

Фиронов Анатолий Михайлович, канд. техн. наук, доцент

Генеральный директор ООО «АМФ Консалтинг»,

кафедра Наземные транспортные средства, ФГБОУ Московский политехнический университет

E-mail: fironov@amfconsulting.ru, a.m.fironov@mospolytech.ru

Хортов Вячеслав Петрович, , канд.техн. наук, профессор

Зув Сергей Михайлович, , канд.техн. наук, доцент

ФГБОУ Московский политехнический университет
107023, Москва, ул. Б. Семеновская, 38, Россия

О выборе концепции разработки перспективных приводных установок наземных транспортных средств

Московский политехнический университет в кооперации с компанией АМФ Консалтинг ведет разработку концептуально новых перспективных силовых установок наземных транспортных средств. При выборе концепции проведен аналитический обзор ключевых аспектов, определяющих мировые тенденции в развитии инновационных технологий силовых энергетических установок на перспективу до 2050 года. Эти тенденции и факторы сопоставлены с возможностями и интересами отечественных разработчиков и автопроизводителей в поиске альтернативных инновационных решений при создании перспективных транспортных средств, конкурирующих на внутреннем и внешних рынках.

Ключевые слова: концепции приводных установок, двигатели внутреннего сгорания, силовые установки, гибридные приводы, электрические приводы, накопители энергии.

Fironov A.M., Khortov V.P., Zuev S.M.

On the choice of the concept of developing promising power drives of land vehicles

Moscow Polytechnic University in cooperation with the company AMF Consulting is developing a conceptually new perspective power drives for ground transport mashins. While choosing a concept, was conducted an analytical review of the key aspects that determine global trends in the development of innovative technologies for power drives for the future until 2050. These trends and factors are compared with the capabilities and interests of domestic R&D specialists and automakers in the search for alternative innovative solutions in the creation of promising vehicles competing in the domestic and foreign markets.

Keywords: concepts of power drives, internal combustion engines, power drive, hybrid drives, electric drives, energy storage.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 апреля 2018 г. № 831-р одобрены положения Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года.

Очевидно, что достижение поставленных целей во многом будет зависеть от того, будут ли, наряду с развитием технологической базы отечественного машиностроения, появляться концептуально новые разработки транспортных систем и средств, имеющих конкурентные перспективы к реализации на внутреннем и внешних рынках.

Технические ВУЗы страны, в которых сохранились профильные кафедры и имеются квалифицированные научные и инженерные кадры, могут и должны внести свой вклад в создание альтернативных концепций транспортных средств, узлов, агрегатов, устройств представляющих инновационную ценность.

В МАМИ (ныне Московском политехническом университете) в 80-х годах две кафедры «Автомобили» и «Электрооборудование автомобилей» вели параллельно разработки альтернативных традиционному приводу комбинированных силовых установок [1-4].

По объективным причинам эти работы были остановлены вплоть до недавнего времени, а исполнители со своими наработками стали участниками других проектов, в том числе и в составе зарубежных компаний [5].

В условиях возникшего спроса на инновации в области отечественного транспортного машиностроения, специалисты этих кафедр возобновили разработки альтернативных приводных систем, объединив усилия и задействовав ресурсы инжинирингово-консультационной компании.

На первом этапе было проведено исследование основных факторов и обнаруженных тенденций, определяющих направленности и динамику развития мировой автомобильной отрасли, формирующих спрос и предложение на различных рынках, и оказывающие влияние на инновационные решения в

создании силовых приводных установок и эксплуатационных качеств будущих автомобилей, и развитие соответствующей транспортной инфраструктуры.

Рассмотренные глобальные и региональные факторы, тенденции и эффекты сопоставлялись с Российскими условиями, интересами и возможностями на выявление альтернативных решений в разработке приводных установок с акцентом на целесообразность, востребованность, конкурентную состоятельность, а также технологическую реализуемость новых АТС с перспективой до 2050 года.

Ниже приводятся наиболее значимые аспекты исследования.

В обзоре прогнозов мирового масштаба по урбанизации, специалисты сходятся во мнении, что около 70% населения планеты будет жить к 2050 году в городах, где и будут концентрироваться основные транспортные потоки [6].

Для России, процесс миграции сопровождается значительным географическим расслоением, смещением центров концентрации населения в южном, юго-западном направлениях при очень низкой средней плотности населения 8,57 чел. /кв. км (рис.1).

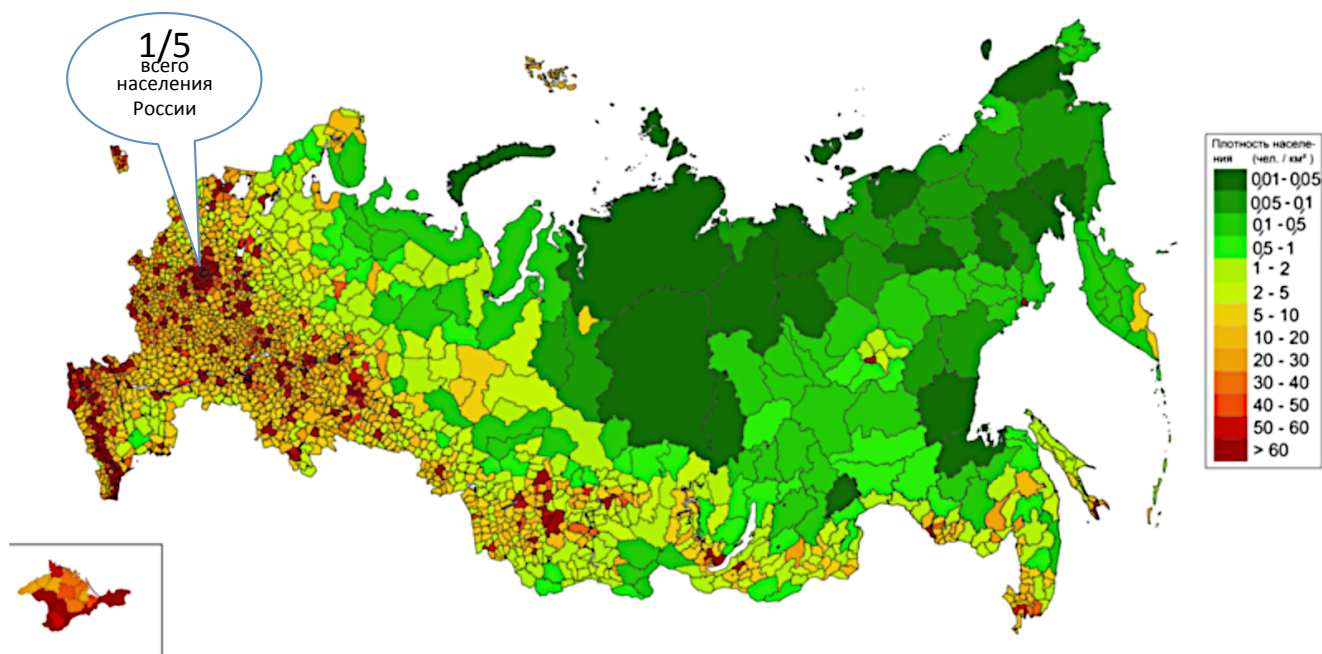


Рис. 1. Плотность населения России

Этот фактор должен учитываться, как отличительный признак для создания различных концепций приводных установок в которых, автономность и

«подключенность» АТС к источникам питания потребует решений, кардинально отличающихся от западных, где электропривод обеспечен высокой степенью интегрируемости в энергетические национальные сети.

