

УДК 69.002.5

П.И. Лебедева, А.В. Ефремов, Е.Н. Сычкина**P.I. Lebedeva, A.V. Efremov, E.N. Sychkina**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

**К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БУЛЬДОЗЕРА****IMPROVE THE PERFORMANCE OF BULLDOZER**

Исследуется проблема повышения производительности бульдозера, в частности произведен патентный поиск. Решены задачи для оценки практической пользы изобретений. Определено влияние свойств грунта на рациональный выбор рабочего органа бульдозера.

Ключевые слова: бульдозер, рабочий орган, патент, грунт, производительность.

The article is dedicate to the problem of improving performance of bulldozer. In particular, the authors have done patent search. Besides the authors solved some tasks to analyze benefit of inventions. In the article is assessed influence of soil property on efficient choice of bulldozer blade.

Keywords: bulldozer, bulldozer blade, patent, ground, performance.

В современном машиностроении, в частности для землеройно-транспортной техники, проблема повышения производительности является актуальной, так как она влияет на темп и стоимость работ.

Цель нашего исследования – рассмотреть возможности повышения производительности бульдозеров.

Бульдозеры – это землеройно-транспортные машины, которые широко эксплуатируются в промышленном и гражданском строительстве благодаря простоте их конструкции, надежности, экономичности, высокой производительности и универсальности [1].

Согласно С.И. Вахрушеву [2] эксплуатационная производительность бульдозера ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяется по формуле

$$\Pi_3 = \frac{3600 \cdot V_{\text{гр}} \cdot k_y \cdot k_n \cdot k_b}{T_{\text{ц}}},$$

где $V_{\text{гр}}$ – геометрический объем призмы волочения грунта впереди отвала, м^3 ,

$V_{\text{гр}} = \frac{B \cdot H^2 \cdot k_n}{2 \tan \varphi \cdot k_p}$, где B, H – длина и высота отвала, м; k_n – коэффициент, учи-

тывающий потери грунта при транспортировке, $k_n = 1 - 0,05l_n$; φ – угол естественного откоса грунта в движении; k_p – коэффициент разрыхления грунта; k_v – коэффициент, учитывающий влияние уклона местности на производительность; k_n – коэффициент наполнения геометрического объема призмы волочения грунтом; k_b – коэффициент использования бульдозера по времени;

$T_{ц}$ – продолжительность цикла, с, $T_{ц} = \frac{l_p}{V_p} + \frac{l_n}{V_n} + \frac{l_o}{V_o} + t_n$, где l_p , l_n , l_o – длины

участков резания, перемещения грунта и обратного хода бульдозера соответственно; V_p , V_n , V_o – скорости бульдозера при резании, перемещении грунта и обратном ходе, м/с; t_n – время переключения передач в течение цикла.

Анализируя формулу эксплуатационной производительности бульдозера, отметим, что она зависит от размера и формы отвала, мощности базового трактора (от этого зависит скорость), расстояния, которое необходимо преодолевать бульдозеру с породой в отвале, группы грунтов.

Увеличение производительности путем совершенствования отвала бульдозера является наиболее логичным, так как расстояния на объекте и группа грунта зависят от условий конкретной строительной площадки, а повышать мощность базового трактора зачастую неэкономично.

Данный вопрос достаточно изучен, запатентовано много изобретений, направленных на модернизацию рабочего органа бульдозера для повышения производительности, поэтому в нашей работе мы собираемся рассмотреть некоторые из них.

Патентный поиск и его анализ. Профессор ПГАСА Л.А. Хмара, аспирант В.А. Талалай, аспирант ДонНАСА А.О. Белинский предлагают совершенствовать отвал бульдозера за счет придания ему и ножевой системе особых геометрических параметров для снижения усилия резания грунта и увеличения призмы волочения [3].

Во время выполнения операции резания грунта прямой отвал бульдозера оставляет за собой выемку, имеющую в поперечном сечении форму трапеции (рис. 1). Это происходит из-за различия процессов, происходящих при разрушении перед гранью режущего органа и по бокам выемки. В боковых расширениях выемки в большей мере возникают деформации отрыва и сдвига, а перед гранью ножа – деформации сжатия и сдвига грунта. Сопротивление грунта сжатию в 2–4 раза больше сопротивления грунта отрыву. На уровне поверхности грунта ширина выемки значительно больше ширины ножа, находящегося на дне выемки. Эта разница зависит от пластичности грунта. Боковые поверхности углубления создают с поверхностью массива угол α , который зависит от группы и состояния грунта.

