

Рылёва А.А.,

студент

4 курс, факультет «Информатика и системы управления»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, г. Москва

Мелузов О.В.,

студент

4 курс, факультет «Информатика и системы управления»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, г. Москва

**Разработка методики определения КПД как показателя
эффективности использования электрических машин на постоянных
моментах**

Ключевые слова: КПД, электрические машины, эффективность, комбинированная электрическая установка, электрическая мощность, электропривод.

Аннотация: В данной статье будет рассмотрен способ определения эффективности электрических машин на постоянных моментах. В настоящее время все страны мира стремятся сократить расходы топлива, а также снизить процент загрязнения окружающей среды. При переходе на гидравлические или электрические автомобили есть множество нюансов. Возникают вопросы в производительности, в цене. Поэтому данная работа является актуальной, так как с помощью нее можно решить основные вопросы.

Rylyova A.A.,

student

4 year, Faculty of Computer Science and Management Systems

BMSTU them. N.E. Bauman

Russia, Moscow

Meluzov O.V.,

student

4 year, Faculty of Computer Science and Management Systems

BMSTU them. N.E. Bauman

Russia, Moscow

Development of methods for determining efficiency as an indicator of the efficiency of using of electric cars on constant moments

Key words: coefficient of efficiency, electric cars, efficiency, combined electrical installation, electric power, electric drive.

Abstract: This article will consider a method for determining the efficiency of cars on constant moments. At present, all countries of the world are striving to reduce fuel consumption, as well as reduce the percentage of environmental pollution. There are many nuances when switching to hydraulic or electric cars. There are questions in performance, in price. Therefore, this work is relevant, because with it the main issues can be solved.

Одной из приоритетных государственных задач в настоящее время является модернизация транспортной сферы как одной из ключевых отраслей, эффективность которой определяет успешность развития всей экономики страны. Одним из главных направлений, по которому ведется модернизация, является сокращение потребления топлива и защита окружающей среды, в связи с чем нормы выбросов вредных веществ двигателями внутреннего сгорания постоянно ужесточаются.

Большинство транспортных перевозок, производимых по дорогам с капитальным покрытием (асфальто-, асфальто-железобетонным), осуществляется магистральными автопоездами. Современные магистральные тягачи оснащают, в основном, дизельными и турбодизельными двигателями, однако в последнее время наблюдается увеличение доли грузовых автомобилей с комбинированной энергетической установкой (КЭУ). КЭУ представляет собой силовой агрегат, включающий ДВС и электромотор, которые могут работать как раздельно, так и совместно. Автомобиль с КЭУ способен трогаться с места и даже разгоняться только на электротяге, без запуска ДВС, что влечет за собой экономию топлива и снижение выбросов вредных веществ. Изначально КЭУ была применена на грузовых автомобилях, работающих в городских условиях, где показала эффективность. На выставке в г. Ганновере в 2008 году был представлен

концепт Mercedes-Benz Econic BlueTec Hybrid (рисунок 1). Концепт представляет трехосное шасси Econic BlueTec Hybrid 2629 NLA с полной массой 26 тонн и комплектуется 6-ти цилиндровым дизельным двигателем OM 906 LA (Евро-5) мощностью 210 кВт (286 л.с.), электромотором мощностью 44 кВт, скомбинированным с автоматической трансмиссией и блоком литий-ионных АКБ.



Рисунок 1 – Грузовой автомобиль Mercedes-Benz Econic BlueTec Hybrid

По заявлениям исследовательской группы Daimler – Shell, эксплуатационные испытания грузовых автомобилей с КЭУ показали, что в городском режиме движения экономия топлива составляет от 6 до 30 %, что обеспечивает окупаемость более дорогих транспортных средств с КЭУ по сравнению с обычными транспортными средствами.