Глобальный парк автомобилей, находящихся в эксплуатации, достиг уровня в 1,4 миллиарда в 2018г. и будет увеличиваться, поскольку тенденция на выбытие автомобилей отстает от тенденции на производство и ввод в эксплуатацию [7]. Степень автомобилизации по регионам мира различается в разы и меняется в сторону сближения показателей к верхним границам, характерными для Европы. Это показатели - 470-480 а/м / 1000 чел. (рис. 2)

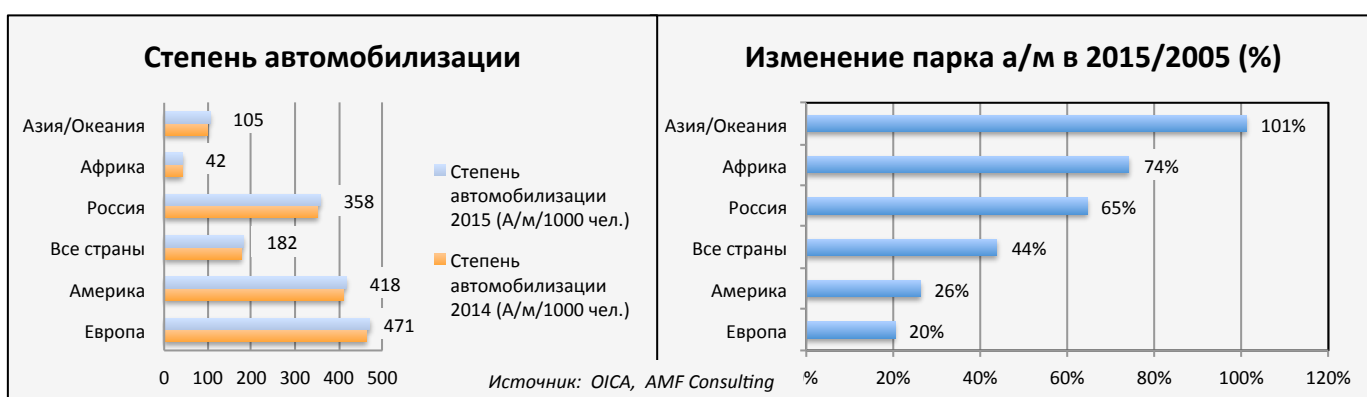


Рис. 2. Тенденции развития автомобилизации регионов мира

Из-за специфики распределения плотности населения России и неравномерности экономической активности, региональный разброс по степени автомобилизации особенно экстремален. При этом диспропорционально развивается российская транспортная инфраструктура.

Ускоренный рост парка автотранспортных средств в 4–6 раз за последние 25 лет обусловил трехкратное увеличение номинальной загрузки автомобильных дорог (рис. 3) [8].

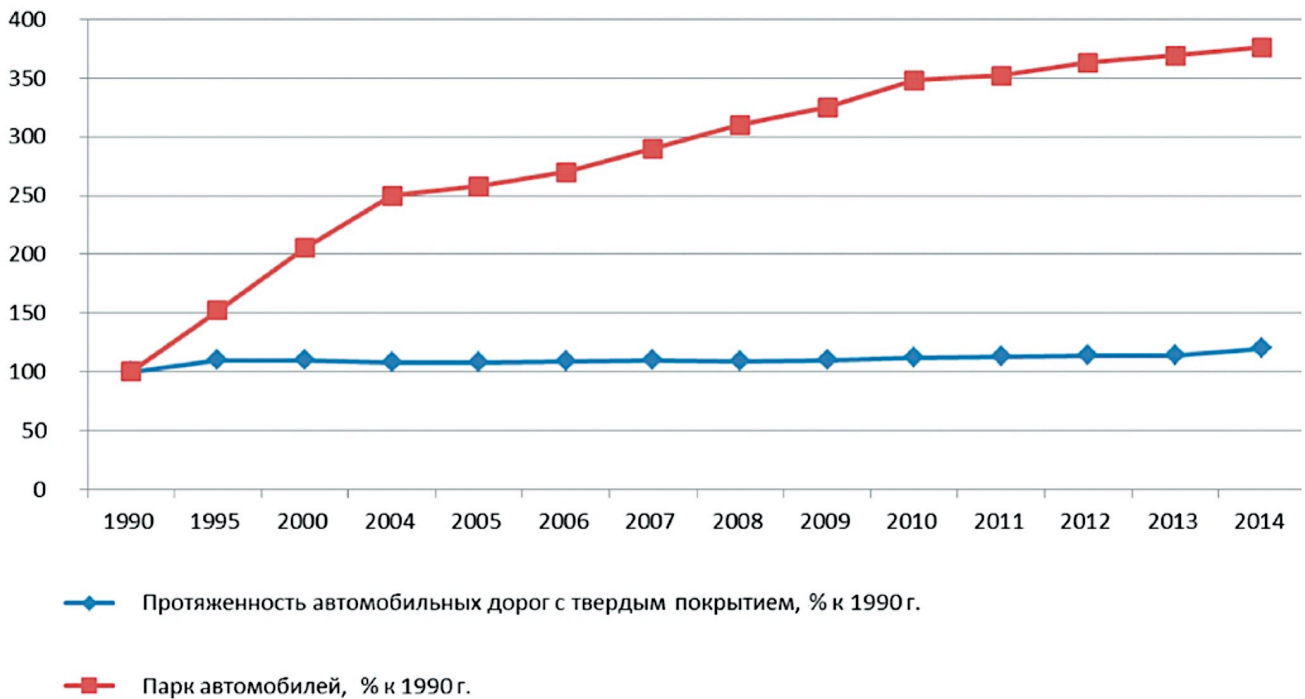


Рис. 3. Динамика изменения автомобилизации и протяженности дорог России

Процесс опережения роста автомобилизации от роста протяженности дорог ведет к нарастанию сопутствующих проблемных эффектов: повышенная плотность транспортных потоков в городах, недостаток парковочных площадей, аварийность, загрязненность на дорогах и тяжелые экологические последствия. Тем не менее парк эксплуатируемых автомобилей продолжает расти, спрос не ослабевает, но сдерживается покупательской способностью населения. А значит автомобили будущего должны стать более доступными, т.е. менее дорогими в себестоимости производства и экологически более чистыми.

Снижение себестоимости производства напрямую зависит от увеличения объемов выпускаемых автомобилей, поэтому производственные мощности мирового автопрома растут из года в год, но требования к повышению топливной экономичности и снижению вредных эмиссий вынуждают быстрее разрабатывать и осваивать новые технологии, удорожающие транспортные средства. Такие противоречия могут быть решены только при переходе на другой качественный технический и технологический уровень, этим объясняется инновационный бум в автоотрасли.

Производство автомобилей в мире имеет устойчивую тенденцию к росту.

