

УДК 629.424:628.43.6

НОЖЕНКО Е.С., к.т.н., с.н.с., доцент
 Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕЗЕРВЫ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В статье представлен анализ энергетических резервов транспортного средства и предложены пути их использования. Рассмотрена возможность рационального использования энергии сжатого воздуха, выбрасываемого из тормозной системы при отпуске тормозов, энергии электродинамического торможения, тепловой энергии системы охлаждения, электрической системы передачи мощности и повышения КПД силовой энергетической установки

Ключевые слова: энергетические резервы, транспортное средство, расход топлива, КПД

Введение

Темпы роста потребления ископаемого топлива и, соответственно, рост объемов выбросов CO_2 в атмосферу, которые наблюдаются последние десятилетия, являются на сегодняшний день одним из основополагающих причин надвигающейся экологической и энергетической катастрофы.

По данным Всемирного банка, если темпы роста потребления ископаемого топлива и объемов выбросов CO_2 в атмосферу не снизятся (рис. 1), то к началу XXII в. средняя температура на Земле увеличится на 3–7°C, что станет причиной необратимых изменений климата [1, 2, 3].

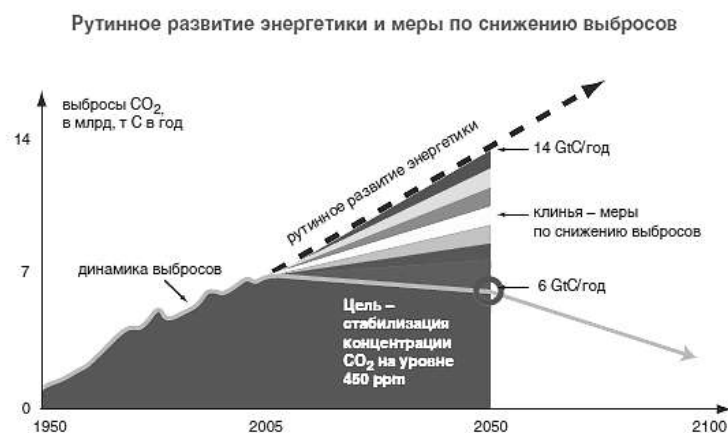


Рис. 1. Динамика выбросов CO_2 [3]

Анализ роли существующих технологий снижения выбросов CO_2 показал, что основной эффект на данном этапе развития энергетики достигается при внедрении технологий по энергосбережению (рис. 2) [3].

Однако, несмотря на огромное количество научно-исследовательских работ в направлении совершенствования существующих технологий сжигания топлив, в том числе и в автомобилестроении [4], за последнее десятилетие не появилось прорывных технологий, которые позволили бы в корне решить проблему эффективности сгорания топлива и, соответственно, снизить экологическую нагрузку от выбросов. Рост коэффициента полезного действия при преобразовании химической энергии топлива в механическую работу за последние 10 лет существенно не изменился и сохраняется на уровне 40-50% [5].

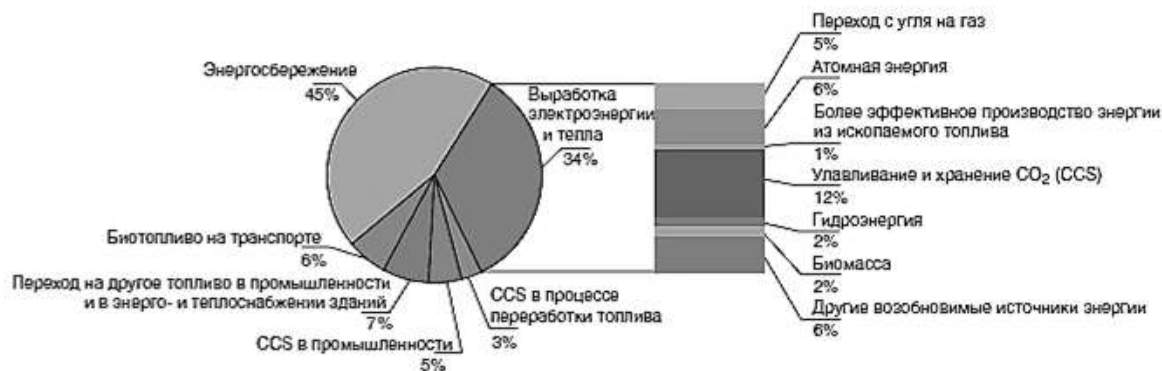


Рис. 2. Мероприятия по снижению выбросов парниковых газов [3]

