

УДК: 629.11.02/98

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С СИСТЕМАМИ
РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ ТОРМОЖЕНИЯ

Никонов В. О., Посметьев В. И., Латышева М. А.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова»

Email: 8888nike8888@mail.ru

Эксплуатация грузового автомобильного транспорта сопряжена с множеством проблем. Первой проблемой является исчерпаемость природных ресурсов. По прогнозу президента крупнейшей саудовской нефтяной компании Abdallah Jum'ah запасов нефти на планете при нынешних темпах потребления хватит еще на 140 лет. Вторая проблема связана с ухудшением экологии при эксплуатации автомобильного транспорта, на который приходится значительная часть общего количества выбросов, загрязняющих окружающую среду. Так, один автомобиль ежегодно поглощает из атмосферы в среднем более 4 т кислорода, выбрасывая при этом с отработанными газами примерно 800 кг угарного газа, 40 кг оксидов азота и почти 200 кг различных углеродов. Учитывая тот факт, что в России большая часть автопарка грузовых автомобилей не сегодняшний день состоит из транспорта с низкими экологическими показателями, можно утверждать, что научные и конструкторские работы, направленные на снижение содержания вредных веществ в отработавших газах, являются актуальными [1].

При движении транспортных средств, особенно в условиях бездорожья, ему почти постоянно приходится разгоняться и тормозить. При этом при торможении кинетическая энергия машины переходит в потенциальную энергию и безвозвратно рассеивается в виде тепла в окружающую среду. Для того чтобы использовать эту энергию, и, следовательно, улучшить экологические показатели автомобильного транспорта за счет снижения расхода топлива и уменьшения количества выбросов в окружающую среду, применяют различные комбинированные энергетические установки с системами рекуперации энергии, разработки которых ведутся во всем мире на протяжении уже многих десятилетий.

Известно устройство [2] для рекуперации энергии торможения, в составе

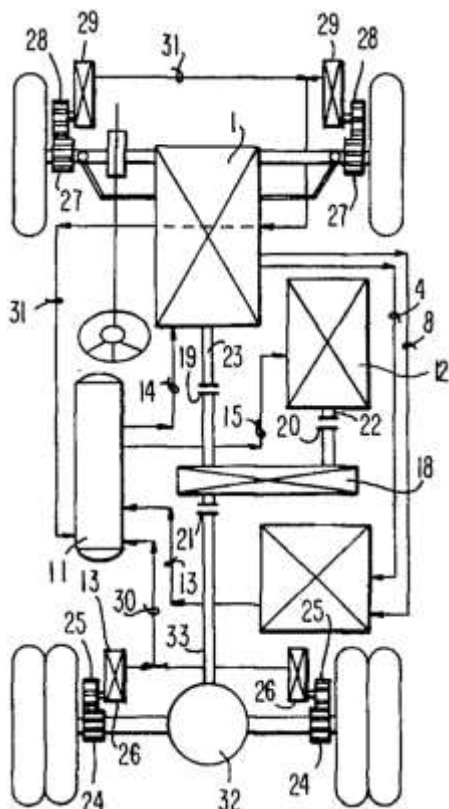


Рисунок 1 – Схема устройства для рекуперации энергии торможения по патенту US 5549177

которого используют вместо тормозного контура задней и передней оси транспортного средства воздушные компрессоры 26, 29 с переменной степенью сжатия, установленные на все колеса транспортного средства и воздушный ресивер 11 для аккумуляции сжатого воздуха при торможении. Накапливаемая энергия сжатого воздуха далее может расходоваться для движения транспортного средства (рис. 1). Недостатком данного устройства является низкий КПД приводящий к снижению аккумуляции энергии сжатого воздуха в результате рассеивания тепла в компрессоре, трубопроводах и ресиверах.

Известно устройство [3] кинематически связанное с колесами транспортного средства, содержащее ресивер для аккумуляции энергии сжатого воздуха при закачивании жидкости в режиме торможения, которая далее может быть возвращена для движения транспортного средства путем вытеснения сжатым воздухом под давлением жидкости из ресивера и приведения в работу гидромашины передающей движение колесам (рис. 2). В процессе торможения транспортного средства масло прокачивается по гидро-

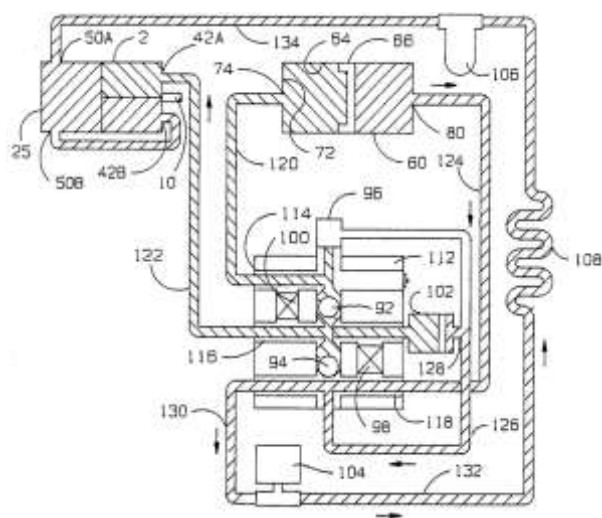


Рисунок 2 – Гидравлическая схема рекуперативного привода транспортного средства по патенту US 4986383

линии 122 и поступает в амортизатор 102, далее из заднего порта амортизатора 102 поступает в гидролинию 128 и через клапан 92 вытесняется в переднюю камеру ресивера 60. Поршень 66 в процессе зарядки ресивера 60 с увеличением давления жидкости перемещается, сжимая пружину. Недостатком данного устройства является возникновение конденсата в ресивере, в результате передачи тепла жидкости от сжимаемого в ресивере 60 воздуха.

