

РЕКУПЕРАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТЯГОВО-СЦЕПНОМ УСТРОЙСТВЕ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОМОБИЛЯ С ПРИЦЕПОМ

кандидат технических наук **В. О. Никонов**¹

доктор технических наук, профессор **В. И. Посметьев**¹

доктор технических наук, доцент **К. А. Яковлев**¹

¹ – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация

Рассмотрено влияние тягово-сцепного устройства (ТСУ) на безопасность и плавность движения лесовозного автомобиля с прицепом (ЛАП). Описаны последствия возникающих неисправностей в ТСУ при эксплуатации ЛАП по лесовозным дорогам с неровностями. Обоснована перспективность направления повышения эффективности ЛАП путем использования конструкции ТСУ с рекуперативным механизмом, и на этой основе сформулирована цель исследования. Предложена классификация основных узлов ТСУ, более полно отражающая все многообразие их конструктивных решений. Представлены общие и специфические требования, предъявляемые к ТСУ ЛАП. Особое внимание уделено гибкости ЛАП, неудовлетворительная работа которой при движении ЛАП по неровным лесовозным дорогам приводят к серьезным поломкам ТСУ и автомобиля в целом. Представлена принципиальная схема сил, действующих на звенья ЛАП в процессе движения по лесовозной дороге. Рассмотрены основные конструктивные и эксплуатационные параметры, оказывающие влияние на возникающие в ТСУ нагрузки. Приведены зависимости влияния коэффициента весовой характеристики и скорости движения ЛАП на возникающие нагрузки в ТСУ. Описано влияние направления усилий в ТСУ на складывание ЛАП при торможении. На основе выявленных недостатков рассматриваемых конструкций ТСУ типа крюк-петля предложена принципиально новая схема ТСУ с механизмом рекуперации энергии. Добавление в конструкцию ТСУ дополнительной степени свободы позволит снизить негативное воздействие на водителя ЛАП колебаний при движении по неровностям дороги, что позволит улучшить условия его работы. Усовершенствована конструкция гидропривода лесовозного автомобиля (ЛА), включающая в себя механизм рекуперации энергии в ТСУ. Выявлено, что эксплуатация ЛАП, оснащенного этим гидроприводом, позволит существенно снизить расход топлива и сократить токсичность выхлопных газов.

Ключевые слова: лесовозный автомобиль, прицеп, гидропривод, тягово-сцепное устройство, крюк-петля, рекуперация энергии, пневмогидравлический аккумулятор, неровности дороги, шаровая опора.

HYDRAULIC ENERGY RECOVERY IN A TRACTOR-CLUTCH DEVICE OF TIMBER TRUCK WITH A TRAILER

PhD (Engineering) **V. O. Nikonov**¹

DSc (Engineering), Professor **V. I. Posmetev**¹

DSc (Engineering), Associate Professor **K. A. Yakovlev**¹

¹ – Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University
of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

Abstract

The influence of towing coupler (TC) on the safety and smoothness of the movement of a timber truck with a trailer (TTT) is considered. The consequences of the occurrence of malfunctions in TC during the operation of TTTs on logging roads with irregularities are described. The perspectives of the direction of increasing the efficiency of TTTs are substantiated by using the design of TC with a regenerative mechanism, and, on this basis, the research goal is formulated. A classification of the main nodes of TC is proposed, which more fully reflects the diversity of their constructive solutions. General and specific requirements for TC of TTTs are presented. Particular attention is paid to the flexibility of TTTs, the unsatisfactory performance of which during the movement of TTTs on uneven logging roads leads to serious damage of vehicle TC and the vehicle as a whole. A sche-

matic diagram of the forces acting on the units of TTT in the process of movement along the timber road is presented. The main structural and operational parameters affecting the loads arising in TC are considered. The dependences of the influence of the coefficient of weight characteristics and the rate of TTT movement on the resulting load in TC are given. The influence of the direction of efforts in TC on TTT folding during braking is described. On the basis of the identified shortcomings of the considered hook-loop type TC structures, a fundamentally new TC scheme with an energy recovery mechanism has been proposed. Adding an additional degree of freedom to the design of TC reduces the negative impact on TTT driver when it oscillates when driving along uneven roads, which improves its working conditions. The design of the hydraulic drive of timber truck (TT) has been improved, which includes a mechanism for energy recovery in TTT. It is revealed that operation of TTT equipped with this hydraulic actuator significantly reduces fuel consumption and exhaust emissions.

Keywords: timber truck, trailer, hydraulic drive, towing coupler, hook-loop, energy recovery, pneumatic-hydraulic accumulator, road bumps, ball bearing.

Введение

ЛАП эксплуатируются в крайне тяжелых условиях, обусловленных сложным рельефом местности и плохо обустроенными временными грунтовыми дорогами. Эффективное использование ЛАП большой грузоподъемности невозможно без ТСУ, обеспечивающих безопасность и плавность движения на повышенных скоростях. В процессе движения по неровной поверхности лесовозной дороги с максимальной загрузкой ЛАП в ТСУ возникают большие динамические нагрузки, приводящие к его повреждениям и поломкам, снижению скорости движения ЛАП, повышению расхода топлива и, как следствие, ухудшению производительности ЛАП. Совершенствование ТСУ ЛАП, направленное на снижение расхода топлива ЛА, требует более глубокого изучения и обобщения имеющегося фактического материала по их конструкциям, накопленного как у нас в стране, так и за рубежом. Результаты многочисленных исследований подтверждают перспективность направления по сокращению расхода топлива ЛАП путем использования в его конструкции различных рекуперативных механизмов.

