

## □ Магия Tesla – блеклое очарование

□ Инженеры силиконовой долины выдали очередной инновационный продукт – электромобиль Tesla, чему можно вежливо поаплодировать – есть на что посмотреть.

Первые экземпляры Tesla уже эксплуатируются в России. В частности, в сети появился видеоотчет из Барнаула о заезде Tesla в условиях -25-30С. Исходя из обсуждаемой номинальной дальности 450 км, она укомплектована самым емким набором батарей 85 квт·ч (цифра ключевая, периодически будет всплывать при сравнении с тепловыми автомобилями, поэтому имеет смысл ее запомнить).

Отчет восторженный. Но чтобы проанализировать Tesla как перспективную разработку, желательно включить мозги и придушить восхищальку, дабы стал доступен хотя бы элементарный системный анализ. Текст на самом деле будет посвящен не Tesla, а вопросу: может ли Мир в будущем в принципе пересечься на электромобиль с аккумулятором, т.е. инновация это или пузырь?

Ролик 20-минутный, не имеющие желания погружаться в него могут просто довериться нижеприведенной трактовке его материала.

[iframe src="http://www.youtube.com/embed/jhxOW0CXNxE?feature=player\_detailpage" width="100%" height="500"]

## Едем или греем?

Начнем с наиболее очевидного и важного – с расхода «топлива» и фактической дальности. Tesla проехала 31 км (пробег вырос с 14340 км до 14371 км), тогда как приборный запас хода сократился на 92 км (с 339 км до 247 км), т.е. один км реального пробега съел три км приборной дальности. Данный факт означает, что КПД процесса преобразования электрической энергии в механическую упал в три раза относительно номинальных значений. Куда же потрачен сверхнормативный расход энергии? Банально на обогрев, по Сибири же колесим. Поэтому с запасом хода при морозах ниже -25С получается совсем невесело: приборных 450 км хватит не более чем на 150 км физических. Заметим, что это в условиях идеальной езды в полчетвертого ночи по абсолютно пустым дорогам с выключенными светофорами. Подбросив журналиста до аэропорта, водителю Tesla только и остается, что вернуться в гараж, к спасительной розетке.

## Незримые достоинства ДВС

Как это ни странно, в России автомобиль временами приходится обогревать, и этот режим длится 9 месяцев в году, а порой и летними ночами. Тепловые двигатели к подобным режимам адаптированы идеально, поскольку имеют возможность работать в режиме ТЭЦ – «бесплатно» выдавать дополнительно к механической полезную тепловую энергию на обогрев.

В 50-литровом баке бензинового двигателя, исходя из теплотворной способности бензина 36900 кдж/л, заряжено 128 квт·ч чистой механической энергии и 384 квт·ч тепловой, из которой безвозвратные потери с отработанными газами и излучением составляют 40% от общей энергии или 205 квт·ч. Не выброшенные в атмосферу 179 квт·ч тепловой энергии утилизируется в системе охлаждения, и при необходимости могут быть использованы для обогрева салона. Интегрально получаем 307 квт·ч полезной энергии: 128 квт·ч механической и 179 квт·ч тепловой. Тепловой коэффициент (отношение «полезной» тепловой энергии к механической) составляет  $K_{теп} = 179/128 = 1,4$ . Он означает лишь то, что возможный бесплатный отбор тепловой энергии на обогрев автомобиля лежит в диапазоне 0?140% от совершаемой двигателем механической работы.

Теплотворная способность дизеля 37600 кдж/литр, безвозвратные потери с газами и излучением составляют 30% общей энергии. В итоге, 50-литровый бак содержит 209 квт·ч механической энергии и 157 полезной тепловой, всего 356 (сравните с 85 квт·ч самой заряженной Tesla). Тепловой коэффициент  $K_{теп} = 157/209 = 0,75$  существенно ниже, чем 1,4 у бензинового

двигателя. Поскольку предельный поток тепловой энергии на обогрев ограничен 75% механической мощности, то в сильные морозы дизельный двигатель прогревается существенно дольше, салон же приходится подтапливать электрическим обогревателем: преобразователь «двигатель-генератор-электрообогреватель» целенаправленно трансформирует часть механической энергии дизеля в тепловую, тем самым искусственно поднимая Ктеп выше естественного предела 0,75. По причине низкого естественного значения Ктеп эксплуатировать автомобили с маломощным дизелем в странах с суровым климатом непрактично – зимой банально будет не хватать тепла на обогрев салона.