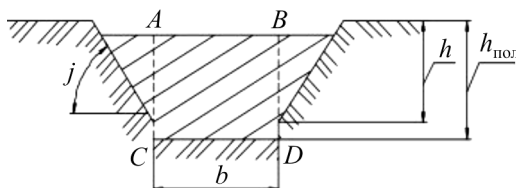


Рис. 1. Форма поперечного сечения выемки в грунте: $ABCD$ – форма отвала; h – глубина; $h_{\text{пол}}$ – полная глубина; b – ширина ножа [3]

Следовательно, выявляется потребность формирования рабочего органа бульдозера с режущими частями, разрушение грунтов которыми было бы подобно их разрушению в боковых гранях выемки.

Предлагается придать среднему ножу форму трапеции с боковыми косынками, благодаря этому устраняются потери грунта в боковые расширения выемки, увеличивается объем призмы волочения и снижается горизонтальное сопротивление грунта.

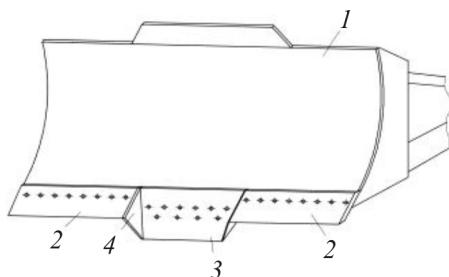


Рис. 2. Рабочий орган бульдозера с ножом трапецевидной формы: 1 – отвальная поверхность; 2 – боковые ножи; 3 – средний выступающий нож трапецевидной формы; 4 – боковые косынки [3]

Для дальнейшего улучшения накопительной способности рабочего органа целесообразно придать боковым ножам также форму трапеции. Кроме того, уместно добавить дополнительное оборудование в виде рыхлительных зубьев. Рабочий орган принимает вид, представленный на рис. 3.

Таким образом, предлагаемое изобретение позволяет избежать потери грунта в боковые расширения прорези, увеличить массу призмы волочения, снизить горизонтальное сопротивление грунта. Благодаря выступающему ножу трапецевидной формы уменьшается затрачиваемое усилие на перемещение грунта по отвалу.

Однако предлагаемый вариант рабочего органа не даст преимуществ при работе на малосвязных грунтах. Данное изобретение целесообразно применять при разработке связных грунтов II–V категорий, замороженных грунтов, некоторых горных пород типа мела и известняка, а также на вскрышных карьерных работах.

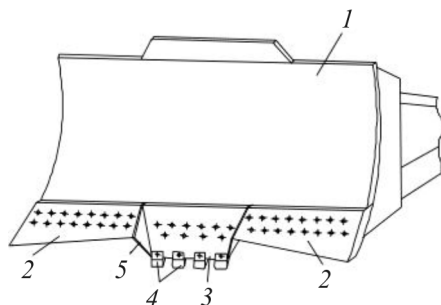


Рис. 3. Рабочий орган бульдозера с ножом трапецевидной формы с зубьями на режущей кромке: 1 – отвальная поверхность; 2 – боковые ножи трапецевидной формы; 3 – средний выступающий нож трапецевидной формы; 4 – зубья; 5 – боковые косынки [3]

Запатентованное изобретение (пат. RU 2352724, кл. E02F 3/76) (рис. 4) предназначено для повышения производительности при работе на связных грунтах.

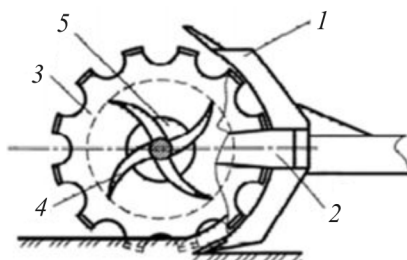


Рис. 4. Пример отвала со свободно вращающимися дисками, шнеками, лопастями: 1 – отвал; 2 – толкающая рама; 3 – диски; 4 – лопасти; 5 – шнеки

Изобретение заключается в том, что в центральной части отвала на общей оси находятся свободно вращающиеся диски и шнеки. На этой же оси закреплены лопасти с диаметрами, превышающими диаметры витков шнеков. Свободно вращающиеся диски имеют зубчатую режущую кромку, диаметр впадин которой больше диаметра лопастей.

