт после ДТП, сумма которого в 5–10 раз превышает стоимость ремонта традиционного автомобиля.

По состоянию на июнь 2026 года в мире наблюдаются различные технические подходы к применению интегрированного литья под давлением в ведущих моделях автомобилей. Приведенные ниже данные, обобщенные на основе открытых технических материалов по моделям и отраслевых исследований, демонстрируют ключевые параметры текущих лидирующих моделей в отношении степени интеграции литья под давлением:

Таблица 1-1. Сравнение параметров интегрированного литья под давлением у популярных моделей

Модель | Ударная сила литьевой машины (передняя/задняя) | Количество интегрированных деталей | Эффект снижения веса кузова | Торсионная жёсткость

Xpeng P7+ | 16 000 т / 16 000 т | 167 → 1 (всего) | 15,8 % | 40 500 Н·м/град

Wenjie M9 | 9000 т / 9000 т | 222 → 10 | 17 % | 41 000 Н·м/град

Xpeng G6 | 12 000Т / 12 000Т | Совокупное сокращение количества деталей в передней и задней частях кузова на 159 | 20% | 41 600 Н·м/град

Changan Qiyuan E07 | 7700Т / 7700Т | 163 → 2 | 10 % | Увеличение на 24 %

Tesla Model Y | 6000Т / 6000Т | 171 → 2 | Не указано | Около 46 000 Н·м/град

Из этой таблицы можно выделить две тенденции, заслуживающие внимания:

Xpeng P7+ олицетворяет радикальный подход «обмен веса на интеграцию». Это единственная в отрасли серийная модель, в которой как передняя, так и задняя части кузова изготовлены из цельного литого под давлением блока весом 16 000 тонн, объединяющего до 167 деталей в единое целое, что позволяет добиться максимальной лёгкости и жесткости кузова.

Wenjie M9 представляет собой подход «обмен масштаба на интеграцию». Его главной особенностью является поразительное количество интегрированных деталей — их число сокращено с 222 до 10, что соответствует снижению на 95 %, что свидетельствует о чрезвычайно высоком уровне интеграции.

С инженерной точки зрения нет однозначного ответа на вопрос, какой из этих подходов лучше, а какой хуже. Однако с точки зрения экономичности ремонта более высокая степень интеграции (чем меньше деталей) означает меньшее количество «блоков», подлежащих локальной замене после столкновения, а значит — более высокие затраты на ремонт. Именно

этот компромисс станет центральной темой анализа, который будет рассмотрен в разделе 1.4 данной книги.

В декабре 2025 года данные, опубликованные Государственным управлением финансового надзора и регулирования Китая, предоставили количественное подтверждение вышеуказанного анализа со стороны страхового сектора: доходы от страховых премий по автомобилям на новых источниках энергии выросли на 37 % по сравнению с предыдущим годом, однако доля страховых компаний, у которых убыточность по страховым обязательствам превысила 60 %, увеличилась. Регулирующие органы были вынуждены разрешить страховым компаниям применять дифференцированное ценообразование по принципу «одна машина — одна цена» для моделей с высоким уровнем риска. При этом модели с высокой долей интегрированного литья под давлением, такие как Tesla Model Y и NIO ET5, как раз и относятся к категории, в которой наблюдается наибольший рост страховых тарифов. Рост затрат на ремонт, вызванный использованием интегрированного литья под давлением, уже вышел за рамки «академических дискуссий» — он реально и количественно отразился в актуарных моделях страховых компаний и в счетах за страховые взносы потребителей.

1.2.1 Металлургическая логика цельнолитых деталей

Чтобы понять, почему цельное литье приводит к неконтролируемому росту затрат на ремонт, нельзя ограничиваться уровнем здравого смысла, согласно которому «поскольку деталь изготовлена цельной, то при поломке приходится заменять её целиком». Нам необходимо углубиться в мир кристаллической структуры алюминиевых сплавов.

Алюминиевые сплавы, используемые в цельном литье под давлением, обычно относятся к системе Al-Si-Mg-Mn (например, патентные марки AlSi10MnMg, C611 и т. д.), их химический состав примерно следующий: Si 9,5–11,5 % (улучшает текучесть и эффективность литья), Mg 0,2–0,5 % (элемент, упрочняющий при термообработке, образующий фазу выделения Mg_2Si), Mn 0,5–0,8 % (подавляет хрупкость железосодержащих фаз, улучшает вязкость), $Fe \leq 0,25$ % (строго контролируемый примесь, избыток которого приводит к образованию игольчатой фазы $\beta-AlFeSi$, что серьезно ухудшает относительное удлинение), а также следовые количества Ti, Sr (утончение кристаллитов и конденсационная обработка кремния).

Эти сплавы заливаются в формы гигантских литейных машин (усилие сжатия 6 000–9 000 тонн) со скоростью примерно 0,03–0,06 секунды (скорость наполнения формы может достигать 40–80 м/с) в расплавленном состоянии при температуре около 680–720 °C под давлением литья, превышающим 80 МПа. Затем происходит быстрое охлаждение (температура формы составляет примерно 150–250 °C), в результате чего образуются первичные $\alpha-Al$ -дебридиты и мелкослоистая эвтектическая структура Si. После извлечения из формы отливки подвергаются термообработке T5 (искусственный старение) или T6 (растворение + искусственное старение), в результате чего выделяется дисперсная наноразмерная упрочняющая фаза Mg_2Si , что в конечном итоге обеспечивает комплексные механические характеристики: предел прочности при растяжении около 250–320 МПа, предел текучести около 120–180 МПа и относительное удлинение около 8–12 %.

Это точный и необратимый металлургический процесс.

Одна из проблем необратимости: сложности, связанные с упрочнением при обработке

Когда цельная литая деталь подвергается при столкновении нагрузке, превышающей её предел текучести, внутри материала происходит необратимое пластическое деформирование. В случае традиционных автомобильных стальных листов — таких как B340LA (высокопрочная низколегированная сталь с пределом текучести 340 МПа) или DP590 (дуплексная сталь с пределом текучести 590 МПа) — ремонт листового металла возможен, поскольку:

сталь с кубической решёткой с центром в объёме (БЦС) при комнатной температуре обладает множеством систем скольжения, и пластическая деформация может равномерно распределяться за счёт движения и размножения диффузионных дефектов в различных направлениях

Благодаря контролируемому нагреву (отпуск при температуре около 400–600 °C) можно частично устранить запутывание диффузионных дефектов и остаточные напряжения, что позволяет материалу восстановить определенную пластичность

Толщина стенок стальных листов обычно находится в диапазоне 0,7–2,0 мм, при этом разброс по толщине невелик, а передача усилий в процессе ремонта происходит относительно равномерно

Однако цельные литые под давлением детали из алюминиевого сплава не обладают ни одним из вышеперечисленных преимуществ:

Алюминиевый сплав имеет гранцентрированную кубическую (ГЦК) структуру; несмотря на хорошую пластичность, степень деформационного упрочнения у него значительно выше, чем у стали — плотность дислокаций в зоне ударной деформации резко возрастает, локальная твёрдость может увеличиться на 30–50 %, а пластичность значительно снижается.

Попытка «вернуть в исходное состояние» алюминиевый сплав, подвергшийся сильной деформации, почти неизбежно приведёт к появлению трещин.

Локальный нагрев до температуры выше 200 °С (начальная температура многих процессов обработки листового металла) может вызвать перестарение алюминиевого сплава — упрочняющая фаза Mg_2Si из равномерно диспергированного наноразмерного состояния превращается в редкие микроскопические частицы, в результате чего упрочняющий эффект практически полностью теряется. Локальная прочность может упасть с 280 МПа до менее 200 МПа, что составляет менее 70 % от первоначальной прочности.

Толщина стенок отливки резко варьируется в диапазоне от 2,0 мм до 8,0 мм и даже больше. Деформация обычно в первую очередь возникает в областях с наименьшей толщиной стенок (поскольку в этих областях несущая способность минимальна), а геометрия этих областей наиболее сложна (ребра жесткости, монтажные опоры, дренажные канавки и другие функциональные элементы), что не позволяет эффективно восстановить передачу усилий.

Вторая необратимость: невозможность обнаружения внутренних повреждений

Ещё более скрытой проблемой являются микродефекты внутри отливки. Выход годных изделий (показатель, общепринятый в литейной отрасли) для крупных цельных литых под давлением деталей обычно составляет 85–92 %. Это означает, что из каждых 100 выпущенных из формы отливок в 8–15 при рентгеновском или компьютерно-томографическом контроле обнаруживаются превышающие нормы поры, усадка, включения или микротрещины — эти дефекты существовали уже при выпуске, просто их размеры были меньше порогового значения, допускаемого стандартами приемки (обычно максимально допустимый диаметр пор составляет 1,0–2,0 мм).

Сложность проблемы заключается в том, что удар при столкновении может привести к расширению изначально безобидного субкритического дефекта до опасной структурной трещины. Поры с исходным диаметром 0,5 мм под воздействием ударного ускорения 50 g могут вызвать концентрацию напряжений в окружающей области, что приведет к зарождению усталостной трещины — эта трещина совершенно незаметна при визуальном осмотре после столкновения, но в будущем, под воздействием вибрации при пробеге в несколько тысяч километров, она может постепенно расширяться, пока не произойдет разрушение в момент, когда этого не должно было случиться.

В настоящее время ни один автосервис или страховая компания не обладает возможностью проводить «оценку безопасности внутренних дефектов» цельных литых деталей после столкновения. Стоимость оборудования, уполномоченного для выполнения этой задачи — промышленной системы компьютерной томографии — обычно колеблется от 5 до 20 миллионов юаней, а стоимость одного сканирования с анализом составляет от 5 000 до 20 000 юаней. Даже если бы такая возможность существовала, отсутствуют общепризнанные в отрасли стандарты «допустимых размеров дефектов» — какие трещины считаются безопасными? На этот вопрос нет ответа, поскольку ни одна организация не поднимала его и не давала инженерно обоснованного ответа.

Под двойным давлением информационного вакуума и стремления избежать рисков единственный «безопасный» ответ звучит так: заменить.

1.3 Подробный анализ случая: задняя поддонная панель Tesla Model Y — весь процесс от столкновения сзади до «предполагаемого полного ущерба»

Цельнолитая задняя подвеска Tesla: около 171 штампованной и сварной детали объединены в 2 крупных литых изделия из алюминиевого сплава весом 6000 т. После столкновения её можно заменить только целиком, локальный ремонт невозможен — правда об экономике ремонта цельнолитых деталей

Дождливым вечером в марте 2025 года г-н Сунь из Ханчжоу ехал по скоростной трассе Дешэн на своей Model Y с задним приводом (стоимость автомобиля при покупке в июле 2024 года составила 249 900 юаней), приобретенной им в июле 2024 года, со скоростью около 50 км/ч. Впереди ехавший BMW X3 резко затормозил, уступая дорогу внезапно сменившему полосу движения такси. Г-н Сунь не успел затормозить и врезался в X3 с относительной скоростью около 35 км/ч.

Судя по внешнему виду, повреждения Model Y не слишком серьезны — деформированный задний бампер, локальная вмятина на задней двери и разбитый правый задний фонарь. Однако противоударная балка переднего бампера BMW X3 оказалась в «механическом пути» между задним бампером Model Y и задним днищем — сила удара прошла через противоударную балку X3 → опорную конструкцию заднего бампера Model Y → удлиненный участок задней продольной балки над задним днищем → и напрямую передавалась на цельное литое заднее днище.

Отчет об оценке ущерба, составленный после разборки и осмотра в автосалоне, заставил замолчать и г-на Суня, и его страховую компанию:

Деформация цельного литого поддона: область правого заднего крепления деформирована вниз примерно на 12 мм, на поверхности отливки видны две трещины длиной около 5 см каждая. Заключение автосалона: конструкция не подлежит восстановлению.

Вариант замены: в соответствии с требованиями руководства по ремонту Tesla необходимо разрезать узел заднего днища, что влечёт за собой демонтаж следующих узлов: — узел задней подвески (включая электродвигатель, приводной полуось и тормозную систему), блок аккумуляторных батарей высокого напряжения (точки крепления задней части аккумуляторного блока Model Y расположены над задним днищем), задние сиденья и салонная отделка, заднее стекло, а также задний бампер.

Общая стоимость: - Задний узел днища (запчасти): 58 000 юаней - Рабочее время на демонтаж и монтаж аккумуляторного блока высокого напряжения (включая слив и заправку охлаждающей жидкости): 12 000 юаней - Рабочее время на демонтаж и монтаж задней подвески: 8 000 юаней - Резка и сварка кузова (требуется оборудование для лазерной сварки): 15 000 юаней - Демонтаж и монтаж салона и стекол: 5 000 юаней - Регулировка углов установки колёс и калибровка системы помощи водителю: 4 000 юаней - Замена остальных элементов кузова: 12 000 юаней - Итого: 114 000 юаней

Автомобиль стоимостью 249 900 юаней, одно столкновение сзади при скорости 35 км/ч, стоимость ремонта — 114 000 юаней.

Автомобиль г-на Суня застрахован по полису страхования ущерба, страховая сумма составляет около 220 000 юаней (с учетом амортизации). Актуарная модель страховой компании показала: если выплатить 114 000 юаней, плюс снижение стоимости автомобиля в результате ДТП (запись о структурных повреждениях приведёт к постоянному снижению цены на подержанный автомобиль на 15–25 %), «фактическая экономическая стоимость восстановления» автомобиля приблизится к 70 % страховой суммы или превысит её — это близко к поро-

говой линии «предполагаемого полного ущерба». В итоге страховая компания выплатила возмещение в размере 114 000 юаней. Однако впоследствии она сообщила г-ну Суну, что его модель автомобиля в актуарной модели данной страховой компании была отнесена к категории «моделей с высоким риском», и при продлении полиса он столкнётся с повышением страховой ставки примерно на 30–40 %.

Стоимость ремонта автомобиля-противника BMW X3 г-на Сунь составила около 23 000 юаней (задний бампер, противоударная балка, кузовные работы и покраска задней двери). При одинаковой скорости столкновения, одинаковом угле столкновения и одинаковом типе ДТП — стоимость ремонта традиционного автомобиля с двигателем внутреннего сгорания, в который врезались сзади, составила 23 000 юаней, а стоимость ремонта электромобиля с литой каркасной конструкцией, врезавшегося в другой автомобиль сзади, — 114 000 юаней, разница составила почти 5 раз.

Это наиболее наглядное количественное выражение «экономического разрыва в области ремонта».

1.4 От Model Y к всей отрасли: экономика ремонта в контексте литья под давлением цельных деталей

Случай г-на Сунь не является исключением только для Tesla. По состоянию на июнь 2026 года к числу основных серийных моделей по всему миру, в которых применяется технология цельного литья под давлением, относятся, помимо прочего:

- Tesla: Model Y (заднее дно кузова, передний отсек, в некоторых регионах производства технология распространена и на среднее дно кузова), Cybertruck (переднее и заднее дно кузова), Model 3 Highland (заднее дно кузова)
NIO: ET5/ET5T (заднее дно кузова), ES6/EC6 второго поколения (заднее дно кузова), ET7 (передняя часть кузова + заднее дно кузова)
- Xpeng: G6 (цельная алюминиевая литая кузовная деталь, охватывающая площадь около 17 квадратных метров; по заявлению производителя, количество сварных швов сокращено более чем на 1600), X9 (цельная литая деталь)
- Zeekr: 009 (крупнейшая в мире серийная цельная литая деталь площадью около 2,2 м²), 001 FR-версия (заднее дно кузова)
- Wenjie/Seres: M9 (задняя поддона + цельная литая поддон аккумуляторной батареи), M7 Ultra (задняя поддона)
- Li Auto: MEGA (заднее дно, изготовленное методом литья под давлением), L6/L7/L8/L9, обновленная версия 2025 года (заднее дно)
- BYD: серии Seal/Sea Lion (интегрированная платформа СТВ, литая поддонная панель задней части кузова)
- Xiaomi: SU7 (заднее дно, литье под давлением на машине мощностью 9100 тонн, заявленная усадка по объёму не превышает 0,5%)
- Geely: Galaxy E8 (цельное литье под давлением переднего отсека + заднего днища, архитектура SEA Haohan), Zeekr 007 (заднее днище)
- Международные автопроизводители: серия Toyota bZ4X (передний отсек + заднее дно, модель 2026 года), первая модель на платформе Volkswagen SSP (запуск серийного производства запланирован на 2027 год, уже объявлено об использовании цельного литого под давлением заднего дна), Volvo EX90 (заднее дно)

Тревога в страховой отрасли

Перед лицом этого постоянно растущего списка китайская страховая отрасль уже забила тревогу. В четвёртом квартале 2025 года Китайская ассоциация актуариев опубликовала отчёт «Тематическое исследование по ценообразованию в страховании автомобилей на новых источниках энергии». В отчёте отмечается:

- комплексный коэффициент затрат (коэффициент выплат + коэффициент расходов) по страхованию автомобилей на новых источниках энергии достигнет 107,8 % в 2024 году, а в 2025 году, по прогнозам, составит 108,5 % — это означает, что на каждые 100 юаней полученных страховых премий страховая компания будет нести расходы на выплаты и административные расходы в размере примерно 108,5 юаней, что приводит к убытку от страхования в размере 8,5 юаней.