Если механическую энергию суммировать с полезной тепловой, то предельный интегральный КПД бензинового двигателя способен достигать 60%, дизельного 70%. Наличие в энергетическом балансе двс полезной тепловой энергии является крайне важным фактором в суровых зимних условиях. Благодаря этому перед ним не стоит альтернатива «едем или греем», тогда как перед Tesla она встает в полный рост. В тестовом барнаульском заезде Ктеп достиг фантастических двухсот процентов, что, по всей видимости, вызвано не только отбором энергии на обогрев (практика показывает, что достаточно тех предельных 140%, что имеет бензиновый двигатель), но и неэффективной работой батарей в условиях низких температур.

## Зимняя пробка как ловушка

Поездка в 31 км до аэропорта по пустым дорогам должна занять не более 25 мин, при этом на обогрев была израсходована энергия в 61 приборный км. Несложно вычислить, что в глухой пробке Tesla истратит весь запас хода в 450 км только на обогрев за  $(450/61) \cdot 25 \text{ мин} = 3 \text{ часа}$ , ну может быть чуть дольше, поскольку в пробке автомобиль не обдувается набегающим потоком (если только нет ветра). Поэтому при -30С и 6?7 бальных пробках высовывать нос Tesla из гаража категорически не рекомендуется: она в этих условиях превращается в элегантный атмосферный электрообогреватель, что очень неприятно – быстро разряжающийся, а ее электромеханический КПД падает близко к нулю. То, что в тепловых двигателях прилагается «бесплатно», в Tesla требует конкретных затрат дорогой высокоструктурированной энергии. И не дай Бог ей попасть в настоящую ловушку как, например, снежные перемены за городом или банально зарыться где-нибудь на пустой зимней дороге.

## Дополнительные зимние нюансы

К сожалению, в барнаульском тесте Tesla начала движение с закрытого паркинга, т.е. из плюсовой температурной зоны (температура -25С в начале движения была не «за бортом», а на экране смартфона). Приходится констатировать, что пропущен основной зимний тест: старт после 4?8 часовой открытой офисной стоянки при -25-30С (рабочий режим для России).

Нелишне упомянуть об еще одной неявной зимней угрозе: при охлаждении фактическая ёмкость литиевых аккумуляторов падает, поэтому на морозе полностью заряженная батарея переходит по мере охлаждения в состояние «перезаряженной», что категорически недопустимо. Перезаряд приводит к выходу батареи из строя, иногда весьма эффектно, с дымом, огнём и вонью (по этой причине во все зарядные устройства для ЛИБ встроена специальная защита от перезаряда). Отсюда сугубо практическая рекомендация: в сильный мороз категорически не рекомендуется отъезжать с полностью заряженной батареей на randevу поблизости от дома (пробег не успеет в достаточной мере разрядить ее), поскольку переохладив батарею, спалитесь в прямом и переносном смысле.

## Экономическая целесообразность

Затраты на 100 км пробега, исходя из реального эксплуатационного расхода 0,291 квт·ч/км (3673 квт·ч на 12616 км, цифры в нижнем левом углу дисплея водителя на 17м20с ролика), составляют при текущих ценах на электроэнергию фантастические 120 р. Бензиновый автомобиль подобного класса расходует около 15 л бензина, что дороже на 370 р.

К сожалению, вся эксплуатационная выгода уже включена в цену покупки. Если оценить предельный фактический пробег в 200 тыс. км (считаем, что эксплуатируем аккуратно, без холодных зимних randevу с полностью заряженной батареей или перегревов ее на палящем солнце), интегральная экономия составит 740 тыс. р., что тает на фоне цены от 5 млн. р.

## Система «Тесла – домашнее хозяйство»

Для полной зарядки батареи 85 квт·ч за 10 часов (неслабое ограничение с точки зрения возможных непредвиденных ситуаций с родственниками или друзьями), потребуется розетка мощностью в 10 квт. Если захотите зарядиться в 2 раза быстрее, то извольте 20 киловаттную розетку. Как там у вас с общей разрешенной мощностью? Не говоря уже об экспресс-зарядке!!! Наткнулся на сведения, что гениальные инженеры из Tesla собрались довести время зарядки до 90 сек, что эквивалентно мощности зарядного устройства в 3,6 Мвт. Во как. Интересно будет взглянуть на входную шину в электробак Tesla.

## Система «Tesla – город»

Пиковая пропускная способность среднего размера заправки примерно 100 авто/час. Если в среднем в каждый «бак» будет заряжаться 70% емкости, то потребуется мощность 7 Мвт – хорошая трансформаторная подстанция.

Теперь о городе размерности Москва в целом. На его улицы ежедневно выезжает более 4 млн. автомобилей. Предположим уровень автоэлектрификации в 50%. В холодные пробочные дни из-за мизерного запаса хода им не обойтись без экспресс-зарядки (считаем, что на те же 70% емкости) в интервале от 12 до 21 ч, для чего необходимо  $2\text{млн} \cdot 85\text{квт} \cdot \text{ч} \cdot 0,7/9\text{ час} = 14\ 000\ \text{Мвт}$  мощности. Рекордные годовые максимумы энергопотребления в Москве 18 000 МВт (по России в целом 156 400 Мвт, декабрь 2012). Даже 50%-й переход на Tesla потребует создания фактически дублирующей энергосистемы.

