

УДК 621.313

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО АВТОТРАНСПОРТА В БЕЛАРУСИ

Мангул Д.И.

Научный руководитель – м.т.н., ст. преп. Гапанюк С.Г.

В связи с предстоящим в 2020 г. вводом атомной электростанции мощностью 2400 МВт в Белорусской энергосистеме возникает большой избыток предлагаемой электроэнергии, особенно в ночной период. Заметим, что переменный режим работы станции с разгрузкой и загрузкой в течение суток технически трудно осуществим и аварийно опасен. Для обеспечения баланса по электрической мощности необходимо увеличение спроса на нее. Один из вариантов – применение накопителей энергии в виде аккумуляторов автотранспортных средств, а также для обеспечения потребителей энергии в различное время суток.

Развитие электрифицированного автотранспорта целесообразно по трем причинам. Первая – интересы энергосистемы, поскольку при этом возможна совместимость режимов ее работы [2]. Особенно это актуально зимой, когда к генерации атомной электростанции добавляется значительная теплофикационная мощность всех ТЭЦ, равная примерно 3 тыс. МВт. Следует отметить, что в последние годы на ряде электростанций Белорусской энергосистемы была проведена модернизация и обновлено оборудование (в частности, ряд паротурбинных блоков заменен на парогазовые установки и др.), что способствовало значительному повышению установленной мощности (более чем на 1,5 тыс. МВт). Увеличение электропотребления может быть достигнуто не только путем расширения и создания нового производства (в частности, для обеспечения электрификации автотранспорта), но также и за счет замещения электроэнергией других энергоносителей в тех процессах, где это экономически выгодно, учитывая отсутствие необходимости привлечения при этом инвестиционных средств на развитие генерирующих источников.

Вторая причина объясняется экономическими соображениями. При переводе автомобиля с жидкого нефтяного топлива на электрическую энергию, которая используется для зарядки аккумуляторов в ночное время, обеспечивается заметная экономия. Покажем это на простом примере. Если легковой автомобиль на 100 км пути потребляет 10 л бензина марки А-92, литр которого стоит примерно 0,7 долл., то проезд обойдется 7 в долл.

Электромобиль расходует на такое же расстояние около 20 кВт·ч. Если 1 кВт·ч стоит 0,14 долл. по одноставочному тарифу на электроэнергию для промышленности, то на 100 км будет затрачено 2,8 долл., то есть в 2,5 раза меньше, чем автомобилем с двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Заметим, что тяговые электродвигатели имеют КПД до 90-95 %, а ДВС - в среднем 25 %. Электромобиль эффективнее автомобиля на бензине и по коэффициенту топливоиспользования: соответственно 32,5 и 25 %. Следует учитывать, что для выработки электроэнергии в энергосистеме применяются также, например,

природный газ и ядерное топливо. И, исходя из стоимостных характеристик, они экономически выгоднее по сравнению с жидким нефтяным топливом [3].

Третья причина – экологическая. Автотранспорт выбрасывает существенно больше загрязняющих веществ, причиняющих огромный вред здоровью людей, животному и растительному миру, особенно в городах. Непоправимый урон, приводящий к изменению климата в глобальном масштабе, наносят парниковые газы. Количественно трудно оценить экономический ущерб от них. По данным российских экспертов, он составляет 0,75 цента на 1 доллар затраченного топлива [1]. При использовании ядерного источника энергии выбросы загрязняющих веществ отсутствуют. При сжигании природного газа их во много раз меньше, чем при сжигании жидких углеводородов в автомобиле. Таким образом, их замещение на автотранспорте электроэнергией, производимой на базе ядерного топлива и природного газа, значительно снижает объем выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

При выборе одного из двух вариантов автомобиля – с двигателем внутреннего сгорания или на электроприводе – решение принимается на основе сопоставления стоимости обоих вариантов с затратами на их эксплуатацию. Электромобиль в настоящее время стоит дороже, однако впоследствии он может оказаться более экономически выгодным, если снизить стоимость расходников. Основной из них – аккумулятор, размер затрат на его зарядку зависит главным образом от стоимости производимой в энергосистеме электроэнергии. Для автомобиля с ДВС затраты на эксплуатацию определяются преимущественно стоимостью бензина или дизельного топлива. Для обоих типов автотранспорта учитываются также издержки на их обслуживание, но по сравнению с издержками на энергоносители они невелики.