(Рис. 4)

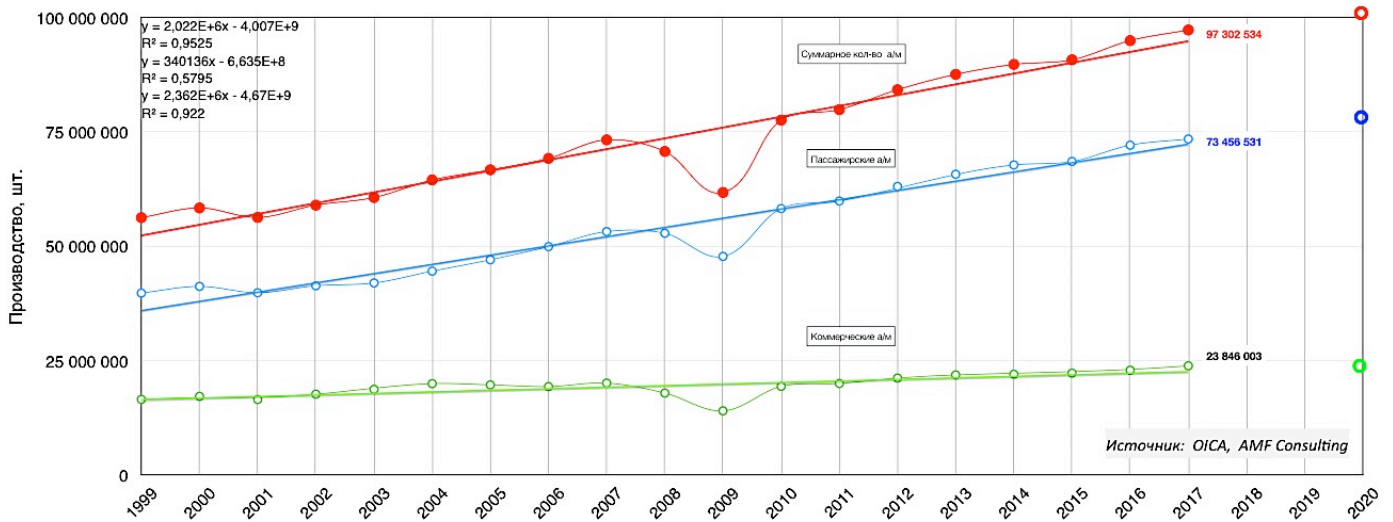


Рис. 4. Мировое производство пассажирских и коммерческих автомобилей 1999-2017г.г. и прогноз до 2020г.- ○.

За последние 12 лет происходил ежегодный прирост производства ок. 2,5-3%. Легковой пассажирский и легкий коммерческий транспорт доминируют в этой статистике. Рис. 5. [9].

За последние 12 лет происходил ежегодный прирост производства ок. 2,5-3%, а кризисные падения быстро восстанавливались отложенным спросом. Рис. 5.



Рис. 5. Тренд на рост производства 1999-2017г.г. и прогноз до 2020г.- ○.

Приблизительно 75% от общего объема составляет производство легковых пассажирских и 25% - легкий коммерческий транспорт, грузовые а/м и автобусы малой, средней и большой вместимости.

В России это соотношение еще больше смещено в пользу легкового транспорта 87% к 13%. При этом доля производства автомобилей иностранных автопроизводителей растет, тогда как российские бренды теряют свои позиции на

внутреннем рынке и практически не конкурирует на внешнем.

Основной причиной такого состояния дел является запаздывание в разработке и производстве конкурентных отечественных автомобилей и опережающем развертывании производства иностранных компаний на территории России с морально устаревающими технологиями и низкой себестоимостью. Иностранные автопроизводители легко конкурируют на внутреннем рынке и сдерживают развитие отечественного автопрома, который, таким образом, теряет способность инвестировать в собственные инновационные разработки.

Ужесточение требований национальных законопроектов наиболее автомобилизированных стран, направленных на сокращение вредных выбросов вплоть до «0» для новых автомобилей, с горизонтом исполнения до 2030 года, неизбежно ведет к вытеснению двигателей внутреннего сгорания из использования в транспортных средствах и прежде всего в городских агломерациях, и уже изменило отношение автопроизводителей к развитию высокоэффективных и экологически чистых приводных установок [10].

Таким образом, национальные регуляторы являются мощными драйверами процесса перехода на альтернативные углеводородные виды транспорта.

Для России экологическая защищенность - тоже актуальная тема. Однако, в силу обстоятельств, отмеченных в п.3 и низкой покупательной способности населения, эксплуатируемый парк, в основной своей массе, пополняется автомобилями с традиционными силовыми установками, кроме того происходит неуклонное его устаревание [11]. Всё это, совокупно, негативно сказывается на экологической обстановке, однако же ужесточения законодательных мер пока не происходит.

Конкуренция в производстве автомобилей нарастает. Ведь автомобиль – не только средство передвижения, но и конечный продукт длинной технологической цепочки, определяющей уровень экономики и благополучия цивилизованной страны. Автомобильная отрасль имеет самый высокий мультипликативный фактор в создании рабочих мест и технологической

инфраструктуры, а значит, является драйвером социального лифта и качества жизни. На одно рабочее место на заводе, собирающем готовые автомобили (конвейерный этап), приходится до 18-20 трудозанятых в подрядных и субподрядных подразделениях реального сектора экономики (лидер Германия) и этот эффект имеет тенденцию к росту занятости в предпроектной, проектной деятельности, и послепродажной сфере услуг, тогда как сам процесс тиражного производства интенсивно роботизируется [12].

Значение собственного автопроизводства для России трудно переоценить, но развиваться оно сможет, если будет конкурентоспособным. Исторический опыт отечественного автопрома говорит, что России следует идти своим путем, а не двигаться в фарватере предложений внешних автопроизводителей, которые рассматривают Россию лишь как рынок сбыта.

Социальный аспект развития общества во многом коррелирует с техническими, технологическими прорывами и конкурентными экономическими преимуществами в машиностроении. Инвестиции в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) ведущих автопроизводителей мира составляют 4-5% от годового оборота. В России, это ок.1,5 %, при несопоставимо меньших масштабах оборота [13]. Перспектива перехватить конкурентную инициативу возможна, либо при опережающем темпе роста технологий, что инвестиционно-ёмко и требует значительного времени, либо при опережающем темпе создания и владения ноу-хау, которые определяют стратегическую перспективу на паритетное соучастие в разработках передовых технологий, в производстве, в реализации и в получении добавленной стоимости от высокотехнологичных товаров и услуг на глобальных рынках. По первому пути идут азиатские страны, по второму - европейские. Для России более реальным был бы второй сценарий, к которому имеются объективные предпосылки. Это прежде всего наработки еще советского периода, ресурсы оборонного сектора, научно-технические кадры машиностроительных специальностей, которые, отчасти рассеяны по миру, отчасти задействованы в других отраслях.

В мировом рейтинге, из 2500 предприятий с самыми высокими расходами на исследования и разработки в 2016 году, автомобильная отрасль была лидирующей. Volkswagen - 1-е место (13.67 млрд. евро), GM -11-е (7.68 млрд. евро), Daimler -12-е (7.53 млрд. евро), Toyota -13-е (7.50 млрд. евро), Ford -15-е (6,92 млрд. евро) и Robert Bosch 20-е (5.58 млрд. евро) [13]. Автомобильная промышленность также является столпом европейской экономики и лидером в области НИОКР (R&D) и инноваций. По расходам на НИОКР автомобильная промышленность занимает первое место в Европе, опережая такие отрасли, как фармацевтика и биотехнология, машиностроение, авиация и оборона. Германия - абсолютный лидер по инвестициям в НИОКР и пример наиболее эффективного освоения и возврата инвестиций через внедрение в производство и сбыт инновационных продуктов благодаря мощнейшей кооперации национальной системы образования, науки и промышленности. Для примера, вклад немецких производителей в R&D в 2015г. составил 62,4 млрд. евро и ок. 19 млрд. через госфинансирование исследований в 630 университетах и институтах [14]. Драйвером инноваций на западе во все времена выступали инженерно-научные структуры от промышленности.

Технические ВУЗы и НИИ в СССР в инновациях всегда опережали свое время, но лучшие разработки чаще реализовывались на западе, чем в отечестве. Сегодня, когда запрос на конкурентные наземные транспортные средства сформулирован распоряжением Правительства Российской Федерации за № 831-р, как приоритетный и стратегический, важно отметить, что инновационная конкуренция начинается в силовых приводных установках, а не в вспомогательных системах и чтобы рассчитывать на перспективы развития своего конкурентного автопрома, необходимо призвать авторов прорывных изобретений и возродить кооперацию профильных подразделений образовательной и промышленной системы, ибо в первой из них формируется кадровый резерв посвященных в инновации специалистов, при координации и непосредственном участии государства [15].

