

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОПРИВОДА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ УХОДА ЗА ПОЛЕЗАЩИТНЫМИ ЛЕСНЫМИ ПОЛОСАМИ

Валерий Иванович Посметьев
Вадим Олегович Никонов

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

На основании изучения современного состояния полезащитных лесных полос показано, что 50% лесных полос нуждается в срочном восстановлении и уходе, до 70% требуют капитальной реконструкции. Приводится перечень мероприятий, выполняемых различными методами и техническими средствами при выборочных санитарных рубках, обосновывается необходимость сбора и использования лесосечных отходов в качестве топлива. Рассмотрена технология выборочных санитарных рубок полезащитных полос, включающая производство топливной щепы из лесосечных отходов с использованием многофункционального автомобиля, на котором установлена рубительная машина и который выполняет операции по сбору лесосечных отходов, рубку их в щепу и погрузку щепы в самосвальный прицеп. Описаны сложные условия эксплуатации многофункционального автомобиля, которые приводят к повышенному расходу топлива (в 1,5–2,0 раза) и сокращенному сроку полноценной эксплуатации (до 50–60%). Проанализированы способы повышения эффективности такого автомобиля путем оснащения его рекуперативными механизмами, обеспечивающими повторное использование в рабочем процессе непродуцируемой в окружающую среду энергии, а также способствующими повышению надежности и упрощению конструкции таких машин. Представлены структурные элементы системы рекуперации энергии. Предложена конструкция многофункционального автомобиля с рекуперативным гидроприводом, работа которого основана на аккумулировании энергии сжатого воздуха в пневматическом аккумуляторном агрегате и который включает механизмы рекуперации стрелы, рукояти, опорно-поворотного устройства, гидромоторов колес, подвески грузового автомобиля, тягово-сцепного устройства и устройства опрокидывания самосвального прицепа. Приведена структурная схема системы рекуперации энергии многофункционального автомобиля с рекуперативным гидроприводом и схема устройства для аккумулирования сжатого воздуха в гидравлическом приводе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидропривод, автомобиль, полезащитные лесные полосы, энергосбережение, рекуперация, аккумулирование, сжатый воздух.

INCREASING THE EFFICIENCY OF HYDRAULIC DRIVE OF THE MULTIFUNCTIONAL VEHICLE DESIGNATED FOR FIELD-PROTECTIVE FOREST BELT SERVICING

Valeriy I. Posmetev
Vadim O. Nikonov

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Based on the study of the current state of field-protective forest belts it is shown that 50% of forest belts need urgent regeneration and maintenance and up to 70% require major reconstruction. The authors provide a list of activities performed by various methods and technical means for selective salvage felling and substantiate the necessity of collection and use of felling residue as fuel. The authors consider the technology of selective salvage felling in field-protective forest belts, which includes the production of fire wood chips from felling residue with the help of a multifunctional vehicle equipped with a chipping machine and performing the operations of felling residue collection, chopping it into chips and loading the chips into a dump trailer. The article describes the difficult operating conditions of the multifunctional vehicle, which lead to an increased fuel consumption (by 1.5–2.0 times) and decreased full-scale useful life (by up to 50–60%). The authors have analyzed the ways of increasing the efficiency of such vehicle by equipping it with recuperative mechanisms that allow for a repeated

use of energy, which is unproductively dispersed into the environment, and contribute to increasing the reliability and simplifying the design of such machines. The structural elements of the energy recovery system are presented. The authors propose the design of a multifunctional vehicle with recuperative hydraulic drive, which operates on the basis of accumulation of compressed air energy in a pneumatic storage unit and includes the mechanisms of recuperation of the boom, dipperstick, swivel bearing, hydraulic wheel motors, truck suspension, towing device and tilting device of the dump trailer. The authors also provide a block diagram of the energy recovery system of the multifunctional vehicle with a recuperative hydraulic drive and a scheme of the device for accumulating the compressed air in the hydraulic drive.

KEY WORDS: hydraulic drive, vehicle, forest shelterbelts, energy saving, recuperation, accumulation, compressed air.

Одним из эффективных способов защиты сельскохозяйственных земель от неблагоприятных природных и антропогенных факторов принято считать проектирование и создание полезащитных лесных полос, которые позволяют снижать скорость и турбулентность ветров на защищаемых полях, улучшать микроклимат и распределение снега, регулировать влажность почвы, минимизировать негативное влияние ветровой и водной эрозии на состояние почвы. По данным сотрудников Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации (ВНИАЛМИ), урожайность зерновых культур в системе полезащитных лесных полос повышается в среднем на 20–30%, бахчевых и огородных культур – на 50–75%, трав – на 100 и более процентов [1, 9].