Сравним варианты традиционными расчетами: по методу минимума годовых приведенных затрат и по определению срока окупаемости в зависимости от капитальных вложений.

Итак, годовые приведенные затраты на электромобиль могут быть записаны в следующем виде:

$$Z_{эм} = E \cdot K_{эм} + C_{ээ} + C_{обс}^{эм}, \quad (1)$$

где E - процентная ставка на капитал;

$K_{эм}$ - стоимость электромобиля;

$C_{ээ}$ - затраты на электроэнергию, используемую для зарядки аккумуляторов;

$C_{обс}^{эм}$ - расходы на обслуживание автомобиля.

Стоимость потребляемой электроэнергии рассчитывается по формуле:

$$C_{ээ} = c_{ээ} \cdot b_{ээ} \cdot L, \quad (2)$$

где $c_{ээ}$ - стоимость 1 кВт·ч,

$b_{ээ}$ - удельный расход электроэнергии (кВт·ч/км),

L - величина годового пробега автомобиля.

Затраты на обслуживание автомобиля могут быть определены в долях от его стоимости и включают в себя амортизационные отчисления, издержки на ремонт, материалы, профилактическое обслуживание и др.

Годовые приведенные затраты для автомобиля с ДВС:

$$Z_{двс} = E \cdot K_{двс} + C_m + C_{обс}^{двс}, \quad (3)$$

где $K_{двс}$ - стоимость автомобиля;

C_m - затраты на топливо;

$C_{обс}^{двс}$ - расходы на обслуживание.

Выполним расчет для следующих исходных данных: стоимость электромобиля – 25 тыс. долл., а авто с ДВС такой же мощности – 18 тыс. долл. Коэффициент E принимаем равным 0,1 (примерная ставка рефинансирования Национального банка, без учета инфляции), затраты на обслуживание для обоих типов автомобилей – 0,03 от их стоимости. Годовой пробег будем считать равным 50 тыс. км, расход бензина для ДВС – 10 л на 100 км при стоимости его 0,7 долл./л (А-92 на заправочных станциях). Для электромобиля возьмем удельный расход электроэнергии 0,2 квт·ч/км (по литературным данным), стоимость электроэнергии – 0,14 долл./кВт·ч (что соответствует величине тарифа для одноставочных промышленных потребителей).

Годовые приведенные затраты для автомобиля с электроприводом:

$$Z_{эм} = 0,1 \cdot 25000 + 0,14 \cdot 20 \cdot 50000 / 100 + 0,03 \cdot 25000 = 2500 + 1400 + 750 = 4650 \text{ долл.};$$

для автомобиля с ДВС:

$$Z_{двс} = 0,1 \cdot 18000 + 0,7 \cdot 50000 / 100 + 0,03 \cdot 18000 = 1800 + 3500 + 540 = 5840 \text{ долл.}$$

Как видно, при принятых в расчете исходных данных вариант с электротягой получился более эффективным по сравнению с автомобилем на ДВС, поскольку затраты на топливо для него более чем в 2 раза превышают расходы электроэнергии для электромобиля.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений получился сравнительно небольшим, что свидетельствует об экономической предпочтительности электромобиля:

$$T_{ок} = (25000 - 18000) / (3500 + 540) - (1400 + 750) = 4,7 \text{ года.}$$

На рисунке 1 показана динамика затрат на эксплуатацию автотранспорта с ДВС и электромобиля в зависимости от величины годового пробега для различных значений стоимости 1 квт·ч

Как видно из рисунка, при принятых исходных данных электромобиль становится эффективнее автомобиля с ДВС по мере увеличения годового пробега и зона экономически выгодного применения варианта с электротягой тем больше, чем ниже стоимость 1 квт·ч.