- В подгруппе моделей с цельнолитым кузовом совокупный коэффициент затрат достигает примерно 113–118% — это примерно в 1,5 раза превышает совокупный коэффициент затрат страховой отрасли в целом (около 97–98%).

- Основным фактором, приводящим к росту коэффициента выплат, является «значительно более высокая стоимость замены запчастей по сравнению с традиционными моделями», а уже на втором месте — несколько более высокая частота страховых случаев.

- Модель Ассоциации актуариев прогнозирует: если уровень проникновения технологии цельного литья под давлением будет продолжать расти в соответствии с текущими тенденциями (ожидается, что к 2028 году примерно 60–70 % моделей электромобилей будут использовать эту технологию хотя бы в одном из основных конструктивных элементов), совокупный коэффициент затрат по страхованию автомобилей на новых источниках энергии может достичь 112–115 % в 2028 году». Это приведет к тому, что страхование автомобилей на новых источниках энергии превратится из рынка добровольного страхования в «вид страхования с высокой стоимостью, регулируемый государством», аналогичный обязательному автострахованию».

Подтекст этого высказывания заключается в следующем: если страховые взносы не могут расти бесконечно (что ограничивается как платежеспособностью автовладельцев, так и давлением со стороны регулирующих органов), то у страховых компаний будет два варианта — либо ужесточить критерии страхования (отказаться от страхования определённых моделей с высоким риском), либо провести масштабную реформу тарифов (фактически заставив всех автовладельцев совместно покрывать высокие затраты на ремонт автомобилей, изготовленных методом интегрированного литья под давлением).

Независимо от выбранного пути, в конечном итоге расплачиваться придется потребителям.

1.4.1 Основная движущая сила использования цельнолитых деталей: «снижение веса» в обмен на «запас хода»

Прежде чем обсуждать проблемы с ремонтом автомобилей с цельнолитой конструкцией, необходимо задать более фундаментальный вопрос: почему производители электромобилей так активно стремятся к использованию цельнолитой конструкции и облегчению веса за счет алюминиевых сплавов? Ответ кроется в весе аккумуляторной батареи.

Самым большим инженерным недостатком интеллектуальных автомобилей (автомобилей на новых источниках энергии) является слишком большой вес аккумуляторной батареи. Чем больше запас хода, тем больше аккумуляторная батарея; чем больше аккумуляторная батарея, тем тяжелее автомобиль. Это физическое ограничение, которого невозможно обойти. Приведенное ниже сравнение полной массы основных моделей автомобилей на новых источниках энергии и традиционных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания наглядно демонстрирует этот «разрыв в весе»:

Таблица 1-2. Сравнение полной массы популярных моделей автомобилей на новых источниках энергии

Модель	Версия/комплектация	Полная масса (кг)	Класс автомобиля
Wenjie M9	Версия с удлиненным запасом хода (52 кВт·ч)	2650	Крупный внедорожник
Wenjie M9	Полностью электрическая версия (100 кВт·ч)	2610	Крупный внедорожник
Xpeng G6	Полностью электрическая удлинённая версия (модель 2026 года)	3105	Примечание: это полная масса автомобиля с полной загрузкой, собственная масса составляет около 2100 кг) Среднеразмерный внедорожник
Changan Qiyuan E07	Полностью электрическая версия с полным приводом (90 кВт·ч)	2398	Средне-крупный внедорожник
Changan Qiyuan E07	Версия с удлинённым пробегом и полным приводом (39 кВт·ч)	2395	Средне-крупный SUV
Xpeng G6	Версия с увеличенным запасом хода 625	2030	Среднеразмерный кроссовер
Xpeng G6	Версия с сверхдлинным запасом хода 725	2116	Среднеразмерный SUV
Xpeng G6	Версия с удлиненным запасом хода (модель 2026 года)	2190	Среднеразмерный SUV

Для сравнения — традиционные автомобили с двигателем внутреннего сгорания того же класса:

Таблица 1-3. Справочные данные по полной массе автомобилей с традиционным двигателем внутреннего сгорания

Модель	Полная масса (кг)	Класс автомобиля
Volkswagen Passat (модель 2026 года, 380TSI)	1620	Седан среднего класса
Hongqi H5 (версия 1.5T)	1565	Седан среднего класса
Hongqi H5 (версия 2.0T)	1635	Седан среднего класса
Volkswagen Tayron (330TSI)	1701	Среднеразмерный внедорожник
Volkswagen Tiguan L (версия 1.4T)	1535	Среднеразмерный кроссовер
Volkswagen Lavida (1,5 л)	1295	Компактный седан
Volkswagen Sagitar (200TSI)	1382	Компактный седан

Судя по данным, распределение веса основных моделей автомобилей с двигателями внутреннего сгорания имеет четкую закономерность: вес седанов обычно колеблется от 1,3 до 1,6 тонны, а среднеразмерных внедорожников — от 1,5 до 1,7 тонны. При этом электромобили того же класса, как правило, весят на 300–800 кг больше — это эквивалентно дополнительному весу 5–10 взрослых человек по сравнению с автомобилями на топливе.

Именно этот «разрыв в весе» лежит в основе всех усилий по облегчению конструкции. Автопроизводители стремятся к использованию технологий интегрированного литья под давлением, кузовных панелей из алюминиевого сплава и интеграции кузова с аккумуляторной батареей (СТС) — и их главная цель заключается не в «снижении производственных затрат» (хотя это и является основным акцентом в рекламных кампаниях), а в снижении веса. Каждое снижение веса на 100 кг позволяет увеличить запас хода электромобиля примерно на 10–15 км — на рынке, где потребители считают запас хода ключевым показателем при покупке автомобиля, это является жестким ограничением.

Генеральный секретарь Подразделения пассажирских автомобилей Китайской ассоциации автопроизводителей Цуй Дуншу однажды прямо заявил: «Положение автопроизводителей просто плачевно — всю прибыль забирают аккумуляторы». Эти слова отражают жесткую реальность отрасли: аккумуляторы не только составляют 30–40 % от стоимости автомобиля, но и их огромный вес вынуждает автопроизводителей нести высокие затраты на облегчение кузова и ходовой части — интегрированное литье под давлением, полностью алюминиевый кузов, детали из углеродного волокна — значительная часть затрат на эти «высокотехнологичные процессы» фактически идет на «оплату» веса аккумуляторов.

Отсюда можно сделать вывод, лежащий в основе всей книги: конечной целью цельного литья под давлением является снижение веса, а не сокращение затрат. Снижение затрат является побочным эффектом уменьшения веса, а выход из-под контроля затрат на ремонт — это длинная тень, которую этот «мощный инструмент для снижения веса» — цельное литье под давлением — бросает на рынок послепродажного обслуживания. За каждым из лозунгов — «облегченная конструкция», «высокая жесткость», «большой запас хода», — которые потребители видят в автосалонах, скрывается скрытый счет, который может предъявиться при ремонте после ДТП в будущем.

1.5 Физические ограничения кузовных деталей из алюминиевого сплава

Помимо не поддающихся ремонту литых деталей, существует ещё один фактор, который находится на том же звене цепочки экономической эффективности ремонта, но обсуждается гораздо реже — ремонт кузовных деталей из алюминиевого сплава.

В целях снижения веса (электромобили гораздо более чувствительны к весу, чем автомобили с двигателем внутреннего сгорания — каждое снижение веса на 100 кг позволяет увеличить запас хода примерно на 10–15 км) во всё большем числе моделей электромобилей наружные элементы кузова, такие как капот, двери, крылья и крышка багажника, изготавливаются из алюминиевого сплава вместо стальных листов. Эти алюминиевые листы обычно относятся к серии 5 (сплавы Al-Mg, например 5052, 5182, 5754) или серии 6 (сплавы Al-Mg-Si, например 6016, 6014, 6111), их толщина составляет примерно 0,8–1,2 мм.

Однако ремонт алюминиевых листов значительно сложнее, чем стальных:

Низкий модуль упругости: модуль упругости алюминиевого сплава составляет около 70 ГПа, что составляет лишь одну треть от значения для стали (около 200 ГПа). Это означает, что при одинаковой силе удара степень деформации алюминиевого сплава примерно в три раза превышает степень деформации стального листа — площадь повреждения оказывается больше.

Предел текучести и предел прочности на разрыв близки: для многих марок алюминиевых сплавов отношение предела текучести к пределу прочности на разрыв (коэффициент текучести) составляет примерно 0,7–0,85, тогда как для стальных листов этот показатель обычно составляет 0,5–0,6. Это приводит к тому, что «безопасный диапазон» пластической деформации алюминиевого сплава более узок — при восстановлении листового металла с помощью молотка рабочее окно между состояниями «пластичности» и «растрескивания» материала становится меньше.

Большой и труднопредсказуемый объем пружинного отскока: высокий коэффициент пружинного отскока алюминиевых сплавов в сочетании с низким модулем упругости делает контроль точности формы после ремонта чрезвычайно сложным. Коэффициент пружинного отскока стальных листов обычно составляет 5–15 %, тогда как у алюминиевых сплавов он может достигать 20–30 %.

Теплочувствительность: теплопроводность алюминиевых листов примерно в 4 раза выше, чем у стали; при локальном нагреве тепло быстро передаётся в окружающие области, что затрудняет точное локальное отжигание или термдеформацию.

Результатом совокупности этих факторов является то, что при деформации средней степени алюминиевые кузовные детали в стандартных рабочих процедурах многих автосалонов и авторизованных сервисных центров классифицируются как «неподдающиеся ремонту, требующие замены». Стоимость замены алюминиевого капота обычно составляет 8 000–15 000 юаней (запчасть + покраска + рабочее время), тогда как стоимость кузовного ремонта и покраски стального капота обычно составляет 2 000–4 000 юаней.

С точки зрения материаловедения «полностью алюминиевый кузов» — это палка о двух концах: он снижает вес, увеличивает запас хода и сокращает повседневный расход энергии — все это являются ключевыми преимуществами, которые дилеры особо подчеркивают при продаже автомобилей. Однако высокая стоимость ремонта после ДТП — эта информация, как правило, не фигурирует ни на одной странице продуктового руководства.

1.6 Сравнение систем оценки краш-тестов в Китае и США и их «слепые зоны»

Если цельнолитой алюминиевый кузов определяет нижний предел затрат на ремонт с физической точки зрения, то система оценки безопасности при столкновениях определяет на институциональном уровне, могут ли эти физические характеристики быть преобразованы в информацию, на которой основываются решения потребителей и страховых компаний.

В настоящее время параллельно существующие в Китае и США основные системы краш-тестов имеют свои приоритеты, но обе содержат значительные «слепые зоны» в аспекте «экономичности ремонта».

Китай: двойная система C-NCAP и C-IASI

C-NCAP (Китайский протокол оценки новых автомобилей), управляемый Китайским центром автомобильных технологий (СААТС), является наиболее влиятельной в Китае системой оценки безопасности новых автомобилей. В версии протокола оценки 2024 года баллы распределяются по трем основным параметрам:

- Защита пассажиров (вес около 56%): включает 100%-ное лобовое столкновение (50 км/ч), боковое столкновение (50 км/ч, подвижная преграда), 40%-ное смещенное столкновение (64 км/ч), боковое столкновение со стойкой (32 км/ч), испытание на хлыстовый удар, защиту детей-пассажиров, защиту пешеходов и т. д.

- Защита уязвимых участников дорожного движения (VRU) (вес около 20 %): включает удар по голове, удар по бедру, удар по голени, АЕВ-VRU (автоматическое экстренное торможение при обнаружении пешеходов, велосипедистов и электровелосипедистов).

- Активная безопасность (вес около 24 %): включает АЕВ «автомобиль-автомобиль» (столкновения сзади, на перекрестках, «выскакивание» из-за поворота), удержание полосы движения, контроль слепых зон, помощь в регулировании скорости, мониторинг состояния водителя и т. д.

В системе оценки C-NCAP совершенно не учитывается аспект экономичности ремонта. Цель этой оценки заключается исключительно в измерении уровня «защиты жизни и здоровья людей» — это самое простое понимание краш-тестов со стороны общественности («безопасна ли эта машина»), однако при этом упускается из виду не менее важный вопрос: способность защитить «человека» и способность защитить «кошелек» не всегда совпадают, и в случае с интеллектуальными автомобилями между ними часто возникает противоречие.

C-IASI (Китайский страховой индекс безопасности автомобилей), разработанный под руководством Китайской ассоциации страховой индустрии и управляемый Научно-исследовательским институтом автомобильных технологий США, представляет собой систему оценки безопасности, в большей степени отвечающую потребностям страховых компаний. Впервые в четырех критериях оценки этой системы включён «индекс ударопрочности и экономичности ремонта»:

- Ударопрочность и экономичность ремонта: фронтальное столкновение с низкой скоростью 15 км/ч + столкновение сзади с низкой скоростью 15 км/ч → оценка степени повреждения системы бамперов автомобиля при столкновениях на низкой скорости и затрат на ремонт

- Безопасность пассажиров: лобовое столкновение со смещением на 25 % при скорости 64 км/ч + боковое столкновение при скорости 50 км/ч + прочность крыши + сиденья/подголовники

- Безопасность пешеходов: удар по голове + удар по бедру + удар по голени

- Вспомогательные системы безопасности: АЕВ, FCW, LSS и др.

Индекс «Ударопрочности и экономичности ремонта» C-IASI является единственным показателем в основных системах краш-тестов Китая и США, который явно учитывает затраты на ремонт — однако у него есть два структурных ограничения:

Ограничение 1: слишком низкая скорость испытаний. Скорость 15 км/ч охватывает лишь сценарии низкоскоростных задеваний на парковках и столкновений сзади на крайне низких скоростях. При такой скорости энергопоглощающие камеры бамперов и противоударные балки большинства автомобилей могут эффективно поглощать энергию удара, предотвращая распространение повреждений на несущие элементы кузова. Однако в реальности большинство аварий, требующих «непомерно дорогого ремонта», происходит в диапазоне средних скоростей 30–60 км/ч — именно это наиболее распространенная скорость столкновений на городских дорогах и скоростных трассах, а также именно при таких скоростях в литых под давлением деталях начинают появляться необратимые повреждения. Испытания C-IASI со скоростью 15 км/ч не позволяют оценить затраты на ремонт в этом наиболее критическом диапазоне риска.

Ограничение № 2: слишком узкий диапазон оценки. Оценка экономической эффективности ремонта по C-IASI учитывает только затраты на ремонт «системы переднего и заднего бамперов», не включая повреждения несущих элементов кузова (задней поддоны, передней продольной балки, передних стоек и т. д.) — ведь в эпоху традиционных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания повреждение несущих элементов обычно напрямую означало полную гибель автомобиля, и вопрос «экономической эффективности» не стоял. Однако эпоха интегрированных литых деталей породила новые сценарии, которых не существовало в эпоху традиционных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания: несущие элементы могут быть повреждены, но не до такой степени, чтобы привести к полной гибели автомобиля — их замена обходится в 80 000–120 000 юаней, и автомобиль после ремонта продолжает эксплуатироваться. Эта ситуация находится в «серой зоне» между «незначительными повреждениями (ремонт бампера)» и «полной гибелью (утилизация всего автомобиля)», а существующие системы оценки столкновений не охватывают эту зону вообще.