В настоящее время многие из существующих полезащитных лесных полос пришли в запустение, заросли подростом, кустарниками и частично перестали выполнять свои функции. Среди причин неудовлетворительного состояния лесных полос можно назвать следующие:

- естественные и несанкционированные возгорания;
- неконтролируемые вырубки;
- замусоривание бытовыми и промышленными отходами;
- несвоевременная организация собственниками или арендаторами сельскохозяйственных земель выборочных санитарных рубок, осветлений, уборок от захламленности;
- использование средств химической защиты;
- недостаточное количество выделяемых средств из бюджета.

Половина всех полезащитных лесных полос нуждается в срочном лесовосстановлении и уходе, причем до 70% лесных полос требуют капитальной реконструкции. Уход и восстановление полезащитных лесных полос в современных условиях приобретают особо важное значение и становятся общегосударственной задачей, от которой зависит эффективность сельскохозяйственного производства и гарантия сохранения плодородия почв в будущем [10].

Выборочные санитарные рубки полезащитных лесных полос включают в себя следующие мероприятия:

- срезание кустарников и деревьев в рядах насаждений;
- обрезку поперечных (боковых ветвей) с деревьев внутренних и опушечных рядов;
- срезание вершин стволов деревьев;
- срезание кустарников на пень или определенную высоту подроста на закрайках;
- сбор и транспортирование порубочных остатков к местам их складирования или переработки.

Эти мероприятия выполняются различными методами и техническими средствами при сохранении большой доли ручного труда.

В процессе выборочных санитарных рубок полезащитных лесных полос на них остаются порубочные остатки (вершины стволов, ветви, сучья), а иногда и отдельные стволы или их части. При оставлении этой древесной массы на лесных полосах повышается вероятность появления болезней леса, а также пожарная опасность. Для исключения этого негативного фактора в настоящее время все большее применение при выборочных санитарных рубках полезащитных лесных полос приобретают сбор и использование лесосечных отходов в качестве топлива для котельных установок.

Производство топливной щепы из отходов от выборочных санитарных рубок зависит от применяемой технологии, техники, хранения щепы, транспортирования ее до потребителя и условий сжигания. Технология выборочных санитарных рубок полезащитных полос, включающая производство топливной щепы из лесосечных отходов, предполагает использование многофункциональных автомобилей с установленными на них рубительными машинами, которые выполняют операции по сбору лесосечных отходов, рубку их на щепу, погрузку щепы в прицеп (рис. 1).

