

УДК: 621.225:69.002.51

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ  
ЭНЕРГИИ РАБОЧЕГО ОРГАНА С ГРУЗОМ

Никонов В.О., Посметьев В.И., Козлов Е.В., Бородкин В.О.

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Воронежский государственный  
лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»

Email: 8888nike8888@mail.ru

**Аннотация:** Рассмотрены известные конструкции рекуперативных гидравлических приводов технологических машин и оборудования, позволяющие накапливать и полезно использовать при операции опускания рабочего органа с грузом и без, его потенциальную энергию. Описаны особенности конструкции предлагаемого рекуперативного гидропривода манипулятора, установленного на раме лесовозного автомобиля.

**Ключевые слова:** технологические машины, рекуперация, лесовозный автомобиль, потенциальная энергия, гидропривод, пневмогидравлический аккумулятор, гидрофицированное оборудование, гидравлический манипулятор.

ANALYSIS OF CONSTRUCTIVE PECULIARITIES OF HYDROPROFITTED  
TECHNOLOGICAL MACHINES WITH RECOVERY OF THE POTENTIAL  
ENERGY OF THE WORKING BODY WITH CARGO

Nikonov V.O., Posmetev V.I., Kozlov E.V., Borodkin V.O.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Voronezh State Forestry University. G.F. Morozova»

Email: 8888nike8888@mail.ru

**Summary:** The well-known constructions of recuperative hydraulic drives of technological machines and equipment are considered, which allow accumulating and useful in the operation of lowering the working member with or without a load, its potential energy. The design features of the proposed recuperative hydraulic actuator of the manipulator mounted on the frame of a timber truck are described.

**Keywords:** technological machines, recovery, forest truck, potential energy, hydraulic drive, pneumatic-hydraulic accumulator, hydraulic equipment, hydraulic manipulator.

### **Введение**

Гидрофицированные машины циклического действия, такие как автомобильные стреловые гидроманипуляторы, гидравлические экскаваторы, землеройно-транспортная техника, вилочные погрузчики, тракторы и другие машины, использующие для подъема и опускания рабочего органа с грузом тяжелые грузоподъемные механизмы характеризуются большими энергетическими затратами привода. Значительная масса грузоподъемного механизма и рабочего органа с грузом при его опускании в процессе погрузки-разгрузки приводит к потере большого количества потенциальной энергии, сопровождаемой ее рассеиванием в виде тепла и повышением температуры рабочей жидкости в системе.

Направленность на совершенствование научных исследований, методов и средств управления технологическими гидрофицированными машинами и оборудованием характеризует потребность в развитии теоретических и практических знаний в области эксплуатации их гидравлических приводов. Использование известных способов рекуперации энергии рабочей жидкости для данного направления является главной задачей. Это дает возможность с наиболее высоким качеством использовать потенциальные резервы технологических машин и оборудования, улучшить их основополагающие эксплуатационные показатели для установленного режима работ при различных циклах нагружения гидропривода [8].

### **Цель исследования**

Целью исследования является анализ по доступным отечественным и зарубежным литературным источникам существующих конструкций гидравлических приводов технологических машин, позволяющих рекуперировать потенциальную энергию рабочего органа с грузом, и разработка на этой основе рекуперативного гидропривода манипулятора лесовозного автомобиля.

### **Материал и методы исследования**

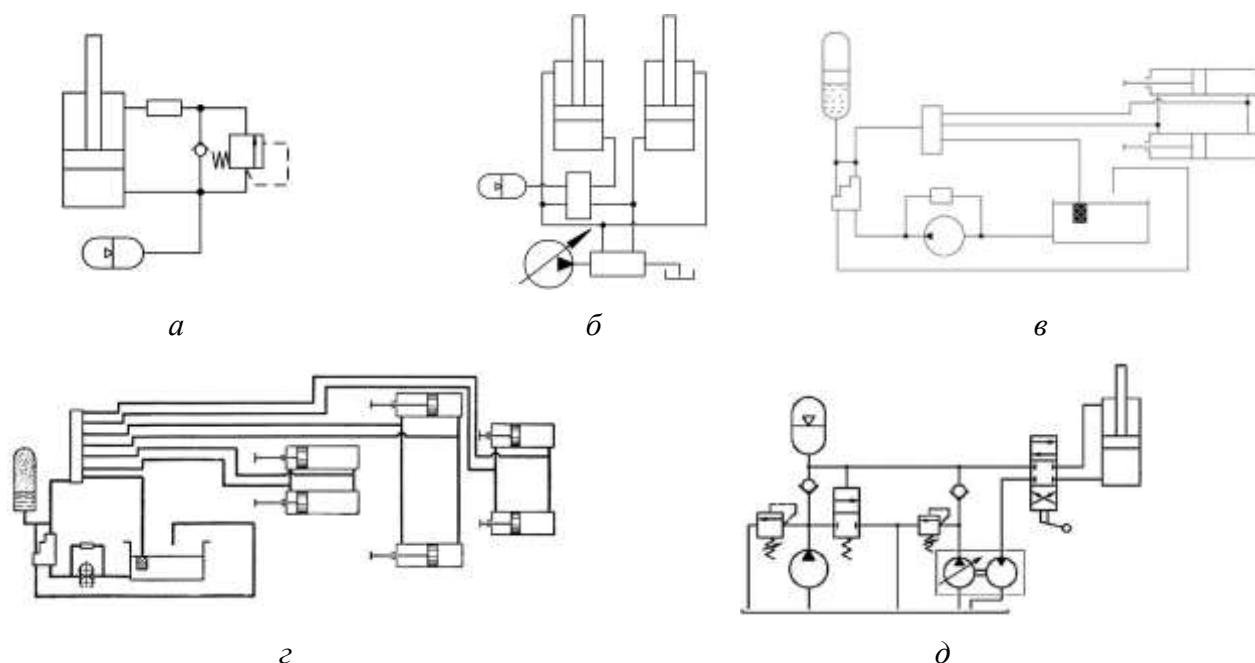
Исследование выполнено на основе изучения научных трудов отечественных и зарубежных ученых и специалистов, занимающихся разработкой и исследованием гидрофицированного технологического оборудования.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Немецкая машиностроительная компания Liebherr разработала гидравлический гибридный привод, предназначенный для портовых кранов. Новая гибридная гидропневматическая система Liebherr Pastronic установлена на мо-

бильном кране LHM 550 с рекуперацией энергии. В системе используется дополнительная накопленная энергия, регенерированная во время опускания груза, благодаря которой груз поднимается. Гидропневматическая система работает от сжатого газа (азота) совместно с гидравлической жидкостью. За счет этого процесс-погрузки-выгрузки ускоряется на 30 %. Применение рекуперативной системы снизило стоимость крана и на 30 % сократило количество вредных выбросов в атмосферу. Наибольшая эффективность новая гидропневматическая система достигает при работе на предельных мощностях. В обычных условиях работы Liebherr Rastronic обеспечивает крану экономию топлива до 30 % [1].