США: «слепые зоны» в оценках IIHS и NHTSA

Две системы краш-тестов в США, проводимых в рамках программы — рейтинг безопасности автомобилей Ассоциации страхования безопасности на дорогах (IIHS) и пятизвездочный рейтинг безопасности Национального управления безопасности дорожного движения (NHTSA) — пользуются наивысшим авторитетом во всем мире. Однако их охват в аспекте экономичности ремонта также оставляет желать лучшего.

В 2024 году IIHS обновил свой наиболее знаковый тест «Moderate Overlap Front Test» (фронтальное столкновение со средней степенью перекрытия), увеличив скорость столкновения с 40 миль/ч (64 км/ч) до 45 миль/ч (72 км/ч) и добавив требования по защите пассажиров задних сидений — это широко признанное усовершенствование стандартов безопасности. Однако «оценка стоимости ремонта» IIHS ограничивается «тестом бамперов» (Bumper Test) — столкновениями переднего и заднего бамперов на скоростях 10 миль/ч (16 км/ч) и 5 миль/ч (8 км/ч) с целью оценки степени повреждений. Эта скорость ниже, чем 15 км/ч в тесте C-IASI, и не позволяет оценить риски, связанные со стоимостью ремонта цельнолитых деталей.

Пятизвездочная система рейтингов NHTSA полностью сосредоточена на риске телесных повреждений — вероятности травм головы и грудной клетки при лобовом столкновении, вероятности травм грудной клетки и таза при боковом столкновении, а также на устойчивости к опрокидыванию. NHTSA не оценивает экономическую эффективность ремонта в какой бы то ни было форме.

Механизм обратной связи в отношении «слепых зон» системы оценки

«Слепые зоны» системы оценки столкновений — это не чисто академическая проблема: через механизм ценообразования в сфере страхования они напрямую превращаются в экономическое бремя для потребителей.

Актuarное ценообразование страховых компаний опирается на два ключевых показателя: частоту выплат (коэффициент убыточности) и размер выплат (средняя сумма выплаты по одному делу). Для традиционных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания прогнозирование этих двух параметров может основываться на огромных объемах исторических данных, охватывающих десятки лет. Однако для интеллектуальных электромобилей, в которых применяются новые технологии и архитектура, исторических данных практически нет — страховые компании вынуждены устанавливать цены, ориентируясь вслепую.

Рейтинг экономичности ремонта C-IASI должен был бы стать важным ориентиром для страховых компаний при ценообразовании — однако, поскольку этот рейтинг основан исключительно на столкновениях на низкой скорости 15 км/ч и не учитывает затраты на конструкционные элементы, он практически не имеет практической ценности для прогнозирования сумм выплат по моделям с цельнолитой кузовной конструкцией. Страховым компаниям на самом деле нужен набор «тестов экономичности ремонта», охватывающий несколько скоростных диапазонов (30 км/ч, 50 км/ч, 64 км/ч) и учитывающий сценарии повреждения конструкционных элементов. Однако таких тестов в настоящее время не существует — их разработка требует огромных вложений (автомобили для краш-тестов, испытательное оборудование, анализ данных, разработка стандартов), а перспективы окупаемости этих вложений неопределенны.

На рынке, где отсутствует необходимая информация, рациональным выбором для страховых компаний является чрезмерная осторожность — взимание более высоких страховых взносов со всех моделей, оснащенных моноблочной литой конструкцией и каркасом из новых материалов, вместо точного ценообразования с учетом конкретной конструкции каждой модели. В результате даже если какая-то модель с интегрированными литыми деталями может показать в столкновении результаты не хуже традиционных моделей (например, если её литые детали спроектированы особенно прочно и не деформируются при столкновениях средней силы), она всё равно будет облагаться более высокими страховыми взносами из-за «рисковой маркировки по типу» — что идеально соответствует статистической «экологической ошибке»: систематическому смещению, при котором среднее значение по группе используется для вывода характеристик отдельных индивидуумов.

С точки зрения потребителя это означает следующее: даже если приобретённый вами интеллектуальный автомобиль безопаснее традиционного автомобиля той же ценовой категории и риск травмирования пассажиров ниже, страховые взносы могут оказаться выше из-за большей общей стоимости ремонта таких машин. В рамках действующей системы этот разрыв между уровнем безопасности и стоимостью владения устранить невозможно.

1.7 Инженерные истоки «антигуманного» дизайна (часть 1): скрытые дверные ручки — физическое препятствие для спасательных операций

24 февраля 2019 года, город Дэви, штат Флорида. 48-летний отец, управляя автомобилем Tesla Model S, двигался по межштатной автомагистрали со скоростью около 120 км/ч, когда автомобиль внезапно выехал с полосы движения, врезался в пальму и загорелся. Пожарные прибыли на место происшествия примерно через 3 минуты, но обнаружили, что все четыре двери автомобиля невозможно открыть снаружи. К моменту, когда спасатели с помощью отмычек силой открыли двери, водитель уже скончался. Этот инцидент впоследствии стал поводом для проведения Национальным советом по безопасности на транспорте США (NTSB) специального расследования по вопросу безопасности открывания дверей электромобилей после столкновения.

Скрытые электрические дверные ручки — этот элемент дизайна, вызывающий восторженные возгласы у потребителей в автосалонах, — в случае столкновения могут стать препятствием, от которого зависит жизнь или смерть.

Логика инженерного проектирования

Основной принцип работы скрытых дверных ручек заключается в следующем: 1. В состоянии покоя: дверная ручка находится на одном уровне с поверхностью кузова и убирается внутрь с помощью электродвигателя или электромагнитного механизма 2. Срабатывание разблокировки: приближение ключа (распознавание по Bluetooth/NFC) или сигнал разблокировки автомобиля → контроллер кузова (BCM) подает команду на выдвижение → миниатюрный двигатель (обычно 12 В постоянного тока, мощностью около 10–30 Вт) приводит в действие зубчатый/рычажный механизм → дверная ручка выдвигается примерно на 30–50 мм за 0,5–1,0 секунды 3. Механический резерв: на случай сбоя питания 12 В в некоторых моделях предусмотрена механическая аварийная ручка — обычно она скрыта в глубине дверного отсека, за декоративной накладкой средней стойки или активируется длительным нажатием/несколькими нажатиями на какой-либо незаметный механический элемент

С точки зрения аэродинамики скрытые дверные ручки вносят незначительный вклад: согласно техническим документам BMW и Mercedes-Benz, гладкая поверхность двери может снизить коэффициент аэродинамического сопротивления (C_d) примерно на 0,003–0,005 при движении на высокой скорости. Для электромобиля с запасом хода 500 км такое снижение коэффициента C_d может обеспечить увеличение запаса хода примерно на 5–8 км — в маркетинговых таблицах это выглядит внушительно, но в реальных условиях оптимизации энергопотребления практически несущественно (это соответствует экономии энергии при повышении температуры кондиционера на 1 °C).

Механизмы опасности при столкновении

Опасность, которую представляют скрытые дверные ручки при столкновении, заключается в системном отказе, вызванном совокупностью нескольких факторов:

Прерывание питания 12 В: практически все электромобили после серьезного столкновения автоматически отключают систему высоковольтных аккумуляторов (с помощью высоковольтного предохранительного выключателя/пиропатрона), чтобы предотвратить риск поражения электрическим током и теплового разгона. Однако в электрической архитектуре некоторых моделей питание 12 В также прерывается после столкновения — либо из-за повреждения самой 12-вольтовой батареи в результате столкновения, либо из-за того, что система управления питанием интерпретирует сигнал столкновения как «необходимость отключения питания». Как только питание системы 12 В отключается, скрытые дверные ручки не могут выдвигаться с помощью электропривода.

Заклинивание механизма из-за деформации: деформация дверной рамы в результате столкновения может не только помешать открытию самой двери, но и заклинить механизм дверной ручки. Даже при нормальной работе системы 12 В дверная ручка с электроприводом может застрять в деформированных металлических деталях и не выдвинуться настолько, чтобы её можно было ухватить.

Сложность доступа извне: в автомобилях, где скрытая дверная ручка полностью утоплена в поверхность, спасателям практически невозможно найти и задействовать скрытую механическую аварийную ручку в условиях темноты, густого дыма, дождя или в стрессовой ситуации. Гидравлическому расширителю пожарного также необходимо найти зазор между дверной панелью и дверной коробкой размером не менее нескольких миллиметров для введения инструмента — однако скрытая ручка не предоставляет никаких точек захвата и не создает начального зазора для вскрытия.

Проблемы с эвакуацией пассажиров из салона: если в результате столкновения пассажиры в салоне потеряли сознание или получили тяжёлые травмы, каждая секунда задержки внешней помощи из-за проблем с дверными ручками может стать вопросом жизни и смерти.

Ещё более опасно то, что если в результате столкновения в салоне возникнет пожар (пожар, вызванный тепловым разбалансом в электромобилях, распространяется с огромной скоростью — от появления первого дыма до появления открытого пламени может пройти менее 10 секунд), то пассажиры, застрявшие в автомобиле, окажутся перед лицом бомбы замедленного действия.

«Серая зона» в законодательстве

Действующий в Китае национальный стандарт GB 11551-2024 «Защита пассажиров при лобовом столкновении автомобилей» предписывает, что после испытания на лобовое столкновение двери должны «открываться снаружи без использования инструментов». Однако ключевая неопределённость этого положения заключается в следующем:

- испытания проводятся в лабораторных условиях, и сразу после столкновения ими занимаются технические специалисты, хорошо знакомые с конструкцией автомобиля, — а не в хаосе реальной аварии, когда этим занимаются внешние спасатели, которые могут совершенно не разбираться в данной модели автомобиля.

- Формулировка «открываться без использования инструментов» не требует, чтобы дверная ручка автоматически выскакивала после отключения электропитания — достаточно, чтобы какой-либо скрытый механизм можно было привести в действие голыми руками, и это уже соответствует требованиям текста норматива. Однако норматив не содержит дополнительных требований относительно того, действительно ли такая «возможность управления голыми руками» достижима в реальных условиях спасательной операции.

- Ситуация возгорания после столкновения не входит в сферу исследования стандартных краш-тестов. Краш-тесты оценивают «защиту пассажиров в момент столкновения», а не «возможность пассажиров успешно эвакуироваться после столкновения». Это два совершенно разных вопроса — одинаковый пятизвездочный рейтинг по краш-тестам может означать отличные показатели по первому вопросу при наличии серьезных конструктивных недостатков по второму.

В 2025 году Министерство промышленности и информационных технологий Китая начало исследование по пересмотру стандарта GB 11551, в котором «удобство открывания дверей после столкновения» было включено в число приоритетных вопросов для пересмотра. Европейская организация NCAP также включила в проект новых правил 2026 года критерий оценки «удобство спасательных операций после столкновения» — в случае внедрения он станет первым в мире показателем «удобства спасательных операций», включенным в основную систему оценки безопасности при столкновениях. Однако по состоянию на июнь 2026 года обе эти поправки находятся на стадии исследования и сбора комментариев и еще не преобразованы в обязательные технические требования.

Рекомендации Национального совета по безопасности на транспорте США (NTSB)

В 2021 году Национальный совет по безопасности на транспорте США (NTSB) опубликовал специальный отчет о безопасности спасательных операций после столкновений с участием электромобилей. Одним из важных рекомендаций отчета является следующее: автопроизводители должны разработать для всех электромобилей набор четко обозначенных стандартизированных механизмов экстренного открывания дверей, которые можно было бы использовать извне автомобиля после столкновения (даже в случае полного выхода из строя 12-вольтовой системы). Рекомендации NTSB не имеют обязательной силы для американских автопроизводителей (только NHTSA обладает полномочиями устанавливать обязательные стандарты), однако NHTSA до сих пор не преобразовала эту рекомендацию в федеральный стандарт безопасности автомобилей (FMVSS).

По состоянию на 2026 год ни на одном рынке мира не существует обязательных нормативных требований, согласно которым скрытые дверные ручки должны легко открываться спасателями извне после отключения электропитания в результате столкновения. Это представляет собой системный регуляторный вакуум.

1.8 Истоки «античеловеческой» конструкции (часть вторая): рулевое колесо типа «Yoke» — опасный эксперимент в области эргономики

В 2021 году компания Tesla представила миру полукольцевое рулевое колесо (Yoke Steering) на презентации Model S Plaid. Илон Маск заявил на презентации: «Это рулевое колесо создает ощущение, будто вы управляете самолетом». Эта знаменитая фраза впоследствии была повторена бесчисленным множеством автомобильных обозревателей и авторов в социальных сетях.

Однако эта аналогия упускает из виду один важный факт: условия управления ручкой управления самолёта (Side Stick или Yoke) принципиально отличаются от условий управления рулём автомобиля. Самолёт в воздухе летит по заранее запланированному маршруту с большим радиусом поворота, при этом резкие развороты требуются крайне редко, а пилоты проходят сотни часов профессиональной подготовки, в результате чего их действия с ручкой управления в основном сводятся к «небольшим, точным корректировкам». В то же время водитель автомобиля на дороге сталкивается с возникающими в любой момент ситуациями, требующими мгновенного выполнения резких поворотов под большим углом для экстренного маневра уклонения — эргономические требования к этим двум видам управления совершенно несопоставимы.

Эргономический анализ

Основное эргономическое преимущество традиционного круглого руля заключается в его «вращательной симметрии»: независимо от угла поворота руля руки водителя всегда удерживают руль в одном и том же месте на удобной для захвата поверхности, а переключение рук происходит плавно и непрерывно. Стандартный маневр экстренного уклонения — например, при внезапном обнаружении препятствия в 50 метрах впереди, когда руль резко поворачивается влево примерно на 180 градусов, а затем возвращается в исходное положение — на круглом руле является действием, основанным на мышечной памяти, которое любой человек может выполнить за 0,3–0,5 секунды: левая рука тянет вниз → правая рука толкает вверх → перекрестная смена рук → возврат в исходное положение.

На полукольцевом рулевом колесе этот же маневр резкого поворота на 180 градусов сопряжён с рядом эргономических проблем:

Проблема «пустой зоны»: когда угол поворота превышает примерно 100–120 градусов, верхняя часть руля (отсутствующая область) оказывается именно в том месте, где руки водителя должны перекрещиваться для захвата. В условиях экстремальной нагрузки при резком маневре водителю приходится «промахиваться» рукой по «пустой зоне», и мозг вынужден совершать сознательную корректировку — «ах да, вверху руля пусто, нужно хвататься за нижнюю часть» — а это дополнительное время на когнитивную обработку в критический момент само по себе представляет опасность.

Проблема адаптации передаточного числа рулевого управления: традиционный подход к решению проблемы «пустой зоны» заключается в использовании переменного передаточного числа рулевого управления (*variable steering ratio*) — при низких скоростях или при поворотах под большим углом передаточное число снижается (колеса поворачиваются быстрее, чем это соответствует углу поворота рулевого колеса), благодаря чему водителю не нужно поворачивать рулевое колесо более чем на 90 градусов для выполнения маневров в любых ситуациях. Полукольцевой руль Tesla Model S Plaid действительно использует переменное передаточное отношение рулевого управления, но его минимальное значение (около 10:1) означает, что поворот руля на 90 градусов соответствует углу поворота колес всего лишь около 9° — этого явно недостаточно при развороте на месте или парковке в узком месте. В реальных условиях вождения нередки ситуации, требующие поворота рулевого колеса более чем на 120 градусов (например, разворот, крутой поворот, движение задним ходом в узких местах).

Изменения в механике захвата: горизонтальные спицы полукольцевого руля (верхняя и нижняя) обеспечивают при экстренных маневрах угол захвата, отличный от традиционного руля. Под действием боковых сил при экстренном маневре уклонения тело водителя отбрасывается вбок, и в этот момент сила захвата рук на руле должна противостоять тяге, вызванной этим боковым ускорением. Распределение точек захвата на полукольцевом рулевом колесе менее равномерно, чем на круглом, и при определённых углах поворота доступные точки захвата могут оказаться именно в тех местах, где противостоять боковой силе наиболее сложно — что увеличивает вероятность выскальзывания рук из рук.

Данные исследования

В 2025 году лаборатория эргономики Автомобильного факультета Университета Тунци в рамках исследования, опубликованного в журнале «International Journal of Human-Computer Interaction», провела тестирование 48 водителей (24 с опытом использования полукольцевого рулевого колеса и 24 без такого опыта) на внезапное уклонение от препятствий с использованием высокоточных симуляторов вождения. Ключевые выводы:

- в ситуации внезапного обхода препятствия на высокой скорости 120 км/ч средняя погрешность угла поворота рулевого колеса (по сравнению с углом, необходимым для идеальной траектории обхода) у группы с полукруглой рулевой колонкой превышала аналогичный показатель у группы с круглой рулевой колонкой на 31 %.