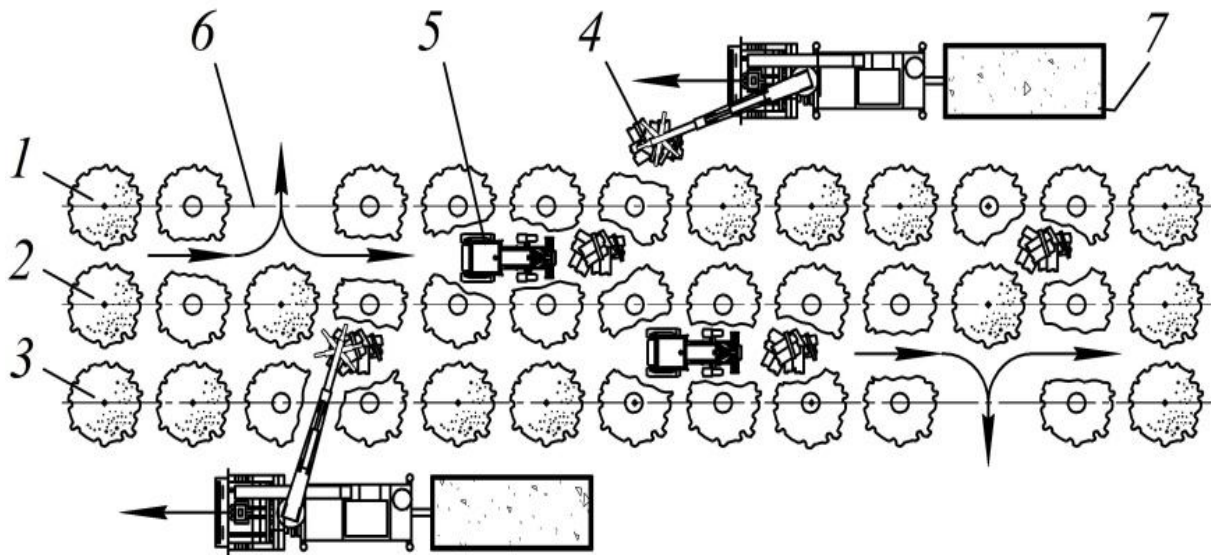


Рис. 1. Типичная технологическая схема механизированной уборки порубочных остатков и производства топливной щепы при выборочных санитарных рубках полезащитных полос:
 1 – опушечные, 2 – средние ряды и 3 – междурядья деревьев полезащитной полосы;
 4 – собранные в кучу порубочные остатки; 5 – подборщик;
 6 – разрыв в опушечном ряду полезащитной полосы для въезда и выезда подборщиков;
 7 – многофункциональный автомобиль

Перед началом работ по сбору, транспортированию порубочных остатков и производству топливной щепы в опушечных рядах 1 полезащитных лесных полос спиливаются деревья и делаются разрывы 7 шириной 4–5 м для заезда подборщика 6 в междурядья 3. Затем подборщик 6 перемещается по междурядью 3 вдоль рядов полезащитных полос и собирает порубочные остатки. Полностью заполненный порубочными остатками подборщик 6 задним ходом выезжает из междурядья, останавливается и сбрасывает их на землю, образуя кучу 4. Далее к собранным в кучу порубочным остаткам 4 подъезжает многофункциональный автомобиль 7, который с помощью гидроманипулятора загружает порубочные остатки в рубительную машину с целью их переработки в щепу и загрузки в прицеп. После этого топливная щепа вывозится для дальнейшего полезного использования [2, 12].

Многофункциональные автомобили эксплуатируются в тяжелых условиях со сложным рельефом местности и плохо обустроенными дорогами, которые изобилуют неровностями, наличием растительности, препятствий в виде порубочных остатков, крупных поверхностных корней, камней и валунов, низкой несущей способностью лесных почв, крутыми подъемами и спусками, значительными поперечными уклонами, выбоинами и заболоченными участками. В зимний период к этому добавляются снежные заносы, гололед, низкие температуры и более короткий световой день, а также другие негативные факторы. По этой причине разработчики и производители вынуждены оснащать такие автомобили двигателями со значительно завышенной мощностью, ходовой частью с усиленной подвеской и всеми ведущими мостами. Кроме этого, на них устанавливаются гидроманипуляторы, надежность которых обеспечивается в основном за счет их завышенной прочности и металлоемкости. Способные успешно решать традиционные транспортные задачи современные автомобили при уходе за полесзащитными лесными полосами потребляют больше топлива (в 1,5–2,0 раза), а срок их полноценной эксплуатации сокращается (примерно на 30–40%) [3, 5, 11].

Одним из известных реализуемых способов повышения эффективности грузовых автомобилей для ухода за полесзащитными лесными полосами является оснащение их рекуперативными механизмами, обеспечивающими повторное использование в рабочем процессе непроизводительно рассеиваемой в окружающую среду энергии, а также способствующими повышению надежности и упрощению конструкции аналогичных машин.

Рекуперация энергии является одним из перспективных способов существенного повышения эффективности работы машин и оборудования. В основе рекуперации лежит принцип возвращения обратно в технологический процесс максимально возможной (по величине) безвозвратно теряемой потенциальной энергии положения и (или) кинетической энергии поступательного и (или) вращательного движения многочисленных массивных деталей, узлов и машин в целом. При этом рекуперированной могут быть практически все традиционные виды энергии, такие как: электрическая, механическая, химическая, гравитационная, а также энергия сжатого воздуха, давления рабочей жидкости, положения груза и др.

Опыт использования систем рекуперации в транспортно-технологических машинах свидетельствует о снижении расхода топлива на 20–25% и потребной мощности двигателя на 25–30%. При проектировании грузовых автомобилей с рекуперативным гидроприводом необходимо учитывать и другие рекомендации, разработанные и апробированные отечественными и зарубежными исследователями [5, 7, 8].

На основе изучения состояния проблемы авторами была предложена конструкция грузового автомобиля с рекуперативным гидроприводом, структурная схема которой представлена на рисунке 2.

