

Экономика электромобилей и определение основных показателей.

1. Состояние проблемы.

Экономическое развитие и «новая экономика» немислимы без развития ряда научно-технических направлений, создания и развития новых технологий и технологических процессов в ведущих отраслях промышленности и в транспорте. При этом, транспорт занимает особое положение, поскольку более 60% добычи нефти идёт на производство моторного топлива для транспорта. Большую часть этого топлива использует автомобильный транспорт. Но эффективность сжигания моторного топлива в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) автомобилей такова, что более 80 процентов тепловой энергии бесполезно излучается в атмосферу и только мизерная часть используется более рационально. Это иллюстрируется диаграммой ниже [1].



Иллюстрация неэффективности использования бензина в автомобиле.

Кроме того, незаменимость автомобиля привела к тому, что автотранспорт стал основным источником загрязнения окружающей среды. Медики пришли к выводу, что **загрязнение воздуха от автомобилей является первой причиной множества преждевременных смертей** [2].

По причинам такой экономики и экологии в настоящее время зарождается новая отрасль машиностроения – **экомобилестроение**, которая может стать **технологической платформой** для развития комплекса машиностроительных, электротехнических, химико-технологических, нано-технологических, электронных, экологических и экономических направлений. В обиход постепенно входит понятие **экомобиль**, включающее суть двух важнейших «ЭКО» – **экономики и экологии**. Экомобиль – это энергоэффективное и экологически безопасное автотранспортное средство, не выделяющее вредных выбросов в необходимых условиях, независимо от вида потребляемых энергоресурсов. Экомобили – признак технического прогресса XXI века, и за ними будущее. Наиболее доступным и

перспективным энергоресурсом для автотранспорта является электроэнергия, потому понятие **электромобиль** получило большее распространение, несмотря на то, что это частное определение экомобиля.

Самым экологически чистым моторным топливом для ДВС экомобилей является водород, хотя использование его и других сжигаемых энергоресурсов в ДВС экономически не оправдано, что представлено выше на диаграмме. Однако, если водород или иное топливо не сжигается в ДВС, а окисляется в так называемых топливных элементах с выделением электроэнергии, такой процесс протекает намного экономичнее и является основой для отдельной, весьма перспективной технологии экомобилей. В силу недостаточной изученности и пока меньшей распространенности топливных элементов по сравнению с электрохимическими источниками тока, именно последние представлены в данной работе как технологическая основа для расчетов. По мере развития обеих этих, и, возможно, других новых технологий, они будут конкурировать между собой, предоставляя все более широкую и совершенную технологическую базу для экомобилестроения.

Несмотря на то, что «Час экомобиля пришел» [3], [4], для решения этих проблем нужен глобальный прорыв, и в ближайшие годы предстоит усиленный поиск ответов на ключевые технологические вопросы. Перспективам новых технологий была посвящена международная конференция в Берлине 27-28 мая 2013г. Министр окружающей среды, охраны природы и безопасности ядерных реакторов Германии Петер Альтмайер (Peter Altmaier) заявил: **«Необходимо сосредоточиться на автопарках предприятий»**, и считает применение электротяги для внутригородского автотранспорта **«единственно разумной стратегией в данный момент»** [5].

В Украине подобная **разумная стратегия** уже давно заложена в исходных материалах для создания Государственной целевой научно-технической программы Украины **«Виробництво малотонажних вантажних та інших перспективних моделей екомобілів»** (далее "Проект") [6]. В этом же "Проекте" заложена ещё одна **разумная стратегия**. Суть её в том, что «упрощённый метод создания электромобилей путём переоборудования шасси автомобилей исчерпал свои возможности, а на смену ему приходит этап целевых разработок. При новых разработках легче обеспечить рациональность компоновки, позволяющий превращать экомобиль в модульно-трансформируемое транспортное средство многоцелевого назначения» ("Проект", стр. 30) [6].

Эту разумность отметила и Государственная экспертиза "Проекта": **«Основним практичним результатом вищевказаних дослідних робіт є констатація необхідності докорінної переробки конструкції класичних автомобілів під концепцію електромобіля»** [7].

Впоследствии к такому же выводу пришли и в странах ЕС: **«Фактически следует заново изобретать автомобиль, точнее, думать об изменении архитектуры всей системы. Решением будет разработка некоего многофункционального аппарата, который, в частности, будет и автомобилем в сегодняшнем понимании слова. Но пока до этого далеко, и все идут путем установки электромотора на традиционный автомобиль»** [8]. Это при том, что такая установка приводит к сложности компоновочных решений и высокой стоимости процесса, дополнительно к высокой стоимости тяговых аккумуляторов.