Гидравлические гибридные экскаваторы используют пневмогидравлические аккумуляторы (ПГА) для хранения энергии, который может быть подключен к цилиндру, и когда цилиндр движется вниз с нагрузкой, ПГА заряжается и сохраняет потенциальную энергию. При движении гидравлического цилиндра вверх накопленная в ПГА энергия может быть использована повторно. Рассмотрим наиболее распространенные схемные решения рекуперативных гидроприводов. Схемы стрелоподъемных механизмов гидропривода с рекуперацией энергии опускания оборудования представлены на рисунке 1 [2].



*a* – гидропривод, выпускаемый фирмой Komatsu; *б, д* – Российского производства; *в, з* – гидроприводы, предложенные Т.В. Алексеевой

Рисунок 1 – Схемы стрелоподъемных механизмов гидропривода с рекуперацией энергии опускания груза

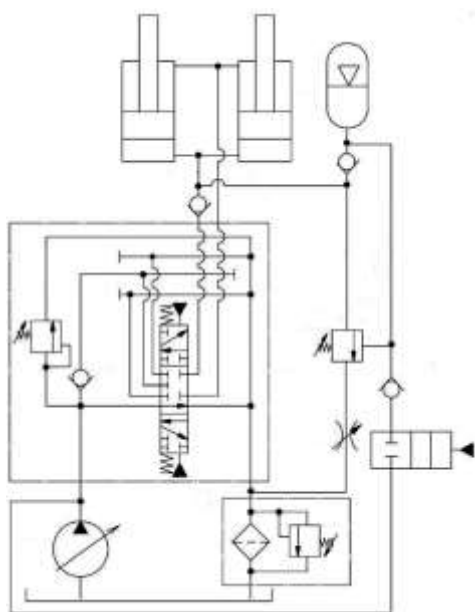


Рисунок 2 – Рекуперативная схема гидропривода стрелы экскаватора

На рисунке 2 изображен рекуперативный гидравлический привод стрелы экскаватора. В процессе опускания стрелы, под ее собственным весом происходит вытеснение из гидравлических цилиндров рабочей жидкости, которая через гидравлические линии и обратный клапан поступает в ПГА, заряжая его. Применение процесса рекуперации позволяет уменьшить затраты энергии путем преобразования непроизводительно рассеиваемой в окружающую среду потенциальной энергии при опускании стрелы, аккумулировании ее в ПГА и повторном использовании ее в гидравлическом приводе экскаватора. Гидравлическая энергия накопленная в ПГА, используется при подъеме стрелы экскаватора, сокращая

нагрузку на гидравлический насос при его работе [4].

В серийно выпускаемом экскаваторе в процессе выключения оператором механизма поворота платформы, ее движение постепенно замедляется, однако по инерции она продолжает поворачиваться, что приводит к вынужденной работе гидромотора в режиме насоса. Избыточное давление потока рабочей жидкости, создаваемое в гидравлической линии, способствует срабатыванию перепускного клапана, через который рабочая жидкость сливается в гидравлический бак. В гидравлической линии гидропривода возникает сопротивление, под влиянием которого гидромотор поворота платформы постепенно затормаживается и рассеивает в виде тепла кинетическую энергию ее вращения. Рассеиваемая в виде тепла энергия торможения может быть накоплена и преобразована в полезную работу путем использования рекуперативной гидравлической системы. В этой рекуперативной гидравлической системе, поток рабочей жидкости, создаваемый гидромотором, функционирующим при торможении платформы в режиме насоса накапливается в ПГА. Из ПГА рабочая жидкость для повышения скорости поворота платформы поступает в гидромотор. Рекуперативная гидравлическая система позволяет снизить нагрузку при работе основного гидравлического насоса, и тем самым снизить нагружение ДВС и сократить расход его топлива [5].

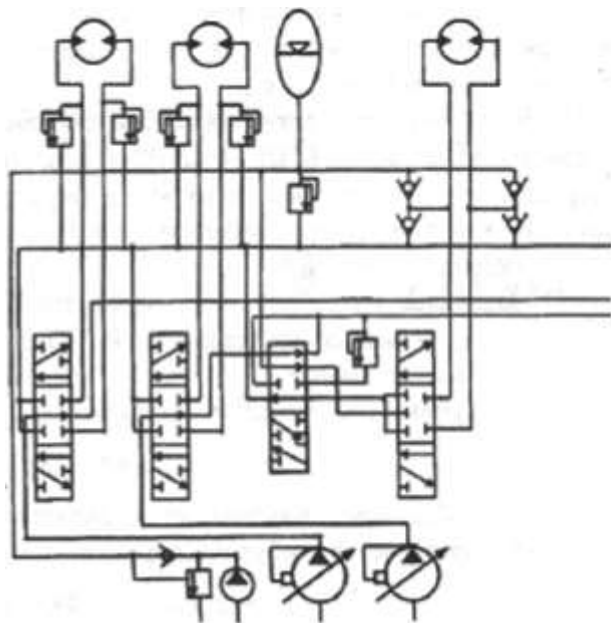


Рисунок 3 – Принципиальная схема рекуперативного гидропривода экскаватора

сая система вилочного погрузчика [7]. Эта система дает возможность накапливать и повторно использовать энергию гидравлической жидкости в процессе опускания грузеных рабочих органов вилочного погрузчика. Данная система из-за отсутствия ПГА является более надежной, в сравнении с традиционными машинами с рекуперативными гидравлическими приводами. Применение этой системы вилочного погрузчика обеспечивает сокращение потребляемой энергии за счет функционирования