Главным показателем эффективности работы КЭУ является коэффициент полезного действия (КПД) силового агрегата. Работы по повышению КПД ДВС и КП проводились с момента появления этих агрегатов и результатам этих работ посвящено множество научных трудов. Поэтому повысить эффективность КЭУ возможно оптимизацией алгоритма управления потоками мощности и (или) повышением эффективности работы электромашины и ее вспомогательных агрегатов, таких как система охлаждения, инвертор, жгуты, АКБ, блок контакторов. Для работы по вышеописанным направлениям необходимо проводить большое количество

оптимизационных расчетов, в которых одним из главных входных параметров является КПД КЭУ. Эффективность силовой установки во многом зависит от КПД электромашины, который в настоящее время определяется как отношение подаваемой электрической мощности от аккумуляторной батареи к механической мощности на выходном валу электромашины. В настоящее время при расчете КПД учитываются лишь суммарные потери в самом электродвигателе: электрические (нагрев проводников с током), магнитные, механические (трение в подшипниках электродвигателя, вентиляция) и дополнительные. Однако, помимо внутренних потерь электромашины, имеются потери на вспомогательное оборудование, служащее для обеспечения нужд самой электромашины. Речь идет об инверторе, аккумуляторной батарее, блоке контакторов, жгутах и системе охлаждения. Режим работы и КПД каждого из этих агрегатов сказывается на эффективности работы электропривода, а следовательно, и на эффективности работы автомобиля. Эффективность работы может быть выражена как через экономию топлива, так и через увеличение выполненной работы в единицу времени.

Важно понимать, что использование электропривода само по себе не дает значительного снижения расхода топлива, т.к. большое количество энергии уходит на поддержание в работоспособном состоянии всей системы электромашины и подзарядку аккумуляторной батареи, т.к. режима рекуперации недостаточно для полного заряда АКБ.

По данным исследований различных фирм, снижение расхода топлива от использования КЭУ на грузовых автомобилях в среднем составляет 10-30% от показателей сопоставимого дизельного аналога (для автомобилей Kenworth – 30%, Peterbilt – 25%, DAF LF Hybrid – 10-20%, Renault Trucks – до 20%, Volvo – 15-20%, Mercedes – 15-20%). Однако эти цифры получены в результате полигонных испытаний и при их повторении в реальных дорожных условиях могут существенно снизиться. Например, специалисты фирмы MAN, проведя подобные исследования, выяснили, что наибольшая

экономия, в 18,1%, достижима только при частичной загрузке и работе в центре города. При полной загрузке и езде по всей территории города можно сэкономить 15%, в пригороде – 6,2%, а на шоссе экономия составит 0,4%. Как видно из приведенных примеров применения электропривода на магистральных автопоездах, правильная настройка всех систем автомобиля позволяет получить экономию топлива менее 15%, следовательно, каждый дополнительный процент экономии будет неплохим результатом.

Также из анализа общедоступных источников информации, в которых приводились материалы по результатам испытаний грузовых автомобилей с КЭУ, было установлено, что на расход топлива влияет не только алгоритм работы электромашины и ее вспомогательных устройств, но и режимы работы рулевого управления, тормозной системы и прочих агрегатов. Так, например, у автомобилей MAN насос усилителя руля не гидравлический, а электрический, благодаря чему двигатель таких гибридных автомобилей при повороте ключа зажигания не запускается.

На специализированном стенде ФГУП «НАМИ» (рисунок 2), предназначенном для отработки алгоритма управления потоками мощности грузового автомобиля колесной формулой 6х6 с индивидуальным электрическим приводом колес передней оси, были проведены первичные испытания, результаты которых показаны на рисунке 3. Объектом испытаний являлась КЭУ автомобиля 6х6, в состав которой входят следующие компоненты:

- двигатель внутреннего сгорания (ДВС) Cummins 380;
- автоматизированная 16-ти ступенчатая коробка передач с интегрированным электромотором в комплекте с инвертором;
- две синхронные электромашины в комплекте с инверторами;
- аккумуляторная батарея;
- система управления в составе блока управления автомобилем VCU, программного обеспечения и датчиков;
- вспомогательные компоненты, необходимые для обеспечения

работоспособности КЭУ (система термостатирования, жгуты, привода и др.).

