

## МЕХАНИЗАЦИЯ И КЛАСТЕРИЗАЦИЯ АПК

УДК 631.372

DOI 10.24888/2541-7835-2023-27-129-136

Радин С.Ю., Бунеев С.С., Шубкин С.Ю., Елецких С.В.

### К РАСШИРЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

**Ключевые слова:** отвал, гидроцилиндр, нож, продольный изгиб, рыхление, коромысло, тяга.

**Аннотация.** В настоящей статье представлены материалы, касающиеся разработки перспективной конструкции отвала для различных типов бульдозеров, используемых на грунтах повышенной прочности. Важнейшим параметром бульдозеров является производительность, которая зависит от количества грунта, перемещаемого отвалом за один рабочий цикл, характеризуемый объёмом призмы волочения. Характерным признаком перегрузки отвалов является буксование гусениц или колёс тракторов. Такое явление существенно сказывается на надёжности узлов и деталей бульдозеров, снижении их производительности. Для исключения этого можно использовать поворотные отвалы, позволяющие поворачивать их на определённый угол в обе стороны относительно продольной оси машины, однако перестройка их достаточно трудоёмка и не всегда эффективна. Анализ многочисленных источников позволил разработать на уровне изобретений перспективное техническое решение, позволяющее эффективно производить землеройные работы, связанные с обработкой высокопрочных грунтов. В результате аналитических исследований, с учетом силы сопротивления резания  $7 \text{ кН}$ , были рассчитаны геометрические параметры зубчатого зацепления (зубчатое колесо-рейка), модуль зацепления принят  $m=10 \text{ мм}$ . Даны рекомендации по выбору материала зубчатого колеса и рейки – Сталь 45 нормализованная. Для угловых поворотов боковых секций отвала рекомендовано использовать гидроцилиндр с двухсторонним штоком с внутренним диаметром цилиндра  $d_c=40 \text{ мм}$  и диаметром штока  $d_{ш}=20 \text{ мм}$ , при давлении рабочей жидкости  $p=10 \text{ МПа}$ . Тяги отвала рекомендуется выполнять из трубы  $80 \times 60$  Сталь 85, обеспечивающей их устойчивость при работе отвала бульдозера.

#### Введение

Бульдозеры являются землеройно-транспортными машинами, область применения которых заключается в планировке и перемещении различных материалов и грунтов, а также их срезания [1, 3, 6]. В настоящее время весьма распространено агрегатирование мощного бульдозерного навесного оборудования с сельскохозяйственными тракторами [7]. Известно, что технологические процессы производства работ бульдозерами весьма многообразны, и они в основном предусматривают следующие операции: послойная разработка и перемещение материалов; возведение насыпей; разработка выемок; отрывку каналов, ирригационных сооружений, траншей и котлованов; планировочные работы; пробивка трасс и полок на склонах; засыпку траншей; снегоочистку и т.п. [2, 9, 14]. Бульдозеры классифицируют по назначению, типу ходовой части, конструкции рабочего оборудования, форме и назначению рабочего органа, типу привода рабочего оборудования и тяговому классу базовой машины [5,8].

Обычно бульдозеры, представляющие собой машины циклического действия, состоят из базового трактора или тягача, впереди которого в его поперечной плоскости навешен рабочий орган, называемый отвалом [12]. Отвалы с производительными ножами в значительной мере упрощают выемку грунта при организации земельно-рыхлительных работ и проведении мелиоративных процессов, очистку площадей под засева, прокладку подземных коммуникаций и гидротехнических систем [12]. Отвалы в основном подразделяют на прямые и полусферические, имеющие соответственно или одинаковую форму по всей своей ширине или же имеющие загнутые вперёд боковые секции [13]. Несмотря на эффективность использования, современные конструкции отвалов не в полной мере отвечают требованиям настоящего времени, в частности при работах, связанных с рыхлением высокопрочных грунтов,

причём такой недостаток напрямую связан с производительностью выполняемого технологического процесса [3, 4, 10, 15].