Как следует из представленной схемы, механизмами рекуперации являются:

- стрела манипулятора;
- рукоять манипулятора;
- опорно-поворотное устройство манипулятора;
- обратимые гидромоторы колес;
- подвески грузового автомобиля;
- тягово-сцепное устройство;
- устройство опрокидывания самосвального прицепа (рис. 3).

Элементы пневматических и гидравлических схем рекуперативных механизмов многофункционального автомобиля представлены на рисунке 3.



Рис. 2. Структурная схема системы рекуперации энергии многофункционального автомобиля с рекуперативным гидроприводом

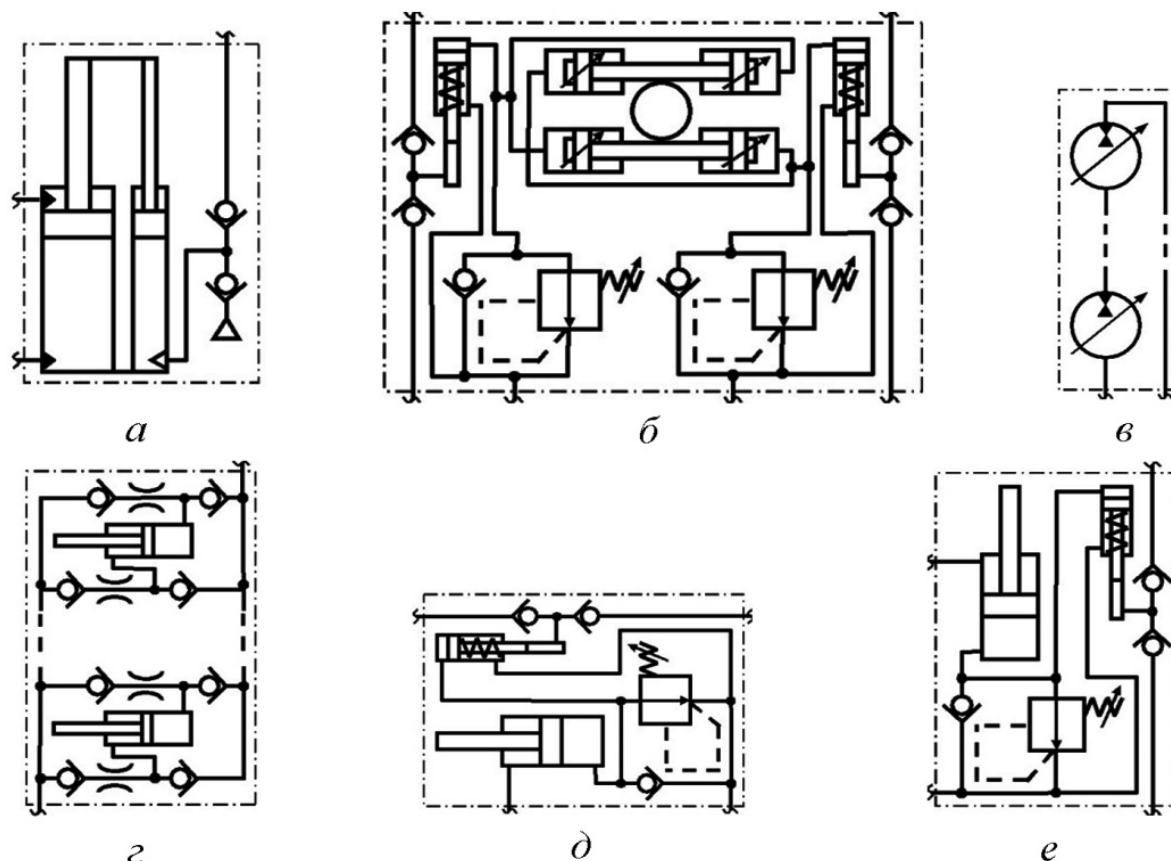


Рис. 3. Элементы пневматических и гидравлических схем рекуперативных механизмов многофункционального автомобиля: а – стрелы и рукояти манипулятора; б – опорно-поворотного устройства манипулятора; в – гидромоторов колес; г – подвески автомобиля; д – тягово-сцепного устройства; е – устройства опрокидывания самосвального прицепа

По характеру и последовательности выполняемых операций все они являются циклическими механизмами, причем механизмы стрелы, рукояти, тягово-сцепного устройства и устройство опрокидывания самосвального прицепа рекуперировать потенциальную энергию положения суммарных их масс, а остальные три механизма рекуперировать кинетическую энергию движущихся масс многофункционального автомобиля и его частей. В многофункциональном автомобиле накопление и сохранение рекуперированной энергии осуществляется широко применяемыми на транспорте и в промышленности стандартными пневмогидравлическими аккумуляторами и ресиверами – аккумуляторами сжатого воздуха.