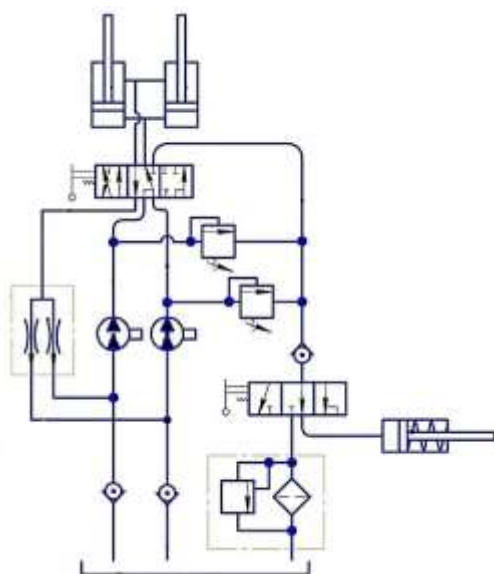


Рисунок 4 – Энергосберегающая гидравлическая система вилочного погрузчика

На рисунке 3 представлена разработанная кафедрой горных машин Уральской государственной горно-геологической академии совместно с ОАО «Уралмаш» принципиальная схема рекуперативного гидропривода экскаватора. Данная схема позволяет накапливать энергию в аккумуляторе при торможении платформы и использовать ее для разгона платформы [6].

На рисунке 4 приведена энергосберегающая гидравлическая

в половине циклов насосов, как моторов-генераторов, подзаряжающих электрические аккумуляторные батареи. При этом энергия, затрачиваемая погрузчиком за весь цикл процесса подъема-опускания сокращается до минимума, а также не используется приводная мощность на процесс опускания рабочих органов.

В работе Ремарчука М.П. представлен рекуперативный механизм платформы экскаватора (рис. 5) [10]. Принцип его работы заключается в повороте платформы экскаватора за



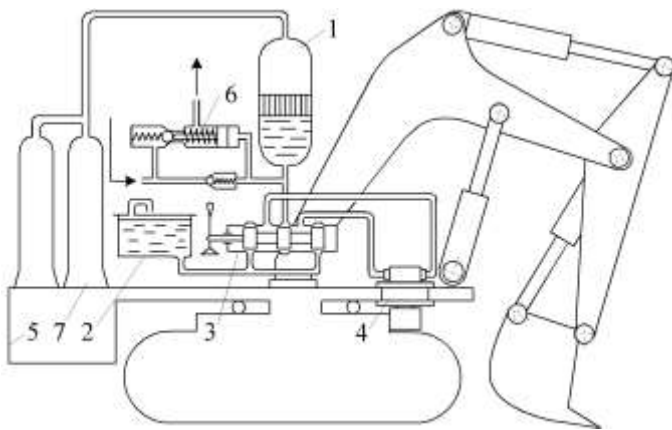


Рисунок 5 – Рекуперативный механизм платформы экскаватора

обеспечивает подзарядку ПГА. При завершении зарядки ПГА клапан разгрузки б переводит насос в режим работы на масляный бак без нагрузки насоса.

счет подачи рабочей жидкости от предварительно заряженного ПГА 1 к гидромотору 4 через гидрораспределитель 3. Для остановки платформы 5 экскаватора гидромотор 4 переводится в режим насоса и тогда кинетическая энергия вращающихся масс преобразуется в потенциальную энергию ПГА. После остановки платформы подпиточный насос

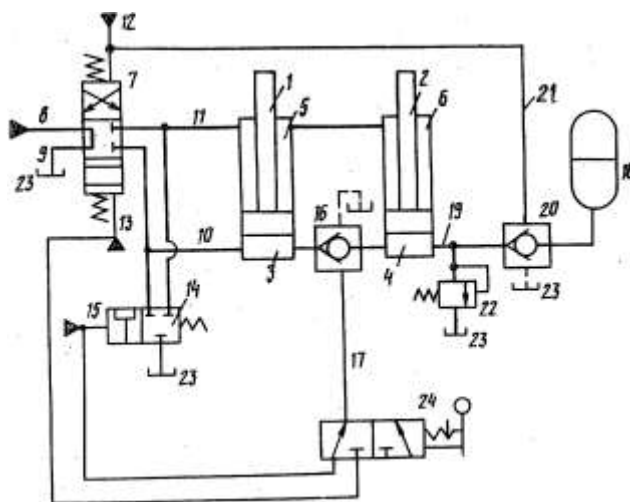


Рисунок 6 – Рекуперативный гидропривод подъема стрелы погрузочной машины

гидравлическую линию 11 и штоковые полости 5 и 6 гидравлических цилиндров. Поршневая полость 3 гидравлического цилиндра 1 связана через гидравлическую линию 10 и гидравлический распределитель 7 со сливной гидромагистралью, а поршневая полость 4 гидравлического цилиндра 2 – с ПГА 18 через гидравлическую линию 19 и обратный гидравлический клапан 20. Дальнейшие подъемы стрелы погрузочной машины выполняются путем использования накопленной в ПГА энергии. Рекуперация позволяет повысить КПД гидравлического привода путем повторного использования непроизводительно рассеиваемой на нагрев рабочей жидкости энергии при опускании груженого рабочего оборудования.