Низкая эффективность термохимических преобразований в процессе сгорания углеводородов вынуждает обращаться к нетрадиционным источникам получения энергии (применение альтернативных растительных топлив [6], внедрению мобильных электроустановок, ветровой и солнечной энергии) в энергетике и на транспорте. Однако, в большинстве своем, для успешного использования таких источников энергии требуется достаточно значительное конструктивное переоснащение существующих технологий или получение такой энергии недостаточно рационально и экономически не обосновано на современном этапе развития техники. Это вынуждает прибегать к методам совершенствования процесса сгорания в тепловых двигателях и энергоустановках [7], искать дополнительные энергетические ресурсы на транспортных средствах [8].

Анализ исследований

В настоящее время повышение энергетической эффективности транспортного средства достигается следующими способами [8,9,10]:

1) снижение расхода мощности на вспомогательные нужды и повышение КПД передачи мощности (тепловоз – расходы мощности на вспомогательные потребности 12-18%, КПД передачи мощности 84-87%; автомобиль – потери в трансмиссии и вспомогательных системах 14-28%);

2) совершенствование двигателя внутреннего сгорания (ДВС) – 75% энергии, которая получается при сгорании топлива в ДВС, выбрасывается в виде тепла; по мнению Маркова В.А. [11] за последние 30 – 40 лет достигнут предельный уровень совершенствования классического превращения химической энергии топлива в механическую работу для транспортных ДВС;

3) обеспечение оптимальных режимов работы транспортного средства, перспективным является использование кинетической энергии, так, например, при работе тепловоза в режиме электродинамического торможения выделяется максимальная мощность, равная 100 ... 120% полной мощности тепловоза, которая на современных тепловозах утилизируется в тормозных резисторах, по существу, нагревая окружающий воздух [9].

Таким образом, вопросы повышения энергетической эффективности охватывают функционирование всего транспортного средства, как сложной многофункциональной системы, как на стадии проектирования, так и в эксплуатации, причем для решения отмеченной выше проблемы нужен комплексный системный подход.

Функционирование силовой энергетической установки, вспомогательных систем, и т.д. являются основными источниками возможных энергетических резервов транспортного средства.

Тенденция совершенствования рабочего процесса дизелей в настоящее время носят оптимизационный характер, как следует из обзора, представленного в [9], а энергия сгорания топлива лишь на 25% используется полезно (рис. 3) [12].

Энергия сжатого воздуха тормозной системы также является «бросовым» источником энергии. Например, проведенные предварительные расчеты показали, что для поезда на базе тепло-

воза 2ТЭ116 с составом 60 грузовых вагонов часовой расход сжатого воздуха при торможении составляет 60000 л, которые выпускаются при отпуске тормозов в атмосферу. При этом с учетом потребляемой мощности локомотивных компрессоров на их работу для восстановления в тормозной системе выпущенного объема воздуха требуется от 540 до 600 кВт (в зависимости от модели компрессора) [8].