### Объекты и методы исследований

Учитывая указанные выше недостатки при эксплуатации отвалов бульдозеров, на кафедре технологических процессов в машиностроении и агроинженерии агропромышленного института Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина ведется научно-исследовательская работа по теме «Динамика, прочность и надёжность транспортных, сельскохозяйственных, строительно-дорожных машин и промышленного стандартного и нестандартного оборудования, используемого в ЦЧР РФ», один из разделов которой посвящен разработке технических средств, направленных на совершенствование конструкций и модернизацию землеройно-транспортных машин.

Исследования проводились в 2018-2022 гг. на базе выше указанной кафедры Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина в научно-исследовательских лабораториях по совершенствованию рабочего процесса и повышению надежности сельскохозяйственных машин и технологических комплексов.

В основе исследования - системный подход, позволивший установить связь между параметрами разработанной перспективной конструкции отвала бульдозера повышенной эксплуатационной надежности и критериями качества функционирования отвала. Используются сведения земледельческой (сельскохозяйственной) механики теоретического и экспериментального характера, а также законы классической механики.

### Результаты исследований

В результате исследований был проанализирован разработанный перспективный отвал бульдозера (см. рис. 1).

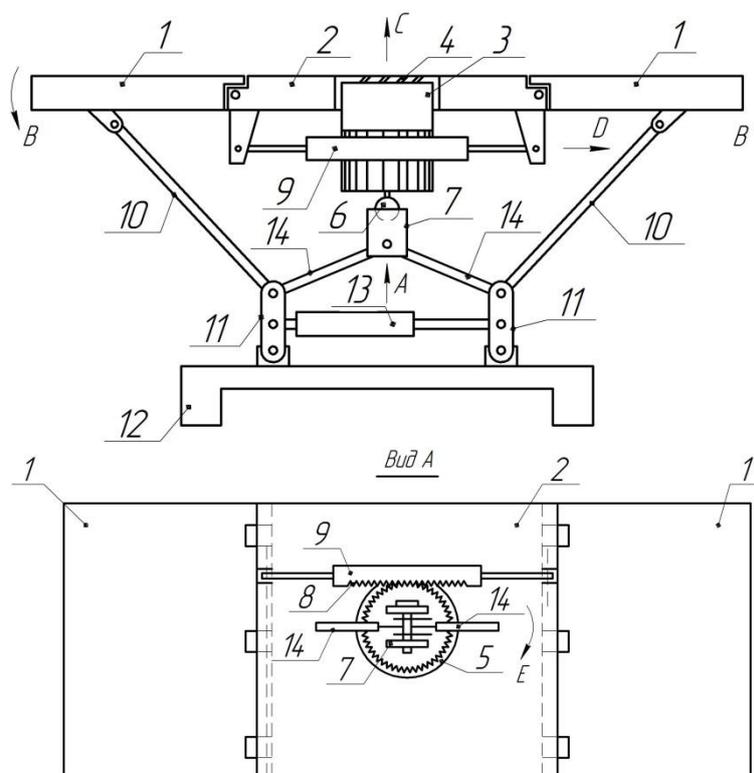


Рисунок 1. Перспективный отвал бульдозера

Такое бульдозерное оборудование состоит из шарнирно соединённых боковых секций отвала 1 и средней секции отвала 2, в которой подвижно размещён вращающийся выдвижной нож 3, снабжённый резцами 4. На ноже 3 жёстко закреплено зубчатое колесо 5 и подвижно, с помощью шарового шарнира 6, проушина 7. Зубчатое колесо 5 контактирует с зубчатой рейкой 8, выполненной на корпусе дополнительного гидроцилиндра 9, штоки которого связаны со средней секцией отвала 2. Секции отвала 1 при помощи тяг 10 шарнирно соединены с коромыслами 11, а также шарнирно закреплёнными с одной стороны с рамой бульдозера 12, а с другой с гидроцилиндром 13 их управления. При этом коромысла 11 связаны также шарнирно через дополнительные тяги 14 с проушиной 7.

Работа рассмотренного технического решения происходит следующим образом.