## Система «Tesla – государство»: заплатим все вместе

Автопарк России за год сжигает около 35 млн. т. бензина и примерно столько же дизеля. Учитывая теплотворную способность (47 300 кдж/кг и 44 800 кдж/кг соответственно) и КПД двигателей, получаем суммарную годовую полезную механическую работу в 0,3 трлн. квт·ч. Допустим, что в будущем всю ее выполняют электромобили. Оценивая, что примерно столько же энергии потребуется на обогрев электропозок (для электромобилей в России в среднем по году  $K_{\text{теп}} = 1$  немного), то они съедят 0,6 трлн. квт·ч, что сопоставимо с текущим годовым объемом энергопотребления в целом – 1,009 трлн. квт·ч, включая всю промышленность (из отчета РАО ЕЭС 2013 г).

Ключевая неприятность в том, что зимние пики потребления будут превышать летние в 5?6 раз (расход энергии превышает номинальный в 3 раза только на идеальной зимней дороге без пробок, с пробками существенно выше). Оценим последствия для энергосистемы в целом. В день транспорт совершает механическую работу в 0,3 трлн. квт·ч / 366 = 0,82 млрд. квт·ч. С учетом шестикратного «теплого» коэффициента ему потребуется примерно 0,82 млрд. квт·ч · 6 ? 5млрд. квт·ч электроэнергии. Даже при равномерной по часам в течение суток нагрузке на сеть необходима мощность генерации 5 млрд. квт·ч / 24 ч = 0,2 млрд. квт = 200 000 Мвт. Следует учесть неравномерность суточной генерации и потери энергии в магистральных, розничных сетях, в зарядных устройствах, аккумуляторах и электродвигателях (в сумме не менее 25%, речь об этом пойдет ниже). В итоге потребуется пиковая генерация не менее 300 000 Мвт, т.е. почти вдвое больше текущих пиков генерации (156 400 Мвт, декабрь 2012). Нам всем вместе придется консолидировано заплатить за всю эту «красоту», и неслабо.

Данные системные ограничения являются куда более значимыми, чем эксплуатационные недостатки аккумуляторных повозок.

## Система «Tesla – планета Земля»

Ресурсный анализ в масштабах планеты Земля удручает. Источники оценивают потребность в карбонате лития на один квт·ч емкости батареи в 1,4 кг, что эквивалентно 0,13 кг чистого лития (по соотношению атомных весов). Таким образом, на одну Tesla с «баком» 85 квт·ч потребуется 11 кг лития. Мировой выпуск легковых автомобилей находится на отметке 70 млн. шт. Если мы целиком переходим на электротягу, то текущая мировая потребность лития составит под миллион тонн. [По данным US Geological Survey](#) мировые запасы лития оцениваются примерно в 13 млн. тонн. Пространные комментарии излишни: если мы хоть сколько-нибудь массово пересядем на литий-ионные автомобили, на Земле банально не хватит лития.

## Криминальный КПД

Доля ядерной и гидроэнергетики в мировом энергобалансе около 25%. Нарастивание ее весьма проблематично по ресурсным ограничениям (пока, по крайней мере). Зеленая энергетика затратна и проблематична с точки зрения интеграции

нерегулярных по мощности источников энергии в единую энергосистему, и доля ее до сих пор мизерна. Поэтому парку электропозовок в ближайшие десятилетия придется опираться на преобразование химической энергии топлива в полезную механическую, но только в отличие от двс по очень длинной цепочке от ТЭС до колеса Tesla. Рассмотрим кпд каждого такта процесса.

Максимальный кпд генерации ТЭС достигает 36%. Нормативные потери электроэнергии в магистральных сетях 3%, соответственно кпд 97%. Нормативные потери в "розничных" сетях 6?10%, в России 12?14% (основная причина в несанкционированном отборе энергии). Не закладываясь на воровство, примем кпд розничных сетей в 90%. Максимальный кпд зарядного устройства [94%](#). После него литий-ионный аккумулятор осуществляет два последовательных преобразования энергии «электрическая – химическая – электрическая», суммарный кпд которых составляет по разным источникам 93-95%, примем 95%. Предельный кпд асинхронных электродвигателей 95%.

Отсюда интегральный номинальный (без затрат на обогрев) кпд преобразования энергии из химической формы в механическую составляет  $0,36 \cdot 0,97 \cdot 0,90 \cdot 0,94 \cdot 0,95 = 27\%$ . Чуть лучше, чем у бензинового двигателя и существенно ниже, чем у дизеля.