Схема размещения на многофункциональном автомобиле элементов предлагаемой системы рекуперирования энергии представлена на рисунке 4. Потребителями рекуперированной энергии при работе многофункционального автомобиля являются гидромоторы колес и подвески автомобиля, а также гидроцилиндры рукояти, стрелы опорно-поворотного устройства гидроманипулятора, аутригеров и устройство опрокидывания самосвального прицепа. Отличительной особенностью конструкции многофункционального автомобиля является замена передачи от двигателя к ведущим колесам с механической на гидравлическую. Использование обратимых реверсивных гидромоторов 9 в колесах многофункционального автомобиля позволяет значительно упростить конструкцию трансмиссии за счет исключения дорогостоящих и недостаточно надежных традиционных агрегатов и узлов: сцепления, коробки передач, раздаточной корб-

ки, карданных и главной передач. Гидравлический насосный агрегат 11 и пневматический аккумуляторный агрегат 12 комплектуется из выпускаемых промышленностью современных и надежных агрегатов, узлов и элементов и располагается рядом с двигателем многофункционального автомобиля [7, 8].

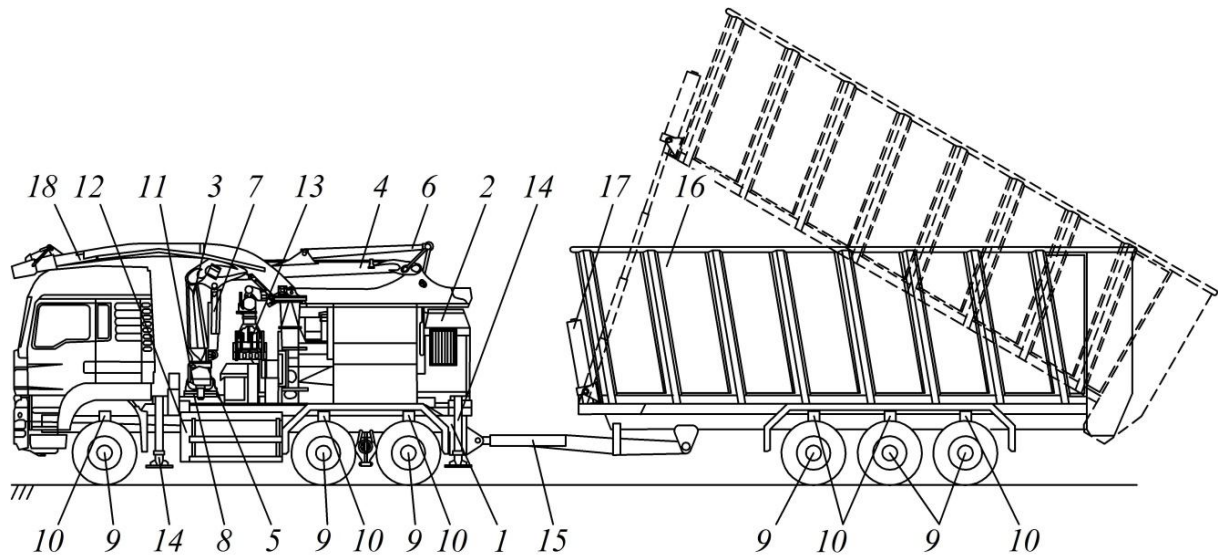


Рис. 4. Схема размещения рекуперативных механизмов на многофункциональном автомобиле: 1 – рама; 2 – рубительная машина; 3, 4 и 5 – стрела, рукоять и колонна гидроманипулятора; 6 и 7 – гидроцилиндры стрелы и рукояти; 8 – гидропривод опорно-поворотного устройства; 9 – гидромоторы колес; 10 – амортизаторы подвески; 11 – гидравлический насосный агрегат; 12 – аккумуляторный агрегатный узел; 13 – челюстной захват; 14 – аутригер; 15 – тягово-сцепное устройство; 16 – 3-осный прицеп для сбора топливной щепы; 17 – устройство опрокидывания самосвального прицепа; 18 – труба для подачи топливной щепы

В настоящее время в специальной технической литературе отсутствует четкое структурирование систем рекуперации машин и оборудования на их функциональные элементы. В общем случае основными структурными элементами системы рекуперации энергии могут являться следующие устройства и механизмы: получающие, преобразующие, аккумулирующие, управляющие и потребляющие (рис. 5).