Известно устройство [4], содер-

жащее аккумулятор механической энергии выполненный в виде ротационно-пластинчатого компрессора, кинематически соединенного с колесами транспортного средства и трубопроводами с ресиверами и органами управления, и установлен с возможностью аккумулировать и расходовать энергию сжатого воздуха в ресивере соответственно при торможении и движении, а также содержит теплообменник, установленный с возможностью теплообмена сжатого воздуха, циркулирующего между ресивером и аккумулятором механической энергии. Тормозящее действие происходит при увеличении момента сопротивления на роторе ротационно-пластинчатого насоса при нагнетании сжатого воздуха в ресивер, когда он подключен к колесам. При этом нагнетание сжатого воздуха может происходить как при легком притормаживании, так и до полной остановки транспортного средства. Аккумулирование энергии сжатого воздуха в ресивере может быть почти полностью возвращено при обратном прохождении сжатого воздуха из ресивера через рабочие камеры компрессора при разгоне и движении. При нажатии педали тормоза 20 отклоняется золотник 18 и его проходное отверстие совмещается с отверстиями в самой колодке 16 (рис. 3). Ресивер 14 в этот момент не заполнен сжатым воздухом. От постороннего источника сжатого воздуха давление передается по трубопроводу 21 к вспомогательному цилиндру 22, который переводит ручку 3 вместе с золотником компрессора 1 в положение режима работы компрессора. Одновременно поршневой диск 6

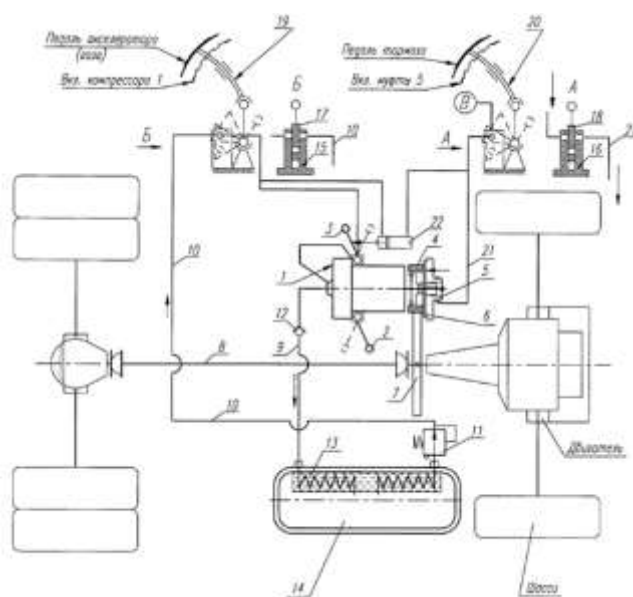


Рисунок 3 – Кинематическая схема рекуперативного привода по патенту 2214928 РФ

фрикционной муфты 5 сцепляется с односторонней обгонной муфтой 4. После процесса сцепления на роторе компрессора 1 возникает момент сопротивления, который передается по кинематической цепи на колеса шасси. Сжатый воздух начинает поступать по трубопроводу 9 через обратный клапан 12, теплообменник 13 в ресивер 14.

Известно устройство [5] для рекуперации энергии при торможении транспортного средства, содержащее главный тормозной цилиндр, трубопроводы, рабочую тормозную

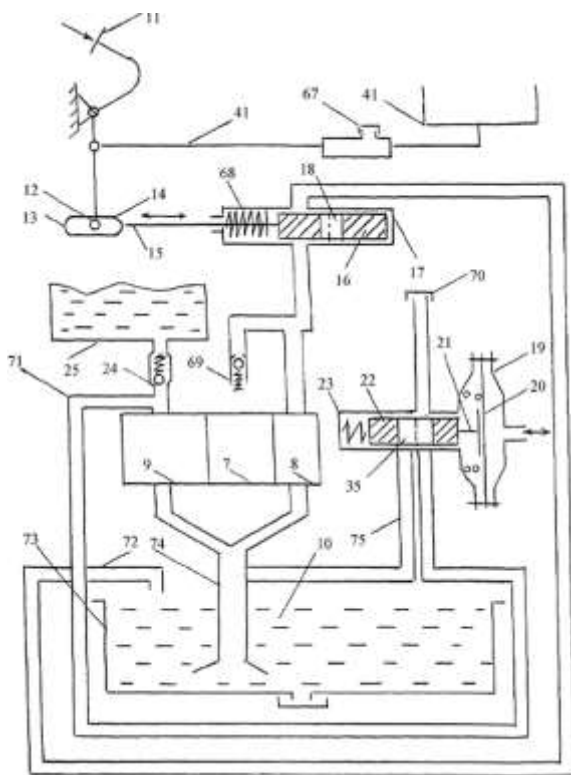


Рисунок 4 – Гидравлическая система рекуперативного гидропривода по патенту 2355592 РФ

жидкость и обратный клапан, ротор гидродвигателя жестко закрепленный на вторичном валу коробки передач, насосы малой и большой подачи рабочей жидкости, гидрокамеру и гидроаккумулятор рабочей жидкости (рис. 4). При воздействии на педаль тормоза 11, штифт 12, перемещаясь в окне 14, через тягу 15 сжимает пружину 68, перемещает плунжер 16 и окно 18, отключив, таким образом, нагнетательную полость насоса 8 от трубопровода 72. Одновременно от перемещения тяг 41 работает главный тормозной цилиндр 67. Тормозная жидкость по трубопроводу 41 поступает в рабочие тормозные цилиндры 40, компенсируется зазор 42, происходит процесс торможения. С этого момента из емкости 73 рабочая жидкость 10 через трубопровод 74 поступит во всасывающую полость насосов 8 и 9, работающих за счет вращения: ведущих колес 36, карданного вала 37, вторичного вала 5, шестерни 6, деталей дифференциального механизма 7, причем данное вращение происходит за счет кинетической энергии процесса торможения транспортного средства. Так как из нагнетательной полости насоса 8 малой подачи рабочей жидкости 10 деваться некуда, ведущий вал 38 и шестерня 44 автоматически перестанут вращаться. С этого момента шестерня 45 и ведущий вал 39 автоматически начнут вращаться в два раза быстрее, следуя закону теоретической механики, насос 9 через обратный клапан 21 интенсивно начнет заполнять гидроаккумулятор 25 рабочей жидкостью 10 под избыточным давлением.