Не существует единого мнения относительно концепции наиболее перспективной приводной установки. Однако, можно проследить тенденции в хронологии появляющихся технических решений и технологий транспортных средств будущего, которые обнаруживают различную степень зрелости, как теоретической, так и практической проработки.

Источники энергии и накопители.

По одному из ключевых вопросов, наличия альтернативы углеводородным источникам энергии с сохранением автономности транспортных средств, наиболее часто рассматриваются электрические источники и накопители энергии.

Электрические накопители переживают бум своего развития. (Рис. 6.) Электрохимические аккумуляторные батареи (ЭХАКБ) активно развиваются в последние годы и имеют перспективы составить достойную конкуренцию топливному баку уже в ближайшем будущем. За 30 прошедших лет плотность

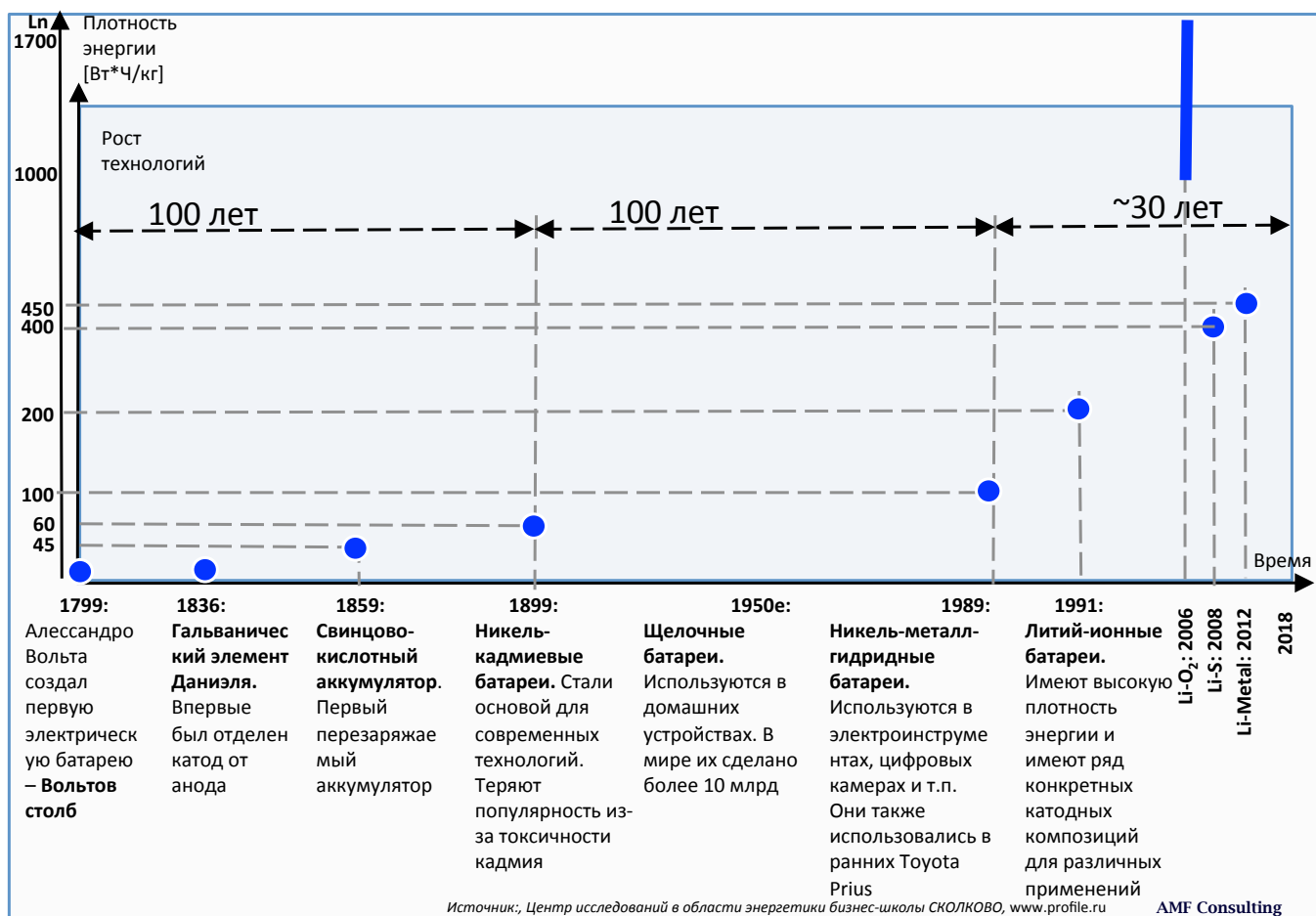


Рис. 6. Этапы совершенствования технологий аккумуляторных батарей

накопления энергии ЭХАКБ ($W \cdot h/l$) выросла более чем в 100 раз (!) и имеет тенденцию к устойчивому росту [16-19]. Определяющие параметры - удельная мощность W/l , (kg) и удельная энергоёмкость $W \cdot h/l$, (kg) (рис. 7).