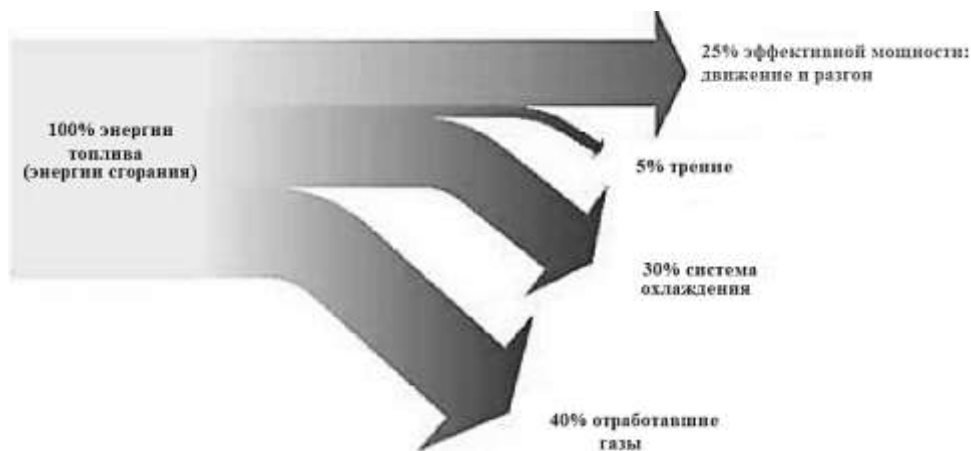


Рис. 3. Диаграмма теплового баланса современных ДВС [12]

Кроме того, до 6% дизельного топлива расходуется на привод вентиляторов охлаждения тяговых электродвигателей (ТЭД) [13], которые работают в стационарном режиме независимо от режима работы ТЭД, 4 – 5% эффективной мощности тратится на привод вентиляторов охлаждающего устройства дизеля.

Материалы и результаты исследований

Существующие энергетические резервы транспортного средства на примере локомотива, как сложного объекта, объединяющего все возможные системы транспортного средства, сведены в схему, представленную на рис. 4.

Как видно из рис. 4, наибольший неиспользуемый энергетический потенциал имеет система электродинамического торможения. Анализ использования энергии торможения показал [9], что эффективность электродинамического тормоза не отвечает современным требованиям по экономическим критериям.

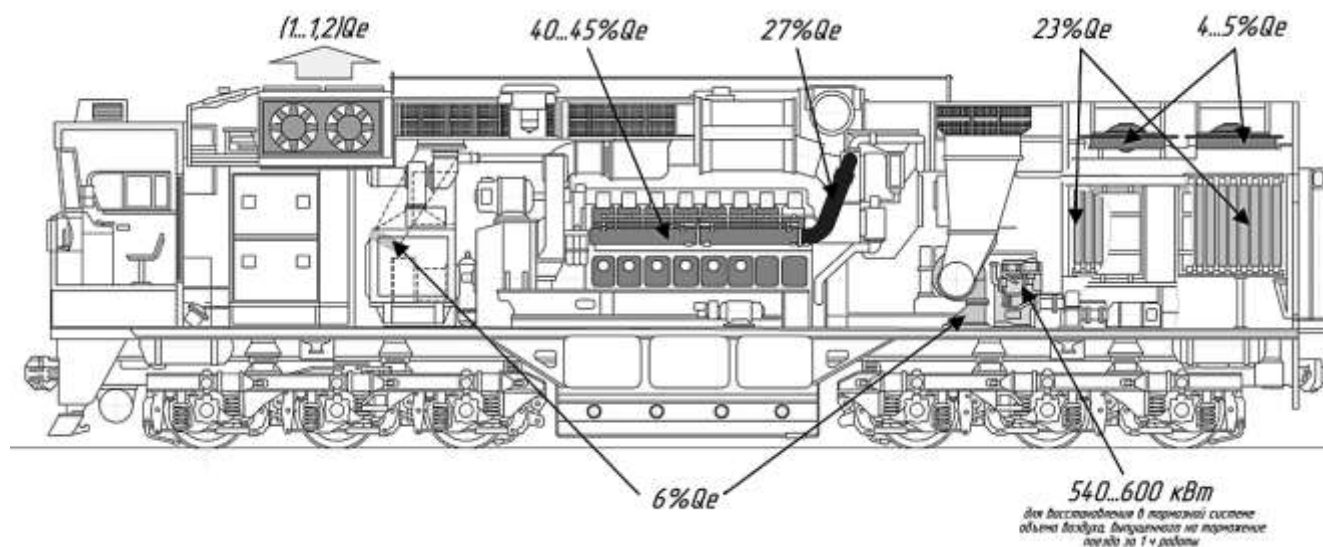


Рис. 4. Анализ энергетических резервов тепловоза как сложного транспортного средства