Проблему высокой стоимости тяговых аккумуляторов, как часть будущих эксплуатационных расходов, можно решить организационно. Прогнозируемый на стр. 20 "Проекта" [6] способ льготного кредитования уже использован в Китае. Как пример, автомобиль BYD F3 там стоит \$7900, а электромобиль BYD F3DM с аккумуляторами \$25000 (пока что). Но для пробега 100 км автомобиля расходуется там бензина на сумму \$9,36, а электроэнергии для электромобиля всего на \$2. Кроме того, для заинтересованности перехода на электромобили, в Китае часть стоимости аккумуляторов дотируется государством в сумме \$3300. Этим, по сути, заранее оплачивается стоимость зарядки аккумуляторов на 165 тыс. км пробега, т. е. примерно на 10 лет будущей эксплуатации. Но за эти годы будет сэкономлено

этим электромобилем около 15 тонн бензина на сумму более \$15000. Если эту сумму (\$15000) прибавить к стоимости автомобиля (\$7900), то получится почти стоимость электромобиля, хотя он, как малосерийное изделие, значительно дороже серийных автомобилей такого же класса. Замена же подобного автомобиля электромобилем приводит к экономии бензина 1-2 тонны в год и к снижению вредных выбросов на 100-200 кг.

Анализ динамики роста цен на моторное топливо показывает, что показатели эффективности будут повышаться в пользу экомобилей. Однако вопрос сопоставительного анализа пока не решён. Первая попытка была представлена на стр. 47...56 "Проекта" [6] применением значения удельного расхода электроэнергии в кВт×часах на пробег 1 км электромобилем с полной массой в 1 тонну (кВт×час/(т×км)). Опыт показал надёжность этой методики, если сопоставлять показатели при прочих равных условиях (динамики движения и всех видов сопротивления). Эта методика откорректирована и представлена ниже с результатами ориентировочных сопоставительных расчётов.

2. Определение основных показателей электромобилей.

Приняты следующие обозначения и зависимости для технических показателей:

M_c – сухая масса электромобиля, не включая массу аккумуляторов, (далее АкБ), кг;

M_r – масса груза (в легковых масса водителя с пассажирами), кг;

M_a – масса АкБ, кг, определяется из расчета энергоёмкости цикла, необходимой для заданной дальности пробега без подзарядки АкБ;

M_n – полная масса экомобиля, кг, $M_n = M_c + M_r + M_a$;

E_a – энергоёмкость АкБ, заявленная производителем, кВт×часов;

α – допустимая (рекомендуемая) степень разряда АкБ, для АкБ на основе технологии LiFeYPO₄, предусмотренных в данных расчётах, рекомендовано $\alpha = 0,8$;

β – число циклов заряд-разряда за весь ресурс АкБ при допустимой степени разряда АкБ, для технологии LiFeYPO₄ рекомендовано $\beta = 3000$ циклов;

$E_{\text{ц}}$ – энергоёмкость одного цикла рекомендуемой степени разряда, кВт×час, $E_{\text{ц}} = \alpha \times E_a$;

E_p – энергоёмкость ресурса АкБ, кВт×час, $E_p = \alpha \times \beta \times E_a = \beta \times E_{\text{ц}}$;

η – КПД использования электроэнергии при зарядке АкБ, принято $\eta = 0,85$;

$E_{\text{уд}}$ – удельный расход электроэнергии, кВт×час/(т×км). Этот показатель характеризует расход электроэнергии (кВт×час) на пробег 1 км пути экомобилем с полной массой в 1 тонну. Значение $E_{\text{уд}}$ зависит от многих факторов, в т. ч. от совершенства конструкции экомобиля, расчётной площади его лобовой части, коэффициента аэродинамического сопротивления, скорости движения, жёсткости применяемых шин, профиля дороги, динамики движения и т. д. По результатам опытных данных для разных конструкций легковых электромобилей и упомянутых особенностей движения значение $E_{\text{уд}}$ находится в пределах 0,085...0,25 кВт×час/(т×км). В экономичных режимах эксплуатации $E_{\text{уд}} = 0,085...0,12$ кВт×час/(т×км). В данных расчётах принято $E_{\text{уд}} = 0,1$ кВт×час/(т×км), в т. ч. для грузовых электромобилей;

$S_{\text{цг}}$ – пробег экомобиля с полной нагрузкой за один цикл допустимой степени разряда АкБ, км, $S_{\text{цг}} = E_{\text{ц}} / E_{\text{уд}} \times M_n$. $S_{\text{цг}}$ принято равным дневному пробегу без подзарядки АкБ, км;

$S_{\text{рг}}$ – пробег экомобиля с полной нагрузкой за ресурс АкБ, км, $S_{\text{рг}} = E_p / E_{\text{уд}} \times M_n = S_{\text{цг}} \times \beta$.