Известно устройство [6] для рекуперации энергии транспортного средства, содержащее аккумулятор энергии, гидробак, гидродвигатель и два гидроцилиндра, поршни которых кинематически связаны со штоками управления разгоном и торможением, кожух полуоси колеса с закрепленным цилиндром подвески, разделенный на две полости поршнем со штоком, соединенным с остоном транспортного средства, причем эти полости соединены по гидромаги-

стралям через обратные клапаны с гидробаком, а через регулируемые дроссели и клапаны прямого действия с аккумулятором энергии, связанным через предохранительный клапан со сливной магистралью и напорной магистралью, гидравлически связанной с корпусом, в котором установлен гидроклапан, через который обеспечивается поступление жидкости из аккумулятора энергии к гидродвигателю, выполненный в виде поршня со штоком, на котором с возможностью перемещения установлен гидроклапан в виде поршня, через который обеспечивается нагнетание жидкости гидродвигателем в аккумулятор энергии, а между этими гидроклапанами установлена пружина.

При торможении штоком 40 педали торможения отжимают поршень в цилиндре 38, тогда жидкость из цилиндра 38 поступает по магистрали 42 через клапан прямого действия 44 к блоку управления 45 муфтой 5 и в полость 36 обратного гидроклапана 32 (рис. 5). При этом муфта 5 замыкается, что приводит к работе гидродвигателя 4 в режиме работы гидронасоса, а поршень 32 перемещается вправо и совмещает кольцевыми канавками гидромагистраль 47 и открывает гидроклапан 34, соединяя его с напорной магистралью 29. В этот момент рабочая жидкость через обратный клапан 48 из гидробака 1 через радиатор 2 гидродвигателем 4 (работающий в режиме насоса) нагнетается в пневмогидравлический аккумулятор 3 по гидромагистрали 47, через

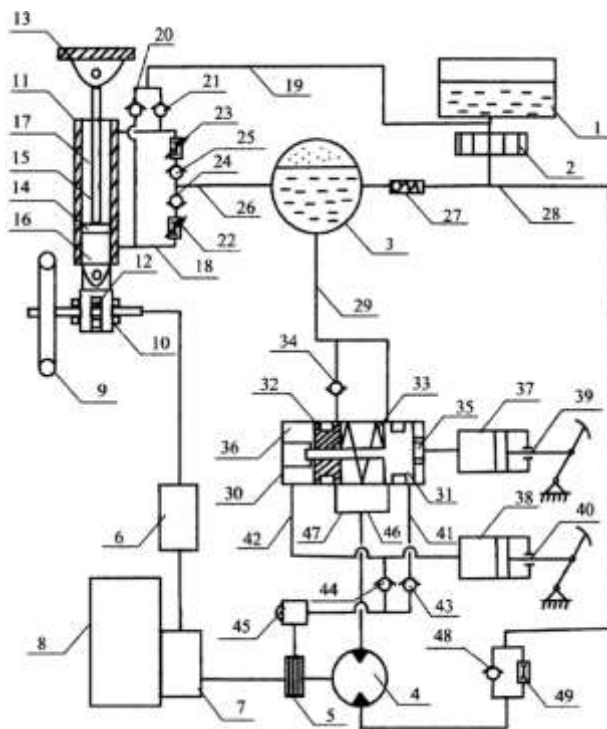


Рисунок 5 – Кинематическая схема рекуперативного привода по патенту 2193977 РФ

ккумулятор 3 по гидромагистрали 47, через кольцевые канавки поршня 32 (обратного гидроклапана), гидроклапан 34 и напорную магистраль 29, нагружая колеса тормозным моментом. При этом гидроклапан прямого действия остается неподвижным за счет упора в корпус 30. Гидромагистрали 29 и 46 разделены. Если торможение длительное (езда под гору), то может оказаться, что пневмогидравлический аккумулятор 3 полностью заряжен, тогда открывается предохранительный клапан 27 и энергия тратится на дросселирование жидкости через данный клапан.

Известно гидравлическое гибридное транспортное средство [7], содер-

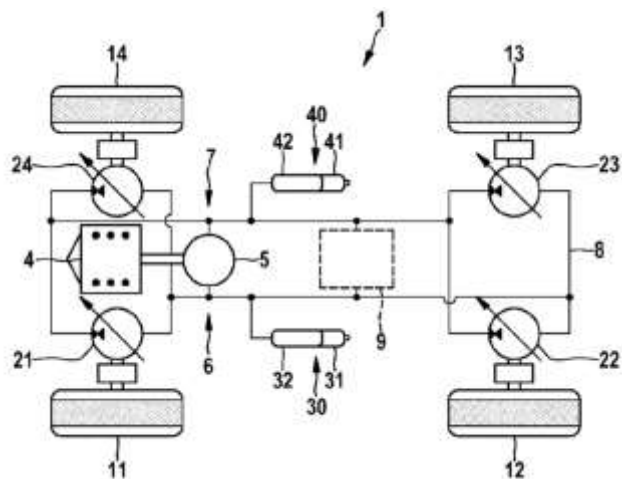


Рисунок 6 – Гидравлическая схема транспортного средства с рекуперацией энергии торможения по патенту 2015104131 EN