В работах [1, 2] авторами для снижения расхода топлива транспортного средства с прицепом предложена конструкция рекуперативного гидропривода, позволяющая с помощью пневматического аккумуляторного агрегата и рекуперативных механизмов стрелы, рукояти, опорно-поворотного устройства, гидромоторов колес, подвески и тягово-цепного устройства аккумулировать энергию сжатого воздуха.

М. Heikkilä и М. Linjama (2013) провели исследование на основе имитационного моделирования, направленного на снижение мощности первичного двигателя экскаватора, заключающееся в использова-

нии в его гидравлическом приводе пневмогидравлического аккумулятора, позволяющего накапливать потенциальную энергию массы стрелы экскаватора при ее опускании [3].

Junyi Zou (2018) в статье предлагает гидравлический привод с рекуперативными амортизаторами в подвеске транспортного средства, позволяющими не только накапливать энергию, но и положительно влиять на боковую и продольную динамику транспортного средства [4].

Ruszard Dindorf (2017) исследовал на основе динамической модели возможность снижения расхода топлива гибридного транспортного средства путем рекуперации кинетической энергии торможения гидромоторов его колес в пневмогидравлических аккумуляторах [5].

Nidal H. Abu-Hamdeh и Hamid F. Al-Jalil (2004) на основе компьютерного моделирования исследовали влияние различных условий эксплуатации и параметров транспортного средства с прицепом на его устойчивость и усилия, возникающие в ТСУ, на основе которых выявили снижение устойчивости транспортного средства с прицепом в результате увеличения веса прицепа и продольного угла наклона дороги [6].

Несмотря на кажущуюся простоту применяемых в транспортных средствах устройств в качестве рекуперативных механизмов, в настоящее время все еще отсутствуют удовлетворительные схемные решения применительно к ТСУ ЛАП. Поэтому для повышения эффективности ЛАП представляется важным разработка и исследование ТСУ, обеспечивающего накопление непроизводительно рассеиваемой в окружающую среду энергии и повторного ее использования в рабочем процессе.

Целью исследования является разработка рекуперативного гидравлического привода с механизмом рекуперации энергии в ТСУ, обеспечивающего повышение эффективности ЛАП.

Материалы и методы

Исследование выполнено на основе изучения научных трудов отечественных и зарубежных ученых и специалистов в области колесных, гусеничных машин и энергосберегающих технологий, занимающихся исследованием влияния конструктивных и эксплуатационных параметров ТСУ на динамику ЛАП на основе различных режимов движения, а также разработкой и совершенствованием гидроприводов с рекуперативными механизмами.

Результаты и обсуждение

ТСУ используются для буксировки транспортных прицепов, и их характерной особенностью является то, что для них основным видом нагрузки являются продольные усилия. Вертикальные же нагрузки в ТСУ, как правило, ограничиваются весом деталей дышлового приспособления. ТСУ включают в себя четыре основных узла: разъемно-сцепной, амортизационно-поглощающий, поворотно-выдвижной и узел крепления.

Конструкция разъемно-сцепного узла определяет наименование типа ТСУ. При помощи этого узла осуществляются сцепка отдельных звеньев ЛАП и их расцепка. Амортизационно-поглощающий механизм смягчает и поглощает толчки и удары, возникающие в сцепке при движении ЛАП, благодаря постановке в сцепках различных по конструкции упругих элементов. Поворотно-выдвижной механизм позволяет поворачивать ТСУ в горизонтальной плоскости в ту или иную сторону и выдвигать разъемно-сцепной узел на-

зад. Узел крепления состоит из деталей, при помощи которых осуществляется установка и крепление ТСУ на раме ЛА. Возможные варианты исполнения этих основных узлов ТСУ в виде соответствующей классификации представлены на рис. 1 [7].

Анализ различных ТСУ показал их многообразие, которое определяется, прежде всего, конструктивными особенностями и назначением ЛАП. К ТСУ наряду с общими требованиями, такими как простота конструкции, малый вес, дешевизна и др., предъявляются некоторые специфические требования. ТСУ также должны обеспечивать: надежное соединение ЛАП; смягчение ударных нагрузок при резком трогании с места; быстрое осуществление сцепки и отцепки прицепа; необходимую жесткость и взаимную подвижность между дышлом и ТСУ.

Для ЛАП гибкость (рис. 2) определяется углами горизонтальной β и вертикальной γ поворотливости дышла прицепа по отношению к продольной оси тягача и углом независимости ходов отдельных звеньев ЛАП. Значения этих углов нормированы [9]. Углы β и γ характеризуют возможность движения ЛАП по неровным дорогам со значительными круто-стями. Угол α определяет маневренные свойства ЛАП и его способность совершать крутые повороты и разворачиваться в условиях ограниченной площади. Если параметры гибкости неудовлетворительны, то при движении ЛАП по неровным дорогам с крутыми поворотами неизбежны серьезные поломки ТСУ, дышел прицепов и деталей ходовой части ЛАП [8].