В таблицу 1 сведены вычисленные значения основных технических показателей экомобилей для дальнейшего технико-экономического сопоставительного анализа.

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение и размерность	Экомобили			
			Легковые		Грузовые и автобусы	
			с полной массой 1000кг	с полной массой 2000кг	с полной массой 3500кг	с полной массой 6500кг
1	Сухая масса	M_c , кг	470	1200	1565	3170
2	Масса груза	M_r , кг	320	400	1200	2000
3	Масса АкБ	M_a , кг	210	400	735	1330
4	Энергоемкость АкБ	E_a , кВт×час	19.8	37.7	69.3	125.4
5	Энергоемкость 1 цикла	$E_{ц}$, кВт×час	15.84	30.18	55.45	100.34
6	Энергоемкость ресурса АкБ	E_p , кВт×час	47527	90528	166345	301006
7	Пробег с грузом за 1 цикл	$S_{цг}$, км	158.4	150.9	158.4	154.4
8	Пробег с грузом за ресурс АкБ	$S_{рг}$, км	475272	452640	475272	463086

Таблица 1. Технические показатели экомобилей на основе АкБ технологии LiFeYPO4.

Следующая группа показателей характеризует технико-экономические параметры экомобилей и их автомобилей-аналогов:

C_a – рыночная стоимость АкБ, грн., $C_a = C_{ay} \times E_a$, где текущая рыночная удельная стоимость АкБ $C_{ay} = 2800$ грн. (\$350) за 1кВт×час энергоёмкости АкБ;

$C_{a100г}$ – стоимость АкБ, отнесенная на 100 км пробега экомобиля с полной нагрузкой, грн./100км, $C_{a100г} = C_a / S_{рг} \times 100$;

$C_э$ – стоимость 1 кВт×часа электроэнергии для зарядки АкБ, принята 0,28 грн. за 1кВт×час. С учётом КПД использования электроэнергии при зарядке АкБ, $\eta = 0,85$, реально её потребляется больше, поэтому для упрощения расчётов увеличение количества потребляемой энергии урегулировано повышением её стоимости, $C_э = 0,28 / 0,85 = 0,33$ грн. за 1 кВт×час;

$C_{э100г}$ – стоимость электроэнергии на 100 км пробега с грузом, грн., $C_{э100г} = C_э \times E_{уд} \times M_{п} \times 100$;

$C_{аэ100г}$ – сумма затрат на приобретение АкБ и на их зарядку, приходящаяся на 100 км пробега с грузом, грн., $C_{аэ100г} = C_{a100г} + C_{э100г}$;

$C_{эp}$ – стоимость электроэнергии, израсходованной на зарядку АкБ за весь период их эксплуатации, $C_{эp} = E_{ц} \times C_э \times \beta$, грн.;

$C_{аэp}$ – сумма затрат на приобретение АкБ и на их зарядку за весь ресурс, грн., $C_{аэp} = C_a + C_{эp}$;

$Q_{мт100}$ – расход моторного топлива автомобилем-аналогом, л/100 км;

$C_{мт}$ – цена моторного топлива, принята 10 грн. за 1 литр;

$C_{мтр}$ – стоимость моторного топлива, расходуемого автомобилем-аналогом на пробег, равный пробегу экомобиля за весь ресурс АкБ, грн., $C_{мтр} = S_{рг} / 100 \times Q_{мт100} \times C_{мт}$, при этом стоимость моторного масла и иных расходных материалов в расчётах не учитывалась;

$C_{экон}$ – эффективность экомобиля по затратам на энергоресурсы в сопоставлении с автомобилем-аналогом, %, $C_{экон} = C_{мтр} / C_{аэp} \times 100$.

Результаты экономических показателей электромобилей, рассчитанные по изложенной выше методике, представлены в таблице 2.