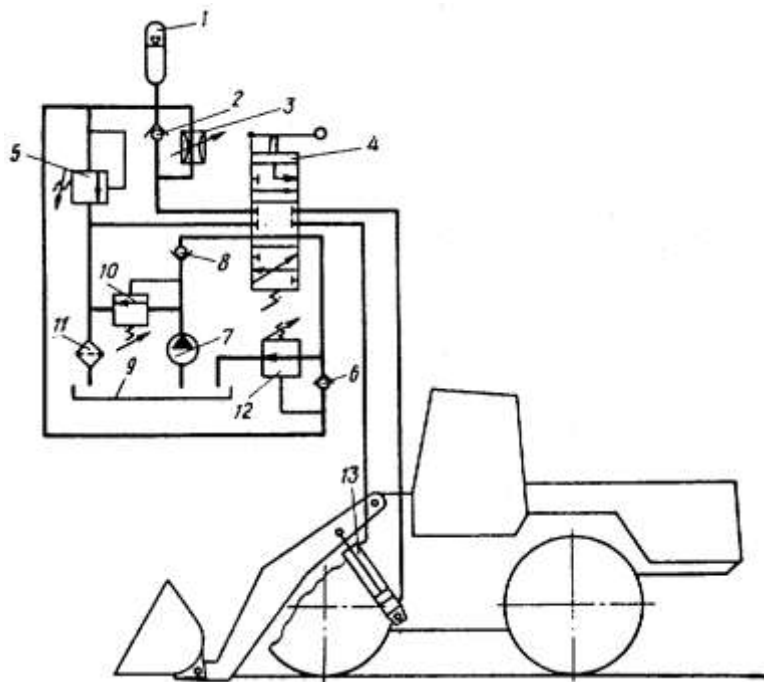


Рисунок 7 – Гидропривод стрелы погрузчика

большой массой начинает перемещаться вниз. Избыточная рабочая жидкость из поршневых полостей гидроцилиндров 13 поступает на зарядку ПГА посредством дросселя 3, изменяющего скорость опускания стрелы погрузчика. В результате, за счет использования потенциальной энергии силы тяжести стрелы погрузчика создается постоянное избыточное давление в штоковых полостях гидравлических цилиндров в процессе ее опускания, обеспечиваемое требуемую зарядку ПГА.



Рисунок 8 – Погрузочное устройство перекидного типа

Известна конструкция гидропривода стрелы погрузчика (рис. 7), позволяющая увеличить его производительность за счет сокращения времени опускания стрелы [12]. Это достигается за счет установки в гидроприводе ПГА 1, сообщающегося при включении золотника распределителя 4 на опускании стрелы с поршневыми полостями гидроцилиндров 13. Под воздействием силы тяжести стрела, обладающая

большой массой начинает перемещаться вниз. Избыточная рабочая жидкость из поршневых полостей гидроцилиндров 13 поступает на зарядку ПГА посредством дросселя 3, изменяющего скорость опускания стрелы погрузчика. В результате, за счет использования потенциальной энергии силы тяжести стрелы погрузчика создается постоянное избыточное давление в штоковых полостях гидравлических цилиндров в процессе ее опускания, обеспечиваемое требуемую зарядку ПГА.

В работе Грязина В.А. представлена схема энергоаккумулирующего погрузочного устройства перекидного типа (рис. 8) [13]. Рекуперация энергии груза осуществляется путем деформации упругого элемента 2. Накопленная энергия в режиме холостого хода позволяет вернуть технологическое оборудование в исходное положение.

Lianpeng Xia в своих исследованиях для повышения энергоэффективности экскаватора предлагает использовать рекуперативный

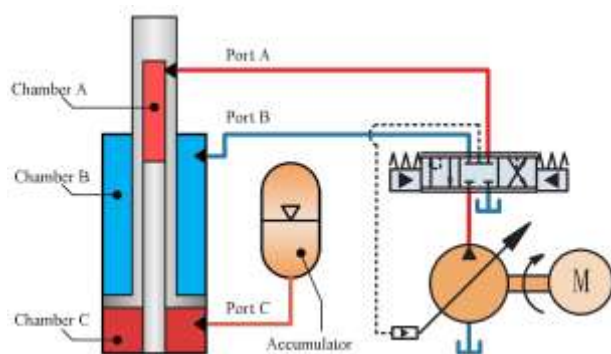


Рисунок 9 – Рекуперативный привод стрелы экскаватора

гидропривод, представленный на рисунке 9, который позволяет преобразовывать потенциальную энергию стрелы при ее опускании в гидравлическую энергию рабочей жидкости и накапливать ее в ПГА [14]. Этот рекуперативный гидропривод состоит из трехкамерного гидравлического цилиндра, ПГА и гидравлического контура привода. При опускании стрелы трехкамерный гидравлический цилиндр втягивается, рабочая жидкость вытесняется из камеры С в ПГА. В процессе подъема стрелы трехкамерный гидравлический цилиндр выдвигается и рабочая жидкость из ПГА поступает в камеру С. Далее рабочий процесс повторяется. Использование предлагаемого рекуперативного гидропривода позволяет снизить потребление энергии на 50,1 %.

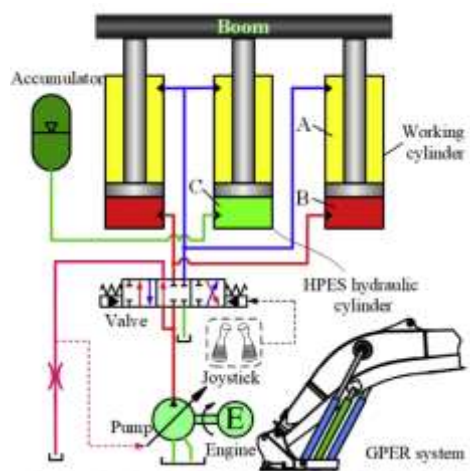


Рисунок 10 – Рекуперативный привод стрелы экскаватора

В статье Yunxiao Нао приводится описание рекуперативной гидравлической системы экскаватора GPES с гидроцилиндром HPES (рис. 10) [15]. Поршневая камера С накопления энергии гидравлического цилиндра HPES соединена с ПГА для уравнивания веса рабочего устройства путем установки соответствующего давления в ПГА. Штоковая камера А и поршневая камера В рабочих гидравлических цилиндров соединены с клапаном для управления стрелой. Когда стрела экскаватора опускается под действием силы тяжести рабочая жидкость под высоким давлением из поршневой камеры С поступает в ПГА, подзаряжая его. В процессе подъема стрелы ПГА сбрасывает рабочую жидкость под высоким давлением в поршневую камеру С накопления энергии гидравлического цилиндра HPES, который приводит в действие рабочие гидравлические цилиндры стрелы. Yunxiao Нао на основании проведенных экспериментов было выявлено, что при работе экскаватора рекуперативный гидропривод стрелы позволяет восстанавливать около 43,9 % энергии.