Предположим, что годовой пробег автомобиля составляет 10 тыс. км. В этом случае годовые приведенные затраты для двух вариантов составят:

$$Z_{эм} = 3390 \text{ долл.};$$

$$Z_{двс} = 2650 \text{ долл.}$$

Очевидно, что экономически предпочтителен автомобиль с ДВС, так как при небольшом годовом пробеге эффект от замещения жидкого моторного

топлива электроэнергией сравнительно невелик, что не обеспечивает необходимую окупаемость дополнительных капитальных затрат в электромобиль.

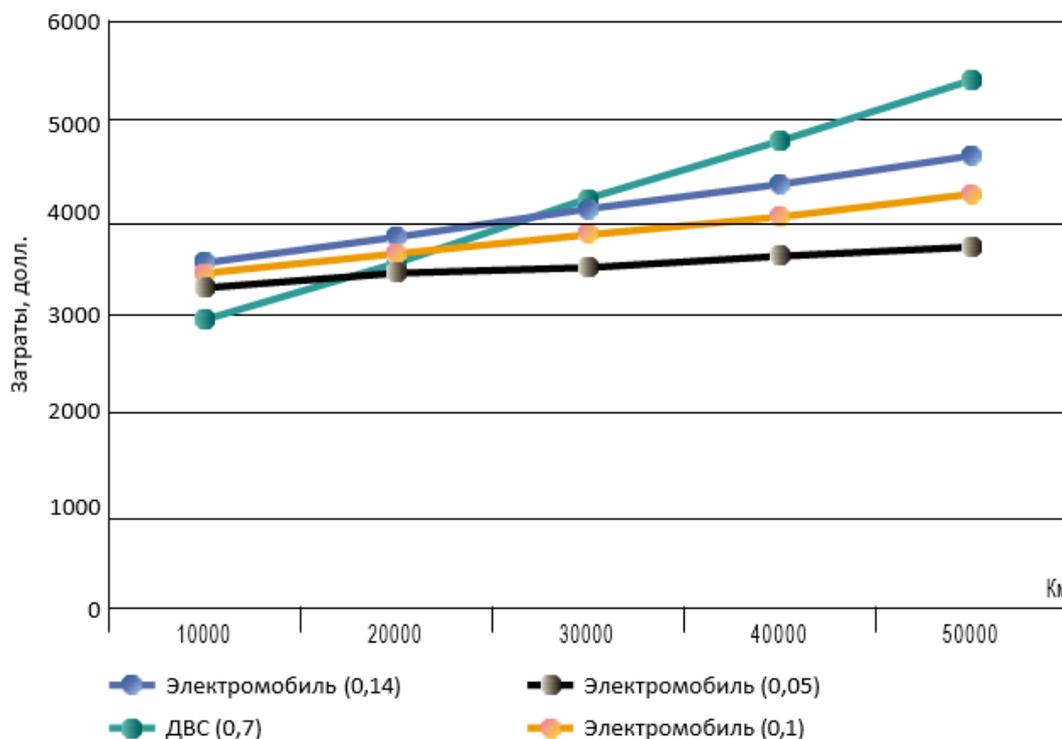


Рисунок 1. Динамика затрат на эксплуатацию автотранспорта с ДВС и электромобилей в зависимости от величины пробега и стоимости электроэнергии

Важно правильно определить стоимость 1 кВт·ч энергии, потребляемой при зарядке аккумуляторной батареи. Следует отметить, что при этом покрытие потребности в электроэнергии будет осуществляться не от АЭС, работающей в течение суток с постоянной электрической нагрузкой, а от парогазовых энергетических установок, увеличивающих свою выдаваемую мощность по мере увеличения спроса со стороны аккумуляторов.

При удельном расходе топлива на этих установках, равном примерно 0,22 кг у.т./кВт·ч, и цене 200 долл./т. у.т. топливная составляющая будет равна 4,4 цента/кВт·ч. Исходя из этого, затраты на электроэнергию, используемую для зарядки аккумуляторов, надо определять по расходам природного газа на выработку электроэнергии, несмотря на наличие в энергосистеме АЭС. Таким образом, в данном случае речь, по существу, идет о сопоставлении с жидким нефтяным топливом природного газа, преобразованного в электрическую энергию.