схема данного транспортного средства включает в себя двигатель внутреннего сгорания 4, гидростатический привод 5, гидравлический насос, гидростат 5 соединенный входной стороной области 6 низкого давления и выходной стороной с областью 7 высокого давления. Гидравлическая система 8 включает в себя гидравлические линии и блок клапанов. Гидравлический привод 1 дополнительно содержит четыре ведомых колеса 11-14. Каждый из ведомых колес 11-14 связан с гидростатическим 21-24, который соединен с соответствующей втулкой ведомого колеса 11-14. Гидростаты 21-24 могут эксплуатироваться как гидравлические насосы и как гидравлические двигатели. Область 6 низкого давления содержит аккумулятор 30 низкого давления с газовой 31 и масляной 32 стороной. Область 7 высокого давления содержит аккумулятор 40 высокого давления с газовой стороной 41 и масляной 42.

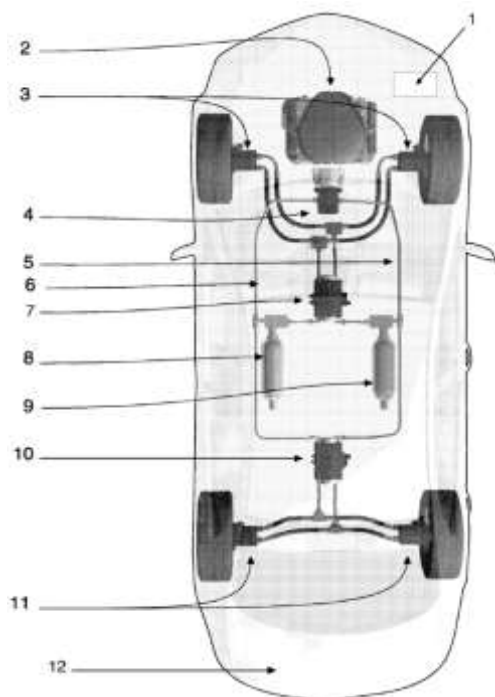


Рисунок 7 – Гидравлический привод транспортного средства по патенту US 20140166387

жащее в качестве первичного привода двигателя внутреннего сгорания и в качестве вспомогательного привода, по меньшей мере, два гидростата, из которых, по меньшей мере, один преобразует в энергию рекуперации энергию торможения в гидравлическую энергию, которая хранится в гидравлическом аккумуляторе давления, в частности во время длительных спусков (рис. 6). Гидравлическая

схема данного транспортного средства включает в себя двигатель внутреннего сгорания 4, гидростатический привод 5, гидравлический насос, гидростат 5 соединенный входной стороной области 6 низкого давления и выходной стороной с областью 7 высокого давления. Гидравлическая система 8 включает в себя гидравлические линии и блок клапанов. Гидравлический привод 1 дополнительно содержит четыре ведомых колеса 11-14. Каждый из ведомых колес 11-14 связан с гидростатическим 21-24, который соединен с соответствующей втулкой ведомого колеса 11-14. Гидростаты 21-24 могут эксплуатироваться как гидравлические насосы и как гидравлические двигатели. Область 6 низкого давления содержит аккумулятор 30 низкого давления с газовой 31 и масляной 32 стороной. Область 7 высокого давления содержит аккумулятор 40 высокого давления с газовой стороной 41 и масляной 42.

Известно транспортное средство 12 с гидравлическим приводом [8], который включает в себя двигатель 2 внутреннего сгорания, гидравлический насос 4 перекачивающий гидравлическую жидкость из гидролинии 6 низкого давления в гидролинию 5 высокого давления (рис. 7). Гидролиния 6 низко-

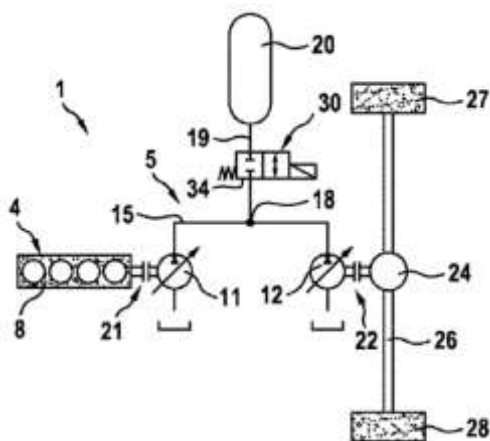


Рисунок 8 – Гидравлический привод транспортного средства по патенту US20140372007

го давления соединена с аккумулятором 8 низкого давления, а гидролиния 5 соединена с аккумулятором 9 высокого давления. Все четыре колеса автомобиля 12 оборудованы мотор-колесами 3, 11, которые соединены с гидравлическими трансформаторами 7, 10 посредством гидролиний 5 и 6. Мотор-колеса 3, 11 выполнены таким образом, что могут работать в режиме движения как двигатель для привода колеса 22 и во время торможения транспортного средства 12 как насос, накапливающий гидравлическую энергию путем перекачивания гидравлической

жидкости обратно в гидролинию 5 высокого давления.

Известен гидропривод [9] транспортного средства, включающий в себя двигатель внутреннего сгорания, гидравлический насос, гидравлический двигатель и пневмогидравлический аккумулятор (рис. 8). Компоненты привода могут работать в разных режимах. Гидравлический двигатель при торможении транспортного средства может работать как насос, преобразующий кинетическую энергию транспортного средства в гидравлическую энергию, накапливаемую в пневмогидравлическом аккумуляторе.