- Частота «случаев отрыва рук» (когда руки отрывались от поверхности рулевого колеса на время более 0,2 секунды) в группе с полукруглой рулевой колонкой была в 2,4 раза выше, чем в группе с круглой рулевой колонкой.

- Среди водителей, использующих рулевое колесо полукруглой формы, даже в группе, проехавшей более 3 месяцев в повседневных условиях и самооценивающей себя как «полностью адаптировавшуюся», точность маневрирования в экстренных ситуациях оставалась значительно ниже, чем у контрольной группы с круглым рулевым колесом.

- В выводах исследования рекомендуется: «Полукольцевой руль представляет собой измеримый эргономический риск для безопасности вождения в экстренных ситуациях, требующих быстрого и резкого поворота. До завершения более всесторонней независимой оценки безопасности следует с осторожностью подходить к его широкому внедрению на общественных дорогах».

Не случайно в 2025 году Европейский NCAP опубликовал консультативный документ о будущей дорожной карте рейтингов, в котором прямо указано: рулевые колеса полурулевого типа и нестандартной формы могут быть отнесены к факторам, снижающим оценку в будущих рейтингах безопасности, поскольку они «снижают способность водителя выполнять маневры уклонения в экстренных ситуациях».

По состоянию на июнь 2026 года рулевые колеса с половинной рукояткой по-прежнему легально используются на многих серийных легковых автомобилях на рынках Китая, США и Европы — в том числе на Tesla Model S/X Plaid, Lexus RZ, IM LS7, Avita 11/12, Toyota bZ4X (в топовых комплектациях), Nissan Ariya (на некоторых рынках) и BMW iX (в качестве опции). Ни один орган по сертификации безопасности транспортных средств ни на одном из рынков не проводил независимых и открытых испытаний полуруля на безопасность при экстренном маневре уклонения. В тот момент, когда владелец автомобиля садится в автосалоне за руль демонстрационного автомобиля с полурулем, он участвует в глобальном эргономическом эксперименте, проводимом без его информированного согласия.

1.9 Истоки «антигуманного» дизайна (часть третья): полностью закрытая ходовая часть — противоречие между защитой аккумулятора и сложностями технического обслуживания

Если скрытые дверные ручки и полукольцевой руль являются конструктивными решениями, влияющими на личную безопасность, то полностью закрытые шасси СТС (Cell to Chassis) и СТВ (Cell to Body) представляют собой инженерный выбор, который одновременно ставит под угрозу как личную, так и финансовую безопасность.

Суть технологии

Основная идея технологий СТС/СТВ заключается в превращении аккумуляторного блока из «отдельного узла, устанавливаемого на кузов» в «часть конструкции кузова»:

- Традиционная схема (например, платформа Volkswagen MEB, ранние модели Tesla Model S): аккумуляторный блок представляет собой отдельный герметичный модуль, закрепленный болтами под днищем кузова. Аккумуляторный блок имеет собственную верхнюю крышку (обычно из стали или алюминия), нижний корпус (обычно из алюминиевого сплава или высокопрочной стали), внутренний каркас и систему уплотнения. Пол салона (cabin floor) является самостоятельным элементом конструкции кузова, расположенным над аккумуляторным блоком. Между ними имеется зазор шириной 15–30 мм, предназначенный для прокладки кабелей, отвода воды и деформации при столкновении.

- Концепция СТС (например, Tesla 4680 Structural Pack, BYD СТВ): верхняя крышка аккумуляторного блока отсутствует, элементы/модули аккумулятора устанавливаются непосредственно в несущую раму, верхняя поверхность которой становится полом салона. Для пассажиров, сидящих на задних сиденьях, массив элементов аккумулятора находится примерно на расстоянии 10–20 см под ягодицами.

Технические преимущества

Нельзя отрицать достижения этой конструкции с инженерной точки зрения:

Максимальное использование пространства: благодаря отказу от отдельной верхней крышки аккумуляторного блока и устранению зазора между днищем кузова и аккумуляторным блоком при той же высоте автомобиля удастся разместить примерно на 5–10 % больше аккумуляторной емкости (что эквивалентно примерно 5–15 кВт·ч и соответствует увеличению запаса хода примерно на 30–80 км).

Эффект структурной интеграции: несущая рама аккумуляторного блока одновременно выполняет несущую функцию кузова (противодействует изгибу и скручиванию), обеспечивая около 15–25 % жесткости кузова на скручивание. Это позволяет уменьшить вес некоторых традиционных элементов усиления кузова, что приводит к снижению веса на 10–20 кг.

Упрощение производства: сокращение операций, связанных с установкой верхней крышки и испытаниями герметичности на отдельной сборочной линии аккумуляторного блока, теоретически позволяет снизить производственные затраты.

Риски при столкновении

Однако с точки зрения безопасности при столкновениях конструкция СТС/СТВ сталкивается с фундаментальным физическим ограничением: исчезает зона деформации.

В традиционной конструкции аккумуляторного блока при ударе по днищу автомобиля (о выступивший камень, поврежденный лежащий полицейский или выступающий над дорожным покрытием канализационный люк) сила удара сначала передается на нижнюю оболочку

аккумуляторного блока — сама по себе нижняя оболочка имеет определенный допустимый диапазон деформации (обычно 5–15 мм упругой деформации + пластическая деформация), а затем, после ослабления в внутреннем воздушном зазоре, раме и верхней крышке, передаётся на конструкцию кузова. Этот «путь передачи силы» от точки удара до салона проходит как минимум через три этапа поглощения энергии: деформация нижней оболочки → сжатие внутреннего зазора → упругая деформация верхней крышки и кузова.

В конструкции СТС/СТВ между нижней частью аккумуляторного блока и полом салона отсутствует воздушный зазор. Ударная сила передаётся от нижней части корпуса → массива элементов → верхней части корпуса (которая одновременно является полом кузова) → салону, при этом путь передачи сжимается до практически жёсткой связи. Каждый джоуль энергии удара, действующей на ходовую часть, передаётся в сердце батареи практически без затухания.

Последствия такой конструкции с «нулевым деформационным запасом» двояки:

Безопасность людей: при сильном ударе по ходовой части (например, при наезде на крупное препятствие на высокой скорости) ускорение удара, испытываемое элементами аккумуляторного блока, может вызвать тепловой разгон. При этом элементы аккумулятора в конструкциях СТС/СТВ расположены очень близко друг к другу, и как только в одном из них происходит тепловой разгон, выделяемое им тепло посредством теплопроводности при тесном контакте, а также высокотемпературные газы, выбрасываемые клапаном сброса давления элемента, в течение очень короткого времени (порядка секунд) вызовут цепной тепловой разгон соседних элементов — явление, известное как «термическое распространение» (thermal propagation). В закрытой конструкции СТС/СТВ без вентиляционных зазоров скорость теплового распространения может быть выше, чем в традиционных аккумуляторных блоках, и его гораздо сложнее сдержать.

С точки зрения финансовой безопасности: даже если столкновение не вызвало тепловой потери контроля, а привело лишь к локальной деформации нижней оболочки (глубина вмятины превышает 2–3 мм), этого «незначительного» повреждения достаточно, чтобы автосервис предложил «заменить весь аккумуляторный блок». Причина вполне обоснована: на внутренних корпусах элементов, невидимых при визуальном осмотре, могут присутствовать микродеформации, а их внутренние сепараторы (толщина которых обычно составляет всего 10–25 микрометров) могут быть повреждены. Элемент с микроповреждением мембраны может в ходе дальнейшей эксплуатации постепенно привести к внутреннему короткому замыканию — а если внутреннее короткое замыкание перерастет в термическую нестабильность, последствия могут быть фатальными. В отсутствие методов неразрушающего контроля, позволяющих на 100 % подтвердить целостность внутренних элементов аккумулятора (что физически невозможно без его разборки), автосалоны и автопроизводители, стремясь избежать «ответственности за гибель людей в результате возгорания аккумулятора после ремонта», без исключения выбирают полную замену.

В 2025 году в нескольких случаях удара днища автомобиля BYD Seal единым решением автосалонов стала замена всей интегрированной конструкции аккумуляторной батареи и кузова (СТВ) — стоимость которой составляла от 80 000 до 120 000 юаней. Для автомобиля, стоимость которого составляет около 180 000–250 000 юаней, одно столкновение с препятствием может привести к ремонтным расходам, приближающимся к 50 % стоимости автомобиля или превышающим её. В некоторых тяжёлых случаях страховые компании сразу признают автомобиль полностью утраченным — не потому, что он был разбит, а потому, что замена аккумулятора обходится слишком дорого.

1.10 [Технический и правовой анализ I] Конфликт между литейными машинами мощностью 6000/9000 тонн и правом на ремонт

Рынок крупногабаритного интегрированного литейного оборудования (гигантских литейных машин с усилием сжатия 6000–9000 тонн) в настоящее время доминируют два лидера: L.K. Group (котируется на Гонконгской фондовой бирже) и швейцарская группа Bühler. По состоянию на июнь 2026 года в мире было установлено более 120 крупных литейных машин для автомобильной промышленности мощностью 6000 тонн и более (в основном на заводах Tesla, NIO, Xpeng, Zeekr, Xiaomi и других в Китае, а также на заводах Tesla в Техасе и Калифорнии в Северной Америке).

Коэффициент выхода годных отливок (casting yield rate) для каждой литейной машины — то есть доля отливок из каждых 100 циклов литья, которые поступают на следующий этап производства без необходимости значительной доработки, — является ключевым параметром, определяющим себестоимость единицы продукции. Поставщики литейных машин и автомобилестроительные компании, как правило, не раскрывают реальные данные о выходе годных отливок, однако отраслевые оценки, предоставленные консалтинговыми агентствами CRU Group и Ducker Carlisle, специализирующимися на алюминиевой промышленности, показывают, что фактический выход годных отливок для крупных цельных деталей обычно составляет 85–92 %. Это означает, что из каждых 100 произведённых отливок 8–15 приходится браковать или подвергать серьёзной доработке из-за внутренних дефектов (превышение нормы по газовым пузырям, усадка, трещины, недостаточное заполнение формы, отклонения в размерах) — а эти затраты в конечном итоге распределяются на каждую годную отливку.

Однако в статистике доли брака существует одна техническая деталь, имеющая чрезвычайно важное значение для обсуждения права на ремонт: в отливках, признанных «пригодными», по-прежнему допускается наличие микродефектов, размер которых не превышает установленного предела. Эти микродефекты, возможно, никогда не станут проблемой при нормальной эксплуатации — но что будет после столкновения? Может ли удар при столкновении привести к расширению этих микродефектов до размеров структурных трещин? На данный момент нет никаких отраслевых стандартов, дающих ответ на этот вопрос.

Что касается права на ремонт: китайские «Правила управления раскрытием технической информации по ремонту автомобилей» (редакция 2023 года) требуют от автопроизводителей раскрывать «техническую информацию по ремонту автомобилей», включая руководства по ремонту, каталоги запчастей, диагностическую информацию и сведения о специализированных инструментах. Однако правила также предусматривают, что в отношении технической информации, касающейся «коммерческой тайны предприятия», автопроизводители могут подать заявку на освобождение от обязательства раскрытия.

«Критерии определения ремонтпригодности» и «допустимые методы ремонта» цельных литых деталей — если таковые существуют — должны относиться к «технической информации по ремонту» или к «коммерческой тайне предприятия»? В настоящее время в законодательстве существует пробел по этому вопросу. Автопроизводители, как правило, относят такие сведения, как параметры внутренней микроструктуры литых деталей, допустимые пределы дефектов, параметры термообработки и т. п., к категории коммерческой тайны или ноу-хау (know-how) и не раскрывают их внешнему миру. В результате независимые ремонтные мастерские и сторонние экспертные организации не имеют никаких оснований для определения того, можно ли безопасно отремонтировать литую деталь после столкновения — поскольку эти «основания» никогда не были обнародованы.

В 2025 году Американская ассоциация по защите прав на ремонт автомобилей (Auto Care Association и CAR Coalition) включила в поправки к законопроекту штата Массачусетс о праве на ремонт автомобилей положение, обязывающее автопроизводителей раскрывать «критерии определения возможности ремонта конструкционных деталей». Данная поправка была одобрена законодательным собранием штата, однако альянс автопроизводителей незамедлительно подал иск на федеральном уровне, утверждая, что данное положение нарушает федеральное законодательство об интеллектуальной собственности и принцип единства федеральных стандартов безопасности автомобилей. По состоянию на июнь 2026 года судебное разбирательство по этому делу продолжается.

В Китае в «Правилах управления раскрытием технической информации о ремонте автомобилей», пересмотренных в 2025 году, был добавлен новый пункт: в отношении конструктивных элементов, влияющих на безопасность транспортного средства (включая, помимо прочего, цельные литые детали), автопроизводители должны раскрывать «критерии определения повреждений и условия замены». Однако в формулировке данного положения используется слово «должны», а не «обязаны» (с юридической точки зрения первое имеет меньшую степень обязательности, чем второе), и не оговариваются юридические последствия нарушения данного положения. На практике подавляющее большинство автопроизводителей по-прежнему не раскрывают официальные критерии оценки возможности ремонта цельных литых деталей.

Основной вызов, с которым сталкивается движение за право на ремонт в эпоху умных автомобилей, заключается в том, что автомобиль больше не представляет собой совокупность механических деталей, соединенных обратимым образом, а состоит из множества конструкций, изготовленных с использованием необратимых технологий (литье, склеивание, отверждение конструкционного клея, лазерная сварка) — эти технологии направлены на обеспечение бесшовной интеграции и общей оптимизации конструкции, однако с точки зрения ремонта вступают в структурное противоречие с логикой «возможности разборки и частичной замены». Основное требование законодательства о праве на ремонт — предоставление независимым ремонтным мастерским справедливых возможностей для ремонта — сталкивается с серьезным физическим препятствием в виде интегрированного литья под давлением: если деталь изначально спроектирована так, что ее невозможно отремонтировать частично, то сколько бы «прав на ремонт» ни предоставили независимым мастерским, это физическое обстоятельство останется неизменным.

Где же выход? Некоторые отраслевые наблюдатели (в том числе в отчете McKinsey о рынке послепродажного обслуживания автомобилей на 2025 год и в исследовании Roland Berger о будущих тенденциях в сфере ремонта автомобилей на 2026 год) предложили два возможных направления: Во-первых, создание комплексной системы «оценки повреждений литых деталей + страховых альтернатив» — автомобильные компании и страховые компании совместно финансируют создание независимой сети по оценке повреждений литых деталей; когда повреждение литой детали признается не подлежащим ремонту, запускается специальная страховая программа по замене крупных литых деталей (страховые взносы распределяются между автомобильной компанией и владельцем автомобиля). Во-вторых, внедрение принципа «ремонтпригодности» на этапе проектирования литых деталей — то есть предусмотрение на литых деталях «жертвенных участков» (sacrificial sections) и «направляющих линий для вырезания и замены», что позволит при повреждении в результате столкновения производить локальную замену вырезанного участка, а не замену всей детали целиком. Это направление требует от автопроизводителей включения экономической эффективности ремонта в число целей проектирования уже на этапе разработки, а не просто стремления к максимальной интеграции деталей. По состоянию на 2026 год реализация обоих этих направлений останется крайне ограниченной.

1.11 [Технический и правовой анализ, часть 2] Предел текучести алюминиевого сплава и физическая необратимость ремонта кузовных деталей

Для профессиональных мастеров по кузовному ремонту восстановление алюминиевых сплавов — это исчезающее ремесло.

В «золотой эпохе» традиционных стальных кузовов (примерно с 1970-х по 2010-е годы) мастер-кузовщик с высоким уровнем мастерства мог устранить деформации, возникшие в результате столкновения на большинстве кузовных панелей, восстановив их до состояния, при котором дефекты были незаметны невооруженным глазом, а конструкция была близка к заводской. Это мастерство основывалось на физических свойствах стали:

- коэффициент равномерного удлинения стали (uniform elongation, максимальное равномерное пластическое деформирование до появления сужения) обычно составляет 15–25 %, тогда как у алюминиевых сплавов он находится в диапазоне 5–12 % — то есть диапазон допустимого пластического деформирования гораздо уже.

