

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МАШИН ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОЗИМНИКОВ**

*Русмиленко А.К., Конев В.В., Мерданов Ш.М.*  
*Тюменский индустриальный университет, Тюмень*

**Ключевые слова:** рабочий орган машин для земляных работ, гидропривод, распределение энергии, энергоэффективность, энергоемкость, двигатель внутреннего сгорания, баланс мощности.

**Аннотация.** Машин для земляных работ эксплуатируются в различных природно-климатических условиях, которые влияют на эффективность их работы. Основной задачей является повышение эффективности за счёт совершенствования конструкции и управления рабочими органами машин для земляных работ. Предлагается управление адаптивностью и рекуперацией энергии для повышения эффективности и срока службы машин для земляных работ, работающих в условиях при низких температурах. В статье рассмотрена схема распределения энергии строительных машин для земляных работ, представлена предлагаемая конструкция и гидросхема модернизации, а также баланс мощности гидронасосом и циклограмма рабочего цикла.

## **IMPROVEMENT OF THE WORKING BODIES OF MACHINES FOR EARTHWORKS USED IN THE CONSTRUCTION OF WINTER ROADS**

*Rusmilenko A.K., Konev V.V., Merdanov Sh.M.*  
*Tyumen Industrial University, Tyumen*

**Keywords:** working body of machines for earthworks, hydraulic drive, energy distribution, energy efficiency, energy intensity, internal combustion engine, power balance.

**Abstract.** Earthmoving machines are operated in various natural and climatic conditions that affect the efficiency of their work. The main objective is to increase efficiency by improving the design and control of the working bodies of earthmoving machines. Adaptability control and energy recovery are proposed to improve the efficiency and service life of earthmoving machines operating in low temperature conditions. The article considers the energy distribution scheme of construction machines for earthworks, presents the proposed design and modernization hydraulic scheme, as well as the power balance of the hydraulic pump and the work cycle cyclogram.

### **Введение**

Освоение, развитие нефтегазовых направлений России, включающих строительство и эксплуатацию объектов нефтегазового комплекса, а также сооружений, дорог, инфраструктуры, обеспечивающих их функционирование, определяет необходимость в развитии большого парка машин для земляных работ (МЗР) в суровых условиях низких температур, сопряженных с рядом важных особенностей, вызываемых природно-климатическими, экономическими, экологическими факторами влияния [1]. В связи с суровым климатом уменьшается срок службы техники, увеличивается количество поломок и эффективность работы гидропривода. Решаемая проблема направлена на снижение нагрузки работы гидропривода техники за счет внедрения в конструкцию гидроаккумулятора с целью повышения надежности гидропривода, производительности работы техники и уменьшения расхода топлива.

### **Анализ проведенных исследований**

Исследования, проведенные ранее, показывают, что понижение температуры воздуха повышает энергоемкость разработки грунтов, но для МЗР разного конструктивного исполнения этот показатель отличается [2]. Это указывает на их различную конструктивную приспособленность. В соответствии с изложенным ставится цель – совершенствование машин для земляных работ для эксплуатации в условиях Крайнего севера.

Эксплуатация МЗР на Севере в условиях изменения температур и характеристик грунтов естественно влияет на работоспособность и надежность машин. Повышение надежности

гидропривода (предупреждение отказов) сводится к предохранению «опасного» или «слабого» узла от перегрузки, т.е. к «резервированию параметра» [3]. Предохранение осуществляется следующими методами: срабатыванием предохранительной аппаратуры, сливающей жидкость по резервному (предохранительному) каналу; срабатыванием автоматического устройства, снижающих скорость движения исполнительного механизма или даже приводящих к изменению направления его движения; защитной реакцией источника питания – снижением или отключением подачи насоса; комбинацией перечисленных методов [4].

Наиболее популярным является первый метод, приводящий однако к большим затратам энергии, снижению динамических свойств гидропривода, увеличению массы и габаритов гидросистем, особенно при разветвленных системах и большом числе исполнительных механизмов. Второй и третий способы сложны технически и технологически.

Наиболее рациональным и удобным критерием для оценки энергоёмкости работы МЗР и, к примеру, экскаваторов является расход горючего на единицу объема разрабатываемого грунта [5]. Распределение энергии в машинах для земляных работ показано на рисунке 1, оно представляет собой передачу энергии от ДВС к рабочим органам и исполнительным элементам трансмиссии. Наибольшие потери энергии наблюдаются в цикле работы гидропривода МЗР, а именно на золотниках распределителей в процессе дроссельного регулирования скоростей рабочих движений и на первичных предохранительных клапанах.