Одной из самых ранних, и из известных автомобилей, использующих систему рекуперации энергии при торможении являлась Тойота Приус. В устройстве гибридной силовой установки Тойоты Приус совмещены полуторалитровый ДВС, генератор переменного тока, тяговый электродвигатель, выполненный в виде обратной электрической машины переменного тока с аккумуляторной батареей. Тот и другой двигатели передают крутящий момент на ведущие передние колеса посредством редуктора. Смонтированный за ДВС планетарный механизм распределяет поток мощности на две части: первая направляется на редуктор главной передачи, вторая направляется к генератору переменного тока, от которого за счет установленного преобразователя подзаряжает накопитель энергии, приводящий при необходимости в работу тяговый электромотор. В процессе торможения электрический мотор работает в режиме генератора и через установленный преобразователь заряжает электроэнергией аккумуляторную батарею. Для накопления электроэнергии используется Ni-металлгидридная аккумуляторная батарея состоящая из 40 емкостей на 240 А·ч, созданная при участии компании Panasonic. На основе

проведенных испытаний этих автомобилей выявлено, что количество монооксида выбрасываемого в атмосферу сократилось в 12,5 раза, углеводов в 4,7 раза, что соответствует требуемым действующим нормам Евро-3. Расход бензина составил 3,6 л на 100 км [10].

Крупные компании из США разработали и выпустили автобус на 22 места с гибридной силовой установкой, состоящей из ДВС и электрического привода. Задние колеса 22 местного автобуса оснащены мотор-колесами с встроенными в них электрическими двигателями с мощностью – 7 кВт. В этом 22 местном автобусе используется известный ранее принцип рекуперативного накопления энергии при торможении. В процессе торможения автомобиля, при нажатии водителем на педаль тормоза происходит переключение электрических двигателей, установленных в мотор-колесах программой управления в режим работы электрического двигателя в роли генератора, осуществляя накопление электрической энергии в аккумуляторе.

В Московском государственном техническом университете ранее проводились исследования по изучению легкового автомобиля на базе автомобиля особо малого класса «Мишка», который позволяет в фазе замедления накапливать энергию. На перспективном автомобиле «Мишка» установлены четыре мотор-колеса, мощность отдельного из них составляет 2,5 кВт. Энергия, накапливаемая в процессе торможения мотор-колес сразу же используется в работе. Устройство накопления энергии состоит из нескольких аккумуляторных батарей, мощностью 10 кВт, обеспечивающих питанием 120 Вт приводных электродвигателей с общим запасом энергии, которого хватает для преодоления дистанции в 30 км.

Рекуперативные системы торможения нашли применение и в дорожно-строительных машинах. В этих системах независимо от типа и назначения привода кинетическая энергия, которая раньше при торможении рассеивалась, накапливается в аккумуляторных устройствах, а затем эффективно используется, снижая при этом расход топлива на 3-30 %. Одним из успешных примеров данного применения на погрузчиках демонстрируют компании Volvo и TCM. Благодаря гибридным приводам с рекуперацией энергии торможения на погрузчике L220F фирмы Volvo достигается экономия топлива 10 %, а компания TCM на имеющихся погрузчиках уменьшает расход до 30 %. Сейчас в наибольшей степени разработаны силовые установки комбинированного типа, состоящие из теплового двигателя, электрического генератора, тягового электрического двигателя с трансмиссией, электрохимического аккумулятора, мотор-колеса [11].

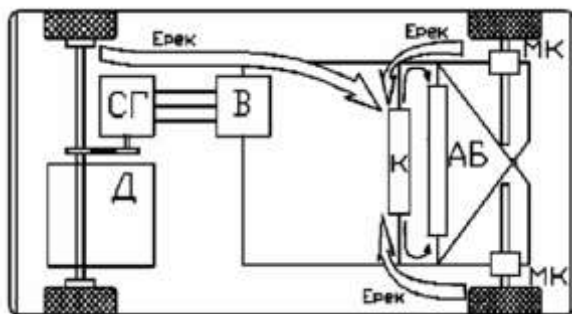


Рисунок 9 – Схема работы системы рекуперации энергии при торможении

Схема работы системы рекуперации энергии при торможении электрического автомобиля с гибридным двигателем и с накопителем энергии, включающем блок суперконденсаторов и аккумуляторную батарею приведена на рисунке 9. ДВС приводит во вращение установленный на одном валу синхронный генератор тягового типа. Синхронный генератор тягового типа генерирует переменный трехфазный ток, который с помощью выпрямителя преобразуется в постоянный ток. Схема состоит из двух частей: передний мост и задний мост. Задний мост состоит из двух параллельно установленных двигателей постоянного тока ($P = 22$ кВт) независимого возбуждения. Параллельно выпрямителю переменного тока устанавливается накопитель энергии, включающий в себя аккумулятор и суперконденсатор. В процессе рекуперативного торможения вращение генератора осуществляется через переднюю ось и механическую передачу, вращение мотор-колес функционирующих в генераторном режиме осуществляется через заднюю ось. Все количество вырабатываемой в процессе рекуперативного торможения энергии переходит на конденсатор до полного заполнения его емкости. При полной зарядке конденсатора в процессе рекуперативного торможения избыточная энергию передается на аккумулятор. Подзарядка конденсатора от генератора продолжается [12].

В гидросистемах специализированных машин широкое распространение получили гидропневмоаккумуляторы, использование которых позволяет решить широкий спектр вопросов, в том числе таких, как снижение установочной мощности гидронасосов и обеспечение их разгрузки, когда для питания потребителей достаточным источником энергии является сам аккумулятор. Кроме того, для повышения эффективности работы машины не рекомендуется нагружать первичный двигатель внутреннего сгорания (ДВС), так как это увеличивает износ его деталей и других узлов машин [13].