- Коэффициент упрочнения при деформации стали (значение n , параметр, отражающий способность материала к равномерному удлинению при пластической деформации) обычно составляет 0,15–0,25, а у алюминиевых сплавов — 0,05–0,15, что означает, что при деформации в алюминиевых сплавах чаще возникают концентрации напряжений и локальное истончение.

- Модуль упругости стали примерно в 3 раза выше, чем у алюминиевого сплава — стальные панели лучше сохраняют форму при ремонте.

Однако более принципиальным является вопрос «обратимости термообработки» на металлургическом уровне.

Сталь может достигать различных микроструктурных состояний посредством многократных циклов нагрева и охлаждения. Специалист по листовому металлу может нагреть деформированную стальную деталь до температуры около 800–900 °C (температура аустенизации), а затем, регулируя скорость охлаждения (воздушное, масляное или водяное охлаждение), добиться необходимого сочетания твердости и пластичности. Этот процесс в технической терминологии называется «термической обработкой», а в жаргоне специалистов по листовому металлу — «отпуском» и «нормированием».

Термическая обработка алюминиевых сплавов совершенно иная. Что касается алюминиевых сплавов серии 6 (серия Al-Mg-Si), широко используемых для изготовления наружных кузовных деталей автомобилей, механизм упрочнения заключается в старении — после обработки при температуре 500–550 °C, при которой элементы сплава растворяются, следует быстрое охлаждение (закалка) для получения перенасыщенного раствора, а затем искусственное старение при 150–200 °C, в результате чего упрочняющая фаза Mg_2Si дисперсно выделяется из перенасыщенного раствора на наноуровне. Этот процесс старения является однонаправленным и необратимым — как только старение завершается, размеры и распределение Mg_2Si фиксируются. Если впоследствии материал нагреть до температуры, превышающей температуру старения (например, выше 200 °C), фаза Mg_2Si будет дальше расти (перестарение), и эффект упрочнения необратимо снизится. — Именно это и является диапазоном рабочих температур, необходимым для термической формовки листового металла.

Для алюминиевых сплавов серии 6 любая температура, при которой металл размягчается до степени, позволяющей проводить термдеформацию, одновременно является температурой перестаревания, разрушающей механизм упрочнения. Невозможно одновременно «восстановить форму» и «сохранить прочность» — законы физики говорят: «невозможно».

Именно поэтому в стандартных рабочих процедурах автосервисов 4S, специализирующихся на алюминиевых сплавах, вариант «ремонта» практически отсутствует — не потому, что кузовщики не хотят ремонтировать, а потому, что никто не может гарантировать прочность конструкции после ремонта, а в случае отказа отремонтированной детали в будущей аварии автосервис и сам мастер могут понести юридическую ответственность. Оптимальная стратегия, продиктованная рациональным стремлением к самозащите, заключается в следующем: заменить.

Это выявляет фундаментальное противоречие: массовое применение алюминиевых сплавов в автомобилестроении продвигается под лозунгами «снижение веса → снижение расхода топлива → защита окружающей среды», но эта концепция никогда не включала в себя этап «ремонта после аварии». Под лозунгом «устойчивого развития» «невосстановимость» алюминиевых сплавов превращает всё больше мелких ДТП в дорогостоящую замену деталей — с экологической точки зрения, насколько это нивелирует сокращение выбросов углерода, достигнутое за счёт снижения веса, — это цифра, которую никто не подсчитывает и никто не хочет подсчитывать.

1.12 Дополнительный углублённый анализ: металлургия литых под давлением алюминиевых сплавов — микроскопическое путешествие от кристаллитов до трещин

Поняв макроанализ, изложенный выше, нам необходимо перейти на более глубокий микроуровень. Основная причина «невосстановимости» цельных литых деталей при столкновениях в конечном итоге сводится к кристаллической структуре алюминиевого сплава.

Анизотропия кристаллической структуры и механических характеристик

Процесс охлаждения крупных цельных литых деталей, изготовленных методом литья под давлением, протекает крайне неравномерно. Температура поверхности формы составляет примерно 150–250 °С, тогда как температура расплавленного алюминия — около 680–720 °С. При столь значительном температурном градиенте скорость охлаждения в приповерхностных слоях отливки может достигать 100–500 °С/с (при этом образуются мелкие равноосные кристаллы диаметром около 10–50 мкм), в то время как скорость охлаждения в толстостенных областях в центре отливки может составлять всего 0,5–5 °С/с (при этом образуются крупные столбчатые кристаллы или равноосные зерна диаметром до 100–500 мкм и даже больше). Такой градиент размера кристаллов от поверхности к центру — охватывающий один порядок величины в пределах одного и того же отливка — означает, что механические свойства отливки являются пространственно крайне неоднородными.

Ещё более сложной проблемой является то, что в процессе быстрого наполнения при литье под давлением (расплав проходит через литниковый канал со скоростью 40–80 м/с) сдвиговые силы, возникающие при течении расплава, приводят к ориентированному росту и дроблению первичных α -Al-дебридов — образуя микроструктуру, известную как «реологическая текстура» (rheological texture). Такая текстура приводит к значительным различиям в механических характеристиках отливки в разных направлениях — прочность на разрыв вдоль направления течения расплава может быть на 10–20 % выше, чем в перпендикулярном направлении, тогда как относительное удлинение может быть наоборот (выше в перпендикулярном направлении).

Когда ударная сила воздействует на отливку в непредсказуемом направлении и под непредсказуемым углом, пластическая деформация и зарождение трещин в первую очередь происходят в самых слабых областях микроструктуры — это может быть как переходная зона между крупно- и мелкозернистыми участками, так и область «линии сшивки» (knit line), образованная слиянием двух потоков расплава. Однако из-за сложности микроструктуры внутри отливки разные области совершенно по-разному реагируют на одну и ту же ударную нагрузку — то есть по степени деформации, видимой снаружи, невозможно предсказать степень и распределение внутренних микроповреждений.

Механизм «активации при ударе» литейных дефектов

Крупные цельные отливки неизбежно содержат определённое количество микродефектов — поры (диаметром 10–500 мкм, образующиеся в результате выделения растворённых газов в процессе затвердевания и втягивания газа во время заливки), усадочные пустоты (крошечные полости между дебридитами, возникающие из-за усадки при затвердевании при недостаточной усадочной компенсации), а также оксидные включения (образующиеся в результате втягивания окислительной пленки с поверхности расплава внутрь отливки в условиях турбулентности при заливке).

При нормальной эксплуатации большинство этих микродефектов безвредно — они слишком малы, чтобы вызвать усталостные трещины при обычных нагрузках. Однако при ударном столкновении (когда локальные напряжения могут мгновенно превысить предел текучести материала) эти микродефекты действуют как «концентраторы напряжений» — на краях пузырьков или усадочных пустот возникают локальные напряжения, в несколько раз превышающие напряжения в основной материале, что делает их предпочтительными точками зарождения усталостных трещин. Поры размером 50 мкм, которые до столкновения могли без проблем выдерживать миллионы циклов вибрационных нагрузок, после одного удара с ускорением 50 g в их окрестностях могут образоваться несколько микротрещин длиной 10–100 мкм. Эти микротрещины будут постепенно расширяться под воздействием последующих вибраций при движении в течение от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов циклов нагрузки — до тех пор, пока в какой-то момент длина трещины не достигнет критического размера, и отливка не подвергнется внезапному разрушению.

Такой режим разрушения — «активация при столкновении → отсроченное разрушение» — является явлением, редко встречающимся в традиционных стальных конструкциях, но представляющим особый риск для крупных литых деталей из алюминиевого сплава. Он делает возможным ситуацию, при которой «после столкновения внешний вид детали остается неповрежденным, а функциональность — нормальной, но в будущем она внезапно разрушается» — это сценарий, не дающий спать инженерам по безопасности. Именно поэтому все автомобильные компании и автосалоны, сталкиваясь с моноблочными отливками после столкновения, без исключения применяют стратегию «замены», а не «ремонта» — не потому, что они сговорились обманывать потребителей, а потому, что при нынешнем уровне научных знаний и возможностей диагностики они не могут дать инженерную гарантию того, что «эта побывавшая в столкновении отливка останется безопасной через пять лет».

«Необратимость» термообработки — повторное рассмотрение

В предыдущей статье мы обсудили проблему старения. Однако детали термообработки Т6 заслуживают более подробного рассмотрения, поскольку они раскрывают фундаментальные физические ограничения, с которыми сталкивается любая попытка ремонта.

Термообработка Т6 представляет собой точный двухэтапный металлургический процесс: - Первый этап — обработка в растворе (Solution Treatment): отливку нагревают до температуры примерно 520–540 °C (близкой к температуре линии твердой фазы алюминиевого сплава, но ниже нее) и выдерживают в течение нескольких часов. При этой температуре упрочняющая фаза Mg_2Si полностью растворяется в $\alpha-Al$ -растворе, образуя однородный однофазный раствор. Одновременно происходит «сферизация» кристаллов Si в эвтектике — они из острых игольчатых или пластинчатых превращаются в более округлые зернистые частицы, что значительно повышает относительное удлинение. - Второй этап — закалка (Quenching): быстрое охлаждение отливки от температуры растворения (обычно с помощью водяной закалки или принудительного воздушного охлаждения, скорость охлаждения должна составлять >5 °C/c), что позволяет «зафиксировать» атомы Mg и Si в перенасыщенном растворе. - Третий этап —

искусственное старение (Artificial Aging): выдерживание закаленных отливок при температуре 150–180 °C в течение нескольких часов. В ходе этого процесса атомы Mg и Si диффундируют в растворе и агрегируют, образуя равномерно диспергированную фазу выделения Mg_2Si на наноуровне (диаметр около 2–10 нм) — эти наночастицы, действуя как «точки закрепления», препятствуют движению дислокаций и повышают прочность материала по сравнению с состоянием раствора.

Любая попытка устранить деформации, возникшие в результате столкновения, с помощью последовательности «нагрев для размягчения → штамповка → повторная термообработка» требует точного воспроизведения всех трёх вышеуказанных этапов — а это невозможно в условиях автосервиса 4S:(1) Диапазон температур для обработки в растворе чрезвычайно узок (отклонение всего на ± 5 °C может привести к укрупнению зерен или локальному плавлению — «пережиганию»), что требует промышленной печи для термообработки с точным контролем температуры, а не кислородно-ацетиленовой горелки, которой располагает кузовщик;(2) Скорость закалки должна быть достаточно высокой, чтобы «заморозить» атомы растворенного вещества, однако неравномерная толщина стенок крупных отливок не позволяет равномерно контролировать скорость охлаждения в разных областях — слишком быстрое охлаждение тонкостенных участков может привести к возникновению чрезмерных остаточных напряжений, а слишком медленное охлаждение толстостенных участков не позволит эффективно «заморозить» атомы растворенного вещества;(3) Распределение остаточных напряжений внутри отливки, половина которой подверглась восстановительной термообработке, а другая половина осталась в исходном состоянии термообработки, совершенно непредсказуемо — это создает гораздо большую угрозу безопасности, чем «невосстановленная отливка с незначительными деформациями».

Вывод из приведённого выше анализа однозначен: для крупных цельных литых деталей, полученных методом литья под давлением, после повреждения в результате столкновения не существует технически осуществимого и экономически обоснованного варианта восстановления. Этот вывод не является выдумкой автопроизводителей, стремящихся заставить потребителей тратить больше денег, а определяется законами физики — термодинамикой затвердевания алюминиевых сплавов, динамикой выделения и теорией диффузионных дефектов. Высокие затраты на ремонт, которые потребитель вынужден нести из-за этой «определённой физическими законами невосстановимости», не являются чьей-либо виной, но представляют собой скрытую цену, о которой никогда не упоминалось в рекламных слоганах «облегчённая конструкция», «высокая жёсткость» и «повышенная эффективность» перед покупкой автомобиля.

1.13 Глобальный обзор: исследования в области ремонта цельнолитых деталей в Европе и Японии

Несмотря на то, что «невосстановимость» цельнолитых деталей имеет прочное физическое обоснование, это не означает, что вся отрасль отказалась от попыток найти варианты частичного ремонта или альтернативных решений. В Европе и Японии появляются новые направления и дискуссии, заслуживающие внимания.

Германия

: концепция «модульной конструкции кузова» под эгидой страховой отрасли

В 2025 году Немецкая ассоциация страховщиков (GDV — Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.) опубликовала исследование, имевшее широкий резонанс. Основной рекомендацией отчета является внедрение в конструкцию крупных цельных литых деталей «заранее определённых зон разреза и замены» (Pre-defined Cut-and-Replace Zones) — то есть резервирование на литой детали специально спроектированных «жертвенных зон», наиболее подверженных повреждению при столкновении, границы которых имеют чёткие линии разреза и интерфейсы для повторного соединения. В случае столкновения в пределах этих зон для ремонта достаточно просто отрезать поврежденную «жертвенную зону» и приварить или приклеить запасную деталь — вместо того, чтобы заменять всю огромную деталь целиком.

Этот подход сопряжён с инженерными сложностями (структурная непрерывность отливки прерывается по линии разреза, и возникает вопрос, как обеспечить, чтобы прочность конструкции после замены отрезанной части соответствовала прочности исходной отливки), но он отражает важный сдвиг в мышлении: от подхода «при проектировании отливки учитываются только производство и эксплуатационные характеристики» к подходу «при проектировании отливки одновременно учитываются производство, эксплуатационные характеристики и ремонт». Если эта концепция будет принята автопроизводителями — пусть даже только для отдельных моделей — это существенно снизит затраты на ремонт деталей, изготовленных методом цельного литья под давлением, сохранив при этом преимущества в эффективности производства.

По состоянию на июнь 2026 года ни один из крупных автопроизводителей публично не заявил о принятии этой концепции проектирования. Однако влияние исследований GDV, объединения немецких страховых компаний, нельзя игнорировать — давление со стороны немецких автостраховщиков, связанное с выплатами, стимулирует такой институциональный подход, при котором «спрос стимулирует изменения на стороне предложения».

Япония: попытки «продлить жизнь» традиционному кузовному ремеслу

В Японии некоторые ведущие предприятия по ремонту кузовов испытывают технологию восстановления алюминиевых сплавов, называемую «локальная сварка в защитной атмосфере инертного газа + точная термообработка». Принцип заключается в том, что в атмосфере аргона с помощью сварки TIG с низким тепловым вносом производится локальный ремонт трещин на отливках, а затем с помощью индукционной нагревательной катушки в зоне ремонта проводится точная локальная «повторная старение» — с целью восстановления прочности сварного шва и зоны термического влияния при минимальном нагреве окружающих областей.

Предварительные результаты этой технологии обнадеживают: в лабораторных условиях образцы отливок, отремонтированные таким образом, восстанавливают прочность до уровня примерно 80–90 % от первоначальной. Группа экспертов Японской ассоциации автомобильных технологий (JSAE) в настоящее время оценивает возможность стандартизации этой технологии и организации соответствующего обучения.

Однако при практическом внедрении эта технология сталкивается с двумя основными препятствиями: во-первых, выполнение операций в крайней степени зависит от мастерства и опыта технического специалиста — контроль параметров сварки, температуры и времени нагрева требует точности, граничащей с ручным искусством; подготовка технических специалистов, способных выполнять такие операции, занимает несколько лет, что затрудняет их массовую подготовку; во-вторых, даже если после ремонта прочность восстанавливается до 90 %, что означает оставшиеся 10 % разницы с точки зрения юридической ответственности? Если отремонтированная деталь в будущем сломается и приведет к аварии, кто будет нести ответственность за эти 10 % недостающей прочности?

Эти два подхода — немецкая «ремонтопригодность на этапе проектирования» и японское «совершенство мастерства на этапе ремонта» — решают проблему ремонта цельнолитых деталей, изготовленных методом литья под давлением, с двух сторон: «превентивные меры на начальном этапе» и «исправление последствий на конечных этапах». Оба подхода пока не до конца отработаны, но они указывают на возможные пути выхода из нынешней ситуации «сломалось — меняем всё», представляющей собой игру с нулевой суммой.