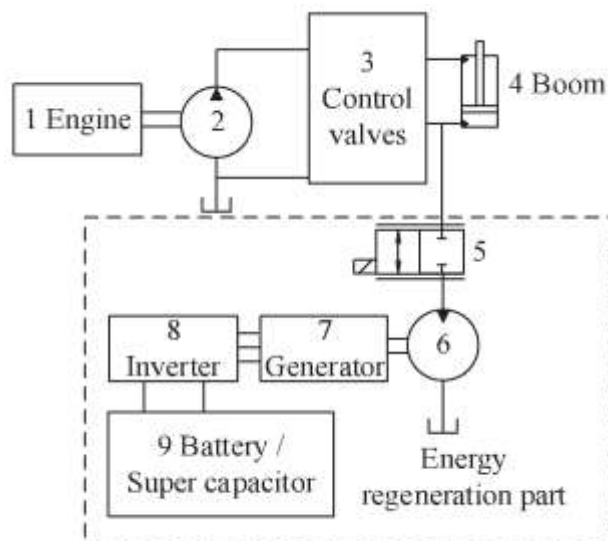


Рисунок 11 – Электрическая гибридная система для рекуперации энергии стрелы

При опускании стрелы, регулирующим клапан 3 закрывается и после открывается клапан 5. Электрогенератор 7 приводится в движение гидравлическим двигателем 6 линии возврата рабочей жидкости цилиндра стрелы. Рекуперативная энергия накапливается в батарее или суперконденсаторе 9.

Tranliang Lin, Qingfeng Wang, Baozan Hu и Wen Gong провели исследование рекуперативного привода, сочетающего в себе преимущества электрического накопителя энергии и ПГА (рис. 12) [17]. При опускании стрелы, потенциальная гравитационная энергия массы стрелы с грузом может быть преобразована как в

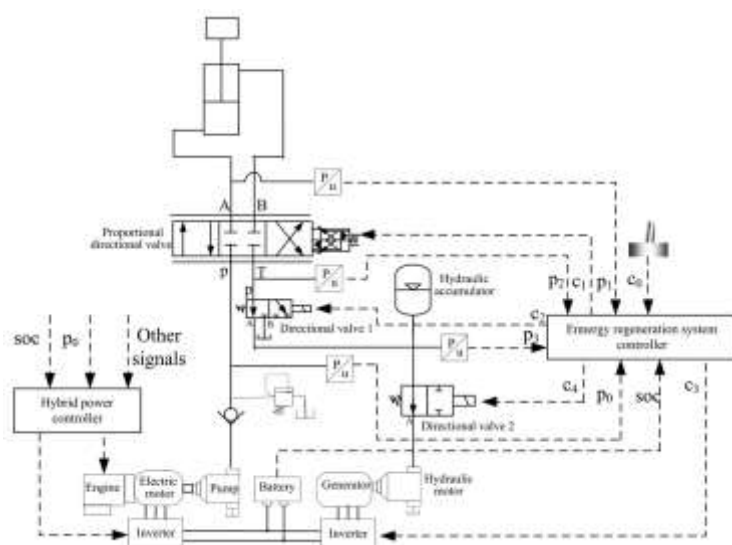


Рисунок 12 – Рекуперативный гибридный привод экскаватора

По сравнению с оригинальной системой энергопотребления гидравлического привода, исследуемая, позволяет снизить энергопотребление за тот же рабочий цикл на 26,2 %.

В работе Ying-Xiao Yu приводится классическая гибридная система для рекуперации энергии в стрелы экскаватора (рис. 11) [16]. Когда стрела экскаватора движется вверх, двигатель 1 приводит в движение гидравлический насос 2 для подачи потока рабочей жидкости в цилиндр

электрическую, так и в гидравлическую энергию. Разработанный ими привод позволяет в зависимости от условий погрузки-разгрузки изменять время рекуперации энергии в диапазоне от 2 до 20 с.

Тао Wang в своей работе предлагает перспективный рекуперативный привод экскаватора (рис. 13) [18], в котором гидравлический насос

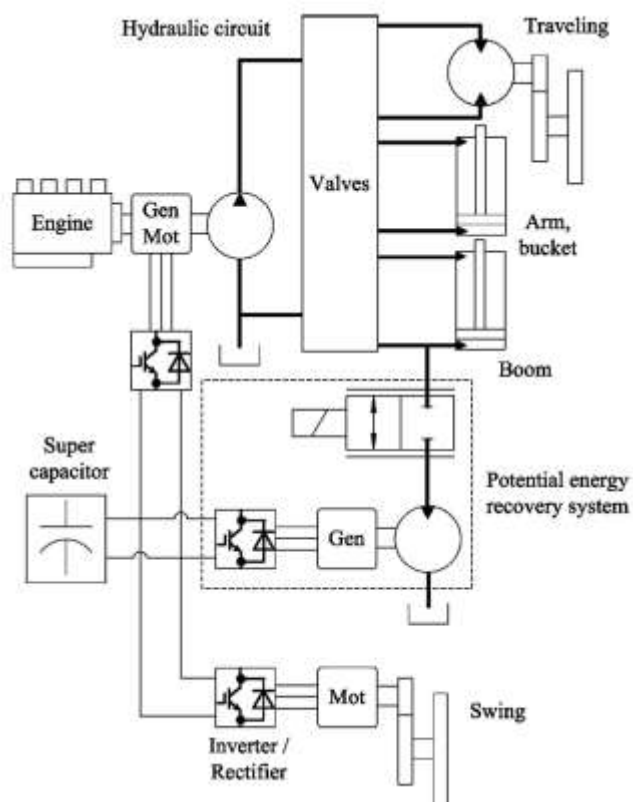


Рисунок 13 – Рекуперативный гидропривод экскаватора

приводится в действие двигателем или электродвигателем. Электрический двигатель при больших нагрузках работает как двигатель, а при небольших нагрузках как генератор. Поворотный гидравлический двигатель заменен электродвигателем для накопления и использования кинетической энергии торможения платформы экскаватора. При опускании стрелы экскаватора потенциальная энергия гравитации преобразуется в электрическую и накапливается в суперконденсаторе.

В статье Tianliang Lin описывается схема параллельного гибридного гидравлического привода

экскаватора, который может повторно использовать потенциальную энергию стрелы (рис. 14) [19]. При движении стрелы с грузом вниз избыточная потенциальная энергия может быть использована, и для приведения в действие насоса, и для подзарядки ПГА. При подъеме стрелы используется энергия, накопленная в ПГА.