Проводились исследования по использованию энергии электродинамического торможения на вспомогательные нужды, в том числе и для получения озона и водорода как присадки к топливу для снижения его расхода и токсичности отработавших газов. Одним из препятствий, не позволяющим широко использовать эти присадки на транспорте, являются значительные энергетические расходы на получение озона и водорода, что может быть преодолено в условиях штатной эксплуатации тепловоза путем использования энергии электродинамического торможения (рис. 5).



Рис. 5. Схема использования энергии электродинамического торможения для улучшения топливной экономичности дизеля

При этом наибольший эффект от озонирования топлива для тепловоза наблюдался на 11-й позиции контроллера машиниста, на которой удельный эффективный расход топлива снижается на 2,5%. По методике А.Э. Хомича был определен удельный расход топлива на единицу работы, выполненной для привода тягового генератора за все время эксплуатации $g_{сэ}$, который для дизель-генератора 18-9ДГ при работе на озонированном топливе составляет $g_{сэ} = 0,233847 \text{ кг}/\text{кВт}\cdot\text{ч}$, а при работе на обычном дизельном топливе – $g_{сэ} = 0,23769 \text{ кг}/\text{кВт}\cdot\text{ч}$, из чего следует, что при использовании системы озонирования дизельного топлива среднее эксплуатационное снижение расхода топлива составляет 1,6% (рис. 6)

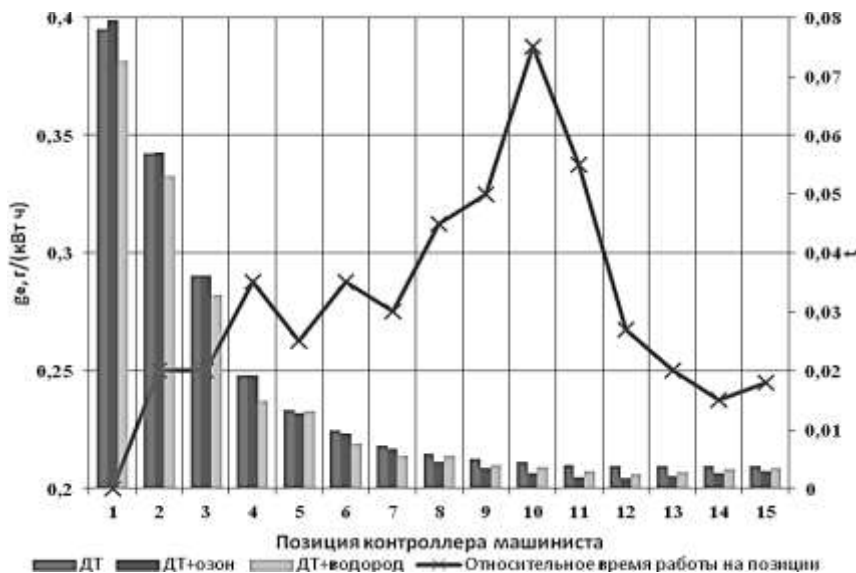


Рис. 6. Удельный эффективный расход топлива при работе на стандартном дизельном топливе и на дизельном топливе, насыщенном водородом и озон

Удельный эффективный расход топлива при работе на топливе, насыщенном водородом, также уменьшается по результатам моделирования, проведенного автором. На различных режимах работы снижение составило 2 – 9 г/(кВт·ч) (рис. 6). Мощность дизеля на различных ре-

жмах увеличилась на 15 – 25 кВт, кроме того значительно сократились выбросы оксидов азота, при этом снижение дымности и сажеобразования не произошло.