Глава 2. Компоновка аппаратного обеспечения систем автономного вождения и ловушка «соотношения цена/запчасти»

2.1 Карта датчиков: топография рисков глазами актуария страховой компании

На экранах компьютеров в отделах андеррайтинга страховых компаний каждая модель автомобиля представляет собой тепловую карту рисков — области разных цветов обозначают разную вероятность столкновения, разные затраты на ремонт и разные ожидаемые суммы страховых выплат. На карте рисков традиционных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания зоны повышенного риска обычно сосредоточены вокруг переднего и заднего бамперов, передних фар и боковых зеркал заднего вида — это те части, которые первыми подвергаются удару при столкновении, но стоимость их замены обычно составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч юаней, что обеспечивает высокую предсказуемость и контролируемый актуарный риск.

Умные автомобили кардинально изменили эту карту рисков.

Возьмём в качестве примера типичный электромобиль китайского бренда 2026 года выпуска, оснащённый полным набором высокотехнологичного оборудования для автономного вождения. «Рискованные зоны» размещения датчиков в этом автомобиле следующие:

Положение 1: по центру крыши — лидар - Компонент: сверхвысокоразрешающий лидар Hesai AT512 (512 линий, дальность обнаружения 300 метров при коэффициенте отражения 10 %) - Стоимость замены в автосалоне: около 28 000–32 000 юаней (включая расходы на калибровку) - Рисковые ситуации: задевание штангой ограничителя высоты на въезде в подземный гараж, удар вращающейся щеткой на автоматической автомойке, царапины от веток, повреждение от камней, летящих на высокой скорости - Вероятность столкновения (оценка страховых актуариев): около 2–5 % в год (значительно выше, чем у других высоко расположенных деталей кузова) - Особый риск: даже при неповреждённом корпусе малейшее смещение внутренних оптических компонентов (MEMS-микрзеркал/вращающихся призм) может привести к систематическому отклонению данных облака точек — такое повреждение невидимо визуально, но влияет на функциональность

Местоположение 2: передний бампер — кластер датчиков - Компоненты: передний миллиметровый радар × 1 (Bosch пятого поколения или собственная разработка Huawei, стоимость одного экземпляра около 3 500–5 000 юаней), ультразвуковых датчиков × 6 (стоимость одного — около 300–500 юаней), камеры кругового обзора × 1 (8 Мп, стоимость одной — около 1 800–2 500 юаней), корпус переднего бампера (включая жгут проводов, кронштейны, очистительные форсунки) - Стоимость комплексного ремонта в официальном сервисном центре: зависит от степени повреждения и варьируется от 6 000 юаней (только ультразвуковые датчики + корпус переднего бампера) до 18 000 юаней (миллиметровый радар + все датчики + жгут проводов в сборе) - Рисковые ситуации: столкновение сзади, «наезд на стену при парковке задним ходом», задевание на низкой скорости - Вероятность столкновения: самая высокая среди всех типов ДТП — передний бампер является отдельной деталью, которая чаще всего повреждается при всех типах столкновений

Положение 3: Узел наружного зеркала заднего вида — цена «электронной интеграции»- Компоненты: боковая камера ADAS (8 Мп, стоимость одной — около 2 000–3 000 юаней) × 2

(по одной с левой и правой стороны), камера помощи при повороте (на некоторых моделях), механизм электропривода складывания наружных зеркал заднего вида, зеркальные стекла (с функцией автоматической защиты от ослепления и подогревом), подсветка логотипа на земле, зона считывания NFC - Стоимость замены в автосалоне (за один комплект): около 6 500–10 000 юаней (NIO ET7 — около 8 500 юаней, Li Auto L9 — около 7 200 юаней, Tesla Model 3 — около 4 500 юаней, но в ней меньше компонентов) - Рисковые ситуации: царапины при встречном движении на узких участках дороги, царапины от соседних автомобилей при парковке, удары боковых зеркал о неподвижные препятствия на обочине - Вероятность столкновения: вторая по частоте зона повреждений (уступая только переднему и заднему бамперам), составляет около 15–20 % в статистике ДТП с участием одного автомобиля

Место 4: переднее крыло — «золотая зона» столкновений для боковых камер - Компоненты: боковая камера заднего вида на переднем крыле (3–8 млн пикселей, около 1 500–3 000 юаней) + декоративная накладка на переднее крыло (со встроенными светодиодными поворотниками или индикаторами режима автопилота) - Стоимость замены в автосалоне (одна сторона): около 3 500–6 000 юаней - Рисковые ситуации: боковое задевание, задевание обочины при парковке сбоку - Основной риск: переднее крыло является зоной повышенной уязвимости при боковых столкновениях, а камера установлена именно рядом с самым выступающим участком этой зоны

Положение 5: лобовое стекло — «глаза под стеклом» — Компоненты: модуль передней камеры с тремя или двумя объективами (обычно основная камера на 8 Мп + широкоугольная на 3 Мп ± телеобъектив на 3 Мп), встроенный в основание зеркала заднего вида - Стоимость замены в автосалоне (включая узел лобового стекла): около 8 000–15 000 юаней (зависит от необходимости замены всего лобового стекла и повторной калибровки камер) - Рисковые ситуации: разбитие лобового стекла камнем, летящие камни на высокой скорости - Особые ограничения: после замены лобового стекла необходимо провести точную повторную калибровку передней камеры (с использованием специальной мишени и калибровочного программного обеспечения), в противном случае это может привести к погрешностям в удержании полосы движения, ложному срабатыванию или отказу системы АЕВ — это не только увеличивает затраты на рабочее время, но и означает, что автостекольные мастерские, не являющиеся официальными дилерскими центрами, не смогут выполнить данный ремонт

Если сложить стоимость замены всех вышеперечисленных датчиков — только внешнего оборудования системы автопилота, подверженного риску повреждения при столкновении, — то она составит примерно от 53 000 до 78 000 юаней. И это не включая внутреннее электронное оборудование, расположенное в салоне, но также подверженное повреждениям при серьезном столкновении, такое как контроллер зоны (20 000–40 000 юаней), модуль высокоточной локализации (8 000–15 000 юаней) и модуль связи V2X (2 000–5 000 юаней).

При этом затраты на ремонт этого оборудования для интеллектуального вождения составляют лишь часть общих затрат на ремонт автомобиля — с учётом потенциальных повреждений элементов кузова, аккумуляторной системы и подвески общие затраты на ремонт одного интеллектуального автомобиля при столкновении средней тяжести могут легко превысить 50–70 % от его продажной цены.

Именно поэтому соотношение «цена запчастей к цене автомобиля» (zero-to-parts ratio) для интеллектуальных автомобилей превышает 600% — ведь в «сумме цен всех запчастей», составляющей числитель этого соотношения, всё больше деталей являются «неподдающимися локальному ремонту, имеющими чрезвычайно высокую стоимость замены и расположенными в местах с высокой вероятностью столкновения».

2.2 Физический механизм «каскадного повреждения» датчиков

При низкоскоростных столкновениях традиционных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания характер повреждений обычно подчиняется простому закону: повреждаются зоны прямого контакта (например, трещины в корпусе бампера), а соседние зоны, не подвергшиеся контакту, остаются неповрежденными. Это объясняется тем, что соединения между традиционными деталями носят механико-упругий характер — бампер соединяется с продольной балкой кузова через деформируемые кронштейны, при этом энергия столкновения поглощается за счет деформации кронштейнов и не передается на более удаленные детали.

Однако в сети датчиков интеллектуального автомобиля этот простой закон нарушается двумя уровнями «жестких соединений»:

Первый уровень: конструктивное жесткое соединение

Миллиметровый радар, установленный на переднем бампере, должен крепиться к продольной балке кузова или передней противоударной балке с помощью прецизионно обработанного металлического кронштейна — к жесткости этого кронштейна и допускам по положению установки предъявляются чрезвычайно высокие требования (обычно допуск по вертикальному углу составляет менее 0,5 градуса, а по горизонтальному — менее 1,0 градуса). Поскольку ширина луча миллиметрового радара чрезвычайно мала (обычно не превышает 3–5 градусов), даже незначительное отклонение угла установки приводит к серьезному смещению направления луча. Это обуславливает то, что кронштейн радара не может выступать в качестве «жертвенного поглотителя энергии» при столкновении — он должен быть жестким, прочным и практически не деформируемым.

В результате даже при незначительном столкновении сзади пластиковый корпус переднего бампера может деформироваться лишь незначительно, но сила удара через жесткое крепление радара практически без ослабления передается на дорогостоящий сам миллиметровый радар, что приводит к микроповреждениям его внутренней антенной решетки или радиочастотного чипа.

Второй уровень: разрыв цепочки жгутов проводов

Лидар, установленный на крыше, подключается к контроллеру системы автономного вождения с помощью жгута проводов с высокой пропускной способностью (обычно это высокоскоростной последовательный канал GMSL или FPD-Link, предназначенный для передачи миллионов пакетов данных «облака точек» в секунду). Этот жгут проходит через переднюю стойку и внутреннюю обшивку крыши к датчику, установленному на крыше. При ударе по крыше смещение лидара может привести к натяжению этого прецизионного жгута: отсоединению разъема или разрыву проводов внутри жгута. Замена этого жгута требует демонтажа облицовки передней стойки, внутренней обивки крыши и декоративных элементов над лобовым стеклом — затраты на рабочую силу могут превысить стоимость самого жгута более чем в 5 раз.

Эти два механизма «каскадного повреждения» объясняют, почему небольшое повреждение, устранение которого в традиционном автомобиле обошлось бы всего в несколько сотен или тысяч юаней, в интеллектуальном автомобиле может привести к ремонту на сумму в пять цифр — не потому, что повреждение более серьезное, а потому, что «эффект домино» от повреждения распространяется дальше в жестко связанной сети датчиков.

2.3 Различия в затратах на аппаратное обеспечение в китайской и американской стратегиях развития интеллектуального вождения

Глобальные технологические траектории развития интеллектуального вождения к 2026 году демонстрируют чёткую «тихоокеанскую границу».

Китайский подход: интеграция нескольких датчиков — больше аппаратного обеспечения, более высокие прямые затраты

Ведущие китайские автопроизводители и поставщики решений для интеллектуального вождения (Huawei, Xpeng, NIO, Li Auto, BYD, Horizon Robotics, Momenta, DJI Automotive и др.) повсеместно используют решение с интеграцией нескольких датчиков: «лидар + миллиметровый радар + высокоразрешающая камера + ультразвуковой радар». Типичная конфигурация флагманского уровня включает:

•

Лидар: 1–3 устройства (Hosea AT512/AT128, Soten Juchuang M1/M3, Huawei 192-линейный, TudaTong Falcon и др.), стоимость одного устройства составляет около 3 000–8 000 юаней (закупочная цена автопроизводителей)

ММВ-радар: 5–8 штук (1 передний дальнодействующий + 4 угловых + возможно 2 передних ближнего действия), стоимость одного модуля составляет примерно 500–1 500 юаней

•

Камеры высокого разрешения: 11–14 штук (3 передние + 4 боковые + 4 панорамные + 1 задняя + система мониторинга водителя (DMS) в салоне + возможно 1 передняя дальнодействующая), стоимость одного модуля составляет примерно 300–1 200 юаней

Ультразвуковые датчики: 12 штук, стоимость одного датчика составляет примерно 100–200 юаней

Общая стоимость BOM (спецификации материалов) вышеупомянутых датчиков составляет примерно от 12 000 до 25 000 юаней (по ценам 2026 года, что примерно на 30 % ниже уровня 2023 года — в основном благодаря эффекту масштаба, обусловленному технологическим скачком в области лидарных систем от механических вращающихся моделей к гибридным твердотельным). С учетом контроллера автономного вождения (на базе чипсетов Huawei MDC, NVIDIA Orin, Horizon J6 и т. д.) общая стоимость BOM аппаратного обеспечения системы автономного вождения составляет примерно от 18 000 до 35 000 юаней.

С точки зрения затрат на ремонт ключевой особенностью данной конфигурации является чрезвычайно большая «поверхность воздействия» аппаратного обеспечения — большое количество дорогостоящих и уязвимых датчиков распределено по всем участкам кузова, подверженным высокому риску столкновений, и любое столкновение с высокой вероятностью приведет к необходимости замены как минимум 1–2 датчиков.

Американский подход: «чисто визуальный» подход Tesla — меньше аппаратных компонентов, но более сосредоточенные риски

С 2021 года Tesla начала удалять миллиметровые радары с моделей Model 3/Y (сначала на рынке Северной Америки), а с 2022 года — ультразвуковые радары (также на рынке Северной Америки). Текущая конфигурация аппаратного обеспечения системы восприятия (HW4/AI4) выглядит следующим образом:

- Камеры: 8 штук (3 передние + 2 боковые задние + 2 боковые передние + 1 задняя), плюс система DMS в салоне — всего около 9–10 камер
- Лидар: 0
- ММВ-радар: 0 (рынок Северной Америки; в некоторых моделях для китайского рынка снова установлен)
- Ультразвуковые датчики: 0 (рынок Северной Америки)

Стоимость комплектующих (BOM) аппаратного обеспечения системы восприятия для одного автомобиля составляет примерно 800–1 200 долларов США (около 5 800–8 700 юаней), что составляет лишь примерно от 1/3 до 1/2 стоимости китайских интегрированных решений.

С точки зрения затрат на ремонт после столкновений чисто визуальные решения обладают значительным преимуществом «низкой уязвимости оборудования»: отсутствие лидарного датчика на крыше (что снижает риск повреждений при столкновениях в верхней части автомобиля), отсутствие дорогостоящей матрицы миллиметровых радаров в переднем бампере (что снижает затраты при лобовых столкновениях) и отсутствие ультразвуковых радаров в заднем бампере. При столкновении средней тяжести сзади затраты на ремонт датчиков Tesla обычно ограничиваются корпусом бампера и, возможно, камерой заднего вида — порядка нескольких тысяч юаней, тогда как в аналогичной ситуации затраты на ремонт датчиков в китайских интегрированных системах могут составлять от 10 000 до 30 000 юаней.

Однако это преимущество достигается ценой другого риска: чисто визуальный подход сосредотачивает все функции восприятия на камерах и нейронных сетях — и в случае сбоя этой системы последствия будут глобальными. Кроме того, эта «низкая стоимость оборудования» основана на том, что Tesla уже распределила значительную часть затрат на исследования и разработки (стоимость обучения нейронной сети «от начала до конца» достигает сотен миллионов долларов) — эти скрытые затраты окупаются за счет цены автомобиля и абонентской платы за FSD.

2.4 «Темная сторона» чисто визуального решения Tesla с точки зрения затрат на ремонт

Уникальные вызовы, которые городские дорожные условия Китая бросают чисто визуаль-
ному решению: внезапно появляющиеся пешеходы на близком расстоянии в пекинских ху-
тах, электромобили, движущиеся в обратном направлении в шанхайских проулках, смешан-
ный поток транспорта без разметки в городских деревнях Гуанчжоу — эффективная дальность
восприятия чисто визуальной системы сокращается с 250 метров до 30–50 метров

Однако чисто визуальный подход не является безупречным в плане ремонта после столк-
новений — его уязвимость просто переместилась в другую область.

Риски, связанные с централизованным контроллером зоны

Когда все функции восприятия (обработка изображений с камер), принятия решений (планирование маршрута) и управления (команды по управлению автомобилем) сосредоточены на компьютере FSD (FSD Computer 1.0 на платформе HW3, серийное производство с 2019 года; HW4/AI4 оснащены FSD Computer 2.0, серийное производство началось в 2023 году), любое повреждение этого «центрального мозга» — будь то физическое повреждение в результате столкновения или электрическая неисправность — приведет к потере автомобилем всех функций автономного вождения. А в моделях Tesla, в значительной степени зависящих от технологии «рулевого управления по проводам» (например, рулевое управление по проводам в Cybertruck — без какого-либо физического резервного механического рулевого вала), сбой в системе управления по зонам может повлиять на базовые возможности вождения.

Стоимость замены FSD Computer в официальном сервисном центре составляет примерно 2 500–3 500 долларов США (около 18 000–25 000 юаней); с учетом возможной замены материнской платы информационно-развлекательной системы (на некоторых моделях обе платы используют общую систему охлаждения) общая стоимость замены может составить от 25 000 до 40 000 юаней.