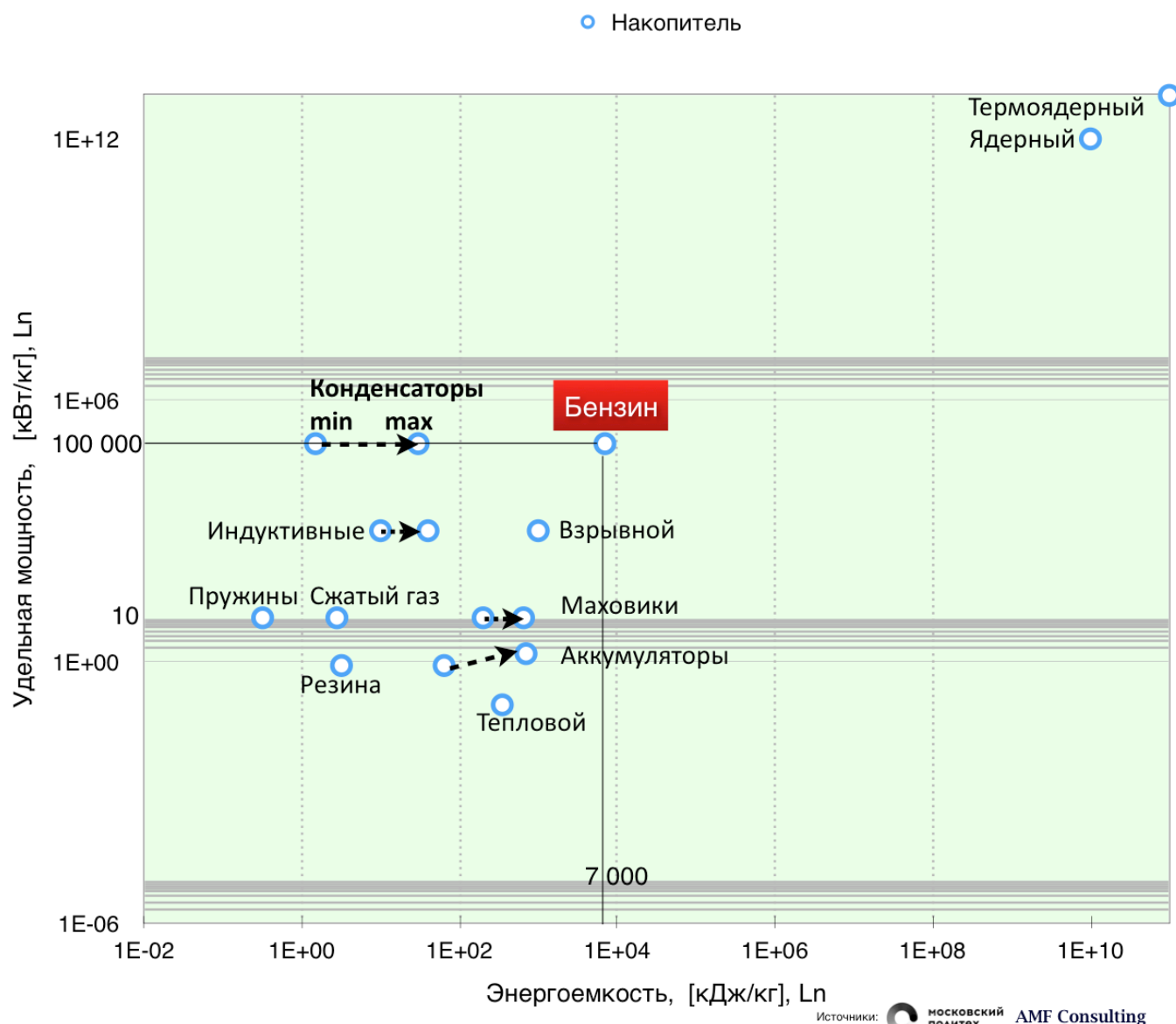


Рис. 7. Прогноз производства легковых автомобилей в Европе в 2015 – 2050г.г. в миллионах шт.

Пиковые значения первого параметра важны для транспорта большой грузоподъемности (HV), второго - для малой и средней (EV, PHEV). Конденсаторные и твердотельные батареи с плотностью заряда 1000Wh/L уже сейчас обеспечивают высокую скорость зарядки (до 30 минут) [20, 21]. Особенностью полностью твердотельных батарей является компактность - разделительные ячейки не используются, высокая температурная устойчивость -

позволяет экономить на дополнительных системах (охлаждение и пр.), возможно использование с высоким напряжением, что сказывается на удельных показателях мощности и увеличивает энергоемкость.

Таким образом, выбор альтернативного источника энергии и ее накопления приходится делать, в первую очередь, концентрируясь на электрических технологиях.

Приводные системы.

Ввиду большого разнообразия определений типов автомобильных приводных установок, возникает необходимость системно представить тождественные, установленные отраслевые определения по основным признакам [22]:

Первый тип: традиционный автомобиль с ДВС (internal combustion engine - ICE) с бортовой сетью 12V,

Второй тип: относительно недорогие и простые - гибридные электрические автомобили (Hybrid Electric Vehicle - **HEV**), которые в свою очередь, можно подразделить на четыре категории (табл.1):

Таблица 1

Тип	Система старт-стоп	Рекуперативное торможение + электро доп.привод	Привод только от электродвигателя	Зарядка от внешнего источника	Type
Микро гибрид	+	-	-	-	Micro hybrid
Легкий гибрид	+	+	-	-	Mild hybrid
Полный гибрид	+	+	+	-	Full hybrid
Plug-in гибрид	+	+	+	+	Plug-in hybrid

- микрогибриды (Micro hybrids) с ДВС (ICE) и системами Stop / Start, бортовой электрической сетью 12V и микрогибриды (Micro hybrids) с ДВС (ICE) с Stop / Start , 48V;

- легкие гибриды (Mild hybrids) - это, как правило, двигатели внутреннего сгорания, оснащенные электрической машиной (мотор/генератор в параллельной гибридной схеме подключения), позволяющий отключать двигатель в режиме Stop / Start), рекуперативное торможение, подключение к ДВС (ICE), но «легкие» гибриды не допускают только электрического привода;

- полные гибриды: (Full hybrids) - в дополнение к предыдущему, позволяет движение только на электрической тяге;
- подключаемые гибридные электрические автомобили (Plug-in-Hybrid Vehicle - PHEV). В дополнение к функционалу Full hybrid, позволяет производить зарядку электрического накопителя от внешних источников энергии.

Третий тип: электрические автомобили на водородных топливных элементах (Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle - FCEV).

Четвертый тип: Электромобили с питанием от батареи (Battery Electric Vehicle - BEV).

Пятый тип: Транспортные средства с другими альтернативными приводами (механическими, гидро-механическими, пневмо-механическими и пр.)

В настоящее время наблюдается ускоренный темп развития BEV и PHEV, несмотря на сдерживающее влияние стоимости, ограниченный запаса хода на электроэнергию, ограниченность развития инфраструктуры зарядки и генерации электроэнергии от возобновляемых и низкоуглеродных источников.

Прогноз на европейский «совокупный среднегодовой темп роста (CAGR)» производства легковых автомобилей, дает представление о развитии всей производственной и эксплуатационной транспортной инфраструктуры Европы, о перераспределении приоритетов в производстве по типам используемых силовых установок (рис. 8, 9) [20] .

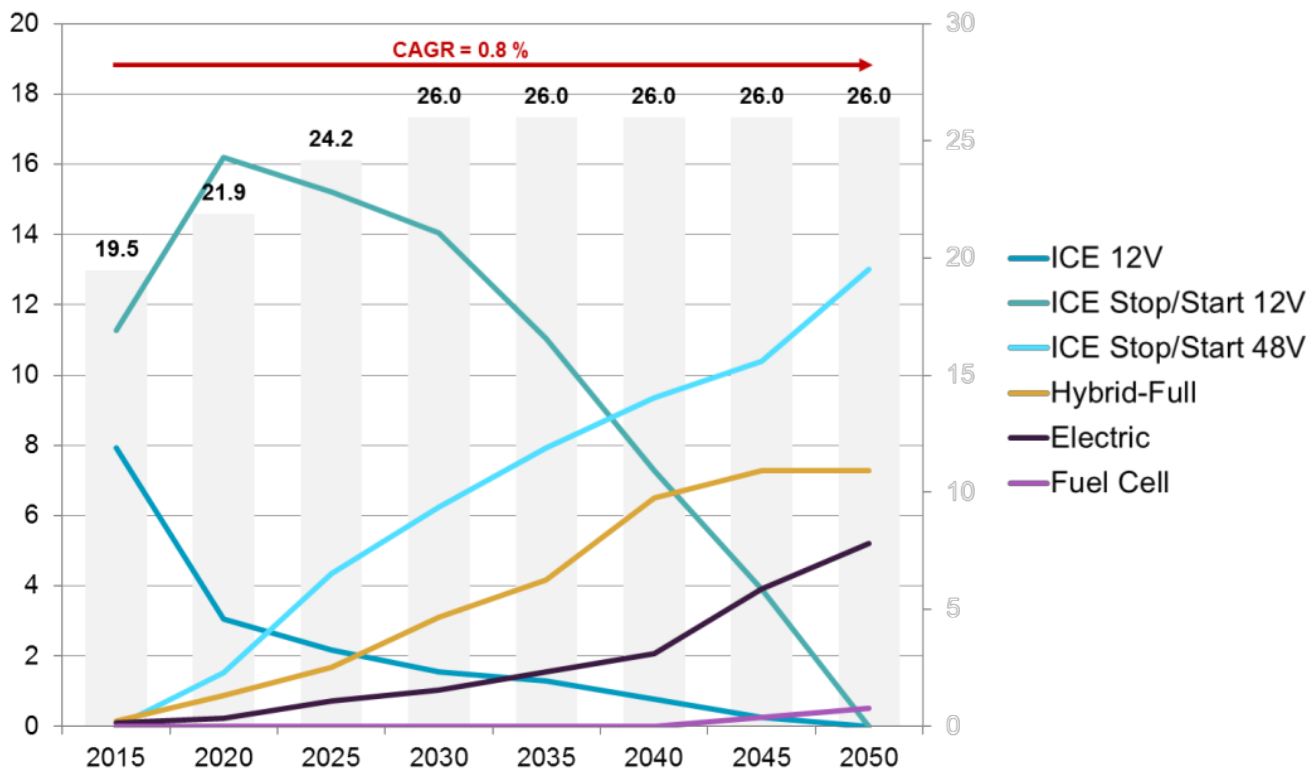


Рис. 8. Прогноз производства легковых автомобилей в Европе в 2015–2050г.г., в миллионах шт.