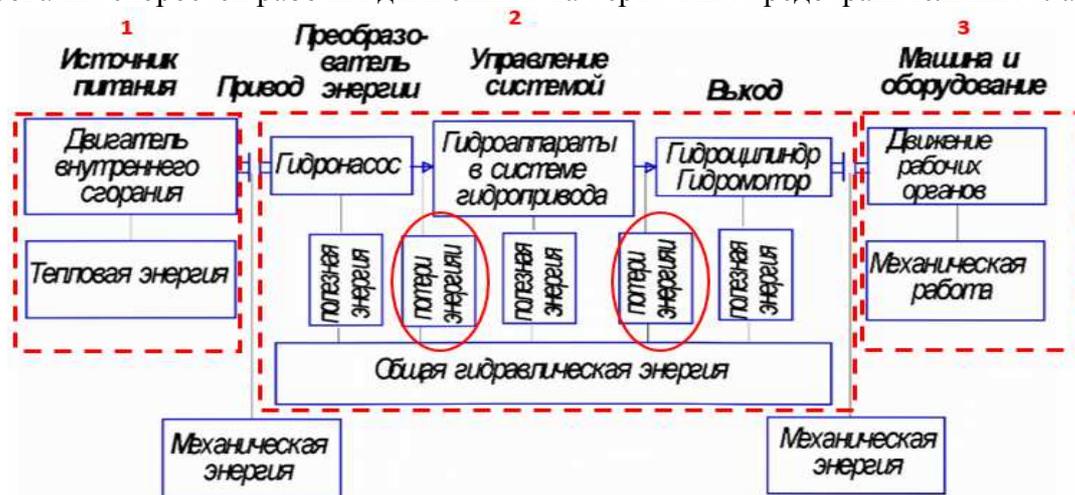


Рис. 1. Распределение энергии в машинах для земляных работ [6]: 1 – источник питания; 2 – управление системой; 3 – рабочее оборудование

Экономия энергии в работе МЗР достигается за счет совершенствования конструкции ДВС, повышения его КПД; перевода ДВС на пониженную частоту вращения коленчатого вала при перерывах в работе [7].

Для энергосбережения в работе машин используются различные подходы, которые в основном направлены на сохранение или эффективное перераспределение энергии. К примеру, гидросистема с открытым центром позволяет уменьшать гидравлические сопротивления в элементах гидропривода за счет дополнительного канала, что приводит к повышению энергосбережения работы гидропривода. Азотный компенсатор колебаний грузевого ковша содержит гидроаккумулятор, который гасит возникающие колебания в погрузчике при его движении и раскачивании в сторону рабочего органа. Модернизация гидросистемы бульдозера позволяет накапливать энергию в гидроаккумуляторе при основном процессе копания отвалом. А при разворотах машины и подготовке к новому циклу копания отвал поднимается и опускается за счет энергии, накопленной в гидроаккумуляторе.

К примеру, японские фирмы «Kamatsu» и «Mitsubishi» предусматривают на своих экскаваторах специальные устройства уменьшения подачи рабочей жидкости насосами при нейтральном положении скоростей работы ДВС и при срабатывании предохранительных клапанов [8]. Цель – снижение потерь энергии на нагрев рабочей жидкости, т.е. – то же, что и в ранее рассмотренных системах.

В работе цикла МЗР при неподвижном рабочем оборудовании в гидравлической системе с установленным насосом постоянной производительности происходит дросселирование рабочей жидкости на предохранительном клапане. Вследствие этого, большая часть потока энергии используется неэффективно, часть ее переходит в тепло [9]. При использовании данного метода регулирования применяются гидрораспределители с открытым центром и с установленным специальным каналом (гидросистема с открытым центром показана на рисунке 2).

Этим сберегается энергия ДВС и разгружается система при сливе неиспользованной рабочей жидкости в бак.