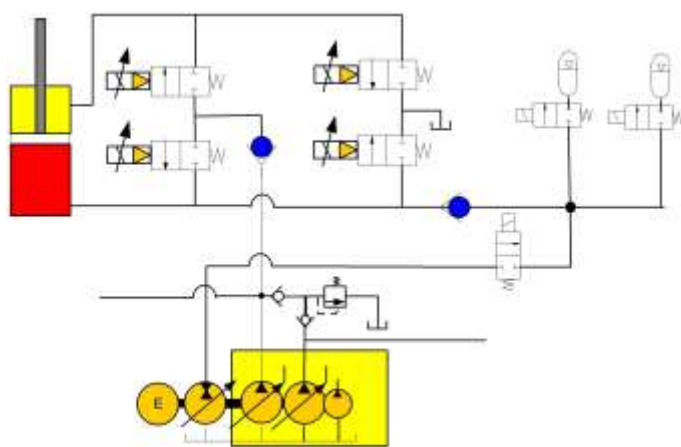


Рисунок 14 – Гибридный гидравлический рекуперативный привод экскаватора

Baoyu Cao, Wei Li и Zhe Tong в своей научной работе описывают новую гибридную энергосберегающую систему для гидравлического экскаватора (рис. 15), которая объединяет в себе ПГА и электрический регенератор [20]. Приведенная система состоит из устройства подачи рабочей жидкости, приводов, регулирующих клапанов и блока

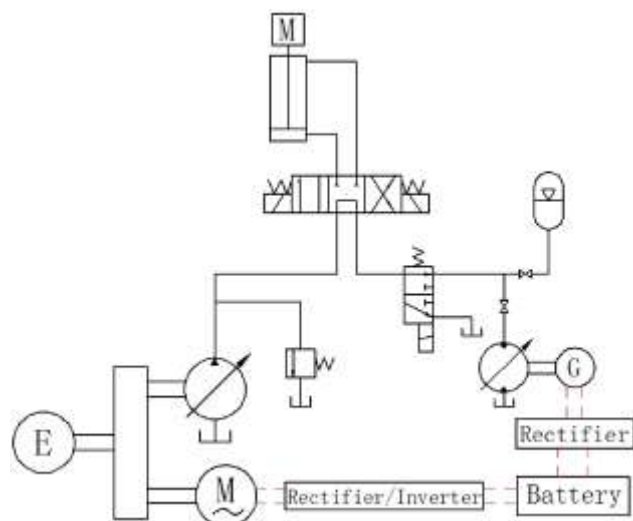


Рисунок 15 – Энергосберегающая система гибридного гидравлического экскаватора

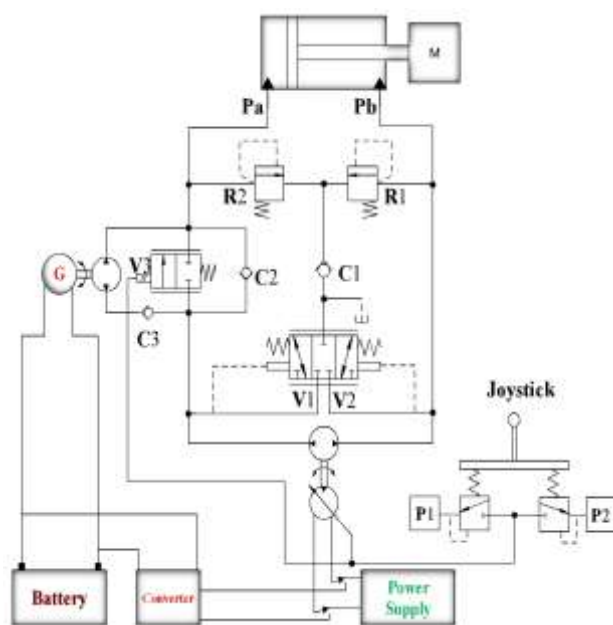


Рисунок 16 – Рекуперативная система стрелы экскаватора

регенерации энергии. Насос приводится в движение двигателем. В определенных режимах работы избыточная энергия, подаваемая насосом, преобразуется в электрическую энергию и сохраняется в батарее. Результаты моделирования рассматриваемой системы показывают высокую эффективность восстановления энергии.

В работе Debdatta Das описывает принципиальную схему разработанной рекуперативной системы стрелы экскаватора (рис. 16) [21]. Она включает в себя систему подачи рабочей жидкости, гидравлический цилиндр стрелы, регулирующие клапаны, блок регенерации энергии и элементы накопления электроэнергии. Гидравлический насос приводится в движение двигателем, рабочая жидкость под давлением из гидравлического насоса поступает в гидроцилиндр стрелы. Когда поршень гидроцилиндра под воздействием массы стрелы с грузом перемещается избыточная энергия рабо-

чей жидкости преобразуется в электрическую, которая поступает для накопления в аккумуляторную батарею.

В работе Lei Ge, Long Quan, Yunwei Li, Xiaogang Zhang и Jing Yang приведена схема рекуперативной системы управления стрелой экскаватора (рис. 17) [22]. Электрический сервомотор с регулируемой скоростью вращения и ПГА используются для привода асимметричного гидравлического насоса, который имеет три порта. Серводвигатель используется для регулирования скоро-

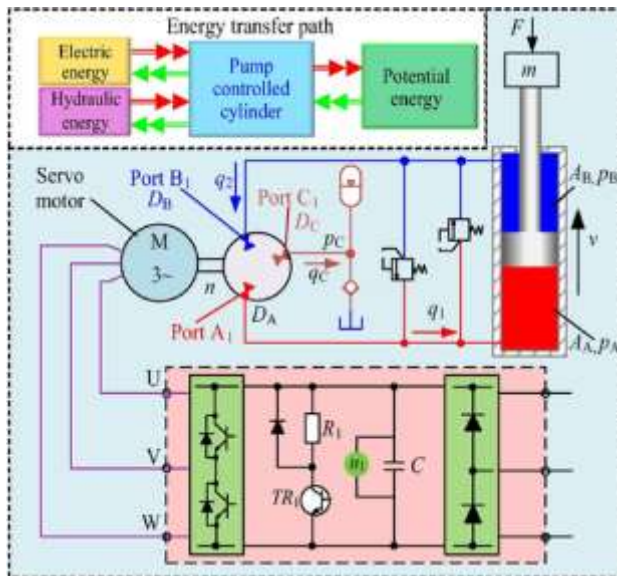


Рисунок 17 – Рекуперативная система управления стрелой экскаватора

сти ассиметричного насоса с фиксированным рабочим объемом. Порты  $A1$  и  $B1$  этого насоса напрямую соединены с гидравлическим цилиндром, а порт  $C1$  напрямую связан с ПГА и баком через обратный клапан. Принцип работы системы следующий: в процессе опускания стрелы с грузом насос всасывает рабочую жидкость из бесштоковой камеры гидравлического цилиндра через отверстие  $A1$ . Затем гидравлический насос сливает рабочую жид-

кость в штоковую камеру гидравлического цилиндра и в ПГА через отверстия  $B1$  и  $C1$ . Данная система позволяет аккумулировать энергию во время опускания стрелы с грузом и затем использовать ее при подъеме, сократить до минимума затрачиваемую мощность и повысить эффективность технологического процесса погрузки-разгрузки.