Принцип работы изобретения заключается в следующем: при погружении отвала с дисками в грунт и прямолинейном движении бульдозера происходит набор грунта в отвал. Благодаря синхронному вращению дисков, шнеков и лопастей формируется оптимальная призма волочения и устраняются потери грунта в боковые валики. Кроме этого, устраняется налипание грунта на поверхность отвала, что важно при работе на связных (влажных) грунтах. Таким образом, в совокупности это значительно повышает производительность бульдозера.

Запатентованное изобретение (пат. RU 2459910, кл. E02F 3/76) (рис. 5) направлено на повышение эффективности разработки грунтов с низкой несущей способностью.

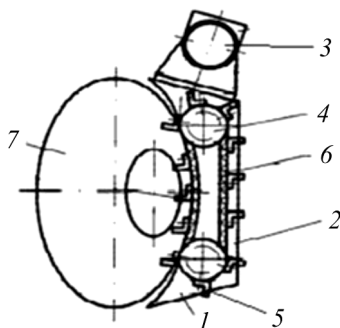


Рис. 5. Пример отвала с дисковыми ножами и лентой: 1 – отвал; 2 – несущая рама; 3 – гидромотор; 4 – поворотные барабаны; 5 – скребки; 6 – гибкая лента; 7 – дисковые ножи

Суть изобретения состоит в том, что на ленте между дисковыми ножами закреплены скребки, а верхний поворотный барабан с помощью цепной передачи соединен с гидромотором привода, закрепленным на несущей раме. При этом на тыльные конусные поверхности дисковых ножей нанесено фрикционное покрытие.

Принцип работы изобретения заключается в следующем: при копании грунт срезается ножом отвала и вращающимися дисковыми ножами, попадает на вращающуюся ленту, транспортирующую грунт по поверхности отвала, формируя призму волочения. Конструкция позволяет сделать разработку грунтов с низкой несущей способностью более эффективной. Кроме того, уменьшается налипание грунта на отвальную поверхность рабочего органа.

Запатентованное изобретение (пат. RU 2359087, кл. E02F3/76) направлено на повышение эффективности разработки плотных грунтов. Бульдозерное оборудование (рис. 6) включает отвал, на торцах которого установлены свободно вращающиеся диски с зубчатой режущей кромкой. Рабочая поверхность дисков направлена к центру отвала. На боковых рабочих поверхностях дисков закреплены шнековые лопасти с разнонаправленными спиралями витков. На торцах отвала на одной оси с режущими дисками установлены колеса с пневматическими шинами с регулируемым давлением воздуха.

Изобретение работает следующим образом: при поступательном движении бульдозера и понижении давления воздуха в пневматических шинах колес нож рабочего органа и зубчатые режущие кромки дисков погружаются в грунт, происходит набор грунта в призму волочения. При этом деформация шин колес и наличие зубчатых режущих кромок у дисков увеличивают сцепление с разрабатываемым грунтом, повышается интенсивность их свободного вращения, таким образом, призма волочения формируется в виде цилиндрического тела качения. В то же время шнековые лопасти с разнонаправленными спиралями витков, вращаясь синхронно с дисками и колесами, способствуют перемещению грунта к центру отвала, позволяя уменьшить потери

грунта в боковые валики. Таким образом, изобретение снижает энергоемкость разработки грунта, что благоприятно сказывается на эффективности разработки плотных грунтов.

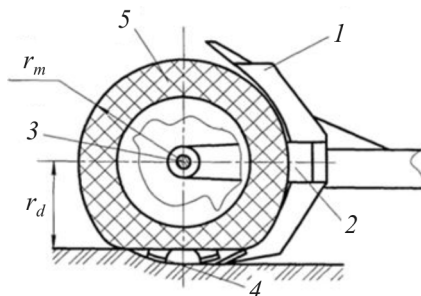


Рис. 6. Бульдозерное оборудование во время выполнения операции резания грунта (вид сбоку): 1 – отвал; 2 – кронштейны; 3 – ось; 4 – диск с режущей кромкой; 5 – шина колеса; r_d – динамический радиус качения колеса с пневматической шиной; r_m – теоретический радиус качения колеса с пневматической шиной

Отметим, что при модернизации рабочего органа бульдозера необходимо учитывать группу и состояние грунта на разрабатываемой площадке, так как от этого зависит рациональный выбор изобретения. Это связано с тем, что грунты, различные по составу и физическим свойствам, ведут себя по-разному.