Как отмечалось выше, тепловой баланс современных дизелей выглядит так, что тепло, отводимое в систему охлаждения, эквивалентно теплу, совершаемому полезную работу. Тепловая энергия, отведенная теплоносителями, рассеивается в охлаждающем устройстве, при этом на циркуляцию теплоносителей и привод охлаждающих вентиляторов расходуется еще 8-9% от полезной мощности дизеля (около 3% от 37%, преобразованных в полезную работу) [14]. Так, для секции тепловоза 2ТЭ116(М) при температуре окружающего воздуха +40°C в атмосферу выбрасывается 965,3 кВт в горячем контуре водяной системы, плюс 951,3 кВт в холодном контуре, и на привод четырех вентиляторов расходуется около 130 кВт [15]. Очевидно, что такое неэффективное использование теплоты системы охлаждения дизеля требует поиска возможностей и способов ее использования.

Вывод напрашивается сам собой: использование этой теплоты для отопления пассажирских транспортных средств. Современные способы создания микроклимата на транспорте также требуют ощутимых затрат энергии. Суммарная мощность такой системы, например, для одного пассажирского вагона составляет порядка 60 кВт. Более целесообразным с экономической точки зрения является использование тепловой энергии системы охлаждения. Простейшая схема такого использования легко заключается в подаче горячей воды системы охлаждения в вагоны для их отопления. Однако возникает вопрос с охлаждением воздуха в летнее время. Эта проблема может быть решена также с использованием теплоты системы охлаждения дизеля, а именно с помощью использования принципа работы абсорбционной холодильной машины (рис. 7). Абсорбционная холодильная установка включает в себя генератор, конденсатор, испаритель и абсорбер с хладагентом и раствором аммиака в качестве рабочих растворов. В генераторе под действием источника тепла (в нашем случае – теплота системы охлаждения ДВС) из разбавленного раствора аммиака выделяются пары хладагента (воды), которые затем переносятся в конденсатор. Здесь они конденсируются в жидкость, отдавая в процессе конденсации тепло охлаждающей воде. После этого жидкий хладагент попадает на трубки испарителя, унося тепло от охлаждаемой воды и испаряясь при этом. Концентрированный раствор аммиака из генератора переходит в абсорбер, поглощая пары хладагента из испарителя и разбавляясь ими. Разбавленный раствор аммиака перекачивается в генератор, где цикл начинается снова. Таким образом, охлаждаемая вода направляется для охлаждения воздуха в салон транспортного средства.

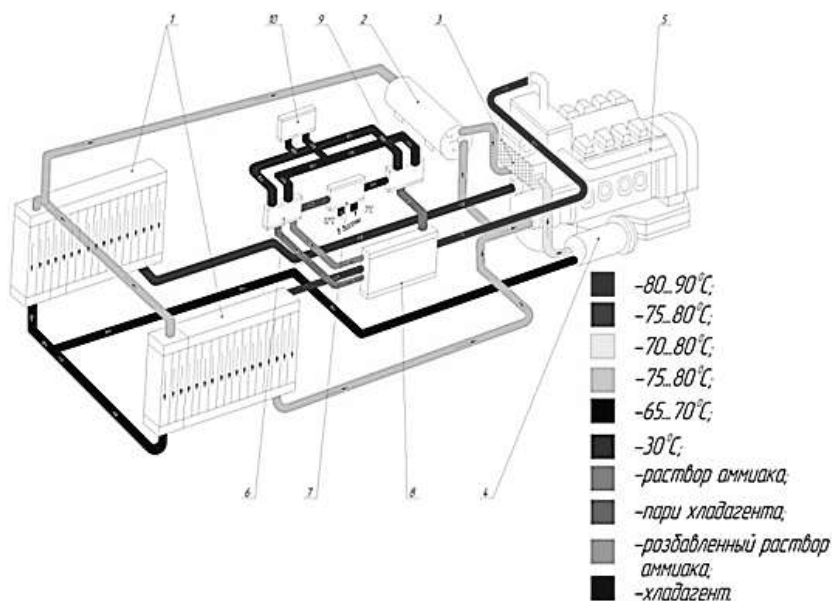


Рис. 7. Схема системы охлаждения дизеля дизель-поезда

Исследования показывают, что одним из слабых узлов при работе грузовых автомобилей на карьерных отвалах является коробка передач, то есть трансмиссия (рис. 8).