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение и размерность	Экомобили/ автомобили			
			Легковые		Грузовые и автобусы	
			с полной массой 1000кг	с полной массой 2000кг	с полной массой 3500кг	с полной массой 6500кг
9	Стоимость АКБ	C_a , грн.	55448.40	105616.00	194069.40	351173.20
10	Стоимость АКБ на 100км с грузом	$C_{a100г}$, грн.	11.67	23.33	40.83	75.83
11	Стоимость э/энергии на 100км с грузом	$C_{э100г}$, грн.	3.29	6.59	11.53	21.41
12	Стоимость АКБ и э/энергии на каждые 100км пробега с грузом	$C_{аэ100г}$, грн.	14.96	29.92	52.36	97.25
13	Стоимость э/энергии для зарядки АКБ за весь ресурс АКБ	$C_{эр}$, грн.	15656.02	29820.99	54796.07	99154.79
14	Суммарная стоимость АКБ и э/энергии за весь ресурс АКБ	$C_{аэр}$, грн.	71104.42	135436.99	248865.47	450327.99
15	Расход топлива автомобилем-аналогом	$Q_{мт100}$, л/100км	5.0	10.0	13.0	18.4
16	Стоимость топлива, расходуемого автомобилем-аналогом за такой же пробег	$C_{мтр}$, грн.	237636.00	452640.00	617853.60	852077.39
17	Экономия средств за весь ресурс АКБ	$C_{мтр} - C_{аэр}$, грн.	166531.58	317203.01	368988.13	401749.40
18	Экон. эффективность экомобилиа по сравнению с автомобилем-аналогом	$C_{экон}$, %	334.2	334.2	248.3	189.2

Таблица 2. Сравнительные технико-экономические показатели экомобилей на основе АКБ технологии LiFeYPO4 и их автомобилей-аналогов.

3. Выводы.

1. Анализ результатов, представленных в табл. 2, свидетельствует об экономических преимуществах грузовых электромобилей, **как внутригородского транспорта с дневным пробегом до 150-160 км** (для обслуживания торговли, почты, скорой медицинской помощи и т. д.). Это же касается легковых электромобилей при эксплуатации их в режиме служебных или внутригородских такси. Повышение удельной энергоёмкости тяговых аккумуляторов в будущем еще больше расширит область применения этих категорий транспорта.

2. Структура производственного цикла, представленная на стр. 81...83 "Проекта" [6] предусматривает выход на программу 1500 электромобилей за первый год освоения, что рекомендовано и Госэкспертизой [7]. Увеличение объёма производства электромобилей до 10 тысяч штук обеспечит **экономии около 50 тысяч тонн моторного топлива в год на сумму около 500 млн. грн.** Эта сумма окупит затраты на реализацию "Проекта" [6].

3. Дальнейшее увеличение мощности производства электромобилей будет происходить по экспоненте. Замена экомобилиями грузовых автомобилей с полной массой до 3,5 тонн и с полной массой до 6,5 тонн, а также внутригородских автобусов и служебных автомобилей, эксплуатирующихся в режиме внутригородских перевозок с дневным пробегом 150-160 км, на первом этапе позволит **заменить 10% автопарка Украины с такими результатами:**

- экономия моторного топлива в Украине составит **около 5 млн. тонн, в т. ч. около 500 тыс. тонн в Киеве;**

- чистая экономия денежных средств составит **около 40 млрд. грн. в год (около 3% номинального значения ВВП Украины), в т.ч. 4 млрд. грн. в год в Киеве;**

- увеличение объёмов финансирования на начальной стадии реализации "Проекта" [6] и в процессе организации промышленного производства улучшит динамику наращивания производственных мощностей, ускорит насыщение внутреннего рынка и улучшит экономические показатели;

- количество вредных выбросов от автотранспорта уменьшится на 100...150 тысяч тонн в год по Украине, в т. ч. на 10...15 тысяч тонн в год по Киеву;

- увеличение расхода электроэнергии на зарядку тяговых аккумуляторов электромобилей по льготному тарифу в ночное время **принесет пользу энергосистемам Украины;**

- ценность "Проекта" и приведенных экономических и экологических показателей подтвердила Государственная экспертиза: **«Пропозиції Парафенка М. І. щодо розвитку НДДКР в Україні по екомобілям безперечно слушні і актуальні, як з умов альтернативної енергетики автопарку і зменшення залежності від імпорту нафтопродуктів, так і з умов покращення екології довкілля»** [7].