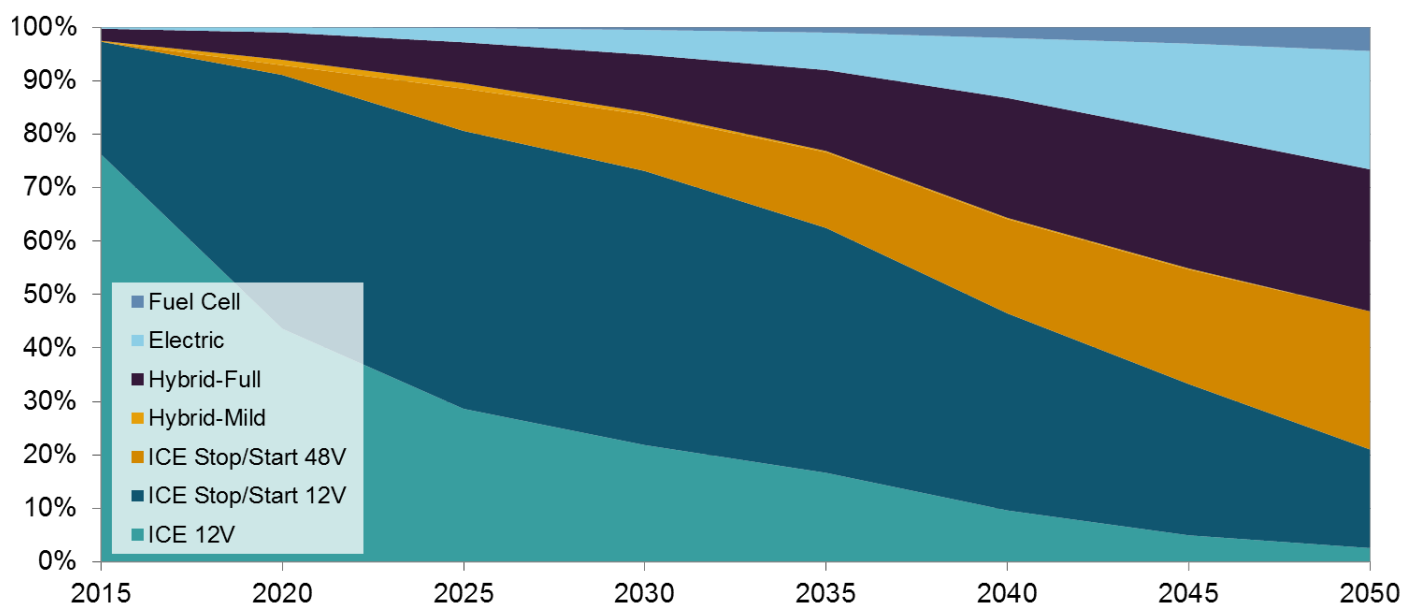


Рис. 9. Прогноз производства легковых автомобилей в Европе в 2015–2050г.г., в % от общего количества

Анализируя всю историю развития автомобилей, текущий уровень разработок и прогнозы перехода на альтернативные виды транспортных средств, можно обозначить эволюционные этапы развития типов приводов, объемов

производства и сложности технологий во времени. S-образные процессы имеют ярко выраженные признаки этапов ускорения-замедления и качественных переходов на доминирующие, и дополняющие альтернативные типы приводных установок (рис. 10).

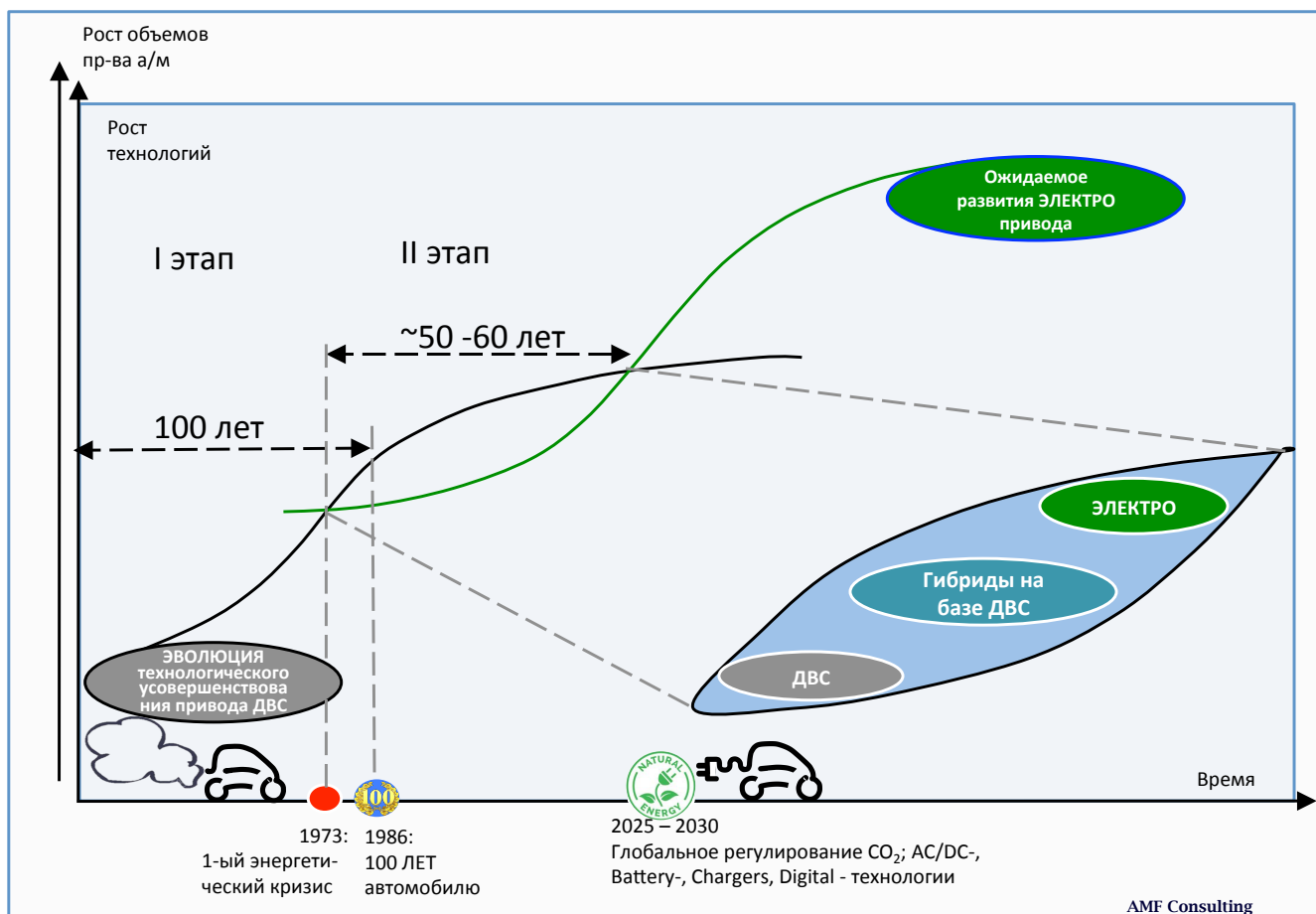


Рис. 10. Этапы совершенствования технологий приводов АТС (I – II)

За качественными переходами стоят количественные параметры факторов целесообразности, востребованности, целесообразности и реализуемости тех или иных технологий, выраженные в цифрах производимых транспортных средств. Причем каждый цикл S-образного процесса сокращается по времени.