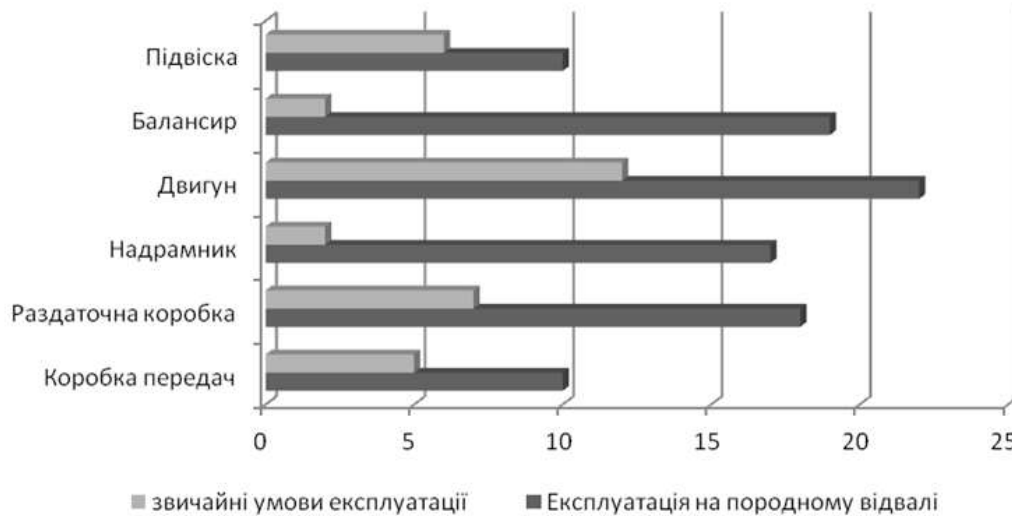


Рис. 8. Систематические отказы в автосамосвалах КрАЗ при работе на породных отвалах

Для больших грузовых автомобилей перспективным является использование электрической трансмиссии. Проведенные производителем современных перспективных автомобилей большого тоннажа, автозаводом БелАЗ, исследования показали, что гидромеханическую трансмиссию целесообразно ставить на машинах грузоподъемностью до 65 тонн [16]. Для автомобилей большего тоннажа, например БелАЗ-549, предпочтительнее электрическая трансмиссия, где нет муфт сцепления, шестеренчатых коробок передач и карданных валов. Она помогает получить высокие тяговые и регулировочные показатели, бесступенчатое регулирование скорости в широком диапазоне, отличаются высокой надежностью и длительным сроком службы. Кроме того, электрическая трансмиссия благодаря применению унифицированных мотор-колес позволяет без значительного усложнения конструкции вводить в действие необходимое количество колес автомобиля или автопоезда, словом, создать несколько унифицированных модификаций автомобилей с разным числом ведущих колес.

Основной источник энергии – двигатель – дает вращения тяговому генератору постоянного тока, смонтированному вместе с ним на подмоторной раме. От генератора получают питание два тяговые электродвигатели, каждый из которых через муфту соединен с шестеренчатым планетарным двухрядным редуктором, встроенным в ступицу заднего колеса. Весь этот узел называется мотор-колесом [17].