ТСУ системы «крюк-петля» отличаются простотой конструкции и получили наиболее широкое распространение в конструкциях отечественных ЛА. Конструкции ТСУ регламентируются государствен-



Рис. 1. Основные узлы ТСУ

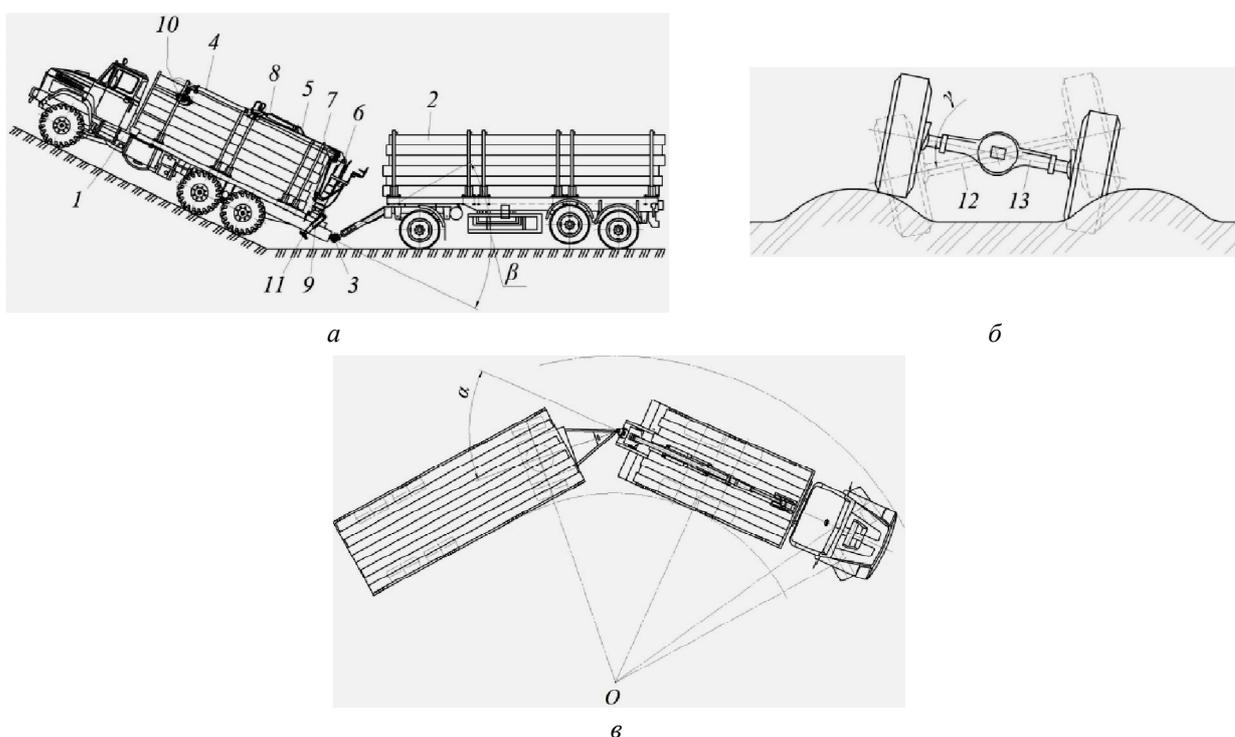


Рис. 2. Параметры гибкости ЛАП с гидроманипулятором, оснащенного рекуперативным механизмом:
 а, б, в – движение ЛАП на подъеме, на повороте и по неровным дорогам; α – угол горизонтальной поворотливости; β – угол вертикальной поворотливости; γ – угол независимости ходов; O – центр поворота;
 1 – рама; 2 – сортименты; 3 – ТСУ; 4, 5, 6 – стрела, рукоять и колонна гидроманипулятора;
 7, 8 – гидроцилиндры стрелы и рукояти; 9 – насосно-аккумулирующий узел; 10 – челюстной захват;
 11 – аутригер; 12 – ось прицепа; 13 – ось тягача

ными стандартами, которые устанавливают число, типоразмеры, порядок установки и крепления указанных устройств на рамах ЛА [4]. Они представляют собой стальной крюк, стержень которого опирается на две распорные втулки, установленные в задней и дополнительной поперечинах рамы. Силы, возникающие при взаимодействии ЛАП, воспринимает пружина или резиновый буфер (рис. 3). Пружину или буфер помещают на стержне крюка между фланцами втулок, а на конец стержня навертывают гайку. После выполнения сцепки ТСУ запирают шплинтом на цепочке, который вставляют в отверстие защелки и собачки. Таким образом, предотвращается возможность самопроизвольной расцепки ЛАП.

Наиболее часто применяют пружинные ТСУ, так как они просты в изготовлении, достаточно надежны, имеют возможность воспринимать большие нагрузки в сравнении с резиновыми буферами, физико-механические свойства которых значительно

зависят от температуры окружающей среды.