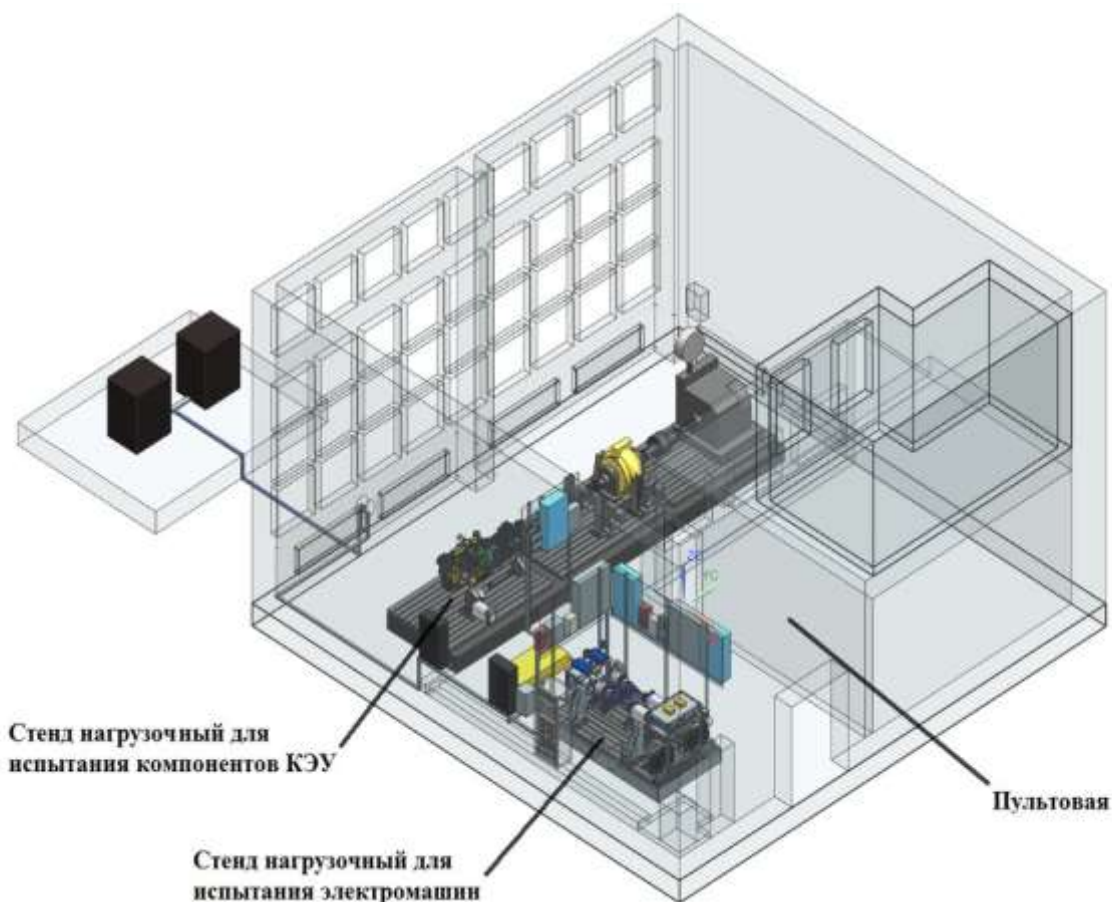


Рисунок 2 – 3D модель стенда



Рисунок 3 – Изменение мощностей на электродвигателе

Красным цветом показана электрическая мощность, потребляемая электромашиной, а черным цветом – механическая мощность на выходном валу электромашины. Из данного графика можно посчитать ориентировочный КПД (при данном режиме нагрузки) электродвигателя, который равен 80%. Если построить на этом рисунке еще одну кривую, показывающую мощность, расходуемую на привод вспомогательного оборудования, то можно получить полную картину мощностного баланса электрической системы (рисунок 4).



Рисунок 4 – Предположительные кривые по мощности вспомогательного оборудования

На рисунке 4 зеленым цветом показана совокупная мощность, затрачиваемая на оборудование, работающее для нужд электромашины. Утолщенной линией красного цвета показана предполагаемая кривая электрической мощности на входе с учетом работы системы охлаждения¹. Если пересчитать КПД через отношения, то получим уже не 80%, а 75%.

Результаты проведенного исследования подтверждают необходимость создания новой методики комплексной оценки эффективности работы

¹ Все утолщенные кривые начерчены в виде предположения, испытаний по данной гипотезе пока не проводилось. Линия представляет собой среднее значение, включая как выключенное состояние вентиляторов, так и время их включения.

электропривода комбинированной энергетической установки с учетом мощностных затрат на привод компонентов, обеспечивающих собственные нужды электрической системы, которая позволит более точно оценить вклад этой системы в эффективность работы автомобиля на начальных стадиях проектирования.