Сегодня, чтобы быть устойчиво конкурентным в области транспортного машиностроения в будущем, необходимо вкладываться в инновационные прорывные разработки с горизонтом стратегического планирования не 5-10 лет, а 25-30, в силу большей инерционности развертывания обеспечительной эксплуатационной транспортной инфраструктуры («умные города», «умные дороги» и пр.)

Важно, при этом, сохранить уникальность НОУ-ХАУ, т.к. здесь формируются новые компетенции, стандарты, технологии и коммерческая состоятельность инновационных инвестиций.

Для коллектива авторов этой статьи следующий этап инновационного S-образного цикла представляется следующим образом (см. рис. 11):

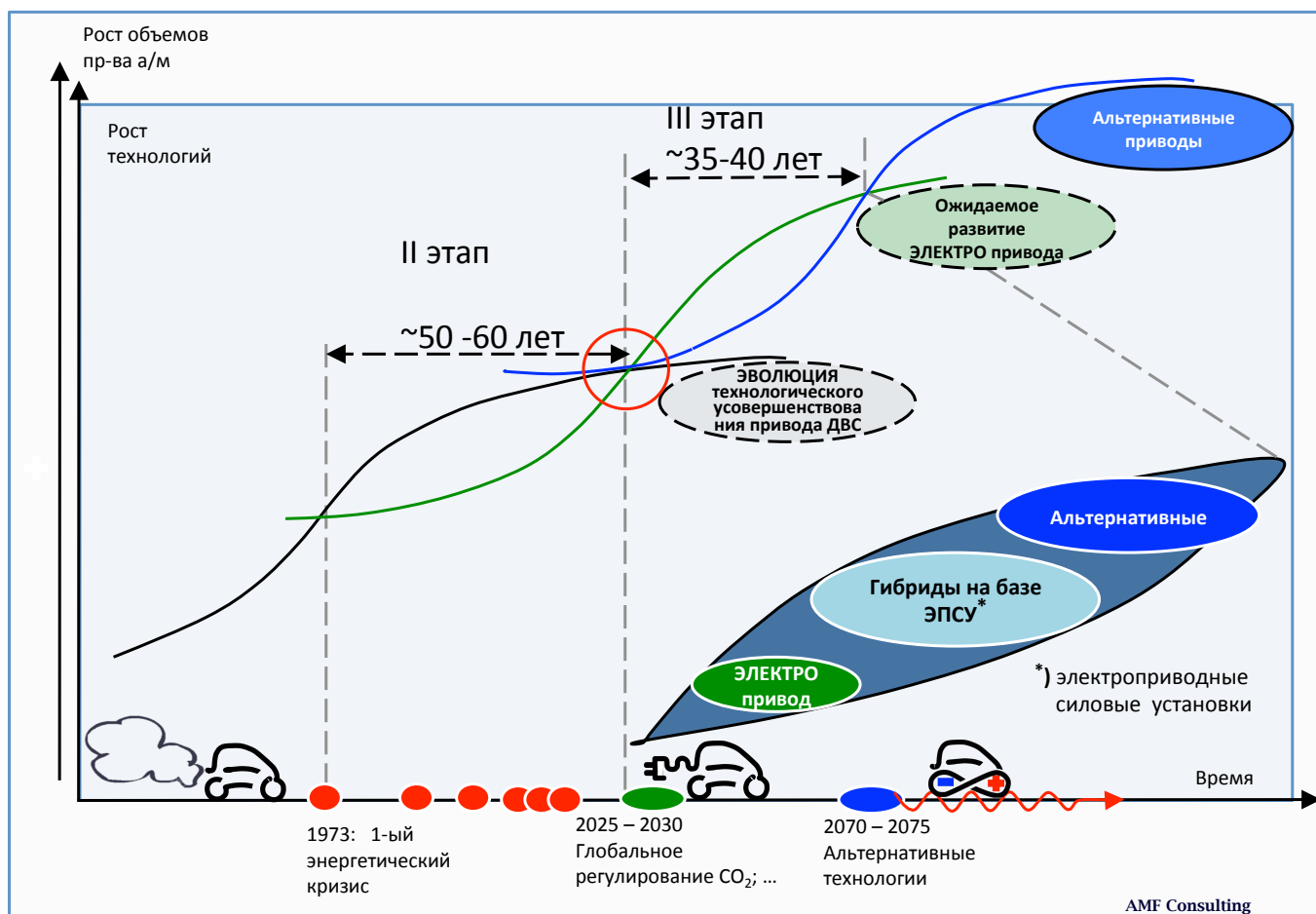


Рис. 11. Этапы совершенствования технологий приводов АТС (II – III)

III-ий этап будет сопровождаться доминированием электроприводных силовых установок.

Однако, масштаб доминирования (гомогенность) использования электропривода, как это было с ДВС, станет более не возможным, поскольку на современном этапе, как минимум 3 доминирующих типа приводов существуют в различных своих фазах развития.

Коллективы кафедр «Электрооборудования и электроники автомобилей» и «Наземных транспортных средств» Московского политехнического университета в кооперации с компанией АМФ Консалтинг

используют полученные сведения для разработки своих концептуальных перспективных силовых установок.

Имеющиеся наработки позволяют выделить три основных направления проектной деятельности:

- Перспективные гибридные средства накопления энергии для транспортных средств.
- Перспективные гибридные приводные системы транспортных средств.
- Перспективные гибридные системы управления силовых установок транспортных средствах.

Таким образом, намечаются несколько перспективных направлений развития автомобильного транспорта с упреждающей возможностью развития применительно к российскому автопрому. Прежде всего, все перечисленные выше перспективные для рынка России направления развития автопрома непременно охвачены электромеханическими трансмиссиями, в которые входят электродвигатель, источник электрической энергии в виде химических или топливных элементов, тепловых двигателей и генераторов. Применение электрической трансмиссии уже возможно осуществлять на транспортных средствах в связи с тем, что последние достижения в этой области позволяют это осуществить.

Так, в области электродвигателей произошли конструктивные изменения благодаря силовой электронике и повсеместному применению вместо двигателя постоянного тока синхронных, асинхронных, вентильных и двигателей с редкоземельными магнитами, доведя удельные показатели таких машин до предельных значений. Например, фирма Zytec сконструировала электродвигатель мощностью 90 кВт при 16 000 об/мин и массе всего 21 кг [28].

Аккумуляторные батареи различных типов также улучшили свои показатели за последние 15-20 лет и достигли 250-300 Вт*ч/кг, что позволяет им осуществлять пробег до 400 км без подзарядки. В то же время, тепловые

двигатели карбюраторного и дизельного типа, применяемые в качестве комбинированной энергоустановки с электрогенератором при совместных удельных показателях, достигли удельных значений от 3 до 10 кВт/кг.

Электрохимические генераторы, могущие напрямую превращать водород в электрический ток достигли также рекордных показателей от 6 до 10 кВт/кг.

В довершение ко всему арсенал у источников тока для электрических транспортных средств с электрической трансмиссией в последние годы разработаны сверхёмкие суперконденсаторы [23-28], позволяющие осуществлять рекуперацию энергии при торможении и осуществлять наиболее энергоёмкую операцию при движении транспортного средства, такую как разгон.