В процессе движения ЛАП (рис. 4) по лесовозной дороге, вследствие наличия в ТСУ упругого элемента, звенья ЛАП совершают свободные продольные колебания, изменение которых можно определить на основе дифференциальных уравнений [8]:

$$\left. \begin{aligned} M_a \frac{d^2 S_a}{dt^2} &= -(P_a + fG_a) + (\mu - f)Z_0 + cS; \\ M_n \frac{d^2 S_n}{dt^2} &= -(P_n + fG_n) + (\mu - f)Z_0 + cS, \end{aligned} \right\}$$

где $M_a(G_a)$ и $M_n(G_n)$ – массы ЛА и прицепа;

P_a и P_n – суммарные тормозные силы на колесах соответственно ведущего и ведомого звеньев ЛА;

Z_0 – вертикальная реакция в ТСУ;

S_a и S_n – пути, проходимые центрами тяжести ЛА и прицепа от начала отсчета;

μ – коэффициент трения при относительном перемещении деталей в ТСУ;

c – коэффициент жесткости упругого элемента ТСУ, который в расчетах принимается постоянным;

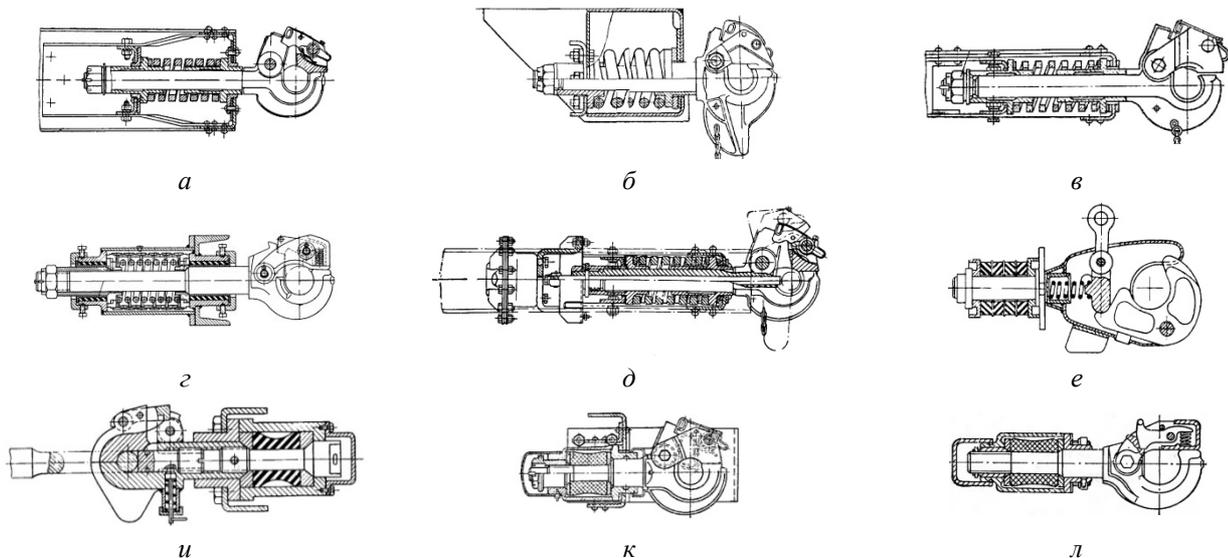


Рис. 3. Конструкции ТСУ типа «крюк-петля»: а-д – тяговые крюки с амортизирующей пружиной; е-л – тяговые крюки с амортизирующим резиновым буфером

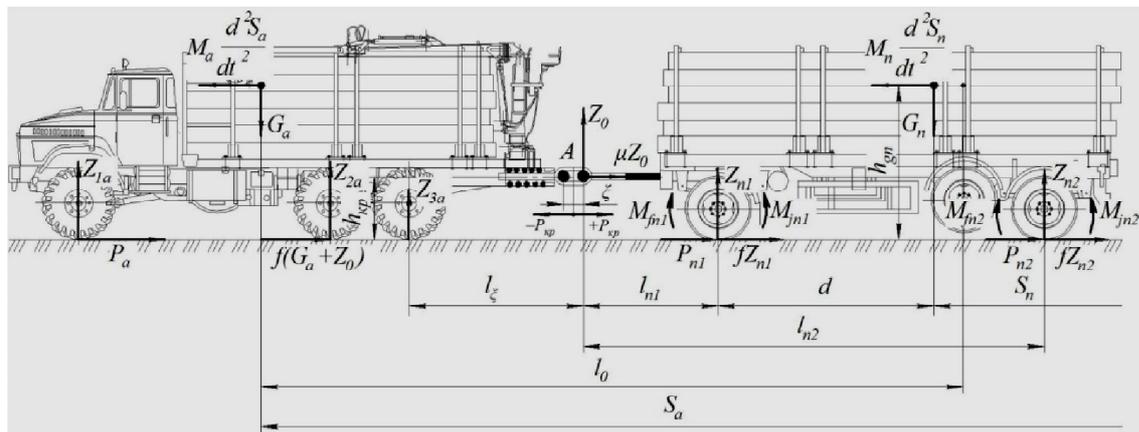


Рис. 4. Принципиальная схема сил, действующих на ЛАП в процессе движения по лесовозной дороге

S – величина сжатия упругого элемента в процессе взаимодействия звеньев.