Рис. 5. Основные структурные элементы системы рекуперации энергии

Очевидно, что по числу, последовательности включения, цикличности работы, способу управления и другим требованиям, предъявляемым к элементам системы рекуперации, они должны соответствовать конкретной машине или оборудованию, с учетом особенностей функционирования последних [4, 6].

На рисунке 6 представлена схема устройства для рекуперации энергии в гидравлическом приводе многофункционального автомобиля.

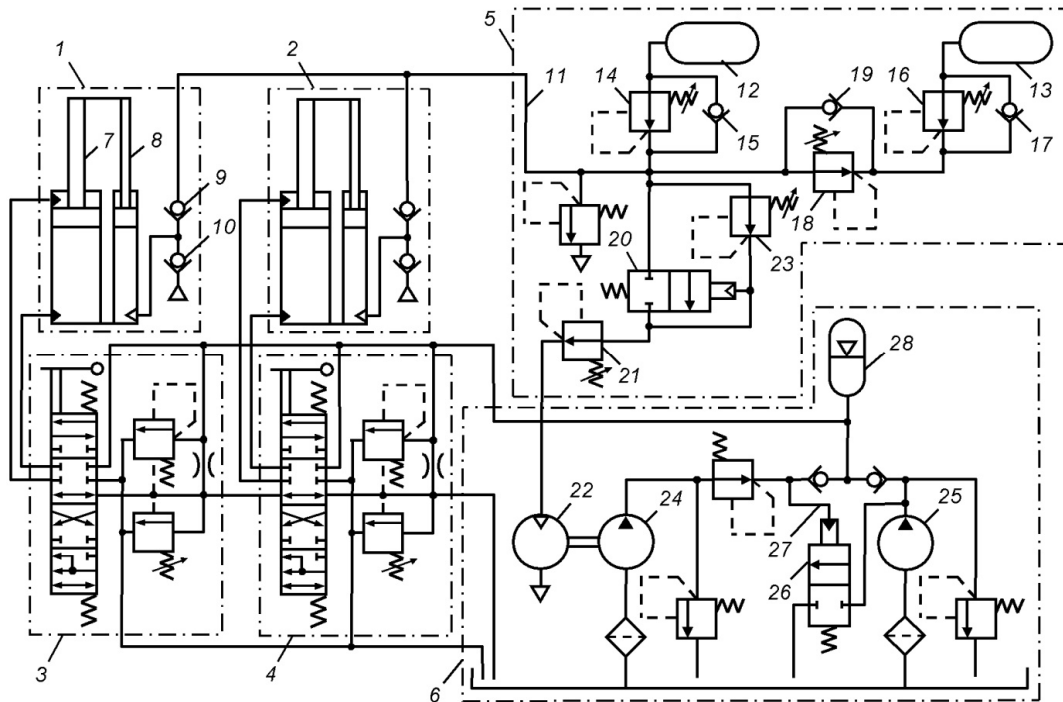


Рис. 6. Схема устройства рекуперации энергии в гидравлическом приводе многофункционального автомобиля

В соответствии со структурными элементами системы рекуперации энергии (рис. 5) работа предлагаемого устройства заключается в следующем. Получение потенциальной энергии в процессе работы автомобиля осуществляется, когда стрела его манипулятора совершает с помощью гидроцилиндров повороты в вертикальной плоскости относительно опорной поверхности. Преобразование потенциальной энергии в энергию сжатого воздуха реализуют с помощью механизмов рекуперации 1, 2 и аналогично другие механизмы (рис. 6), которые включают в себя обратные пневматические клапаны 9 и 10, соединенные между собой штоки гидравлического 7 и пневматического 8 цилиндров. При повороте стрелы из верхнего состояния в нижнее штоки одновременно втягиваются в цилиндры, сжимая в пневматическом цилиндре 8 воздух, который через обратный пневматический клапан 9 вытесняется в напорную пневмомагистраль 11. Аккумулятивное сжатого воздуха выполняют в пневматическом аккумуляторном агрегате 5, в котором в основной 12 и дополнительный 13 ресиверы через обратные пневматические клапаны 15 и 17 из напорной пневмомагистрали 11 поступает сжатый воздух. Управление гидравлическими 7 цилиндрами совершается гидрораспределителями 3 и 4, а регулирование максимального давления в основном 12 и дополнительном 13 ресиверах выполняется регулирующими редуцирующими пневматическими клапанами 14 и 16.