4. Международный опыт показывает, что успешное развитие страны возможно в условиях экономической политики, **когда потребности внутреннего рынка обеспечиваются на 50-80% за счет собственного производства.** В этой связи реализация "Проекта" [6] и создание в Украине новой отрасли машиностроения – экомобилестроения – является **надёжной технологической платформой для развития ряда отраслей промышленности,** в т. ч. машиностроения, химии, приборостроения, электротехники, электроники и других направлений. **Это приведёт к созданию десятков тысяч новых рабочих мест,** в т. ч. для специалистов с высоким уровнем интеллекта, тематических лидеров по упомянутым и сопутствующим направлениям, **приведёт к реанимации ряда научных направлений и организаций, будет способствовать снижению социального напряжения в обществе, а также повышению имиджа и роли Украины в мировом сообществе.**

5. Несмотря на такие возможности и перспективы, процесс создания и реализации Государственной целевой научно-технической программы по "Проекту" [6] безосновательно затягивается с 2008 года [9]. Этим откладывается достижение упомянутых показателей, в лучшем случае на несколько лет.

6. В условиях «НОВОЙ ЭКОНОМИКИ» наступило время сделать конкретные шаги – воспользоваться потенциалом отечественных разработок и зарубежным опытом в деле реализации "Проекта" [6], создать в Украине новую перспективную отрасль машиностроения – **экомобилестроение, как надёжную и перспективную ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ПЛАТФОРМУ,** которая даст импульс развитию ряда научно-промышленных направлений и реальной экономике Украины.

Список ссылок:

1. Н. Парафенко, «Автомобиль с точки зрения экологии и энергии», ж. «Motor News», № 1, 1997 г., с. 45-47; также копия этой статьи размещена на <http://e-m.org.ua/download/org/Spilka/VsadnikiApokalipsisa.pdf>

2. «Европа борется за чистый выхлоп», <http://dw.de/p/MxUi>

3. Н. Парафенко, «Час екомобіля прийшов», <http://www.uspp.org.ua/interview/27.chas-ekomobilya-priyshov.htm>

4. «Экомобили - будущее мирового автопрома»,
<http://www.ecofactor.ru/articles/ecomobil/>

5. «Германия не сможет заполнить рынок одним миллионом электромобилей»,
<http://delo.ua/auto/germanija-proschaetsja-s-celju-zapolnit-rynok-odnim-millionom-el-205444/>

6. Проект державної програми України «Виробництво малотонажних вантажних та інших перспективних моделей екомобілів»,
http://e-m.org.ua/download/org/program/ua_eko_transport_program.pdf

7. Отзыв ОАО «Укравтобуспром» от 23.04.2008г., № 434, г. Львов,
<http://e-m.org.ua/download/org/Spilka/VidgukDergEkspertizy.pdf>

8. «Германия покупает электромобиль»,
<http://dw.de/p/IUZQ>

9. «Теорія та практика управління економічним розвитком», с. 80,
http://www.vsve.ho.ua/projects/conf/tom_3.pdf

Аннотация.

Парафенко Николай Иванович, Мельник Александр Юрьевич.
Экономика электромобилей и определение основных показателей.

Дан краткий анализ состояния и перспектив применения электромобилей. Приведена методика определения основных экономических показателей. Показана эффективность электромобилей в условиях небольшой дальности пробега без подзарядки аккумуляторов, в т.ч. как внутригородского автотранспорта на примере Киева. Анализируемые обстоятельства экономии энергоресурсов и экологии среды обитания затрагивают интересы государственного и муниципального уровня.

Ключевые слова: автомобиль, аккумулятор, моторное топливо, технологическая платформа, экология, экомобиль, электромобиль, энергоёмкость, энергоресурсы.

Annotation.

Nikolay I. Parafenko, Alexander Y. Melnyk.
Economy of electric vehicles and identification of its key parameters.

A brief analysis of a status of and prospects for electric vehicles. Economy of electric vehicles and its key parameters. Efficiency of electric vehicles over relatively short distances, including an example of municipal transport in the city of Kyiv. The matters analyzed herein do affect the interests of a municipal society and are of a national importance in terms of energy saving and environmental habitats.

Keywords: car, electric vehicle, electric battery, fuel cell, motor fuel, technological platform, ecology, ecomobile, specific energy, power resources.

parafenko@e-m.org.ua, alex@e-m.org.ua