Основным оценочным параметром динамического взаимодействия звеньев ЛАП являются действующие нагрузки $P_{кр}$ в ТСУ, величины которых зависят от ряда конструктивных и эксплуатационных параметров. К числу конструктивных параметров относятся: жесткость упругой связи, демпфирующее сопротивление, величина зазоров в разъемно-сцепном узле, масса звеньев ЛАП и их соотношение между собой. Эксплуатационные параметры охватывают: темп приложения и величину движущих тормозных сил, характер режима движения и скорость ЛАП, дорожные условия и некоторые другие показатели.

По экспериментальным данным, приведенным в работе [7], выявлено, что при трогании с места и торможении с увеличением коэффициента весовой характеристики ЛАП $\Gamma_{ан}$ нагрузки в ТСУ $P_{кр}$ увеличиваются. Увеличение коэффициента весовой характеристики ЛАП $\Gamma_{ан}$ возможно как за счет роста массы прицепа при постоянной массе ЛА, так и за счет снижения массы ЛА при постоянной массе прицепа. Зависимость, характеризующая изменение нагрузок $P_{кр}$ в ТСУ ЛАП при торможении от коэффициента весовой характеристики ЛАП $\Gamma_{ан}$, представлена на рис. 5, а.

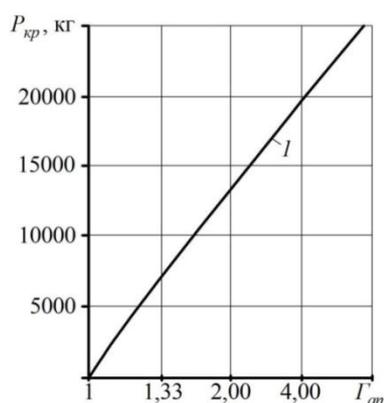
В работе Я.Х. Заикина [8] путем обработки методами математической статистики результатов экспериментальных наблюдений применительно к

ЛАП получены зависимости влияния дорожных условий и скорости движения на нагрузочный режим. Выявлено, что с увеличением скорости v движения ЛАП по дороге с асфальтобетонным покрытием максимальные величины нагрузок $-P_{крэ}$ и $+P_{крэ}$ в ТСУ (рис. 5, б), возникающие в результате торможения и разгона, возрастают пропорционально этой скорости v .

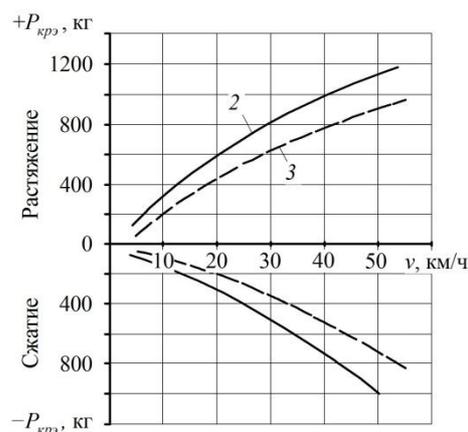
Сравнение известных конструкций ЛАП показывает, что одной из особенностей их является склонность к складыванию, т. е. быстрому изменению взаимного расположения ЛА и прицепа, что происходит обычно в режиме торможения. Устойчивость ЛАП против складывания и заносов при торможении в значительной мере зависит от направления усилий в ТСУ. Схема сил, действующих в ТСУ при торможении ЛАП, представлена на рис. 6. Резкое затормаживание ЛАП на высокой скорости при наезде на препятствие изменяет угол наклона ТСУ ЛАП и траекторию движения прицепа, следст-

ствием чего является возникновение опасного опрокидывающего момента $M_{оп}$, который вместе с воздействием значительных инерционных сил приводит к складыванию ЛАП.

Недостатками ТСУ типа «крюк-петля» является то, что они не обеспечивают широкого диапазона работы ввиду того, что их основными элементами конструкции являются пружина или резиновый буфер, жесткость которых подбирается в зависимости от сил, действующих на них. Это приводит к тому, что ТСУ работает эффективно только с определенной величиной воздействия силы, в противном случае увеличение силы воздействия приведет к разрушению пружины или резинового буфера. Также трогание ЛАП с места, его разгон, торможение и движение по неровностям дороги приводит к тому, что в ТСУ типа «крюк-петля» вследствие возникновения в нем больших по величине знакопеременных нагрузок появляются энергетические потери, которые в виде тепловой энер-

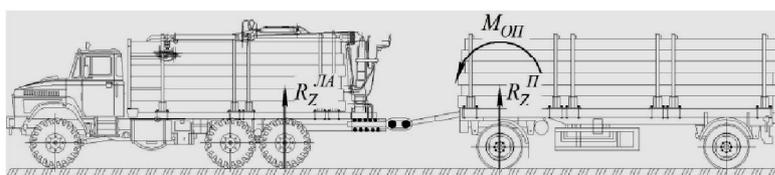


а

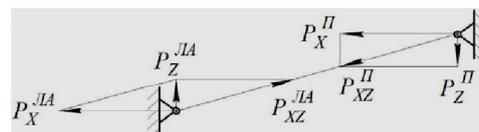


б

Рис. 5. Влияние конструктивных (а) и эксплуатационных (б) параметров на величину максимальных нагрузок $P_{кр}$ в ТСУ ЛАП кривые: 1 – изменение нагрузок $P_{кр}$ в ТСУ ЛАП КРА3-250 при торможении от коэффициента весовой характеристики ЛАП $\Gamma_{ан}$, при $\zeta = 20$ мм, $c = 750$ кг/см; 2 – крюк с закрытым резиновым упругим элементом; 3 – крюк с металлической витой пружиной