В гидроцилиндр 13 подается рабочая жидкость, благодаря чему боковые секции 1 получают угловой поворот по стрелкам *B*, а нож 3 выдвигается на некоторую величину относительно секции 2 по стрелке *C*. Одновременно рабочая жидкость подается в дополнительный гидроцилиндр 9, при этом его корпус, перемещаясь, например, по штокам вправо по стрелке *D*, своей зубчатой рейкой 8 вращает зубчатое колесо 5 по стрелке *E*, а, следовательно, и сам нож 3 поворачивается в этом же направлении. Понятно, что вращение ножа 3 с одновременным перемещением его по стрелке *C* эффективно обеспечит рыхление высокопрочного грунта.

Для ещё более эффективного рыхления грунта угловые повороты ножа 3 по стрелке *E* и обратно могут быть выполнены, например, в автоматическом режиме с частым периодическим реверсированием дополнительного гидроцилиндра 9. В дальнейшем, как только необходимость рыхления высокопрочного грунта отпадёт, гидроцилиндр 13 реверсируют, и боковые секции 1 отвала возвращаются в исходное положение, показанное на рис. 1, а нож 3 утапливается заподлицо в среднюю его секцию 2, и тогда отвал работает только в режиме транспортировки разрыхлённого грунта.

Анализируя конструкцию и работу перспективного технического решения, видно, что наиболее нагруженными с точки зрения работоспособности являются тяги 10 и зубчатое зацепление привода ножа 3 отвала. Произведём расчёт последних на прочность.

В качестве исходных данных используем следующие технические характеристики бульдозера модели ДЗ-59С тягового класса 35: модель базового трактора – Т330; мощность двигателя – 250 кВт; тип – с неповоротным отвалом; собственная масса бульдозера – 44000 кг; длина отвала – 3600 мм; высота отвала – 1200 мм; диаметр зубчатого колеса – 300 мм; длина перемещения с рыхлением высокопрочных грунтов – 70 м; плотность грунта – 2700 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент разрыхленности – 1,6.

Используя такие данные, определим силу сопротивления резания, создаваемую ножом 3 (рис. 1) по известной зависимости [11]:

$$W = kdh = 350 \cdot 0,2 \cdot 0,1 = 7 \text{ кН} . \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент удельного сопротивления грунта резанию, 350 кПа;

$d$  – диаметр выдвижного ножа, 200 мм;

$h$  – толщина разрыхляемого пласта, 100 мм.

Приводом зубчатого колеса 5, как было описано выше, является зубчатая рейка 8 (см. рис. 1). Тогда к последнему будет приложена окружная сила  $P_1 = W = 7 \text{ кН}$ , действующая по его делительной окружности  $d_0 = 300 \text{ мм}$ . Под действием этой силы на выдвижном ноже возникает крутящий момент, равный:

$$T = \frac{P_1 d_0}{2} = \frac{7 \cdot 0,3}{2} = 1,05 \text{ кН} \cdot \text{м} . \quad (2)$$

В качестве материала зубчатого колеса и рейки примем сталь 45 по ГОСТ 4543-71 с последующей термообработкой – нормализация. Тогда, исходя из такого значения момента  $T$ , вычислим модуль зацепления из условия прочности зуба зубчатого колеса на выносливость при изгибе по формуле:

$$m = \sqrt[3]{\frac{2TK \cdot \gamma_u}{y[\sigma_0]_u \psi_m z k_p}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1050 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 1,5}{0,416 \cdot 130 \cdot 8 \cdot 30 \cdot 0,67}} = 6,7 \text{ мм}, \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий условия работы речной передачи, 1,2;  
 $\gamma_u$  – коэффициент, учитывающий условия запылённости и коррозии передачи, 1,5;  
 $y$  – коэффициент формы зуба, 0,416;  
 $[\sigma_0]_u$  – допускаемые напряжения, 130 МПа;  
 $\psi_m$  – коэффициент длины зуба, 8;  
 $z$  – количество зубьев на зубчатом колесе, 30;  
 $k_p$  – коэффициент режима работы передачи, 0,67.

Окончательно, согласно ГОСТ 9563-60, и, учитывая тяжелые условия работы ножа, примем модуль зацепления равным  $m=10$  мм.