В гидроприводе некоторых МЗР применяются устройства, предназначенные для аккумуляции энергии рабочей жидкости, находящейся под давлением, с целью последующего возврата ее в гидросистему, такие устройства называются гидроаккумуляторами (гидропневмоаккумуляторы, грузовые аккумуляторы, пружинные – по принципу действия, «деформации» элемента энергосбережения и отдачи). Эти устройства применяются в МЗР, в частности с циклическим действием, к примеру, в бульдозерах и позволяют довести операцию до конца при выходе из строя гидронасоса. На рисунке 3 приведен пример гидросистемы бульдозера ДЗ-43Г, оснащенного гидроаккумулятором.

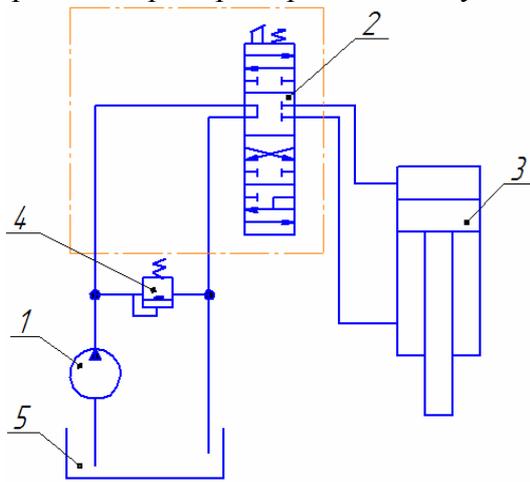


Рис. 2. Гидросистема с открытым центром:  
1 – гидронасос; 2 – гидрораспределитель;  
3 – гидроцилиндр; 4 – клапан напорный;  
5 – гидробак

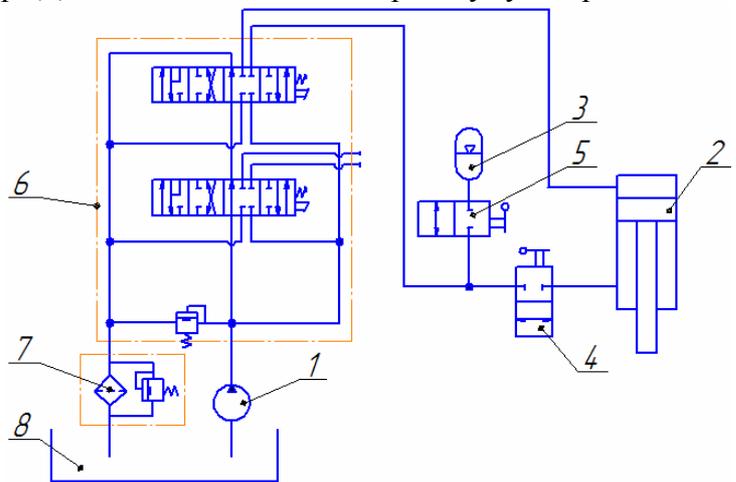


Рис. 3. Гидросистема бульдозера ДЗ-42Г, оснащенного гидроаккумулятором:  
1 – гидронасос; 2 – гидроцилиндр;  
3 – гидроаккумулятор; 4 – гидрораспределитель;  
5 – гидрораспределитель; 6 – блок гидрораспределителей управления рабочим оборудованием;  
7 – фильтр с предохранительным клапаном; 8 – гидробак

По рисунку 4 видно, что при выполнении цикла холостого хода  $t_{xx}$  мощность, затрачиваемая гидросистемой с рекуперации энергии  $N_{xx1}$ , больше, чем без нее  $N_{xx}$ . При этом во время выполнения цикла копания  $t_k$  происходит обратное явление, при котором мощность, затрачиваемая на копание, без системы рекуперации  $N_k$  больше, чем с системой рекуперации  $N_{k1}$ , т.е. технике приходится затрачивать меньше мощности, используя энергию рабочей жидкости гидропневмоаккумулятора.

Модернизация гидропривода МЗР гидроаккумулятором позволит равномерно загрузить ДВС по мощности на всем рабочем цикле техники. Это позволит повысить производительность техники примерно на 5% и уменьшить расход топлива примерно на 8% [10].

На рисунке 5 показан усовершенствованный привод управления рабочего органа бульдозера. Предложенный вариант усовершенствования привода позволяет за счет аккумуляции энергии гидропривода в гидроаккумуляторе экономить энергию при максимальном формировании призмы грунта перед отвалом, наезде на препятствие (к примеру, искусственная неровность «лежачий полицейский»). На рисунке 6 показана гидросхема модернизированного бульдозера.