В ЕНиР 2-1-1 «Земляные работы» приведена классификация грунтов по трудности их разработки. Для бульдозеров в данном сборнике грунты подразделяют на четыре группы.

Песчаные грунты характеризуются большим сопротивлением перемещению, кроме того, велики потери грунта во время транспортировки. Для предотвращения этого устанавливаются боковые косынки, а также набранный в процессе копания грунт может пересыпаться через верхнюю кромку. В таком случае необходимо снабдить отвал козырьками или лобовыми щитками. Лобовые щитки приваривают к верхней части отвала, что увеличивает его высоту и устраняет потери грунта. Как следствие, увеличивается объем перемещаемого грунта.

Уширители и открылки устанавливаются в целях увеличения объема отвала и снижения потерь грунта [4]. Эти приспособления крепятся к боковым стенкам отвалов.

При работе на связных грунтах хорошее преимущество дает применение отвалов с выступающим средним ножом, так как уменьшается горизонтальное сопротивление грунта. Наиболее эффективное соотношение выступающей части отвала и его ширины составляет 1:3–1:6.

Тяжелые глинистые и влажные грунты характеризуются большой плотностью и сопротивлением резанию, что значительно снижает производительность работы бульдозера [4]. Кроме того, эти грунты прилипают к рабочей

поверхности отвала, уменьшая его вместимость. В таких условиях хорошие результаты дает применение выступающего среднего ножа и вращающихся элементов: дисков, лент для создания призмы волочения и устранения налипания грунта на поверхность отвала.

В условиях работы бульдозеров на плотных грунтах много времени уходит на рыхление грунта ножами. В особых случаях ножевой орган вообще не имеет возможности врезаться в грунт. Это негативно влияет на производительность. В таких случаях требуется предварительное рыхление грунтов специальными прицепными или навесными рыхлителями. При отсутствии специальных машин или экономических средств на эти машины можно совершенствовать рабочие органы имеющихся машин с помощью установки на отвалы рыхлительных зубьев.

Оценка практической пользы изобретений. Для оценки практической пользы различных изобретений решим задачи. За основу возьмем бульдозер Komatsu, модель D37EX-22 (отвал с регулируемым углом резания, гидравлическими механизмами поворота и перекоса, ширина отвала $B = 2710$ мм, длина $H = 860$ мм). Работа на гравийно-галечных грунтах, коэффициент разрыхления грунта $k_p = 1,16$, угол естественного откоса $= 35^\circ$. Длина перемещения грунта $l_n = 100$ м. Коэффициент использования машины по времени $k_b = 0,9$. Коэффициент уклона $k_y = 1$. Коэффициент наполнения геометрического объема призмы волочения грунтом $k_n = 0,85$. Время цикла $T_{ц} = 150$ с.

Объем призмы волочения и производительность бульдозера без модернизации рабочего органа:

$$V_{\text{пр}}^0 = \frac{B \cdot H^2 \cdot k_n}{2 \tan \varphi \cdot k_p} = \frac{2,71 \cdot 0,86^2 (1 - 0,005 \cdot 100)}{2 \tan 35^\circ \cdot 1,16} = 0,62 \text{ м}^3;$$

$$\Pi_3^0 = \frac{3600 \cdot V_{\text{пр}} \cdot k_y \cdot k_n \cdot k_b}{T_{ц}} = \frac{3600 \cdot 0,62 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,9}{150} = 11,38 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

1. Устройство боковых косынок.

Увеличивается коэффициент наполнения призмы волочения: $k_n = 1,05$.

$$\Pi_3^1 = \frac{3600 \cdot V_{\text{пр}} \cdot k_y \cdot k_n \cdot k_b}{T_{ц}} = \frac{3600 \cdot 0,62 \cdot 1 \cdot 1,05 \cdot 0,9}{150} = 14,06 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Delta I = \frac{\Pi_{31} - \Pi_{30}}{\Pi_{30}} \cdot 100 \% = \frac{14,06 - 11,38}{11,38} \cdot 100 \% = 23,55 \%$$

Добавление к отвалу бульдозера боковых косынок увеличивает производительность на 23,55 %.