Оценка экономической эффективности такого замещения на автотранспортных средствах показывает высокую результативность этого мероприятия, что объясняется меньшей стоимостью природного газа по сравнению с нефтепродуктами, а также тем, что при таком замещении не требуются слишком большие инвестиции в эту замену, так как во многих случаях можно ограничиться переоборудованием существующих автомобилей под газовое топливо (установка газовых баллонов, надстройка системы

регулирования подачи газа) и затратами, связанными с компримированием газа. При переводе же на электроэнергию необходим выпуск новых автомобилей с установкой в них дорогостоящих аккумуляторных батарей.

Развитие электрифицированного автотранспорта должно рассматриваться с учетом эффекта, достигаемого в энергосистеме, и затрат на производство электроэнергии, используемой для зарядки аккумуляторов. Необходимо принимать во внимание также и экологическую составляющую, экономическая оценка которой затруднительна. Следует ожидать появления разработанного на основе Парижского саммита соглашения, имеющего юридическую силу и обязывающего страны принимать меры по снижению загрязнения окружающей среды. Для финансового обеспечения этого процесса предполагается выделение ежегодно 100 млрд долл., которые будут распределяться прежде всего между развивающимися странами.

При сопоставлении вариантов автомобилей надлежит учитывать следующее обстоятельство. Из-за периодически производимой перезарядки аккумуляторы изнашиваются: срок службы составляет 4-5 лет. А их замена - это дополнительные расходы. Данный факт требует динамической постановки задачи, то есть учета для электромобиля затрат (каждые 4-5 лет) на приобретение новых аккумуляторов. Период сопоставления вариантов должен быть принят одинаковым для них, и достаточно большим: в пределе, равном бесконечности. Возможна также иная постановка задачи: не учитывать периодические вложения, а включать в состав эксплуатационных расходов для электромобиля такую величину амортизационных отчислений, которая обеспечивала бы через каждые 4-5 лет восстановление аккумуляторов по истечении их срока службы. Однако не все производители информируют о необходимости частой замены аккумуляторов. Компания Tesla, например, дает гарантию на 8 лет, то есть допускается возможность обновления этого расходника за счет изготовителя до окончания указанного срока эксплуатации. В других фирмах аккумуляторы выдаются ежегодно владельцам авто в аренду. Существуют и другие возможности решения этой проблемы.

Главное направление повышения эффективности электротяги – удешевление стоимости аккумуляторной батареи, увеличение срока ее службы, а также снижение стоимости 1 кВт·ч электроэнергии, используемой для подзарядки. Основным компонентом современных аккумуляторов является литий, мировые запасы которого ограничены. Необходима разработка новых моделей, способных к накоплению больших объемов электроэнергии на базе более доступных материалов.

В нашей стране имеются большие перспективы для электрификации автомобильного транспорта. Поэтому необходимо углубленное системное исследование указанной проблемы, с оценкой энергетического, экономического и экологического эффектов, а также формирование приоритетных направлений и анализ возможных масштабов развития электрической тяги на автотранспорте Беларуси. Целесообразна также разработка технически более совершенных, более емких и долговечных аккумуляторных батарей не только для автотранспорта, но и для использования в других отраслях экономики,

например, для повышения энергоэффективности жилых зданий. Для сокращения сроков внедрения электромобилей в Беларуси и придания динамичности процессу в целом необходимо подготовить план мероприятий по созданию производства электромобилей, эффективных зарядных станций, развивать технологическую инфраструктуру.

Литература

1. Лычагин А.А., Об оценке эффективности установок на базе возобновляемых источников энергии // Проблемы теплоснабжения России. 2005. Вып. 3. С. 48-51.
2. Падалко Л.П., Кузьменок В.И., Иванов Ф.Ф. Энергосистема Беларуси и развитие автотранспорта на электротяге // Энергетика и ТЭК, 2015, №3. С. 40-43.
3. Падалко Л.П., Иванов Ф.Ф. Электромобиль выходит на дорогу // Экономика Беларуси. 2015. №2. С. 51-57.