Lu Lu и Bin Yao в описывают работу рекуперативного гидропривода управления стрелой манипулятора (рис. 18), включающего в себя пять клапанов и ПГА для управления гидравлическим цилиндром [23]. ПГА напрямую под-

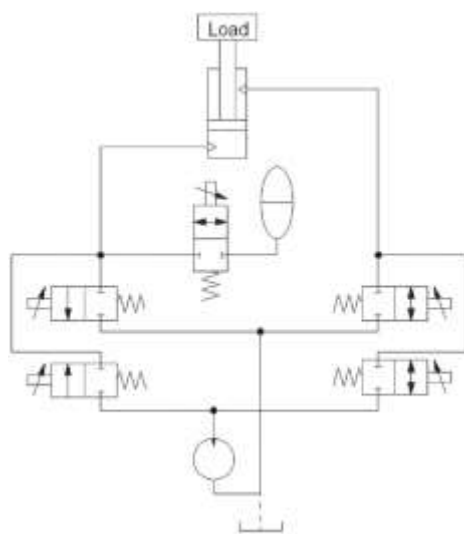


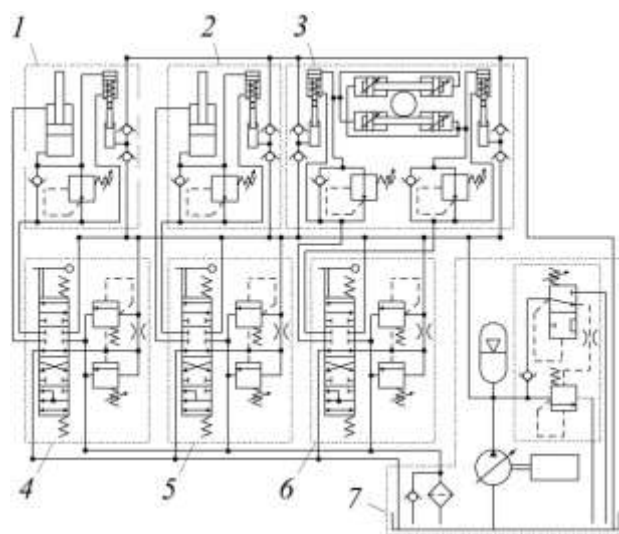
Рисунок 18 – Рекуперативный гидропривод управления стрелы манипулятора

ключен к поршневой камере гидравлического цилиндра. При перемещении гидравлического цилиндра стрелы манипулятора вниз, происходит возрастание давления рабочей жидкости в поршневой камере гидравлического цилиндра, и рабочая жидкость поступает в ПГА для его зарядки. Далее для операции подъема стрелы манипулятора используется накопленная в ПГА гидравлическая энергия.

Проведенный анализ конструкций существующих технологических машин с гидрофицированным оборудованием выявил, что иссле-



дования, ориентированные на повышение эффективности работы технологических машин и оборудования с использованием существующих технологий рекуперации различных видов энергии полностью не исчерпаны. В настоящее время в связи с трудностями, возникающими при решении задач по обоснованию конструктивных и рабочих параметров рекуперативных механизмов, используемых в лесных машинах, с учетом технологических особенностей выполняемых ими работ все еще отсутствуют удовлетворяющие требованиям технические решения рекуперативных гидроприводов манипуляторов лесовозных автомобилей.



- 1 – рекуперативный механизм стрелы,  
 2 – рекуперативный механизм рукояти;  
 3 – рекуперативный механизм опорно-поворотного устройства, 4-6 – стандартные гидрораспределители; 7 – насосно-аккумуляторный узел

Рисунок 19 – Рекуперативный гидропривод манипулятора лесовозного автомобиля

На основе этого, авторами был предложен рекуперативный гидропривод манипулятора лесовозного автомобиля, схема которого представлена на рисунке 19.

Гидропривод манипулятора состоит из рекуперативных механизмов 1 ... 3, стандартных гидрораспределителей 4 ... 6 и насосно-аккумуляторного узла 7. Установленные в гидравлическом манипуляторе механизмы рекуперации стрелы и рукояти с грейфером совершают работу путем использования потенциальной энергии положения стрелы с грузом. Накопление и использование гидравлической энергии рабочей жидкости в опорно-поворотном устройстве выполняется путем демпфирования динамических нагрузок, воздействующих на колонну, стрелу и рукоять с грейфером, как без пачки сортиментов, так и с пачкой в моменты начала и конца поворотов гидравлического манипулятора [24].

### Выводы

Использование потенциальной энергии, непроизводительно рассеиваемой в окружающую среду, при опускании в процессе погрузки-разгрузки технологического оборудования с грузом нашло применение в различных гидрофици-



рованных машинах циклического действия. Рассматриваемые гидравлические и гибридные приводы с рекуперацией потенциальной энергии груза применимы для портовых кранов, гидравлических экскаваторов, погрузчиков различного типа, землеройно-транспортных машин.

В настоящее время российскими и зарубежными учеными ведутся разработки рекуперативных гидроприводов по трем основным направлениям: с рекуперацией гидравлической энергии, с рекуперацией электрической энергии и комбинированные. Не смотря на это, наибольшее применение в тяжелой технике в связи с часто повторяющимися циклами работы нашли приводы с рекуперацией гидравлической энергии в ПГА.

Проведенный анализ показал, что на сегодняшний день еще не разработаны удовлетворяющие требованиям рекуперативные гидроприводы манипуляторов для лесовозных автомобилей, которые позволяют накапливать и использовать потенциальную энергию при опускании стрелы с грузом в процессе погрузки-разгрузки.