Все вышесказанное позволяет с наибольшей эффективностью использовать электрическую трансмиссию в новейших разработках и направлениях независимо от мощности транспортного средства.

Известно, что силовая передача с механической трансмиссией отличается громоздкостью конструкции и сложностью компоновки отдельных ее узлов и, например, при одном ведущем мосте требуется применение карданного вала, редуктора и дифференциала, а при двух мостах еще и раздаточной коробки. Таким образом, намечающееся расширение применения электропривода на безрельсовых транспортных машинах обуславливается целым рядом достоинств, к важнейшим из которых относятся:

- Возможность рационального дробления мощности первичного двигателя и отсутствие механической связи между ним и тяговым двигателем, что позволяет создать автомобили с прогрессивными конструктивными решениями и высокими технико-экономическими показателями.
- Улучшение использования мощности и повышение долговечности тепловых двигателей.
- Надежность и экономичность в эксплуатации.
- Гибкость управления транспортным средством и легкость его автоматизации.

- Передача электрической энергии к тяговым двигателям производится значительно проще чем механическая передача, поэтому появляется возможность создания многозвенных транспортных машин с индивидуальным приводом на все колеса и применение мотор-колес.
- Электрический привод обеспечивает более широкое и плавное регулирование тягово-скоростных характеристик автомобиля.
- Надежность электропривода повышается из-за отсутствия ряда узлов и агрегатов, характерных для механических трансмиссий (механизм сцепления, карданные валы, коробки скоростей и т.д.).
- Более низкая себестоимость перевозки на автомобилях с электрической трансмиссией по сравнению с механической на 20-30 % [28].
- Уменьшение расходов на ремонт транспортных средств по сравнению механической трансмиссией в 6-7 раз [28].
- Управление транспортным средством с электротрансмиссией отличается простотой и гибкостью, что значительно облегчает труд водителя.
- Применение электрического торможения совместно с рекуперацией энергии обеспечивает не только экономию энергии, но и повышение ее безопасности.

К числу недостатков электропривода относятся:

- Необходимость двойного преобразования энергии и снижение КПД системы.
- Относительно большой вес электрических машин отнесенный к единице передаваемой мощности.
- Расход меди.

Однако КПД современных электрических машин составляет 0,9-0,92 и сам факт двойного преобразования энергии еще не делает электропривод заведомо менее эффективным чем механический. Относительно большой вес электрических машин также не является препятствием, так как можно эффективно снижать вес машины за счет повышения частоты вращения и применения высококачественных технологий и электротехнических материалов.

Необходимость использовать медь для электрических машин можно также оптимизировать, применяя асинхронные машины переменного тока с короткозамкнутой обмоткой ротора, изготовленной из алюминия. Отсутствие коллектора в таком двигателе также снижает расход меди.

Все вышеперечисленное о составных частях электрической трансмиссии было бы невозможно использовать не будь тех высоких достижений в таких областях как энергомашиностроение, источники тока, конденсаторостроение, тяговые двигатели, силовая электроника, микроэлектроника и компьютерных систем накопления, накопителей энергии.

Все это позволяет создать в будущем перспективные транспортные средства, вплоть до беспилотных автомобилей чего совершенно невозможно сделать при механической трансмиссии и устаревших подходов к решению транспортных проблем.

Список литературы

1. О целесообразности применения систем рекуперации энергии. Замыслы и реалии //Автомобильная промышленность. Селифонов В.В., Фиронов А.М. - 1989 -№ 8. С.13-14.
2. Повышение топливной экономичности городского автобуса путем применения рекуператора энергии торможения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. Фиронов А.М. - 1989. 130 с.
3. Авторское свидетельство СССР № 1535751, кл. В 60 К 9/04, 23.12.1988. Селифонов В.В., Фиронов А.М.
4. Авторское свидетельство СССР № 1676842, кл. В 60 К 9/04, 06.10.1989. Селифонов В.В., Фиронов А.М.
5. Umweltfreundliche Antriebstechnik für Fahrzeug. Sonderforschungsbereich 365. Technische Universität München. Juli 1993 – Juni 1996.
6. United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division World Urbanization Prospects: The 2014 Revision
7. <http://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>

8. «Транспорт Российской Федерации» No 6 (61) 2015
9. Статистика производства. oica.net.
10. Neue CO2-Ziele für Autos.
<http://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20180920STO14027/n-eue-co2-ziele-fur-autos>.
11. <https://www.acea.be/statistics/tag/category/average-vehicle-age>
12. Основные меры государственной поддержки и регулирования развития автомобильной промышленности. Володин Алексей Сергеевич. Директор департамента автомобильной промышленности и железнодорожного машиностроения. Москва. Декабрь 2016 г.
13. <https://home.kpmg.com/pl/en/home/insights/2018/03/r-and-d-in-the-automotive-sector.print.html>
14. https://www.daadvietnam.vn/files/2017/03/02_GSD2017_Maennel_BMBF_German-ST-Landscape.pdf
15. О внутривузовской проектной деятельности в современных российских условиях. С.М. Зуев, А.А. Лавриков, Т.М. Зуева. Colloquium-journal. 2018. № 9-4 (20). С. 19-26.
16. Автомобили будущего: что нас ждет в ближайшие 15 лет.
<https://mhealth.ru/technics/garage/avtomobili-budushchego-что-nas-zhdet-v-blizhajshie-15-let/>
17. Характеристики электромобилей и тенденции. Развития электропривода. Журнал автомобильных инженеров. No3 (86) 2014.
18. На китайском авторынке в скором времени появится самый компактный и дешевый электрокар в мире. <https://vm.ru/news/405776.html>
19. О.Н. Дидианидзе, С.А. Иванов. Использование суперконденсаторов в комбинированных энергоустановках тягово-транспортных средств. М. УМЦ «Триада», 2004 г.
20. Light Vehicle Prognose 2050 für Europa, Apr 2016. SuP.
21. Анализ тенденций развития электрического привода легковых автомобилей. Кутенев В.Ф., Сонкин В.И. Труды НАМИ. №2 (273), 2018.

22. <https://x-engineer.org/automotive-engineering/vehicle/hybrid/mild-hybrid-electric-vehicle-mhev-introduction/>
23. Высоковольтные системы пуска двигателей внутреннего сгорания. В.П. Хортов, А.А. Скворцов, С.М. Зуев. Автомобильная промышленность, №10, 2016, с. 24-27.
24. High-voltage starting systems of combustion engines. A.A. Skvortsov, V.P. Khortov, S.M. Zuev. International Journal of Pure and Applied Mathematics, Volume 111, №3, 2016, p. 455-465. Index Scopus.
25. Суперконденсаторные системы пуска ДВС. В.П. Хортов, А.А. Скворцов, С.М. Зуев, В.В. Ворожейкин. Автомобильная промышленность, №12, 2016, с. 12-16.
26. Конструкция, описание работы и проведение диагностики системы электростартерного пуска современных транспортных средств. Учебное пособие. А.В. Акимов, Д.О. Варламов, С.М. Зуев. Москва: Московский Политех, 2017. – 52 с.
27. Исследование работы системы электростартерного пуска транспортных средств. Методические указания. Ю.М. Шматков, С.М. Зуев, А.А. Лавриков. М.: Московский Политех, 2017. – 20 с.
28. Электрооборудование и электроника автомобилей в основных терминах с их объяснением на русском и английском языках. Учебный справочник. С.М. Зуев, Ю.М. Шматков, Р.А. Малеев, В.П. Хортов, А.А. Лавриков, Д.О. Варламов. Москва: Московский Политех, 2017. – 196 с.

–