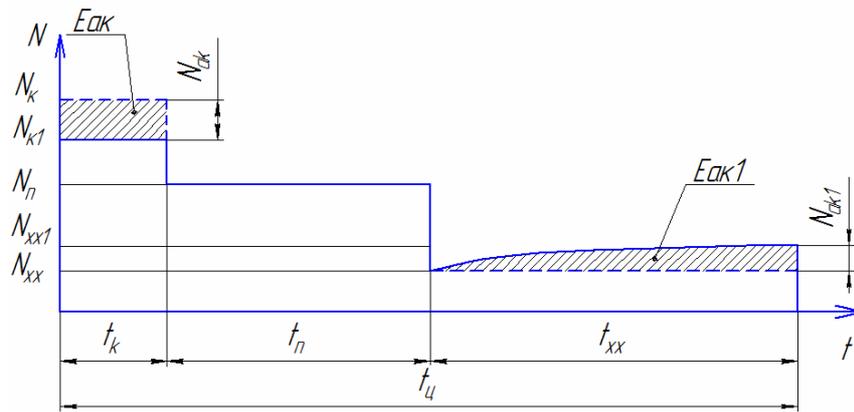


Рис. 4. Циклограмма рабочего цикла бульдозера с системой аккумуляции энергии (—); и без нее (- -):  $t_n$  – количество используемого времени для цикла перемещения;  $N_n$  – мощность, затрачиваемая для перемещения

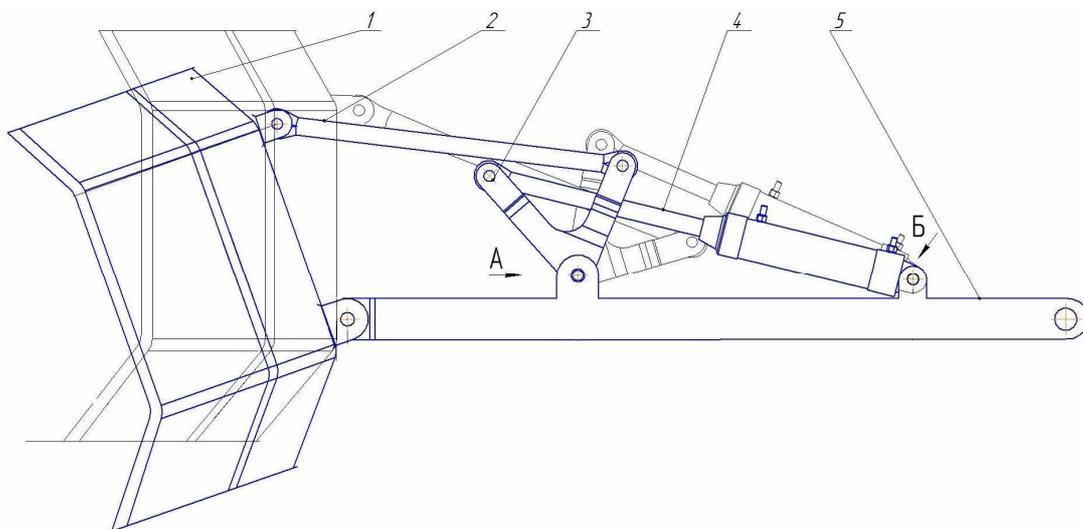


Рис. 5. Усовершенствованный привод управления рабочим органом бульдозера: 1 – отвал; 2 – тяга; 3 – двуплечный рычаг; 4 – гидроцилиндр; 5 – толкающий брус