Основными компонентами, входящими в состав гидравлических гибридных силовых установок специализированных машин, являются ДВС, насосомоторы, аккумулятор высокого давления и блок низкого давления, трубопроводы, электронный блок управления. По данным существующих исследований

эффективности использования энергии, экономичность и эксплуатационные характеристики гидравлических гибридов не уступают электрогибридам, а по некоторым основным параметрам превосходят их. Как отмечают производители, гидравлическая гибридная технология имеет большой коммерческий потенциал для широкого диапазона транспортных средств, которые совершают частые кратковременные остановки, такие как грузовики, лесовозные автопоезда доставляющие продукцию потребителям [14].



Рисунок 10 – Схема автомобиля с системой рекуперации энергии торможения

Наиболее перспективным в настоящее время являются системы рекуперации энергии торможения авто-транспортных средств, у которых часть кинетической энергии автомобиля в процессе торможения переводится в энергию сжатого газа в пневмогидравлическом аккумуляторе или гидрогазовом накопителе (рис. 10) [15].

В работе [16] представлена гидравлическая схема системы рекуперации, которую используют для утилизации энергии торможения (рис. 11). Процесс ее функционирования разделяется на несколько частей: движение жидкости по инерции через клапан 1; изменение объемов воздуха V_1 и V_2 в сосудах, вследствие чего давление в первом сосуде уменьшается, а во втором увеличивается; открывание клапанов 2 и 3 для запуска гидромотора 4, который функционирует за счет разности давлений; получение добавочной мощности с гидромотора 4, соединенного с приводом автомобиля, и выравнивание давлений в сосудах. Полученные в работе соотношения

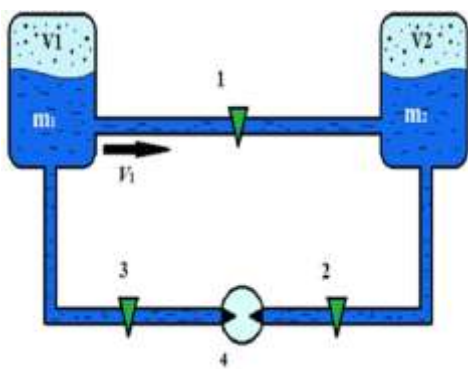


Рисунок 11 – Принципиальная схема гидравлической системы

позволили оценить эффективность приведенной гидравлической системы рекуперации установленной на автобусе ЛИАЗ-5256. Расчет показал, что величина утилизированной энергии торможения за смену в 1,9 раз превышает работу автобуса, затраченную на перевозку гидравлической системы.

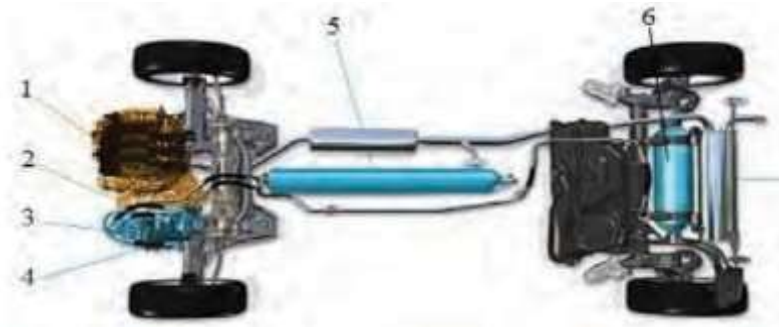
В статье [17] раскрывается сущность автопоезда, у которого привод колес прицепного звена осуществляется дополнительным

вспомогательным электрическим модулем. Дополнительный модуль обеспечивает необходимую мощность основному двигателю на подъемах. Модуль оснащен специальной тормозной системой, которая использует технологию подзарядки бортовых аккумуляторов при торможении (режим рекуперации энергии). Система работает по принципу гибридного автомобиля.

Известна система рекуперации кинетической энергии KERS [18], которая позволяет накапливать кинетическую энергию, возникающую при торможении средств передвижения, и использовать ее для придания дополнительного ускорения в момент разгона. Существуют три вида системы рекуперации кинетической энергии: электрическая, механическая и гидравлическая. Гидравлическая система KERS использует торможение для накопления гидравлического давления, которое можно будет передать на колеса при необходимости.

Гидропривод с рекуперацией энергии торможения, имеющей в своем составе гидромоторы применялся в легковых автомобилях группой PSA Peugeot Citroen, в сотрудничестве с компанией Bosch при изготовлении концепт-кара Peugeot 2008. Hybrid Air применялся не ради полного привода, а как часть гибридной трансмиссии (рис. 12). При торможении гидравлический насос 3, встроенный в трансмиссию перекачивает рабочую жидкость из баллона низкого давления 6 в баллон высокого давления 5, где жидкость сжимает газ. При ускорении обратный порядок. Преимуществом этой системы является сокращение затрат на топливо до 45 %, сокращение выбросов CO₂, компактность и отсутствие механической связи между двигателем и колесами, что позволяет не применять раздаточную коробку и карданный вал.

Корпорация Eaton запустила в серийное производство аккумулирующую гидравлическую систему Hydraulic Launch Assist (HLA), которая может быть встроена в шасси грузового автомобиля, благодаря чему он станет гибридным



1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – коробка передач; 3 – гидравлический насос; 4 – гидравлический мотор; 5 – баллон высокого давления; 6 – баллон низкого давления

Рисунок 12 – Гибридная система Hybrid Air

транспортным средством. Система HLA регенерирует энергию торможения в гидроаккумуляторе. Затем по мере необходимости эту энергию можно использовать для ускорения машины. Технология компании Eaton может рекуперировать до 75 % кинетической энергии торможения, что выглядит более перспективным в сравнении с 25 % электрогибридными приводами [19].

Надо отметить, что гидроагрегаты системы можно легко вмонтировать в стандартное шасси автобусов или коммунальной техники, к тому же цена встраиваемых компонентов будет намного дешевле, чем различные альтернативные ДВС / электрических приводов.