а



б

Рис. 6. Схема сил, действующих в ТСУ при торможении ЛАП: а – силы, действующие на прицеп при торможении; б – кинематическая схема сил, возникающих в ТСУ при торможении

гии непроизводительно рассеиваются в окружающую среду. Сократить эти потери можно путем использования различных по типу и конструкции механизмов рекуперации энергии. Рекуперация энергии является одним из перспективных способов существенного повышения эффективности в машинах и оборудовании [1, 2, 3, 4, 5, 6].

На основании исследований, проводимых на кафедре производства, ремонта и эксплуатации машин ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова, с учетом основных недостатков, выявленных в результате анализа существующих конструкций ТСУ типа «крюк-петля», авторами предлагаются: принципиально новая схема ТСУ с механизмом рекуперации энергии (рис. 7); структурная схема системы рекуперации энергии (рис. 8); схема рекуперативного гидропривода ЛАП с механизмом рекуперации энергии в ТСУ (рис. 9).

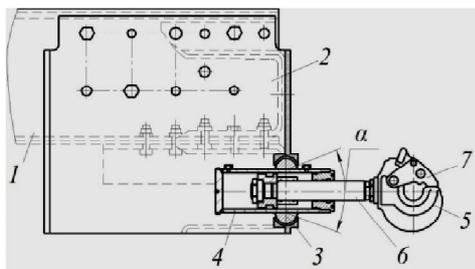


Рис. 7. Принципиально новая схема ТСУ с механизмом рекуперации энергии:

1, 2 – подрамник и надрамник лесовозного автомобиля-тягача КАМАЗ-6520; 3 – шаровая опора; 4 – гидроцилиндр; 5 – крюк разъемно-съемного узла; 6 – шток гидроцилиндра; 7 – замок; α – угол гибкости ТСУ

На структурной схеме (рис. 8) механизмом рекуперации является ТСУ ЛАП, которое аккумулирует энергию возвратно-поступательного перемещения штока с поршнем в корпусе гидравлического цилиндра ТСУ. Потребителями рекуперированной энергии при



Рис. 8. Структурная схема системы рекуперации энергии ЛАП

работе ЛАП являются гидроманипулятор и аутригеры. Работа ТСУ с механизмом рекуперации энергии основана на использовании энергии, возникающей в сцепке при трогании ЛАП, его разгоне, торможении, а также при движении по неровностям дороги. При движении ЛАП по лесовозной дороге под действием массы прицепа с грузом в ТСУ возникают большие по величине знакопеременные нагрузки, которые приводят к тому, что шток и поршень гидравлического цилиндра периодически совершают возвратно-поступательные перемещения.

Гидропривод ЛА (рис. 9) состоит из рекуперативного механизма ТСУ 1, стандартных гидрораспределителей 2-6, насосно-аккумуляторного узла (НАУ) 7, гидроцилиндров 8 и 9 аутригеров, гидроцилиндров стрелы 10 и рукояти 11, опорно-поворотного устройства 12. Рекуперативный механизм ТСУ ЛАП 1 включает в себя гидроцилиндр 18, обратные клапаны 13-15, 19, дроссели 14 и 17. НАУ 7 состоит из пневмогидравлический аккумуляторов (ПГА) 24, разгрузочного автоматического клапана 25, соединенного с двигателем 27 ЛА насоса 26, обратного клапана 28, фильтра 29 и гидробака 30.

Работа рекуперативного гидропривода ЛАП заключается в следующем. При трогании с места и разгоне ЛАП поршень гидроцилиндра 18 перемещается вправо и вытесняет часть рабочей жидкости из штоковой полости гидроцилиндра 18 через дроссель 14 и обратный клапан 13 в напорную гидромагистраль 21, в результате чего подзаряжаются ПГА 24. Одновременно с этим за счет разряжения нештоковая полость гидроцилиндра 18 заполняется рабочей жидкостью из гидробака 30 через всасывающую гидромагистраль 21 и обратный клапан 15. Аналогично при торможении ЛАП поршень гидроцилиндра 18 перемещается влево, рабочая жидкость из нештоковой полости перемещается в ПГА