2. Использование выступающего среднего ножа.

Снижается горизонтальное сопротивление грунта, следовательно, сокращается продолжительность цикла.

$$П_3^2 = \frac{3600 \cdot V_{гр} \cdot k_y \cdot k_n \cdot k_b}{T_{ц}} = \frac{3600 \cdot 0,62 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,9}{120} = 14,23 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Delta 2 = \frac{П_{3,2} - П_{3,0}}{П_{3,0}} \cdot 100 \% = \frac{14,23 - 11,38}{11,38} \cdot 100 \% = 25,04 \%$$

Рабочий орган с выступающим средним ножом повышает производительность на 25,04 %.

3. Одновременное использование боковых косынок и выступающего среднего ножа.

$$П_3^3 = \frac{3600 \cdot V_{гр} \cdot k_y \cdot k_n \cdot k_b}{T_{ц}} = \frac{3600 \cdot 0,62 \cdot 1 \cdot 1,05 \cdot 0,9}{120} = 17,58 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Delta 3 = \frac{П_{3,3} - П_{3,0}}{П_{3,0}} \cdot 100 \% = \frac{17,58 - 11,38}{11,38} \cdot 100 \% = 54,48 \%$$

Одновременное использование боковых косынок и выступающего среднего ножа увеличивают производительности на 54,58 %.

4. Использование вращающихся элементов (дисков, лент).

Увеличивается коэффициент наполнения призмы волочения: $k_n = 1,0$.

$$П_3^4 = \frac{3600 \cdot V_{гр} \cdot k_y \cdot k_n \cdot k_b}{T_{ц}} = \frac{3600 \cdot 0,62 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9}{150} = 13,39 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Delta 4 = \frac{П_{3,4} - П_{3,0}}{П_{3,0}} \cdot 100 \% = \frac{13,39 - 11,38}{11,38} \cdot 100 \% = 17,66 \%$$

Производительность повышается на 17,66 %.

Полученные результаты показывают, что правильно подобранный тип рабочего органа позволяет значительно повысить эффективность разработки грунтов бульдозерами.

Выводы. Актуальность темы обосновывается низким уровнем производительности труда и долгим сроком строительства. Строительная индустрия непрерывно развивается, внедрение новых технологий требует модернизации строительных машин и механизмов, поскольку строительная техника устаревает.

Был произведен патентный поиск, и его анализ показал, что при правильном выборе рабочего органа можно добиться повышения производительности на 17–55 %.

Анализ формулы расчета производительности бульдозера позволил выявить необходимость повышения производительности путем совершенствования рабочего органа. Известно, как реагируют различные грунты на разработку, следовательно, необходимо выбирать тип рабочего органа и дополнительное оборудование, наиболее удовлетворяющие условиям строительной площадки.

Таким образом, при рациональном выборе рабочего органа гарантировано получение высокоэффективного рабочего органа землеройно-транспортной машины, обладающего большим сроком службы.

Список литературы

1. Добронравов С.С., Дронов В.Г. Строительные машины и основы автоматизации: учеб. для строит. вузов. – М.: Высш. шк., 2001. – 211 с.
2. Вахрушев С.И. Строительные машины (в вопросах и ответах). – Пермь, 2011. – 59 с.
3. Хмара Л.А., Талалай В.А., Белинский А.О. Рабочий орган землеройной машины с выступающим ножом трапецевидной формы // Вестник Харьков. нац. автомоб.-дорож. ун-та, 2005. – № 29.
4. Пути повышения производительности бульдозеров [Электронный ресурс]. – URL: <http://stroy-technics.ru/article/puti-povysheniya-proizvoditelnosti-buldozerov> (дата обращения: 10.03.2017).

Получено 07.04.2017

Лебедева Полина Игоревна – студентка, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: lebedeva_polina@mail.ru.

Ефремов Андрей Владимирович – студент, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: efremov.iwork@gmail.com.

Сычкина Евгения Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: spstf@pstu.ac.ru.