Высокая уязвимость модуля камер

Система из трёх передних камер Tesla с разрешением 8 Мп является ядром системы восприятия окружающей обстановки — более 80 % информации о окружающей обстановке поступает именно от этих трёх камер. Эта группа камер встроена в основание зеркала заднего вида над лобовым стеклом и осуществляет восприятие через лобовое стекло. Такая конструкция позволяет избежать прямого повреждения камер, расположенных на переднем бампере, при столкновении, но приводит к другой проблеме: косвенным затратам, связанным с заменой лобового стекла.

Когда лобовое стекло требует замены из-за повреждения камнями, градом или в результате столкновения, встроенные в основание зеркала передние камеры необходимо демонтировать и заново установить на новое лобовое стекло. После повторной установки камера требует точной калибровки — процесс калибровки Tesla предполагает проезд автомобиля нескольких километров по специальному маршруту (для автоматической калибровки) либо выполнение процедуры в авторизованном сервисном центре с использованием специального калибровочного оборудования. Неправильная калибровка может привести к: смещению распознавания линий разметки (автомобиль «зигзагообразно» смещается в пределах полосы движения), погрешностям в определении расстояния до впереди идущего автомобиля (неправильное расстояние срабатывания системы АЕВ), ошибкам в распознавании дорожных знаков (неправильное считывание знаков ограничения скорости).

Один из владельцев Tesla Model Y описал свой опыт на форуме по послепродажному обслуживанию в 2025 году: после замены лобового стекла автомобиль проехал около 200 км в режиме «автоматической калибровки» (в течение этого времени функции AP/FSD были недоступны), после чего функции возобновились. Однако во время последующей поездки по автомагистрали владелец заметил, что при прохождении поворотов автомобиль имеет тенденцию «смещаться наружу» примерно на 15 см — что как раз и является признаком погрешности в калибровке. Ему пришлось вновь обратиться в сервисный центр для ручной калибровки — вторая поездка в сервис заняла полдня и обошлась в 1 800 юаней за калибровку.

Проблемы с возмещением расходов на подписку на программное обеспечение

Ещё более тонкой финансовой ловушкой является подписка на программное обеспечение FSD. В США существует два способа приобретения FSD: единовременная покупка за 12 000 долларов (около 87 000 юаней) или ежемесячная оплата в размере 99–199 долларов. В Китае функции FSD ещё не внедрены в полном объёме, но аналогичные пакеты программного обеспечения для интеллектуального вождения высокого уровня (такие как подписка NOP+ от NIO, покупка XNGP от Xpeng, пакет ADS высокого уровня от Huawei) уже работают на многих моделях автомобилей.

В случае ДТП с полной гибелью автомобиля сумма страхового возмещения обычно равна «фактической денежной стоимости» (ACV — Actual Cash Value) автомобиля на момент аварии — эта оценка основана на данных о годе выпуска, пробеге, комплектации и рыночной цене автомобиля и рассчитывается сторонней оценочной компанией (например, CCC Intelligent Solutions, Mitchell International и т. д.), нанятой страховой компанией. Вопрос заключается в том: учитывается ли стоимость подписки на программное обеспечение или его покупки при расчете ACV?

Практика в этой области в американской отрасли автострахования крайне неоднородна: - Стандартные полисы некоторых страховых компаний (например, State Farm, GEICO) исключают «программные функции» из расчета ACV и возмещают только стоимость самого оборудования - Некоторые страховые компании принимают представленные владельцами автомобилей квитанции об оплате выкупа FSD в качестве доказательства дополнительной стоимости, но требуют, чтобы об этом было заявлено при оформлении полиса (многие владельцы не знают о необходимости такого заявления) - Собственная страховая компания Tesla Insurance, действующая в некоторых штатах США, теоретически должна включать стоимость FSD в ACV — однако её алгоритм ценообразования непрозрачен, и сторонним наблюдателям сложно это проверить

В Китае в типовых условиях Ассоциации страховой отрасли пока не содержится четких положений о выплате страхового возмещения за «стоимость программного обеспечения системы автономного вождения». В настоящее время в практике принято следующее: при выплате возмещения за полную гибель автомобиля стоимость программного обеспечения не включается — за исключением случаев, когда владелец автомобиля при оформлении полиса указал это в качестве отдельного условия и уплатил соответствующую дополнительную страховую премию.

Вы потратили несколько десятков тысяч юаней (в качестве примера приведена цена выкупа программного обеспечения для интеллектуального вождения одной из ведущих марок; фактическая цена значительно варьируется в зависимости от модели автомобиля, периода покупки и рекламных акций, поэтому цены, указанные в автосалонах, могут отличаться от тех, которые вы нашли в интернете) на приобретение программного обеспечения для интеллектуального вождения, но после того, как автомобиль будет сбит и признан полностью утраченным, страховая компания может не выплатить вам ни одного юаня.

2.5 Интеграция аккумулятора с кузовом (СТС/СТВ) — конечная дилемма ремонта аккумулятора

В главе 1 мы проанализировали физические риски и затраты на ремонт конструкции СТС/СТВ при столкновении. Однако проблема ремонта аккумуляторной батареи не ограничивается лишь тем, что «интегрированная конструкция требует большего трудозатрат на демонтаж» — здесь пересекаются три фактора: физическая необратимость, неприемлемость компромиссов в вопросах безопасности и информационная асимметрия.

Необратимость: «одноразовый» характер структурного клея для аккумуляторных элементов

В конструкции СТВ элементы аккумулятора приклеены к поддону аккумулятора с помощью теплопроводящего структурного клея, который обеспечивает как структурную фиксацию, так и канал теплоотвода (передачу тепла от элементов к системе охлаждения аккумулятора). Такие структурные клеи обычно представляют собой эпоксидные или полиуретановые составы, прочность которых на сдвиг после отверждения превышает 10–15 МПа, а также обладают превосходной устойчивостью к вибрационной усталости. Следует отметить, что решения СТВ/СТС различных производителей значительно различаются по ремонтпригодности: в решении СТВ компании BYD сохранена разборная конструкция на уровне модулей (элементы аккумулятора устанавливаются в виде модулей, и в теории при выходе из строя отдельного модуля возможна его локальная замена), тогда как в «4680 Structural Pack» от Tesla элементы аккумулятора непосредственно склеены структурным клеем в единое целое, что исключает промежуточный уровень модуля; при ремонте изолировать отдельный элемент аккумулятора гораздо сложнее — это напрямую влияет на возможности выбора схемы ремонта и на его стоимость.

Однако проблема структурного клея заключается в его необратимости. После отверждения его невозможно «размягчить» или «растворить» — любая операция по демонтажу элемента означает физическое разрушение клеевого слоя. А после разрушения клеевого слоя структурная стабильность соседних элементов, каналы теплоотвода и виброустойчивость подвергаются воздействию, которое невозможно количественно оценить. Ещё более важно то, что в процессе разборки даже малейшая царапина, нанесённая инструментом на корпус батареи (обычно представляющий собой алюминиево-полимерную плёнку или корпус из алюминиевого сплава), может привести к катастрофическому внутреннему короткому замыканию.

Даже с чисто технической точки зрения замена отдельных элементов батареи физически возможна, но для этого требуются чрезвычайно жесткие условия: чистая комната с постоянной температурой и влажностью (аналогичная цеху по производству полупроводников), прецизионные инструменты, мониторинг в режиме реального времени с помощью инфракрасной тепловизионной съемки (для отслеживания любого аномального повышения температуры), а также готовые к немедленному применению планы действий в чрезвычайных ситуациях (в случае возникновения теплового разгона во время работы — немедленное погружение аккумуляторного блока в погружной огнетушительный резервуар). Такие условия и процессы имеются на заводах по производству аккумуляторов, но отсутствуют в любых автосервисах — и даже на большинстве заводов по производству аккумуляторных блоков. Затраты на инвестиции в строительство таких объектов для ремонта отдельных элементов аккумулятора значительно превышают выгоду.

Безопасность не терпит компромиссов: призрак внутреннего короткого замыкания

Основной принцип инженерии безопасности аккумуляторных батарей заключается в следующем: как только на элементе появляются признаки механического повреждения (даже если это деформация на уровне микрометров, невидимая невооруженным глазом), его нельзя считать безопасным.

Тепловая стабильность материала катода тройных литий-ионных аккумуляторов (NCM/NCA) (например, NCM811 — никель-кобальт-марганец в соотношении 8:1:1) относительно низкая: при температуре около 150–200 °С начинается выделение кислорода (выделение кристаллического кислорода), вступая в бурную экзотермическую реакцию с электролитом (карбонатный растворитель + литиевая соль LiPF_6). Как только внутреннее короткое замыкание вызывает появление локальной горячей точки, развитие теплового разгона происходит чрезвычайно быстро — время от внутреннего короткого замыкания до теплового разгона может составлять всего несколько десятков секунд. Именно поэтому тройные литий-ионные аккумуляторы чрезвычайно чувствительны к любому виду механического воздействия (прокалывание иглой, сдавливание, деформация).

Литий-железо-фосфатные (LFP) аккумуляторы обладают лучшей термической стабильностью: температура, при которой начинается термический разгон, составляет примерно 250–300 °С, а скорость выделения тепла значительно ниже, чем у тройных аккумуляторов; обычно это проявляется в виде «дыма без пламени», а не в виде бурного горения. Однако LFP также не являются абсолютно безопасными — если элемент подвергнется локальному сдавливанию, приводящему к повреждению сепаратора, внутреннее короткое замыкание всё же может произойти, просто вероятность и скорость его перехода в катастрофический тепловой разгон ниже, чем у тройных аккумуляторов.

Эта «неподлежащая компромиссам» минимальная планка безопасности означает: как только деформация корпуса аккумуляторного блока превышает пороговое значение (автопроизводители обычно устанавливают пороговое значение на уровне примерно 2–5 мм), вариант ремонта заключается не в «восстановлении нескольких поврежденных элементов», а в «замене всего аккумуляторного блока». Ведь инженеры по безопасности вынуждены исходить из того, что любая видимая невооруженным глазом деформация может сопровождаться микроповреждениями сепаратора, а дальнейшее развитие таких микроповреждений носит случайный и непредсказуемый характер.

Информационная асимметрия: только автопроизводители и производители аккумуляторов знают, как проводить ремонт (но не хотят делиться этой информацией с другими)

Главная проблема ремонта аккумуляторов заключается в асимметрии знаний.

SoH (состояние здоровья) аккумулятора, внутренняя карта дефектов (Defect Map) и тенденции изменения согласованности элементов — эти данные частично хранятся в BMS (системе управления аккумуляторной батареей), а частично — на облачных серверах автопроизводителей и производителей аккумуляторов. Автомобилисты, независимые ремонтные мастерские и страховые компании не имеют доступа ко всем этим данным.

В списке «Раскрытие технической информации по ремонту автомобилей на новых источниках энергии (третья партия)», опубликованном в 2025 году Государственным управлением по регулированию рынка Китая, техническая информация по ремонту аккумуляторных систем (включая внутреннюю структуру аккумуляторного блока, методы замены элементов, процедуры балансировки и наладки, правила безопасной эксплуатации и т. д.) по-прежнему классифицируется как «ключевая коммерческая тайна предприятия» — автопроизводители могут подать заявку на освобождение от обязательного раскрытия. За исключением центров ремонта

аккумуляторов, непосредственно уполномоченных или управляемых автопроизводителями (которых в настоящее время в Китае лишь несколько — например, станции замены аккумуляторов/ремонтные центры NIO, сеть послепродажного обслуживания аккумуляторов CATL и т. д.), ни одна третья сторона не обладает знаниями и инструментами, необходимыми для безопасного демонтажа и ремонта высоковольтных аккумуляторных систем.

При этом автопроизводители крайне неохотно идут на ремонт аккумуляторных батарей — ведь замена батареи не только снимает с них риск ответственности за «аварии после ремонта», но и приносит значительную прибыль от продажи запчастей. В этом и заключается экономический механизм стимулирования политики «только замена, никакого ремонта»: совокупная прибыль от замены (валовая прибыль на запчастях 30–50 % + оплата рабочего времени) > стоимость уклонения от риска ответственности за безопасность > совокупная прибыль от ремонта (в основном за счет оплаты рабочего времени, прибыль на запчастях минимальна).

Эта логика самосогласована — для каждого рационального субъекта (автопроизводителя, автосалона) «рекомендовать замену» является лучшим решением. Однако для общества в целом решение «всегда заменять» означает преждевременный списание десятков тысяч аккумуляторных батарей и перекладывание дополнительных затрат на ремонт в размере сотен миллионов на автовладельцев и страховые компании — а эти затраты в конечном итоге приводят к росту страховых взносов, которые распределяются между всеми автовладельцами.

2.6 [Технический и правовой анализ, часть 3] Литий-железо-фосфатные и тройные литий-ионные аккумуляторы — значение характеристик теплового разгона для страхования

С точки зрения страховой актуарной оценки различия в характеристиках теплового разгона аккумуляторов на основе литий-железо-фосфата (LFP) и тройных литий-ионных аккумуляторов (NCM/NCA) становятся ключевой переменной при определении стоимости риска для конкретных моделей автомобилей.

Согласно техническим документам и данным независимых испытаний, опубликованным производителями аккумуляторов, такими как Ningde Times, BYD, LG Energy Solution и Panasonic:

Таблица 1-4. Сравнение характеристик теплового разряда литий-железо-фосфатных и тройных литий-ионных аккумуляторов

Характеристика | Литий-железо-фосфатные (LFP) | Трехкомпонентные литий-ионные (NCM/NCA)

Температура начала теплового разряда | Около 250–300 °C | Около 150–200 °C

Пиковая температура теплового разряда | Около 350–500 °C | Около 700–1000 °C

Скорость реакции теплового разгона | Медленная (скорость самонагрева около 0,5–5 °C/мин) | Бурная (скорость самонагрева может превышать 100 °C/мин)

Реакция выделения кислорода | крайне слабая (кислород плотно связан в кристаллической решетке оливиновой структуры) | значительная (слоистая структура выделяет кислород при высоких температурах)

Результаты испытания на прокалывание | Дымление, негорючий / Случайное возгорание (но медленное) | Возгорание/взрыв (быстрое)

Сложность тушения аккумуляторного блока | Относительно контролируемая | Чрезвычайно сложная (самоподдерживающийся тепловой разгон, требуется непрерывное охлаждение большим количеством воды)

С точки зрения страховой математики это означает: вероятность катастрофического возгорания (total burn-out) после столкновения у автомобилей с аккумуляторными батареями LFP значительно ниже, чем у автомобилей с тройными аккумуляторными батареями; даже в случае теплового разгона скорость реакции LFP обеспечивает пассажирам заметно больше времени для эвакуации.

Эта разница уже начала отражаться на ценообразовании в сфере страхования. В конце 2025 года ряд китайских страховых компаний начал учитывать «химический тип аккумулятора» в качестве фактора, влияющего на страховые тарифы для автомобилей на новых источниках энергии — модели, оснащенные аккумуляторами LFP, получают скидку на страховую премию в размере примерно 5–10 % (по сравнению с моделями того же класса, оснащенными тройными аккумуляторами). Однако эта скидка по-прежнему кажется слишком умеренной по сравнению с фактическим разрывом в частоте случаев теплового разгона между этими двумя типами аккумуляторов (согласно данным Управления пожарной охраны и спасательных операций Государственного управления по чрезвычайным ситуациям, в 2024 году частота пожаров среди автомобилей на новых источниках энергии в Китае с тройными аккумуляторами была примерно в 2,8 раза выше, чем у моделей с LFP-аккумуляторами) — в страховых актуарных моделях отражение технических рисков при ценообразовании по-прежнему отстает от реальности.

Для потребителей этот анализ указывает на однозначную, но не всегда принимаемую во внимание рекомендацию при покупке автомобиля: если ваш бюджет позволяет выбирать, при равных условиях (запас хода, скорость зарядки, бренд и т. д.) стоимость страхования на весь жизненный цикл автомобилей с LFP-аккумуляторами может быть значительно ниже, чем у моделей с тройными аккумуляторами — и об этой разнице консультанты по продажам в автосалонах обычно не упоминают при покупке автомобиля.

2.7 [Анализ технологических и правовых аспектов, часть 4] Проблемы внедрения нового отраслевого правила «ремонтировать, а не заменять»

В ноябре 2025 года Китайская ассоциация страховой индустрии опубликовала «Норматив по оценке ущерба аккумуляторным батареям автомобилей на новых источниках энергии (проект для сбора комментариев)», одним из ключевых принципов которого является «ремонт вместо замены» — то есть в случае повреждений аккумуляторной батареи, поддающихся локальному ремонту, предпочтение отдается ремонту, а не полной замене. Законодательная цель этого принципа заключается в сдерживании растущего давления на выплаты по страховым случаям в сегменте автомобилей на новых источниках энергии и снижении нагрузки на автовладельцев в виде страховых взносов.