Для улучшения эффективности работы такой трансмиссии предлагается заменить один двигатель внутреннего сгорания двумя двигателями меньшей мощности (рис. 9). При этом генератор должен быть выполнен машиной двойного вращения, т.е. и статор и ротор должны вращаться в разные стороны двумя дизелями, что позволит повысить в 2 раза суммарную частоту вращения генератора.

Преимущества предложенной схемы:

- повышение КПД автомобиля за счет того, что при заданных величинах мощности дизелей используется генератор в виде машины двойного вращения с контрвращением статора и ротора, позволяя на 50% увеличить количество вырабатываемой электрической энергии без использования более мощных громоздких дизельных установок;

– применение генератора с контрвращением статора и ротора позволяет гасить амплитуду колебаний коленчатых валов дизелей в определенном диапазоне, что позволит улучшить характеристики мощности генератора и повысить его КПД.

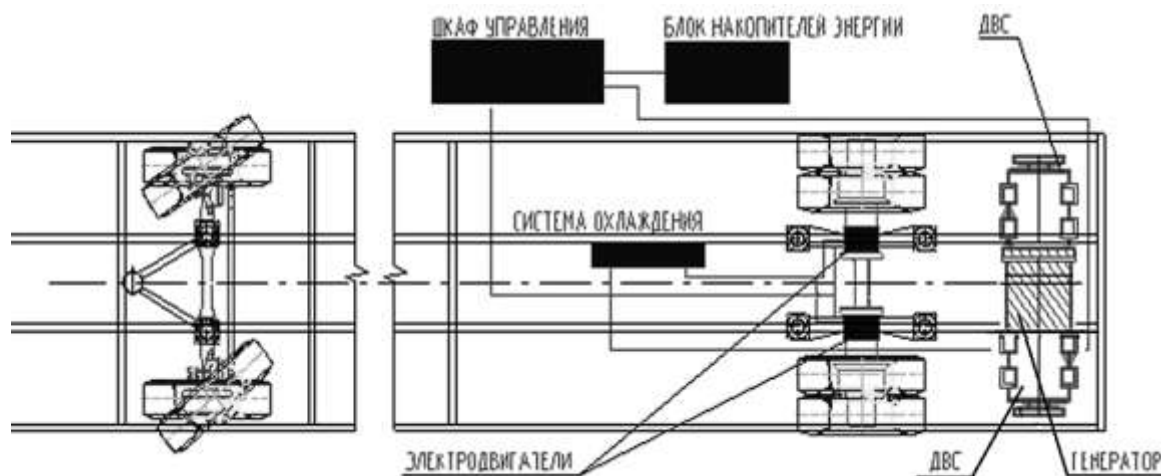


Рис. 9. Предлагаемая силовая схема транспортного средства с электрической передачей мощности

Выводы

Проведенные предварительные исследования энергетических резервов транспортного средства, позволили установить возможные направления его совершенствования. В частности, обоснована целесообразность использования энергии сжатого воздуха, выпускаемого из тормозной системы, при отпуске тормозов и предложены направления его использования. А также показана перспективность использования энергии электродинамического торможения для совершенствования работы силовой энергетической установки (получение озона, водорода) и улучшения условий контактирования колеса с рельсом (электризация песка, подача озонированного воздуха). Предложены способы использования тепловой энергии системы охлаждения тепловозного дизеля, совершенствования электрической передачи мощности.