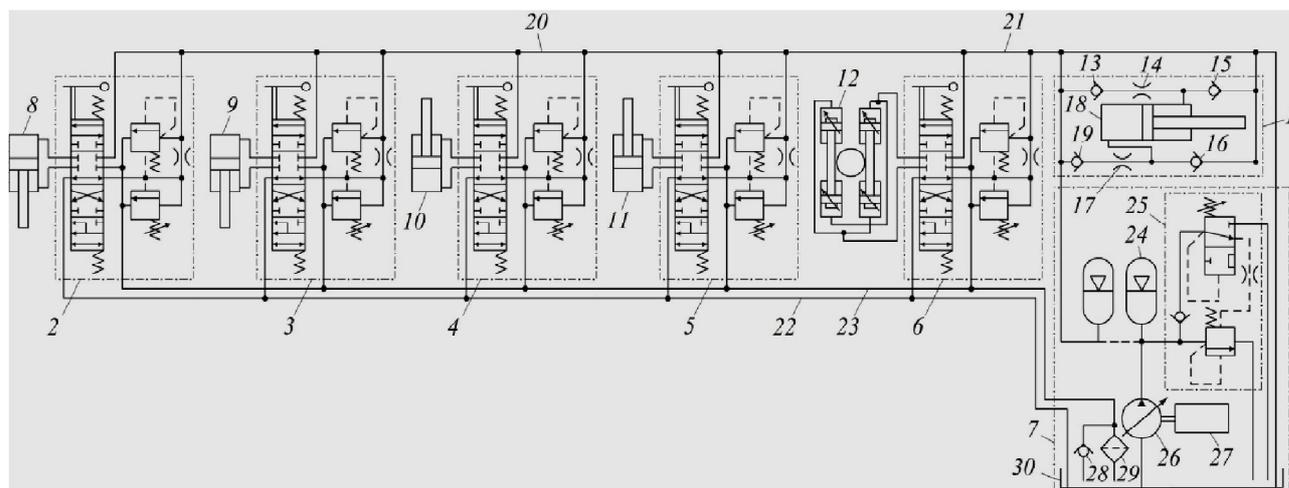


Рис. 9. Схема рекуперативного гидропривода ЛАП

24, а штоковая полость за счет разряжения заполняется рабочей жидкостью из гидробака 30 через всасывающую гидромагистраль 21 и обратный клапан 16. Далее рабочий цикл механизма рекуперации ТСУ ЛАП повторяется.

Выводы

На основании полученных материалов исследования было установлено, что:

- ТСУ оказывает большое влияние на безопасность движения, расход топлива и производительность ЛАП;

- предложенная классификация основных узлов ТСУ более полно отражает все многообразие их конструктивных решений;

- рассмотренные основные известные модели ТСУ типа «крюк-петля», предъявляемые к ним требования при конструировании, возникающие при эксплуатации ЛАП в ТСУ нагрузки от продольных и поперечных колебаний, энергетические потери, имеющие место при воздействии в процессе движения ЛАП знакопеременных нагрузок на ТСУ, позволили выявить их основные недостатки и на этой основе предложить принципиально новую схему ТСУ с механизмом рекуперации энергии;

- применение предлагаемой конструкции ТСУ для буксирования прицепов ЛА позволяет крюку ЛА перемещаться не только в продольной, но и за счет установки ТСУ в шаровых опорах и в вертикальной плоскости. Это способствует появлению у прицепа при движении по значительным неровностям дополнительной степени свободы, которая позволяет уменьшить негативное воздей-

ствие толчков на водителя и таким образом улучшить условия его труда;

- эксплуатация ЛАП, оснащенного гидроприводом с механизмом рекуперации энергии в ТСУ, позволит накопить гидравлическую энергию в НАУ и использовать ее при погрузке-разгрузке сортиментов гидроманипулятором, функционировании аутригеров, что значительно снизит расход топлива и сократит токсичность выхлопных газов.

Для практической реализации отмеченных преимуществ предлагаемой конструкции ТСУ с механизмом рекуперации энергии необходимо провести комплексные исследования. С целью ускорения работы по созданию предлагаемой конструкции ТСУ с механизмом рекуперации энергии необходимо разработать имитационную модель и выполнить компьютерные эксперименты. Целью последних является исследование влияния параметров и условий работы механизма рекуперации ТСУ на эффективность и динамические характеристики ЛАП. Кроме этого, на основе имитационного моделирования необходимо выполнить оптимизацию основных конструктивных и рабочих параметров механизма рекуперации ТСУ и изготовить его опытный образец. Затем необходимо провести всестороннюю экспериментальную и опытно-производственную проверку ТСУ с механизмом рекуперации энергии, а также оценить его технико-экономическую эффективность в сравнении с традиционными конструкциями ТСУ типа «крюк-петля», используемыми в настоящее время.