Применение предлагаемого авторами рекуперативного гидропривода манипулятора позволит использовать в лесовозном автомобиле значительно меньшей мощности двигатель, уменьшить расход топлива и токсичность выхлопных газов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Барбашов, Н. Н. Улучшение энергетических характеристик подъемно-транспортных машин [Текст] / Н. Н. Барбашов, И. В. Леонов // Машиностроение, 2012, 25 лет НУК РК. – С. 57-66.

2 Хмара, Л. А. Повышение эффективности бульдозера путем использования гидропневмоаккумулирующей системы [Текст] / Л. А. Хмара, А. П. Холодов // Гидропривод // СДМ. – С. 1-5.

3 Хмара, Л. А. Эффективность применения гидроаккумулирующей системы [Текст] / Л. А. Хмара, А. П. Холодов // Вестник ХНАДУ, вып. 5, 2011. – С. 72-78.

4 Чмиль, В. П. Рекуперативный привод гидромеханизма подъема стрелы экскаватора [Текст] / В. П. Чмиль // Вестник гражданских инженеров. Транспортное, горное и строительное машиностроение, 2016, № 4 (57). – С. 167-169.

5 Корнев, Д. А. Способы энергосбережения в экскаваторах [Текст] / Д. А. Корнев, И. С. Локтионов, Р. С. Колестников // Международная научно-

техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. – С. 2617-2620.

6 Шестаков, В. С. К вопросу проектирования привода гидравлического экскаватора [Текст] / В. С. Шестаков // Изв. Урал. Горно-геол. акад. Сер. : Горная электромеханика, 2000. – Вып. 9. – С. 155-157.

7 Карпенко, М. М. Перспектива использования гидравлического энергосберегающего привода [Текст] / М. М. Карпенко, Л. Е. Пелевин, М. Богдявичус // Техничко-технологические проблемы сервиса, 2017. – № 3(41). – С. 7-12.

8 Кузнецова, В. Н. Разработка конструкции гибридного привода поворотной платформы землеройной машины для выполнения строительных работ [Текст] / В. Н. Кузнецов, В. В. Савинкин // Вестник Сибади, Выпуск 1(41), 2015. – С. 17-23.

9 Цветков, М. В. Повышение эффективности грузоподъемных устройств с гидроприводом // Молодежь и наука : сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края [Электронный ресурс]. – Красноярск : Сибирский федеральный ун-т, 2014. – Режим доступа : <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/directions.html>, свободный.

10 Ремарчук, М. П. Реалізація принципу рекуперації енергії в гідросистемах приводу машин зі стріловим робочим обладнанням [Электронный ресурс] / М. П. Ремарчук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2013. – Вип. 143. – С. 97-105. – Режим доступа : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg\\_2013\\_143\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2013_143_16).

11 А. с. 883282, МПК E02F9/22. Гидравлический привод подъема стрелы погрузочной машины [Текст] / А. В. Рустанович и др. (СССР). – № 2888910/29-03 ; заявл. 03.03.80 ; опубл. 23.11.81, Бюл. № 43.

12 А. с. 1167283 СССР, МПК E02F9/22. Гидропривод стрелы погрузчика [Текст] / В. Д. Глебов (СССР) ; Заявитель : Псковский филиал Ленинградского ордена Ленина политехнического института им. М. И. Калинина. – № 3735208/29-03 ; заявл. 29.04.84, опубл. 15.07.85 Бюл. № 26.

13 Грязин, В. А. Особенности моделирования технологического оборудования подъемно-транспортных машин с механическим энергоаккумулирующим приводом [Текст] / В. А. Грязин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, № 190, 2010. – С. 97-103.

14 Lianpeng, Xia Energy efficiency analysis of integrated drive and energy recuperation system for hydraulic excavator boom [Text] / Lianpeng Xia, Long Quan, Lei Ge, Yunxiao Hao // Energy Conversion and Management, 156, 2018. – Pp. 680-687.

15 Yunxiao, Hao Potential energy directly conversion and utilization methods used for heavy duty lifting machinery [Text] / Yunxio Hao, Long Quan, Hang Cheng, Lianpeng Xia, Lei Ge, Bin Zhao // Energy, 155(2018). – Pp. 242-251.

16 Ying-Xiao, Yu Optimization of energy regeneration of hybrid hydraulic

excavator boom [Text] / Ying-Xiao Yu, Kyound Kwan Ahn // Energy Conversion and Management, 183(2019), – Pp. 26-34.

17 Tianliang, Lin Research on the energy regeneration systems for hybrid hydraulic excavators [Text] / Tianliang Lin, Qingfeng Wang, Baozan Hu, Wen Gong // Automation in Construction, 19 (2010), – Pp. 1016-1026.

18 Tao, Wang Improvement of boom control performance for hybrid hydraulic excavator with potential energy recovery [Text] / Tao Wong, Qingfeng Wang, Tianliang Lin // Automation in Construction, 30(2013). – Pp. 161-169.

19 Tianliang, Lin Review of boom potential energy regeneration technology for hydraulic construction machinery [Text] / Tianliang Lin, Qiang Chen, Haoling Ren, Weiping Huang, Qihuai Chen, Shengjie Fu // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79(2017), – Pp. 358-371.

20 Baoyu, Cao Modeling and Simulation of Boom Potential Energy Recovery System in Hybrid Hydraulic Excavator [Text] / Baoyu Cao, Wei Li, Zhe Tong // Applied Mechanics and Materials, Vol. 437. – Pp. 217-221.

21 Debdatta, Das A Novel Energy Recuperation System for Hybrid Excavator using Hybrid Actuator [Text] / Debdatta Das, Kyoung Kwan Ahn, Truong M N Bul // 2015 15<sup>th</sup> International Conference on control, Automation and Systems (ICCAS 2015), Oct. 13-16, 2015 in BEXCO, Busan, Korea. – 7 p.

22 Lei, Ge A novel hydraulic excavator boom driving system with high efficiency and potential energy regeneration capability [Text] / Lei Ge, Long Quan, Yunwei Li, Xiaogang Zhang, Jing Yang // Energy Conversion and Management, 2018. – 13 p.

23 Lu, Lu Energy-Saving Adaptive Robust Control of a Hydraulic Manipulator Using Five Cartridge Valves With an Accumulator [Text] / Lu Lu, Bin Yao // IEEE Transactions on industrial electronics, Vol. 61, № 12, December 2014. – Pp. 7046-7054.

24 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).