Список литературы

1. Parry M. L. Millions at risk: defending critical climate change threats and targets / M.L. Parry, N.W. Arnell, T. McMichael, R. Nicolls, W.J.M. Martens, S. Kovats, M. Livermore, C. Rosenzweig, A. Iglesias, G. Fischer // *Global Environmental Change* - V. 11, 2001. - Pp. 181 – 183.
2. WWF Energy Task Force, 2006, Information from web site www.panda.org.
3. IEA International Energy Agency. Energy Technology Perspectives – 2006, 479 pp. www.iea.org.
4. Романов К. Двигателестроение как драйвер роста ОПК/ К. Романов// РЦБ. – №11. – 2007.
5. Viarshyna H. Method for combustion control in diesel engines/ H. Viarshyna, A. Volochko, A. Pilatau, E. Nozhenko, A. Izabela// *International Congress of Heavy Vehicles, Road Trains and Urban Transport. Book of Papers. Part. 2.* – Minsk, 2010. – Pp. 69 – 73.
6. Васильев И.П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля: монография / И.П. Васильев. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2009. – 240 с.
7. Stan C. Verbrennungssteuerung durch Selbstzundung. Teil 1: Thermodynamische Grundlagen / C. Stan, Ph. Guibert // *MTZ*. - Vol. 65, №1. – 2004. – P. 57 – 62.
8. Горбунов Н.И., Ноженко Е.С., Могила В.И., Коршко М.Н. Анализ энергетических резервов локомотива и разработка технических решений, направленных на создание энергоэффективного транспортного средства / Н.И. Горбунов, Е.С. Ноженко, В.И. Могила, М.Н. Коршко // *Вісник СНУ ім. В.Даля*. – 2012. - №5 (176), Ч. 2. – С. 152 – 156.
9. Ноженко Е.С. Повышение энергетической эффективности тепловоза активацией рабочих сред: дисс... канд. техн. наук: 05.22.07/ Е.С. Ноженко. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2010. – 207 с.

10. Балабин В.Н. Перспективы развития локомотивных энергетических установок нового поколения. / В.Н. Балабин // Железнодорожный транспорт. – 2007. № 4. – С. 52 – 56.
11. Марков В.А. Характеристики топливной подачи транспортных дизелей / В.А. Марков, В.Г. Кислов, В.А. Хватов.– Москва: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1997. – 160с.
12. GREEN CAR CONGRESS, 2005.: <http://www.greencarcongress.com/>
13. Дульский Е.Ю. Автоматизация системы вентиляции электровоза путем применения программируемого микроконтроллера / Е.Ю. Дульский, А.М. Худоногов // Сборник материалов научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов электромеханического факультета ИрГУПС. Часть 1. – 2011. – С. 118 – 123.
14. Камаев А.А. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов: учебник для студентов вузов./ А. А. Камаев, Н. Г. Апанович, В. А. Камаев и др.; Под ред. А. А. Камаева. – М.: Машиностроение, 1981. – 351 с.
15. Тепловоз 2ТЭ116(М) охлаждающее устройство дизеля. Расчет. 2624.00.00.000 РР1. – Луганск: «Лугансктепловоз», 2006. – С. 16.
16. Егоров А.Н. Тенденции развития конструкции большегрузной карьерной техники производства РУПП "БелАЗ" /А.Н. Егоров // "Горное оборудование и электромеханика" – № 1, 2008. – С. 2 – 4.
17. Егоров А.Н., Войтов В.Т. Силовые агрегаты карьерных автосамосвалов / А.Н. Егоров, В.Т. Войтов // Горный журнал. – Специальный выпуск. – 2004. – С. 50 – 55.

Ноженко О.С. Енергетичні резерви систем транспортного засобу

Анотація. У статті представлено аналіз енергетичних резервів транспортного засобу та запропоновано шляхи їх використання. Розглянуто можливість раціонального використання енергії стисненого повітря, що викидається з гальмівної системи при відпуску гальм, енергії електродинамічного гальмування, теплової енергії системи охолодження, електричної системи передачі потужності та підвищення ККД силової енергетичної установки.

Ключові слова: енергетичні резерви, транспортний засіб, витрата палива, ККД.

Nozhenko E.S. Energy reserves vehicle systems

Abstract. This paper presents an analysis of the energy reserves of the vehicle and the ways of using them. The possibility of energy efficiency of compressed air ejected from the brake system with brake supply, energy electrodynamic braking heat cooling systems, electric power transmission systems and increasing power efficiency power plant.

Keywords: energy reserves, vehicle, fuel consumption, efficiency.

Стаття надійшла до редакції 19.01.2014 р.