Как было отмечено выше, окружное усилие, возникающее на зубчатом колесе и необходимое для рыхления грунта, составляет  $P_1 = W = 7 \text{ кН}$ . Следовательно, гидроцилиндр с двусторонним штоком, обеспечивающий угловой поворот своей зубчатой рейкой зубчатое колесо, должен развивать усилие не менее 7 кН (700 кгс). Используя рекомендации ГОСТ6540-68, произведём расчёт геометрических характеристик гидроцилиндра с двухсторонним штоком применительно к предложенному техническому решению по известной методике [11]. Для этого установим из рекомендуемого ряда внутренний диаметр цилиндра  $d_6=40$  мм и диаметр штока  $d_{ш}=20$  мм и тогда вычислим усилие, возникающее на штоке при давлении рабочей жидкости в  $p=10$  МПа по известной зависимости:

$$F = pA = \frac{\pi(d_6^2 - d_{ш}^2)}{4} p = \frac{3,14(40^2 - 20^2)}{4} 10 = 9420 \text{ Н}. \quad (4)$$

Видно, что полученный результат  $9420 > 7000$  в 1,35 больше, следовательно, работоспособность такого гидроцилиндра будет обеспечена.

Теперь произведём расчёт на прочность тяг 10 (см. рис. 1), имеющих длину 1,2 м, которые предназначены для передачи усилия к боковым секциям 1 отвала, находящимся в закрытом состоянии, таком, как это показано на рис. 1, и в случае, когда отвал транспортирует грунт.

Видно, что такие тяги работают на продольный изгиб и должны отвечать требованиям устойчивости. Поэтому произведём их расчёт на устойчивость, считая, что они выполнены из трубы 80х60 Сталь 85 ГОСТ 1459-79 с  $\sigma_B=1128$  МПа и  $\sigma_T=981$  МПа.

Определим численное значение усилия  $W_1$ , приложенного к отвалу при движении бульдозера со скоростью 5,2 км/ч по зависимости:

$$W_1 = \gamma l h b = 27000 \cdot 3,6 \cdot 1,2 \cdot 0,9 = 104976 \text{ Н}, \quad (5)$$

где  $\gamma$  – плотность грунта, 27000 Н/м<sup>3</sup>;  
 $l$  – длина отвала, 3600 мм;  
 $h$  – высота отвала, 1200 мм;  
 $b$  – средняя величина ширины транспортируемого грунта, 900 мм.

Следовательно, если тяги 10 расположены под углом  $30^\circ$  в продольной плоскости оси симметрии бульдозера, то понятно, что каждая из них (рис. 1) будет нагружена усилием в 45139 Н (4,5 т).

Определим критическую силу, возникающую в тягах, используя известную методику продольного изгиба стержней [11]. Для этого определим момент инерции кольцевого круглого сечения тяги по формуле:

$$J = \frac{\pi}{64} (d_n^4 - d_6^4) = \frac{\pi}{64} (8,0^4 - 6,0^4) = \frac{2800 \cdot \pi}{64} \text{ см}^4. \quad (6)$$

Теперь вычислим площадь поперечного сечения тяги по зависимости:

$$F = \frac{\pi}{4}(d_n^2 - d_e^2) = \frac{\pi}{4}(8,0^2 - 6,0^2) = \frac{28 \cdot \pi}{4} \text{ см}^2. \quad (7)$$

Определим радиус инерции сечения тяги:

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}} = \sqrt{\frac{2800 \cdot \pi \cdot 4}{64 \cdot 28 \cdot \pi}} = 2,5 \text{ см}. \quad (8)$$

Считаем, что при заданном способе закрепления концов тяги, имеющей шарнирное крепление с двух её сторон, коэффициент длины равен  $\mu=1$ , и тогда гибкость тяги можно определить по формуле

$$\lambda = \frac{\mu l}{i} = \frac{1 \cdot 120}{2,5} = 48. \quad (9)$$

В то же время

$$\lambda = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma}} = 3,14 \sqrt{2 \cdot \frac{10^5}{981}} = 45. \quad (10)$$

Видно, что  $48 > 45$ , следовательно, критическую силу можно определить по формуле Эйлера

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu l)^2} = \frac{9,858 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 2800 \cdot \pi \cdot 10^{-8}}{64(1 \cdot 1,2)^2} = 18,6 \cdot 10^3 \text{ Н} = 18,6 \text{ кН}. \quad (11)$$

Видно, что  $P_{кр}=18,6 \text{ кН}$  и превышает рабочую нагрузку  $4,5 \text{ кН}$  в 4,13 раза.