Библиографический список

1. Посметьев, В. И. Повышение эффективности гидропривода многофункционального автомобиля для ухода за полезными лесными полосами [Текст] / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета имени Императора Петра I. – 2017. – № 4 (55). – С. 140-149.
2. Posmetev, V. I. Investigation of the energy-saving hydraulic drive of a multifunctional automobile with a subsystem of accumulation of compressed air energy [Text] / V. I. Posmetev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetev // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, ISPCIEТ'2018, № 441 (2018) 012041. Article ID 57204207263. 7 p.
3. Heikkila, M. Hydraulic Energy Recovery in Displacement Controlled Digital Hydraulic System [Text] / M. Heikkila, M. Linjama // The 13th Scandinavian International Conference of fluid power, SICFP 2013, June 3-5, 2013, Linkoping, Sweden. Article ID 55655531700. – P. 515-519.
4. Simulation Research of a Hydraulic Interconnected Suspension Based on a Hydraulic Energy Regenerative Shock Absorber [Text] / Junyi Zou [et al.] // SAE Technical Paper 2018-01-0582. Article ID 3186584. – 10 p.
5. Dindorf R. Development of energy efficient hydrostatic drives with energy recovery [Text] / R. Dindorf, P. Wos // Mechanik. – 2017. – NR 8-9. – Article ID 23102611800. – P. 776-782.
6. Nidal H. Abu-Hamdeh Computer simulation of stability and control of tractor-trailed implement combinations under different operating conditions [Text] / Nidal H. Abu-Hamdeh, Hamid F. Al-Jalil // Bragantia, Campinas. – 2004. – V. 63. – № 1. – Article ID 7003419962. – P. 149-162.
7. Щукин, М. М. Сцепное устройство автомобилей и тягачей. Конструкция, теория, расчет [Текст] / М. М. Щукин. – М. ; Л. : МАШГИЗ, 1961. – 211 с.
8. Конструкции и расчет автомобильных поездов [Текст] / Я. Х. Закин [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1968. – 106 с.
9. ГОСТ 2349-75. Устройства тягово-сцепные системы «крюк-петля» автомобильных и тракторных поездов. Основные параметры и размеры, технические требования [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2014. – 11 с.
10. ГОСТ 2349-54. Тягово-сцепные приборы автомобилей, тягачей, тракторов и прицепов. Основные параметры и размеры [Текст]. М. : Стандартинформ, 2014. – 16 с.

References

1. Posmetev V. I., Nikonov V. O. *Povishenie effektivnosti gidroprivoda mnogofunkcionalnogo avtomobilya dlya uhoda za polezaschitnimi lesnymi polosami* [Improving the efficiency of the hydraulic drive of a multifunctional vehicle for the care of forest shelter belts]. *Voronejskii gosudarstvennii agrarnii universitet im. Imperatora Petra I* [Voronezh State Agrarian University. Emperor Peter I], no 4 (55), 2017, pp. 140-149. (In Russian).
2. Posmetev, V. I. Investigation of the energy-saving hydraulic drive of a multifunctional automobile with a subsystem of accumulation of compressed air energy, IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, ISPCIEТ'2018, no. 441 (2018) 012041, Article ID 57204207263, 7 p.
3. Heikkila M., Linjama M. Hydraulic Energy Recovery in Displacement Controlled Digital Hydraulic System, The 13th Scandinavian International Conference of fluid power, SICFP 2013, June 3-5, 2013, Linkoping, Sweden, Article ID 55655531700, pp. 515-519.
4. Junyi Zou et al. Simulation Research of a Hydraulic Interconnected Suspension Based on a Hydraulic Energy Regenerative Shock Absorber, SAE Technical Paper 2018-01-0582, Article ID 3186584, 10 p.
5. Dindorf R., Wos P. Development of energy efficient hydrostatic drives with energy recovery, Mechanik NR 8-9, 2017, Article ID 23102611800, pp. 776-782.
6. Nidal H. Abu-Hamdeh, Hamid F. Al-Jalil Computer simulation of stability and control of tractor-trailed implement combinations under different operating conditions, Bragantia, Campinas, v. 63, no. 1, 2004, pp. 149-162.
7. Schukin M. M. *Sceпное устройство avtomobiley i tyagachey. Konstrukciya, teoriya, raschet* [Coupling car and tractor. Construction, theory, calculation]. *MASHGIZ, Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo mashinostroitelnoi literature, Moskva* [MASHGIZ, State Scientific and Technical Publishing House of Engineering Literature, Moscow], 1961, 211 p. (In Russian).

8. Zakin Ya. H. et al. *Konstrukcii i raschet avtomobilnih poezdov* [Constructions and calculation of car trains]. *Izdatelstvo Mashinostroenie, Leningrad* [Publishing Mashinostroeni, Leningrad], 1968, 106 p. (In Russian).
9. GOST 2349-75 *Ustroistva tyagovo-scepnie sistemi «kryuk-petlya» avtomobilnih i traktornih poezdov. Osnovnie parametri i razmeri, tehnicheckie trebovaniya* [State Standard 2349-75. Hook-and-loop systems for automobile and tractor trains. Key parameters and dimensions, technical requirements]. Moscow, 2014. 11 p. (In Russian).
10. GOST 2349-54 *Tyagovo-scepnie pribori avtomobilei, tyagachei, traktorov i pricepov. Osnovnie parametri i razmeri* [State Standard 2349-54. Traction coupling devices of automobiles, tractors, tractors and trailers. Basic parameters and dimensions]. Moscow, 2014. 16 p. (In Russian).

Сведения об авторах

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

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

Яковлев Константин Александрович – профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kosty_2003_27@mail.ru.

Information about authors

Nikonov Vadim Olegovich – Associate Professor of production, repair and operation of cars, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD (Engineering), Voronezh, Russian Federation; e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Posmetyev Valerii Ivanovich – professor of department of production, repair and operation of cars, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc (Engineering), Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: posmetyev@mail.ru.

Yakovlev Konstantin Aleksandrovich – professor of department of production, repair and operation of cars, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc (Engineering), Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: kosty_2003_27@mail.ru.