Рисунок 12 – Мусоровоз Peterbilt 320 Hybrid

Этим уже воспользовалась фирма Peterbilt Motors Company и выпустила тяжелый мусоровоз Model 320 Hybrid (рис. 12). Дорожные испытания коммунального грузовика показали, что мусоровоз Peterbilt Model 320 Hybrid потребляет на 30 % меньше топлива и выделяет на 40 % меньше вредных отработанных газов.

Кроме этого, применение регенеративной тормозной системы способствует тому, что дизель-гидравлический гибрид почти не истирает тормозные колодки, а это, в свою очередь, ведет к снижению (более чем в два раза) затрат на техническое обслуживание всего транспортного средства.

Существуют и другие теоретические разработки с использованием гидрогибридных трансмиссий, например, дизель-гидравлический гибрид Ingocar, разработанный инженером Инго Валентином (рис. 13). В основе гибридной полноприводной платформы Ingocar лежит вспомогательный двигатель внутреннего сгорания, гидроаккумулятор и гидравлические мотор-колеса. Компактный турбодизель закачивает жидкость из бака в гидравлический аккумулятор. Внутри аккумулятора находится прочный эластичный резервуар, наполненный азотом. Тепловая энергия сгорания топлива преобразуется в механическую энергию сжатого газа. Из аккумулятора жидкость под большим давлением поступает через трубопровод на гидростатические мотор-колеса, и автомобиль приходит в движение. Когда аккумулятор полностью заряжен, двигатель автоматически отключается, а при необходимости пополнения запаса энергии запускается вновь.

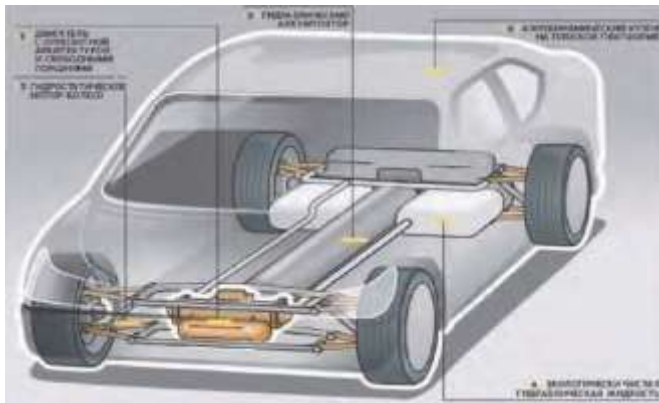


Рисунок 13 – Схема дизель-гидравлического гибрида Ingocar

При торможении поток гидравлической жидкости в мотор-колесе перенаправляется с помощью клапана обратно в аккумулятор. Давление жидкости быстро достигает пиковых нагрузок, и мотор-колесо замедляет вращение. Теряется лишь незначительное количество энергии торможения, большая же ее часть, от 70-85 %, идет на сжатие азота. В этом цикле мотор-

колесо работает как помпа, по тормозному усилию не уступая дисковым тормозам современных автомобилей. При торможении со скорости 100 км/ч до полной остановки автомобиля накопленная энергия регенеративного торможения позволит Ingocar снова разогнаться от нуля до 70-85 км/ч [19].

Российские и зарубежные исследователи внесли большой вклад в создание теоретических основ по обоснованию эффективности рекуперации энергии при торможении. Несмотря на это по причине специфических особенностей эксплуатации различных транспортных средств, нельзя механически применять результаты этих разработок на все транспортные средства, несмотря на то, что они содержат ряд удачных идей и представляют определенный методический интерес. К настоящему времени все еще отсутствуют удовлетворительные схемные решения и научные подходы, направленные на рекуперацию энергии при торможении гидромоторов колес лесовозных автомобилей. Причиной этому являются трудности решаемых задач, недостаточные масштабы и глубина исследований по обоснованию конструктивных и рабочих параметров рекуперативных систем лесовозных автомобилей, с учетом технологических особенностей выполняемых работ. В этой связи, проводимые в ВГЛТУ исследования в рассматриваемом направлении являются своевременными и актуальными [20-25].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Илимбетов, Р. Ю. Разработка компоновочной схемы комбинированной энергетической установки для грузового автомобиля с улучшенными экологическими показателями [Текст] / Р. Ю. Илимбетов, А. М. Астапенко //

Вестник ЮУрГУ. Серия Машиностроение, 2013. – Том 13. – № 1. – С. 72-79.

2 Патент на изобретение 5549174 US, МПК В60К 6/12. Recovery system for dissipated energy of an engine motor vehicle during its running condition [Текст] / Reis Gianluigi ; заявитель и патентообладатель REIS GIANLUIGI – № 8311136 ; заявл. 23.09.1994 ; опубл. 27.08.1996.

3 Патент на изобретение 4986383 US, МПК В60К 6/12. Vehicle braking system for converting and storing the momentum of a vehicle and using the stored energy to re-accelerate the vehicle [Текст] / Evans Kenneth W. ; заявитель и патентообладатель EVANS KENNETH – № 6946959 ; заявл. 29.12.1986 ; опубл. 22.01.1991.

4 Патент на изобретение 2214928 РФ, МПК В60К 6/12. Рекуператор [Текст] / А. Н. Гулевский ; заявитель и патентообладатель Гулевский А. Н. – № 2001119667/28 ; заявл. 16.07.2001 ; опубл. 27.10.2003.

5 Патент на изобретение 2355591 РФ, МПК В60К 6/12. Устройство для рекуперации кинетической энергии торможения движущегося транспортного средства [Текст] / Н. П. Мартынюк ; заявитель и патентообладатель Мартынюк Н. П. – № 2006113986/11 ; заявл. 26.04.2006 ; опубл. 20.11.2007.