Включение в работу пневматического двигателя выполняется автоматически при помощи регулируемых редуцирующих пневматических клапанов 21, 23 и пневматического двухпозиционного распределителя 20 пневматического аккумуляторного агрегата 5. Для последовательного аккумулятивного сжатого воздуха в дополнительном 13 ресивере в напорной пневмомагистрали 11 между основным 12 и дополнительным 13 ресиверами установлены регулируемый редуцирующий пневматический 18 и параллельно ему обратный пневматический 19 клапаны. Разгрузка гидравлического насоса 25 осуществляется гидравлическим двухпозиционным распределителем 26 при достижении величины давления рабочей жидкости в гидравлической линии 27 управления выше номинального. Преобразование энергии сжатого воздуха в энергию рабочей жидкости осуществляет гидравлический насосный агрегат 6, включающий в себя соединенные валами пневмати-

ческий двигатель 22 с дополнительным гидравлическим насосом 24 и пневмогидравлический аккумулятор 28. Потребление энергии рабочей жидкости реализуют гидравлические цилиндры 7 механизмов рекуперации 1, 2 и другие аналогичные механизмы.

Повышение эффективности многофункционального автомобиля достигается за счет наличия у предлагаемого устройства для аккумулялирования сжатого воздуха таких преимуществ, как:

- использование неограниченного объема рабочего тела – сжатого воздуха при аккумулялировании путем независимой, автоматической зарядки двух и более ресиверов до заданных значений давления;

- независимое аккумулялирование сжатого воздуха до рабочего давления в основном ресивере и его использование в текущем масштабе времени, позволяющее, не дожидаясь полной зарядки дополнительных ресиверов, одновременно использовать также сжатый воздух, производимый рекупериремыми механизмами;

- снижение нагрузок как на сами механизмы, так и на пневмо- и гидроэлементы за счет демпфирования сжатого воздуха в пневмоцилиндрах механизмов рекуперации энергии, повышение надежности устройства в целом;

- снижение мощности и затрат энергии приводного двигателя насоса гидравлического насосного узла, благодаря периодической работе дополнительного гидравлического насоса пневматического аккумуляторного агрегата, причем даже при принудительном опускании стрелы происходит частичная рекуперация энергии за счет возврата производимой механизмами рекуперации потенциальной энергии положения стрелы с грузом или без него;

- аккумулялирование в гидравлическом насосном и пневматическом аккумуляторном агрегатах механизмами рекуперации стрелы, рукояти, опорно-поворотного устройства, гидромоторов колес, подвески автомобиля, тягово-сцепного устройства, устройства опрокидывания самосвального прицепа и последующее полезное использование накопленной энергии, как при движении многофункционального автомобиля, при погрузке порубочных остатков гидроманипулятором в рубительную машину, так и при разгрузке самосвального прицепа с топливной щепой;

- простота конструкции, благодаря отсутствию оригинальных деталей, узлов и комплектующих изделий, снижению стоимости машин и оборудования за счет использования стандартных и унифицированных пневмо- и гидроэлементов.

Использование устройства рекуперации энергии позволяет оснащать многофункциональный автомобиль двигателем значительно меньшей мощности (на 30–40%) и, как следствие, добиваться снижения расхода топлива и токсичности выхлопных газов.

Для успешной реализации всех отмеченных преимуществ предлагаемой конструкции многофункционального автомобиля необходимо выполнить комплексные исследования по поиску решений возникающих при этом проблем. В частности, важно повысить КПД аккумулялирования энергии сжатого воздуха в ресивере путем снижения тепловых потерь запасенной в нем энергии. Причиной этого является возникновение свободной конвекции, увеличивающей теплопередачу на стенки ресивера при значительном повышении температуры воздуха в процессе его быстрого сжатия, длительного хранения, и при резком снижении температуры воздуха в процессе его расширения. Негативным следствием такого теплообмена является появление влаги, обмерзания пневмомагистрали и пневматического двигателя при расширении сжатого воздуха.