Но мы-то помним, что в прохладных условиях Tesla по совместительству работает атмосферным электрообогревателем. При -30С ее кпд даже на идеально пустых дорогах падает в три раза до  $27\%/3=9\%$ , и это без пробок. Очевидно, что в пробках до 0?5%. Если бы «зеленый патруль» знал, то в морозы ставил бы Tesla на штрафстоянку.

Теперь посмотрим на эксплуатационный (а не номинальный 27% или минимальный 0?5%) кпд, на примере барнаульской Tesla. За время эксплуатации Tesla прошла 12616 км, затратив 3673 квт·ч, тем самым показав расход 0,291 квт·ч/км вместо номинального 0,199 квт·ч/км. Отсюда легко вычислить, что эксплуатационный кпд составил примерно 2/3 от номинального, т.е. 18%. К концу зимы (тест производился в самом начале февраля) из-за тепловых потерь эксплуатационный кпд опустится ниже 15%, что заметно хуже, чем у бензинового двигателя и существенно хуже, чем у дизельного.

## На заметку зеленым человечкам, и не только

Средний автомобиль в процессе жизненного цикла наездит не более 250 тыс. км. На это, исходя из реальных эксплуатационных расходов энергии, потребуется примерно 1 тыс. полных циклов заряд-разряд. Таким образом, каждый квт·ч емкости батареи за свою жизнь выдаст на гора 1000 квт·ч электроэнергии. Листая сеть, довелось наткнуться на данные, что [производство 1 квт·ч емкости ЛИБ «стоит» 387 квт·ч энергии](#). Сведения, если они верны, удручающие, потому как уровень энергозатрат на производство одного только «топливного бака» оказывается неприемлемым: каждый квт·ч отдаваемой «баком» в течение жизненного цикла энергии отягощен затратами  $397/1000=0,4$  квт·ч энергии на его производство. Это равнозначно снижению интегрального кпд Tesla еще в 1,4 раза, т.е. почти до 10%. Полный караул. Остается добавить дорогостоящую утилизацию ЛИБ, которая доступна не всем жителям даже развитых стран, и тушим свет.

## Порочная идея

Электроэнергия является неустойчивой высокоструктурированной формой энергии. Ее ценность в легкости транспортировки и преобразования в другие формы энергии – механическую, тепловую, световую, химическую. КПД процесса ее появления в розетке гаража (или заправки) уже сам по себе невысок:  $0,36 \cdot 0,97 \cdot 0,90 = 31\%$  (кпд генерации, магистральных и локальных сетей). Какой бы вы не придумали дальнейший процесс ее трансформации из розетки в энергию движущейся повозки, он будет многоступенчатым, и кпд каждого такта ниже единицы. Поэтому всегда номинальный кпд повозки будет не блестящим. Если же учесть, что регулярно застревающие в пробках жестянки будут вынуждены подолгу отапливать атмосферу драгоценной формой энергии (а не «паразитной» тепловой энергией двс), то это уже форменное энергетическое расточительство. Поэтому идея аккумуляторного автомобиля порочна изначально. Вот если бы электричество в розетке возникало с Марса, тогда другое дело

Если отказаться от клипового неаккуратного мышления – практики видеть и анализировать картину Мира

кусочно-фрагментарно, вне совокупности актуальных системных связей, то Tesla предстает не более чем красивым инструментом для заметания тепловой энтропии под ковер по уголкам Земли, увеличивающим глобальный объем теплового загрязнения и социальной энтропии. Перед нами очередной пузырь, разводка на статусное потребление, усугубляющая, а не решающая системные ресурсные или экологические проблемы. С Tesla вы не вправе даже насладиться тем, что оберегаете природу. В чем может заключаться удовлетворение от нее, сформулировал Top Gear.

## Прямолинейный Top Gear

Top Gear провел свои испытания Tesla (родстера, а не седана), как всегда весело. Продолжительность ролика 10 минут, и он того стоит.

[iframe src="http://vk.com/video\_ext.php?oid=1503271&id=152688292&hash=44550c2b968690a3" width="100%" height="500"]

По итогам Tesla подала на программу Top Gear иск за клевету, впрочем, безрезультатно. Gear ответил на претензии (не в суде, а в прессе) содержательным текстом [«самая большая проблема в том, что Tesla просто не работает»](#). В частности, заключил:

«Проблема в том, что если быть предельно искренним самими с собой, то американская Tesla годится только для званных обедов. Скажи, что купил Теслу, и через пару минут будешь заниматься сексом. Но в качестве средства для транспортировки себя и своих вещей она не полезнее заляпанного грязью шпината».

Т.е. удовлетворение от Tesla все же можно получить, но по длинной неэффективной цепочке. Это похоже на общий стандарт от Tesla – достигаем результат через мультитактовый процесс с низким КПД.

Март 2014

□