Таким образом, устойчивость тяг обеспечена.

### Выводы

1. В результате аналитических исследований, с учетом силы сопротивления резания  $7 \text{ кН}$ , были рассчитаны геометрические параметры зубчатого зацепления (зубчатое колесо-рейка): модуль зацепления принят  $m=10 \text{ мм}$ .
2. Даны рекомендации по выбору материала зубчатого колеса и рейки – Сталь 45 нормализованная.
3. Для угловых поворотов боковых секций отвала рекомендовано использовать гидроцилиндр с двухсторонним штоком с внутренним диаметром цилиндра  $d_e=40 \text{ мм}$  и диаметром штока  $d_{ш}=20 \text{ мм}$ , при давлении рабочей жидкости  $p=10 \text{ МПа}$ .
4. Тяги 10 (см. рис. 1) рекомендуется выполнять из трубы 80x60 Сталь 85, обеспечивающей их устойчивость при работе отвала бульдозера.

### Список литературы

1. Адамов Е.А., Вахрушев С.И. Повышение производительности бульдозера путем совершенствования отвала с ножами и рыхлительного оборудования // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2020. – Т. 2. – С. 450-455.
2. Волкова В.Д., Гребеньков Д.В. Способы повышения производительности бульдозера // Вестник современных исследований. – 2019. – № 1.8(28). – С. 43-45.
3. Гончарова О.В., Вахрушев С.И. Патентные исследования по совершенствованию конструкции отвалов бульдозера // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2016. – Т. 1. – С. 242-252.
4. Захарычев С.П., Иванов В.А. Ремонт уплотнительных систем гидроцилиндров // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2005. – № 12. – С. 31-35.
5. Клигунова З.А., Воскресенский Г.Г. Моделирование процесса перемещения грунта бульдозером // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2020. – Т. 1. – № 1. – С. 147-150.
6. Козбагаров Р.А., Бакиров А.Т. Анализ технических решений конструкций рабочего оборудования бульдозеров повышенной эффективности // Инновационные технологии на

транспорте: образование, наука, практика: матер. XLII Междунар. науч.-практ. конф. в рамках реализации Послания Президента РК Н. Назарбаева «Новые возможности развития в условиях четвертой промышленной революции», Алматы, 18 апреля 2018 года / Под ред. Б.М. Ибраева. – Алматы: Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2018. – С. 299-302.

7. Матвеев А.С., Рубец С.Г. Перспективы развития бульдозеров // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: Матер. Междунар. студен. науч. конф.: В 4-х томах. 18-19 марта. – Пос. Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2020. – С. 141.

8. Мельников Р.В., Диев А.Е. Гидродинамика рабочей жидкости в гидросистеме бульдозера ДЗ-171 при подъеме отвала // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 4. – С. 29-34.

9. Оценка технического состояния гусеничного бульдозера / А. Муханов, Е. Мостепанов, Г. Ильченко [и др.] // Технадзор. – 2015. – № 10(107). – С. 212.

10. Патент № 2702205 С1 Российская Федерация, МПК F15B 15/20, F16J 15/53, F16J 15/56. гидроцилиндр: № 2019106564: заявл. 07.03.2019: опубл. 04.10.2019 / Е.В. Сливинский, С.Ю. Радин, А.В. Шатский; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина».

11. Радин С.Ю., Шубкин С.Ю., Бунеев С.С. Совершенствование конструкции гидроцилиндров, используемых в гидрооборудовании землеройной техники // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2022. – № 1(23). – С. 85-94.

12. Расчет основных характеристик гидроцилиндра бульдозера на базе трактора / А.В. Петрухин, С.Г. Данильченко, Д.И. Титов, Н.А. Шамаев // Наука молодых – будущее России: сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых: в 6 томах, Курск, 11-12 декабря 2018 года. – Курск: ЗАО Университетская книга, 2018. – С. 115-117.