Для повышения эффективности работы предлагаемой конструкции многофункционального автомобиля необходимо разработать имитационную модель и выполнить компьютерные эксперименты по выявлению влияния параметров и условий работы механизмов рекуперации стрелы, рукояти, опорно-поворотного устройства, гидромоторов колес, подвески автомобиля, тягово-сцепного устройства и механизма опрокидывания

самосвального прицепа на эффективность и динамические характеристики автомобиля. Имитационное моделирование позволит оптимизировать основные конструктивные и рабочие параметры механизмов рекуперации и изготовить опытный образец. На завершающей стадии разработки предстоит всесторонняя экспериментальная и опытно-производственная проверка многофункционального автомобиля, а также оценка его технико-экономической эффективности в сравнении с традиционными автомобилями, используемыми в настоящее время для ухода за полезными лесными полосами.

Библиографический список

1. Ерусалимский В.И. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений / В.И. Ерусалимский, В.А. Рожков // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2017. – Вып. 88. – С. 121–137.
2. Жданов Ю.М. Сбор и транспортировка порубочных остатков при проведении лесоводственных мероприятий в защитных лесонасаждениях / Ю.М. Жданов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сб. науч. тр. по материалам международной заочной науч.-практ. конф. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2015. – Т. 3, № 4–1 (15–1). – С. 310–314.
3. Измайлов А.Ю. Проблемы и перспективы технологического транспорта в сельском хозяйстве АПК / А.Ю. Измайлов, Н.Е. Евтюшенков // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина». – 2010. – № 1. – С. 8–11.
4. Машиностроительный гидропривод / Л.А. Кондаков, Г.А. Никитин, В.Н. Прокофьев и др. ; под ред. проф. В.Н. Прокофьева. – Москва : Машиностроение, 1978. – 495 с.
5. Никонов В.О. Анализ состояния и оценка целесообразности использования сжатого воздуха как накопителя энергии в рекуперативных системах транспортных машин / В.О. Никонов, В.И. Посметьев // Воронежский научно-технический вестник. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2017. – Т. 3, № 3 (21). – С. 30–48.
6. Пневмогидроаккумуляторы / Л.М. Виноградов, Ю.Н. Лаптев, С.Г. Телица, А.В. Шеломицкий ; под ред. Ю.Н. Лаптева. – Москва : Машиностроение, 1993. – 171 с.
7. Посметьев В.И. Перспективная конструкция гидравлического колесного модуля независимой подвески для автомобилей / В.И. Посметьев, В.О. Никонов // Строительные и дорожные машины. – 2017. – № 9. – С. 28–33.
8. Посметьев В.И. Повышение эффективности лесовозного автомобиля с помощью рекуперативного гидропривода / В.И. Посметьев, В.О. Никонов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 131. – С. 100–113.
9. Руководство по проектированию санитарно-защитных зон промышленных предприятий. ЦНИИП градостроительства Госгражданстроя. – Москва : Стройиздат, 1984. – 39 с.
10. Сорокина О.А. Современное состояние полезных лесных насаждений в Российской Федерации / О.А. Сорокина, Л.Е. Петрова // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2014. – № 12 (120). – С. 23–27.
11. Цыгарова М.В. Использование передвижной рубительной машины для переработки порубочных остатков при заготовке древесины и рубках ухода / М.В. Цыгарова // Леса России в XXI веке : матер. одиннадцатой международной науч.-техн. интернет-конф. – Санкт-Петербург, 2014. – С. 170–172.
12. Энергетическое использование древесной биомассы: заготовка, транспортировка, переработка и сжигание : учеб. пособие для студентов высш. учебных заведений / авт.-сост. В.С. Сюнев [и др.]. – Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2014. – 123 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Валерий Иванович Посметьев – доктор технических наук, профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Российская Федерация, г. Воронеж, E-mail: posmetyev@mail.ru.

Вадим Олегович Никонов – кандидат технических наук, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», Российская Федерация, г. Воронеж, E-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 04.12.2017

Дата принятия к печати 20.12.2017

AUTHOR CREDENTIALS

Affiliations

Valeriy I. Posmetyev – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Machine Production, Maintenance and Operation, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation, Voronezh, E-mail: posmetyev@mail.ru.

Vadim O. Nikonov – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Production, Repair and Operation, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation, Voronezh, E-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Date of receipt 04.12.2017

Date of admittance 20.12.2017