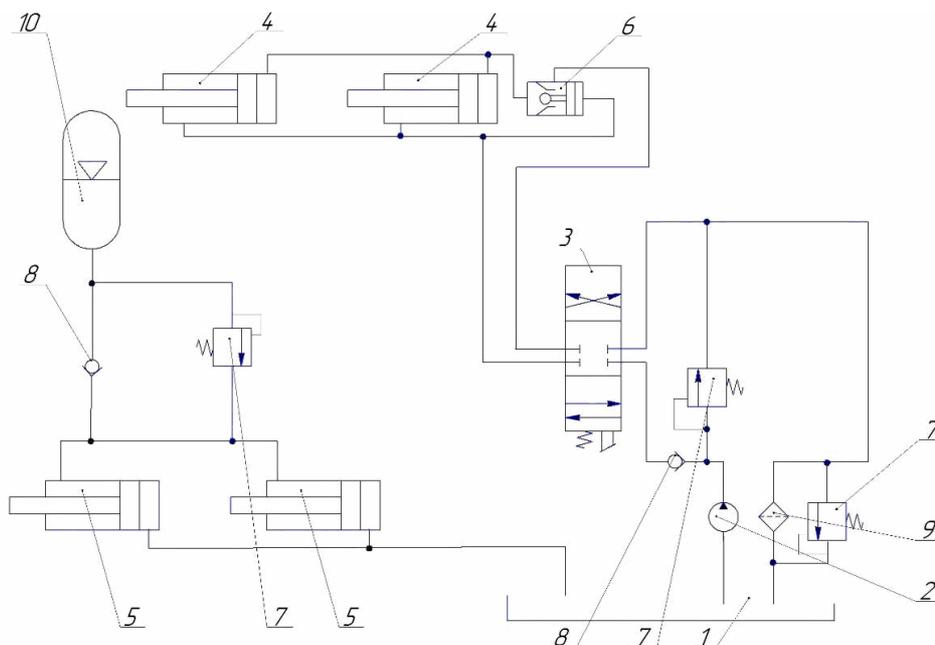


Рис. 6. Гидросхема модернизированного бульдозера: 1 – гидробак; 2 – гидронасос; 3 – гидрораспределитель; 4 – гидроцилиндр; 5 – гидроцилиндр поворота; 6 – гидрозамок; 7 – клапан перепускной; 8 – клапан обратный

На рисунке 7 показана расчетная схема действующих сил на рабочий орган техники при работе.

Возвращение системы в исходное рабочее положение осуществляется при падении сопротивления на отвале за счет поступления жидкости из гидроаккумулятора в гидроцилиндр, соединяющий двуплечий рычаг и толкающий брус.

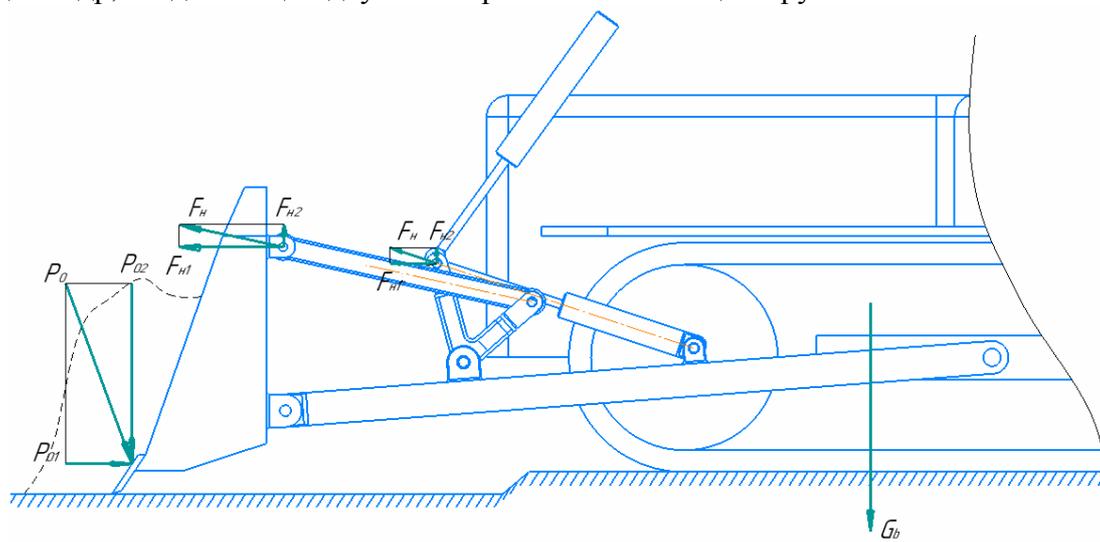


Рис. 7. Расчетная схема, действующих сил на рабочий орган:  $P_{01}$  – сила сопротивления перемещению призмы волочения;  $P_{02}$  – сила тяжести призмы волочения;  $P_0$  – результирующая сила сопротивления грунта копанию;  $F_{N1}$  – нормальная сила, действующая на элемент конструкции при перемещении призмы волочения;  $F_{N2}$  – касательная сила, действующая на элемент конструкции при перемещении призмы волочения;  $F_N$  – полная сила, действующая на элемент конструкции при перемещении призмы волочения

Автоматический подъем отвала осуществляется при наезде на препятствие (или формировании максимального объема призмы грунта) за счет поворота двуплечего рычага, который показан на рисунке 8,а. На рисунке 8,б показан общий вид бульдозера и препятствие, возникающее перед отвалом.