13. Токар Н.И., Кондрат К.И. Повышение эффективности производства дорожно-строительных работ с применением бульдозеров с управляемыми торцевыми ножевыми системами // Вестник научных конференций. – 2019. – № 9-2(49). – С. 109-112.

14. Шипилова Н.А. Оценка показателей технической надежности работы бульдозеров // Вопросы устойчивого развития общества. – 2020. – № 8. – С. 283-290.

15. Яковлева С.П., Махаров С.Н. Фрактодиагностика эксплуатационного разрушения подъемного механизма бульдозера // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 93. – С. 528-541.

**Радин Сергей Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических процессов в машиностроении и агроинженерии, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», 3999770, Липецкая обл., г. Елец, ул. Коммунаров, 28, e-mail: radin81@mail.ru

**Бунеев Сергей Сергеевич** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технологических процессов в машиностроении и агроинженерии, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», 3999770, Липецкая обл., г. Елец, ул. Коммунаров, 28, e-mail: limes88@mail.ru

**Шубкин Сергей Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических процессов в машиностроении и агроинженерии, ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», 3999770, Липецкая обл., г. Елец, ул. Коммунаров, 28, e-mail: shubkin.92@mail.ru

**Елецких Сергей Витальевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических процессов в машиностроении и агроинженерии, ФГБОУ ВО «Елецкий государ-

ственный университет им. И.А. Бунина», 3999770, Липецкая обл., г. Елец, ул. Коммунаров, 28, e-mail: esv8@yandex.ru

UDC 631.372

**S. Radin, S. Buneev, S. Shubkin, S. Yeletskikh**

## **TO EXPAND THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF EARTHMOVING AND TRANSPORT MACHINES**

**Keywords:** blade, hydraulic cylinder, knife, longitudinal bending, loosening, rocker arm, thrust.

**Abstract.** This article presents materials related to the development of a promising dump design for various types of bulldozers used on high-strength soils. The most important parameter of bulldozers is productivity, which depends on the amount of soil moved by the blade in one working cycle, characterized by the volume of the drawing prism. A characteristic sign of overloading of dumps is the slipping of tracks or tractor wheels. This phenomenon significantly affects the reliability of components and parts of bulldozers, reducing their productivity. To eliminate this, rotary dumps can be used, allowing them to be rotated at a certain angle in both directions relative to the longitudinal axis of the machine, but their restructuring is quite time-consuming and not always effective. The analysis of numerous sources made it possible to develop a promising technical solution at the level of inventions, which makes it possible to efficiently perform earthmoving operations related to the treatment of high-strength soils. As a result of analytical studies, taking into account the cutting resistance force of 7 kN, the geometric parameters of the gear engagement (gear wheel-rail) were calculated, the engagement module was adopted  $m = 10 \text{ mm}$ . Recommendations are given on the choice of gear wheel and rail material – 45 normalized steel. For angular rotations of the side sections of the blade, it is recommended to use a hydraulic cylinder with a double-sided rod with an internal cylinder diameter of  $d_v = 40 \text{ mm}$  and a rod diameter of  $d_s = 20 \text{ mm}$ , at a working fluid pressure of  $p = 10 \text{ MPa}$ . It is recommended that the blade rods be made of 80x60 Steel 85 pipe, which ensures their stability during the operation of the bulldozer blade.

### **References**

1. Adamov E.A., Vakhrushev S.I. Increasing the productivity of the bulldozer by improving the blade with knives and ripping equipment // Modern technologies in construction. Theory and practice. – 2020. – Vol. 2. – Pp. 450-455.
2. Volkova V.D., Grebenkov D.V. Ways to increase the productivity of a bulldozer // Bulletin of Modern Research. – 2019. – No 1.8(28). – Pp. 43-45.
3. Goncharova O.V., Vakhrushev S.I. Patent research on improving the design of bulldozer dumps // Modern technologies in construction. Theory and practice. – 2016. – Vol. 1. – Pp. 242-252.
4. Zakharychev S.P., Ivanov V.A. Repair of hydraulic cylinder sealing systems // Repair. Recovery. Modernization. – 2005. – No. 12. – Pp. 31-35.
5. Kligunova Z.A., Voskresensky G.G. Modeling of the process of soil displacement by a bulldozer // Far East: problems of development of the architectural and construction complex. – 2020. – Vol. 1. – No. 1. – Pp. 147-150.
6. Kozbagarov R.A., Bakirov A.T. Analysis of technical solutions for structures of working equipment of bulldozers of increased efficiency // Innovative technologies in transport: education, science, practice: Materials of the XLII International scientific and practical conference within the framework of the implementation of the Message of the President of the Republic of Kazakhstan N. Nazarbayev «New development opportunities in the context of the Fourth Industrial Revolution», Almaty, April 18, 2018 / Edited by B.M. Ibraev. – Almaty: M. Tynyshpaev Kazakh Academy of Transport and Communications Publ, 2018. – Pp. 299-302.
7. Matveev A.S., Rubets S.G. Prospects for the development of bulldozers // Gorin readings. Innovative solutions for agriculture: Materials of the International Student Scientific Conference: In