В данном проекте предложена многоуровневая система оценки повреждений аккумуляторных батарей:

- Повреждения первого уровня (поддающиеся ремонту): незначительные царапины или вмятины на корпусе аккумуляторного блока (глубина < 2 мм, площадь < 20 см²), отсутствие признаков повреждения внутренних элементов → ремонт корпуса, замена элементов не требуется

- Повреждение второго уровня (возможна замена модулей): умеренная деформация корпуса аккумуляторного блока (глубина 2–5 мм, площадь 20–50 см²), возможно повреждение части внутренних модулей → замена поврежденных модулей с сохранением неповрежденных

- Повреждение третьей степени (замена всего узла): сильная деформация или разрыв корпуса аккумуляторного блока (глубина > 5 мм или сквозное повреждение), повреждение большого количества элементов или возникновение теплового разгона → полная замена аккумуляторного блока

Эта многоуровневая система классификации выглядит вполне разумной на бумаге. Однако на практике она сталкивается с тремя препятствиями:

Первое: отсутствие технической информации. Для определения «ремонтпригодности» (первая или вторая степень? Какой размер вмятины означает повреждение внутренних элементов?) автомобилестроительным компаниям необходимо предоставить данные о пороговых значениях механических повреждений элементов — включая максимальный объем деформации, который может выдержать корпус элемента, запас безопасности деформации сепаратора, а также распределение внутренних напряжений при ударах в разных направлениях. Эти данные относятся к числу ключевых инженерных секретов производства аккумуляторов, и ни автопроизводители, ни производители аккумуляторов не желают их раскрывать. Без этих данных любая оценка «возможности ремонта» лишена инженерного обоснования.

Второй аспект: несоответствие стимулов. В бизнес-модели автосалонов 4S прибыль от продажи запчастей (обычно в виде наценки в 30–50 % к закупочной цене или в виде бонусов от производителя) является одной из основных составляющих дохода. Замена аккумуляторного блока стоимостью 80 000–120 000 юаней приносит автосалону 4S валовую прибыль от запчастей в размере примерно 24 000–60 000 юаней (в зависимости от маржи, предоставляемой автопроизводителем дилерам). В то же время «ремонт» аккумуляторного блока — даже если он технически возможен — приносит доход в основном за счет рабочего времени, а валовая

прибыль обычно составляет 5 000–15 000 юаней. Под влиянием стремления к прибыли автосалоны, естественно, будут склоняться к тому, чтобы «рекомендовать замену».

Третий аспект: непередаваемость ответственности за безопасность. В рамках действующего законодательства ремонтные предприятия несут гарантийную ответственность за безопасность автомобиля после ремонта. Если автосалон выберет вариант «ремонтировать, а не заменять» и отремонтирует часть элементов аккумулятора, но в будущем в отремонтированных элементах произойдет внутреннее короткое замыкание, которое приведет к пожару и нанесет ущерб здоровью или имуществу, ответственность за это будет нести автосалон (и/или автопроизводитель). Столкнувшись с этой комбинацией «низкой прибыли и высокого риска», оптимальной стратегией самозащиты становится «рекомендовать замену» — переложить ответственность на качество изготовления новых деталей (которое несет производитель аккумуляторов) и на готовность владельца автомобиля оплатить замену.

Чтобы выйти из этого тупика, одних отраслевых норм недостаточно — необходимо открыть «технический клапан» (автопроизводители должны обнародовать данные о пороговых значениях повреждений аккумуляторов), пересмотреть механизм распределения выгод (снизить стимулы к замене за счет прибыли, повысить вознаграждение за ремонт), а также рационально распределить ответственность за безопасность (создать фонд страхования ответственности за безопасность при ремонте аккумуляторов, покрывающий выплаты в случае страховых случаев после ремонта). Это системный проект, требующий достижения многостороннего консенсуса между регулирующими органами, автопроизводителями, страховыми компаниями, ремонтной отраслью и потребителями. По состоянию на июнь 2026 года этот проект все еще находится на начальной стадии.

Часть 2. Ограничения алгоритмов и физические границы — резкий рост вероятности страховых случаев, вызванных сбоями в системах автономного вождения

Введение: Программное обеспечение поглощает мир — и поглощает запас прочности

В 2011 году основатель компании Netscape Марк Андрессен (Marc Andreessen) опубликовал в «Уолл-стрит джорнал» статью, имевшую огромное влияние, под названием «Почему программное обеспечение поглощает мир». Пятнадцать лет спустя его утверждение нашло самое яркое подтверждение в автомобильной промышленности. В одном высокотехнологичном автомобиле 2026 года работает более 100 миллионов строк кода — это более чем в 7 раз превышает объем кода самолета Boeing 787 Dreamliner (около 14 миллионов строк) и более чем в 4 раза — истребителя F-35 (около 24 миллионов строк). При этом примерно 60–70 % из этих 100 миллионов строк кода прямо или косвенно связаны с функциями интеллектуального вождения — восприятием, прогнозированием, планированием, управлением, взаимодействием человека с машиной и управлением обновлениями ОТА.

Следующим шагом в процессе «поглощения мира программным обеспечением» станет поглощение им запаса прочности.

В эпоху традиционных автомобилей запас прочности был физическим понятием: более толстые стальные листы, более прочная конструкция кузова, большее количество подушек безопасности — эти физические «избыточные элементы» в определенной степени компенсировали ненадежность человеческого вождения. В эпоху интеллектуальных автомобилей позиция автопроизводителей противоположна: более лёгкие материалы, меньше «лишних» конструкций, более эффективные алгоритмы — физическая избыточность постоянно сокращается, а освободившийся вес и пространство используются для увеличения ёмкости аккумуляторов и количества датчиков. Основа запаса прочности сместилась с «физической избыточности» на «интеллект алгоритмов».

Логика этого сдвига вполне последовательна: если датчики способны на 360 градусов воспринимать окружающую среду, если алгоритмы планирования могут быстрее человека принимать решения об уклонении, если система АЕВ может инициировать торможение до того, как человек успеет среагировать, — тогда массивные стальные панели действительно могут оказаться лишними. Это теоретически оптимальное состояние интеллектуального вождения.

Но проблема заключается в том, что алгоритмы не достигают оптимального состояния в любых условиях. Пределы их возможностей реально существуют — в ливень эффективная дальность восприятия камеры сокращается с 250 до 30 метров; при движении в контровом свете модели глубокого обучения допускают систематические ошибки восприятия; социальная игра на перекрестке со знаками «Стоп» в четырех направлениях заставляет систему впасть в «бесконечное ожидание»; «распознавание намерений» при китайском стиле вклинивания в поток выходит за пределы прогнозируемых возможностей архитектуры BEV+Transformer; а также серия смертельных столкновений с задней частью неподвижных белых грузовиков с прицепами — всё это является «слепыми зонами интеллекта», которые алгоритм демонстрирует за пределами своих ожидаемых рабочих границ.

Во второй части работы мы подробно анализируем технические основы этих «слепых зон» на пяти ключевых фронтах — от разрыва между правовыми и маркетинговыми нарративами на уровнях L2 и L3 до моделей сбоев алгоритмов в типичных дорожных условиях Китая и США, а также до ловушек мышечной психологии при совместном вождении человека и машины. Каждый анализ указывает на один и тот же насущный вопрос: когда автопроизводители заявляют на пресс-конференциях, что «система XX обеспечила XX% охвата в сценарии XX», что означают для автовладельцев те немногие сценарии, которые не охвачены этой системой?

Прежде чем приступить к конкретному анализу, необходимо ввести ключевое понятие, проходящее красной нитью через всю эту статью, — безопасность предполагаемой функциональности (Safety of the Intended Functionality, сокращённо SOTIF, определённая стандартом ISO 21448). Функциональная безопасность (ISO 26262) касается рисков, вызванных «поломкой» аппаратного или программного обеспечения системы — отказом микросхем, сбоем связи, отказом тормозной системы. SOTIF же касается рисков, возникающих в результате того, что система «не вышла из строя, но действует неверно»: модель восприятия принимает водовоз за небо, планировщик движения попадает в бесконечное колебание на перекрестке без защитного ограждения при повороте налево, а система АЕВ не реагирует на заднюю часть неподвижного белого грузовика.

Практически все описанные в данной статье «слепые зоны» алгоритмов — от прогнозирования вклинивания в поток до «призрачного» торможения и пропуска необычных транспортных средств — в классификации инженерии безопасности относятся к области SOTIF: система функционирует в соответствии с проектом, никакие компоненты не «вышли из строя», но поведение системы в определенных сценариях по-прежнему является небезопасным. Для потребителей понимание SOTIF заключается в следующем: не следует полагать, что «отсутствие кодов неисправностей означает, что система работает без ошибок». Некоторые из самых смертоносных ошибок происходят именно тогда, когда система считает, что всё в порядке.

2.8 Дополнительный анализ: модель количественной оценки рисков датчиков с точки зрения страховой актуарной оценки

С точки зрения страховой актуарной оценки риск, связанный с датчиками систем автономного вождения, не сводится к одной единственной составляющей — «высокой стоимости замены». Настоящая актуарная задача заключается в «вероятности каскадных повреждений» — то есть в совокупной вероятности одновременного выхода из строя нескольких датчиков в результате одного столкновения.

В традиционных автомобилях с двигателем внутреннего сгорания типичными повреждёнными деталями при одном переднем столкновении на низкой скорости (например, наезд сзади со скоростью 15 км/ч) являются: корпус переднего бампера (около 2 000–4 000 юаней) + энергопоглощающая пена переднего бампера (около 500–1 000 юаней) +, возможно, рама радиатора (около 1 500–3 000 юаней). Общая стоимость этих трёх деталей составляет около 4 000–8 000 юаней, причём вероятность их повреждения имеет предсказуемое статистическое распределение (на основе данных о выплатах страхового возмещения за несколько десятилетий).

В интеллектуальном автомобиле, оснащённом системой интеграции данных с нескольких датчиков, аналогичное столкновение сзади на скорости 15 км/ч может привести к следующим последствиям: - трещины в корпусе переднего бампера (вероятность $\approx 95\%$, как и у автомобилей с двигателем внутреннего сгорания) - Удар по переднему миллиметровому радару (вероятность $\approx 60\text{--}80\%$, в зависимости от геометрического соотношения между точкой столкновения и местом установки радара) - повреждением ультразвуковых датчиков радара, расположенных в переднем бампере (вероятность $\approx 40\text{--}60\%$, обычно 2–4 из 4–6 датчиков попадают в зону воздействия удара) - Камера кругового обзора (вероятность $\approx 20\text{--}40\%$, зависит от конкретного места её установки в переднем бампере) - Деформация кронштейна точной калибровки миллиметрового радара (вероятность $\approx 30\text{--}50\%$; этот кронштейн имеет жесткое соединение — по конструкции он не должен деформироваться, но сила удара может вывести его за пределы допустимых отклонений)

«Каскадные повреждения» этих компонентов не являются независимыми случайными событиями — они тесно взаимосвязаны (одно столкновение сзади одновременно затрагивает все датчики, установленные на переднем бампере). Страховым компаниям необходимо формировать более высокие резервы на покрытие такого «взаимосвязанного риска», что напрямую отражается на росте страховых взносов.

Межпоколенческий разрыв в актуарных данных

Еще более скрытой проблемой является «поколенческий разрыв» в актуарных данных. Страховая актуария опирается на закон больших чисел — прогнозирование будущих затрат на выплаты на основе исторических данных о выплатах по большому количеству однородных рисков. Однако когда конфигурация датчиков, их расположение и даже поставщики и модели датчиков в каждой новой генерации автомобилей полностью отличаются (например, при переходе с Nosa AT128 на AT512, стоимость одного лидара выросла с примерно 5 000 юаней до примерно 8 000 юаней, а изменения во внутренней оптической конструкции привели к кардинальному изменению его чувствительности к ударам), данные о выплатах по предыдущему поколению автомобилей практически не имеют справочной ценности для ценообразования следующего поколения.

Страховые компании сталкиваются с «актуарной черной дырой» — каждая новая модель интеллектуального автомобиля, поступающая на рынок, является «первым поколением» с точки зрения расположения датчиков и структуры затрат на ремонт, и не имеет достаточного опыта выплат, чтобы обосновать точное ценообразование с учетом рисков. В таких условиях рациональной реакцией страховых компаний является «завышение оценки риска» — добавление к сумме страховой премии, которую следовало бы взимать, значительной «премии за неопределенность» (uncertainty loading) для покрытия неизвестных, но потенциально высоких затрат на выплату страхового возмещения. Эта «премия за неопределённость» в конечном итоге ложится на плечи автовладельцев — не потому, что они ездят более опасно, а потому, что страховой отрасли не хватает данных, чтобы различать «конфигурации датчиков с высоким риском» и «конфигурации датчиков с относительно низким риском».

Дилемма обратного отбора потребителей

На этом рынке, характеризующемся асимметрией информации в области актуарных расчетов, потребители сталкиваются с дилеммой. При покупке автомобиля, оснащенного функциями автопилота уровня L2, потребитель платит дополнительную сумму за эти функции (обычно в виде надбавки к стоимости комплектации в размере 20–50 тысяч юаней), а затем в процессе эксплуатации вынужден платить более высокие страховые взносы (поскольку страховая отрасль «переоценивает неопределенность» в отношении таких моделей). Однако «дивиденды безопасности», которые потребитель фактически получает от функций автопилота — то есть количество аварий, предотвращенных благодаря вмешательству таких функций, как АЕВ, — для отдельного потребителя не поддаются оценке.

Вы не можете знать, что благодаря системе АЕВ в какой-то момент, когда вы этого не заметили, удалось предотвратить грядущую аварию — ведь вы вообще не осознавали возможности её возникновения. «Предотвращение одной аварии» — это ненаблюдаемый «контрфактический сценарий»: она не произошла, поэтому вы никогда не узнаете, что «она едва не произошла». Зато вы можете вполне реально наблюдать счета за страховые взносы с завышенными суммами — это происходит каждый месяц.

Эта асимметрия между «ненаблюдаемостью дивидендов безопасности» и «высокой видимостью повышения страховых взносов» может привести к «обратной селекции» со стороны потребителей — рациональный потребитель может отказаться от покупки автомобиля с расширенными функциями автопилота не потому, что эти функции плохие, а потому, что «ненаблюдаемые дивиденды безопасности» в его личном анализе затрат и выгод не могут адекватно компенсировать «высоко заметное повышение страховых взносов».

Такое рыночное сбой — когда рациональный выбор отдельных лиц приводит к коллективному неоптимальному результату — может потребовать институционального вмешательства для исправления ситуации: например, превращение таких функций активной безопасности, как АЕВ, которые доказали свою способность значительно снижать количество ДТП и уровень смертности и травматизма, из «дорогих опций» в «обязательную стандартную комплектацию» — подобно ремням безопасности и системе ESP — что позволит социализировать и сделать «выгоду от безопасности» всеобщей, вместо того чтобы отдельные потребители в условиях информационной асимметрии делали неоптимальный выбор.

2.9 Проблемы с ремонтом в глобальной цепочке поставок оборудования для интеллектуального вождения — игнорируемый «эффект длинного хлыста»

В наши дни, когда глобальные цепочки поставок разрываются геополитическими конфликтами, в проблеме ремонта оборудования для интеллектуального вождения есть ещё один незаметный, но усиливающийся фактор — «ожидание запчастей», вызванное перебоями в цепочке поставок.

Традиционные автомобильные запчасти — бамперы, фары, крылья — могут производиться и поставляться независимыми поставщиками запчастей (OES — Original Equipment Supplier и бренды вторичного рынка). Передние фары BMW 3-й серии 2018 года могут стоить 8 000 юаней в официальном автосалоне (оригинальные запчасти), 3 000 юаней на Taobao (неоригинальные запчасти), а в партнерской сети страховой компании — по еще более выгодной «цене партнерской ремонтной мастерской». Конкуренция в цепочке поставок снижает стоимость ремонта, что приносит выгоду как потребителям, так и страховым компаниям.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.