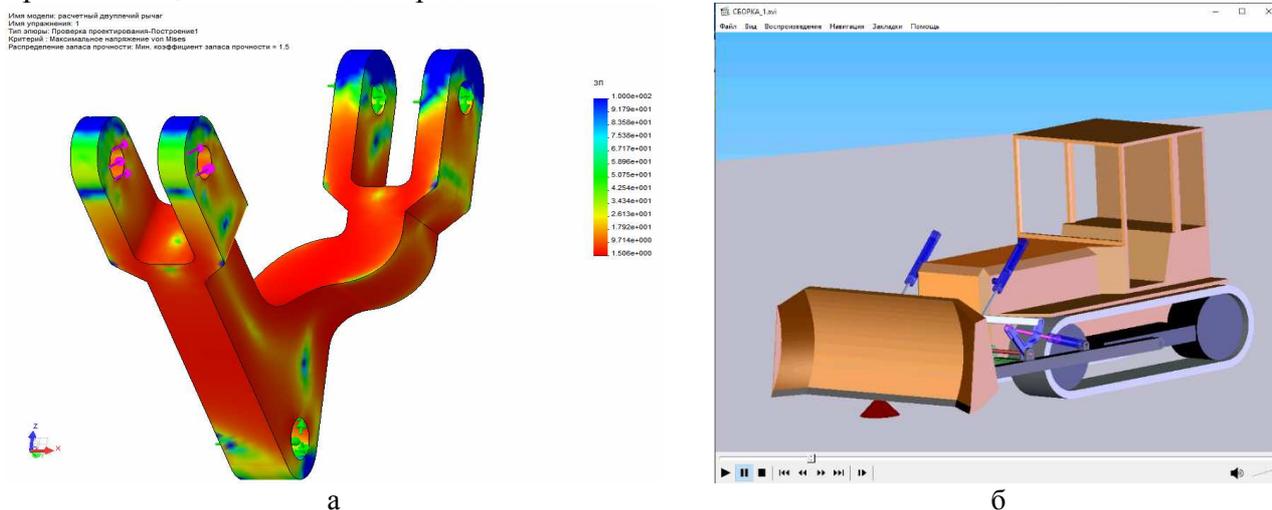


Рис. 8. Энергосберегающая система гидропривода бульдозера 3D модель: а) двуплечий рычаг; б) общий вид бульдозера

### Результаты

Основными конкурентными преимуществами предлагаемой конструкции являются: повышение рабочей скорости техники, оборудованной отвалом (в качестве примера была рассмотрена модернизация рабочего органа бульдозера), повышение надежности и гибкости системы и возможность ее унификации, простота и эстетичность конструкции, возможность

внедрения предлагаемой системы в условиях малых предприятий по разработанным методикам и автоматизации расчёта; возможность автоматизации работы, записи неровностей на дорожные карты и представления их дорожным службам, автомобилистам в приложениях автомобильных карт.

Таким образом, достигается энергосбережение примерно на 5-10% в зависимости от характеристик грунта или материала, с которым работает техника (снежная масса и т.д.), толщины и угла резания, рабочей скорости техники, квалификации машиниста.

Предлагаемое техническое решение можно внедрить для повышения производительности и надежности на такую технику, как Амкадор-331,333; МТЗ-82; МТЗ-1221; Снегоуборочная техника на базе Урал, КамАЗ и т.д.

### **Выводы**

В соответствии с поставленной целью было достигнуто совершенствование машин для земляных работ для эксплуатации в условиях Крайнего севера за счет совершенствования привода управлением подъема/опускания отвала.

Таким образом, данная модернизация автоматизированного подъема/опускания отвала бульдозера позволяет за счет аккумулирования энергии в гидроаккумуляторе экономить энергию при максимальном формировании призмы грунта перед отвалом в момент наезда на препятствие.