4 volumes, May, March 18-19, 2020. – Maysky: Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin Publ, 2020. – P. 141.

8. Melnikov R.V., Diev A.E. Hydrodynamics of the working fluid in the hydraulic system of the bulldozer DZ-171 when lifting the blade // Construction and road vehicles. – 2007. – No. 4. – Pp. 29-34.

9. Assessment of the technical condition of a tracked bulldozer / A. Mukhanov, E. Mostepanov, G. Ilchenko [et al.] // Technical Supervision. – 2015. – No 10(107). – P. 212.

10. Patent No. 2702205 C1 Russian Federation, IPC F15B 15/20, F16J 15/53, F16J 15/56. hydraulic cylinder: No. 2019106564: application 07.03.2019: publ. 04.10.2019 / E.V. Slivinsky, S. Yu. Radin, A.V. Shatsky; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bunin Yelets State University».

11. Radin S.Yu., Shubkin S.Yu., Buneev S.S. Improving the design of hydraulic cylinders used in hydraulic equipment of earthmoving equipment // Agro-industrial technologies of Central Russia. – 2022. – No 1(23). – Pp. 85-94.

12. Calculation of the main characteristics of a bulldozer hydraulic cylinder based on a tractor / A.V. Petrukhin, S.G. Danilchenko, D.I. Titov, N.A. Shamaev // Nauka molodykh – the Future of Russia: collection of scientific articles of the 3rd International Scientific Conference of Promising developments of Young Scientists: in 6 volumes, Kursk, December 11-12, 2018. – Kursk: Closed Joint Stock Company «University Book» Publ, 2018. – Pp. 115-117.

13. Tokar N.I., Kondrat K.I. Improving the efficiency of road construction works using bulldozers with controlled end knife systems / N.I. Tokar, K.I. Kondrat // Bulletin of scientific conferences. – 2019. – No 9-2(49). – Pp. 109-112.

14. Shipilova N.A. Evaluation of indicators of technical reliability of bulldozers // Issues of sustainable development of society. – 2020. – No. 8. – Pp. 283-290.

15. Yakovleva S.P., Makharov S.N. Fractodiagnosics of operational destruction of the lifting mechanism of a bulldozer // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. – 2013. – No. 93. – Pp. 528-541.

**Radin Sergey** – Candidate of Technical Sciences, associate Professor of the Department Technological Processes in Mechanical Engineering and Agroengineering, Bunin Yelets State University, Lipetsk region, Yelets, Kommunarov St., 28, e-mail: radin81@mail.ru

**Buneev Sergey** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate Professor of the Department Technological Processes in Mechanical Engineering and Agroengineering, Bunin Yelets State University, Lipetsk region, Yelets, Kommunarov St., 28, e-mail: limes88@mail.ru

**Shubkin Sergey** – Candidate of Technical Sciences, associate Professor of the Department Technological Processes in Mechanical Engineering and Agroengineering, Bunin Yelets State University, Lipetsk region, Yelets, Kommunarov St., 28, e-mail: shubkin.92@mail.ru

**Yeletskikh Sergey** – Candidate of Technical Sciences, associate Professor of the Department Technological Processes in Mechanical Engineering and Agroengineering, Bunin Yelets State University, Lipetsk region, Yelets, Kommunarov St., 28, e-mail: esv8@yandex.ru