6 Патент на изобретение 2193977 РФ, МПК В60К 6/12. Устройство для рекуперации энергии транспортного средства [Текст] / О. И. Поливаев, А. П. Полухин, Д. Ю. Мягков, П. В. Сухоруков ; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. К. Д. Глинки, Воронежский военный авиационный инженерный институт – № 2000105013/28 ; заявл. 29.02.2000 ; опубл. 10.12.2002.

7 Заявка на изобретение 2015104131 EN, МПК В60К 6/12. Method for operating a hydraulic hybrid vehicle [Текст] / Stein Bach, Timo ; заявитель и патентообладатель Robert bosch GMBH ; заявл. 11.12.2014 ; опубл. 16.07.2015.

8 Патент на изобретение 20140166387 US, МПК В60К 6/12. Vehicle with a hydraulic drive system [Текст] / Peter A. J. Achten ; заявитель и патентообладатель Peter A. J. Achten INNAS B. V. – № 14185434 ; заявл. 20.02.2014 ; опубл. 19.06.2014 г.

9 Патент на изобретение 20140372007 US, МПК В60К 6/12. Method for operating a serial hydraulic hybrid drive system [Текст] / Richard Bauer ; заявитель и патентообладатель Robert Bosch GmbH – № 14368042 ; заявл. 21.12.2012 ; опубл. 18.12.2014 г.

10 Бахмутов, С. В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными

силовыми установками [Текст] / С. В. Бахмутов, А. Л. Карунин, А. В. Круташов, В. В. Ломакин, В. В. Селифонов, К. Е. Карпухин, Е. Е. Баулина, Ю. В. Урюков // Учебное пособие. – М. : МГТУ «МАМИ», 2007. – 71 с.

11 Руднев, В. В. К вопросу разработки комбинированных энергетических установок городских автомобилей [Текст] / В. В. Руднев, В. Ю. Костров // Ползуновский Вестник, № 4, 2006. – С. 152-156.

12 Дубинин, А. В. Гибридный транспорт [Текст] / А. В. Дубинин, А. А. Быков, М. Г. Колобов // Научно-технический сборник, № 88, 2009. – С. 275-280.

13 Хмара, Л. А. Повышение эффективности бульдозера путем использования гидропневмоаккумулирующей системы [Текст] / Л. А. Хмара, А. П. Холодов // Строительные и дорожные машины. – 2012. – № 3. – С. 33-37.

14 Синяков, А. Ф. Анализ тенденций развития гибридных приводов автотранспорта [Текст] / А. Ф. Синяков, А. Г. Гимадиев, В. Н. Илюхин, В. Я. Свербиллов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета, № 3(34), 2012. – С. 234-238.

15 Рябов, И. М. Оценка доли кинетической энергии автобуса, накапливаемой в аккумуляторе системы рекуперации при торможении [Текст] / И. М. Рябов, С. А. Ширяев, Ю. Г. Юсупов, Ш. М. Минатуллаев // Энерго- и ресурсосбережение : промышленность и транспорт, 2017. – С. 34-36.

16 Бажанов, В. И. Анализ эффективности гидравлической системы рекуперации энергии торможения автомобиля [Текст] / В. И. Бажанов, А. М. Стадлев // Международный научный журнал «Символ науки», № 9, 2016. – С. 20-23.

17 Шухман, С. Б. Построение автопоездов с активными прицепными звеньями для движения в тяжелых дорожных условиях [Текст] / С. Б. Шухман, С. Н. Коркин, Р. Х. Курмаев, М. А. Капралова // Журнал автомобильных инженеров, № 5 (82), 2013. – С. 34-37.

18 KERS – система рекуперации кинетической энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pop-hi-tech.ru/tehnologii/kers-sistema-rekuperacii-kineticheskoi-energii.html>. – Загл. с экрана.

19 Салахов, Н. И. Энергетическая силовая установка [Текст] / Н. И. Салахов, К. Г. Белоконь, Л. А. Феоктистова // Современные условия взаимодействия науки и техники : сборник статей Международной научно-практической конференции (3 февраля 2017 г., г. Казань) в 2 ч. 1. / – Уфа : МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2017. – С. 82-85.

20 Посметьев, В. И. Повышение эффективности лесовозного автомобиля с помощью рекуперативного гидропривода [Электронный ресурс] / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 131(07).

21 Посметьев, В. И. Повышение эффективности гидропривода многофункционального автомобиля для ухода за полезащитными лесными полосами [Текст] / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, № 4 (55), 2017. – С. 140-149.

22 Никонов, В. О. Анализ состояния и оценка целесообразности использования сжатого воздуха как накопителя энергии в рекуперативных системах транспортных машин [Электронный ресурс] / В. О. Никонов, В. И. Посметьев // Воронежский научно-технический вестник. – 2017. – Т. 3, № 3 (21). – С. 30-48.

23 Посметьев, В. И. Перспективная конструкция лесовозного автомобиля с рекуперативным гидроприводом [Текст] / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2017. – Т. 5, № 6 (32). – С. 149-152.

24 Посметьев, В. И. Перспективное устройство рекуперации энергии в гидравлическом приводе лесовозного автомобиля [Текст] / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Повышение эффективности лесного комплекса : материалы 4 Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 65-летию высшего лесного образования Республики Карелия, 24 мая 2016 года / редколл.: В. М. Костюкевич, А. П. Соколов, Г. Ю. Гольштейн ; Петрозаводский государственный университет. – Петрозаводск : ПетрГУ, 2018. – С. 141-142.

25 Никонов В. О. Оценка эффективности гидравлической системы рекуперации энергии торможения лесовозного автопоезда [Текст] / В. О. Никонов // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции. – Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2018. – С. 210-215.