### **Список литературы**

1. Мерданов Ш.М., Конев В. В., Карнаухов Н. Н., Райшев Д.В., Серебренников А.А., Егоров А.Л., Закирзаков Г.Г., Шаруха А.В., Медведев А.В., Казакова Н.В., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М., Шитый В.В., Половников Е.В. Развитие транспортно-технологических систем. – Тюмень: ТИУ, 2021. – 264 с.
2. Карнаухов Н. Н. Приспособление строительных машин к условиям Российского Севера и Сибири. – М.: Недра, 1994. – 352 с.
3. Елецких С.В., Шубкин С.Ю., Бунеев С.С., Радин С.Ю. Гидропривод сельскохозяйственной техники. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2021. – 67 с.
4. Мерданов Ш.М., Конев В.В., Закирзаков Г.Г. Гидроприводы строительно-дорожных машин для эксплуатации при низких температурах. – Тюмень: ТИУ, 2016. – 160 с.
5. Зеленин А.Н. Машины для земляных работ – М.: Машиностроение, 1975. – 422 с.
6. Карнаухов В.Н. Сбережение топливно-энергетических ресурсов при использовании автомобильного транспорта зимой. – М.: Недра, 1998. – 180 с.
7. Конев В.В., Карнаухов Н.Н., Мерданов Ш.М. Тепловая подготовка двигателя внутреннего сгорания землеройной машины. – Тюмень: ТИУ, 2022. – 177 с.
8. Конев В.В., Карнаухов Н.Н., Мерданов Ш.М. Совершенствование системы предпусковой тепловой подготовки двигателя внутреннего сгорания землеройной машины. – Тюмень: ТИУ, 2020. – 144 с.
9. Вашуркин И.О. Тепловая подготовка строительных машин в условиях сурового климата. – СПб.: Наука, 2005. – 238 с.
10. Гоберман Л.А. Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1988. – 464 с.

### **References**

1. Merdanov Sh.M., Konev V.V., Karnaukhov N.N., Raishev D.V., Serebrennikov A.A., Egorov A.L., Zakirzakov G.G., Sharukha A.V., Medvedev A.V., Kazakova N.V., Kostyrchenko V.A., Magyarov T.M., Shityi V.V., Polovnikov E.B. Development of transport and technological systems. – Tyumen: TIU, 2021. – 264 p.
2. Karnaukhov N. N. Adaptation of construction machines to the conditions of the Russian North and Siberia. – M.: Nedra, 1994. – 352 p.
3. Yeletsikh S.V., Shubkin S.Yu., Buneev S.S., Radin S.Yu. Hydraulic drive of agricultural machinery. – Yelets: Yelets State University n.a. I.A. Bunin, 2021. – 67 p.
4. Merdanov Sh.M., Konev V.V., Zakirzakov G.G. Hydraulic drives of road construction machines for operation at low temperatures. – Tyumen: TIU, 2016. – 160 p.
5. Zelenin A.N. Machines for earthworks – M.: Mechanical Engineering, 1975. – 422 p.
6. Karnaukhov V.N. Saving fuel and energy resources when using motor transport in winter. – M.: Nedra, 1998. – 180 p.
7. Konev V.V., Karnaukhov N.N., Merdanov Sh.M. Thermal preparation of an internal combustion engine of an earthmoving machine. – Tyumen: TIU, 2022. – 177 p.
8. Konev V.V., Karnaukhov N.N., Merdanov Sh.M. Improvement of the system of pre-start thermal preparation of the internal combustion engine of an earthmoving machine. – Tyumen: TIU, 2020. – 144 p.

9. Vashurkin I.O. Thermal preparation of construction machines in a harsh climate – SPb.: Science, 2005. – 238 p  
 10. Goberman L.A. Fundamentals of theory, calculation and design of construction and road machines. – M.: Mechanical Engineering, 1988. – 464 p.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Русмиленко Антон Константинович</b> – аспирант	<b>Rusmilenko Anton Konstantinovich</b> – postgraduate student
<b>Мерданов Шахбуба Магомедкеримович</b> – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры транспортных и технологических систем.	<b>Merdanov Shakhbuba Magomedkerimovich</b> – doctor of technical sciences, professor, head of the Department of transport and technological systems.
<b>Конев Виталий Валерьевич</b> – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры транспортных и технологических систем rustorm@bk.ru	<b>Konev Vitaliy Valerievich</b> – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of transport and technological systems

*Получена 15.07.2023*