

ЗЕМЛЕРОЙНО-ПНЕВМОТРАНСПОРТНАЯ МАШИНА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ИЗВЕСТНЯКА-РАКУШЕЧНИКА

Ковалёв А.А.¹, Кутузов В.В.², Елькина И.И.³.

¹ Академия строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского»
295943 г. Симферополь, ул. Киевская, 181, kovaland59@mail.ru

² Институт экономики и управления ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского»
295015, г. Симферополь, ул. Севастопольская, 21/4 albrkr@mail.ru

³ Академия строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского»
295943 г. Симферополь, ул. Киевская, 181, irivel@mail.ru

Аннотация. Предложена концепция конструкции пневмомеханизированной землеройно-транспортной машины для измельченных отходов камнедробления известняка, представляющая собой комбинацию рабочих органов пневмомеханического и бульдозерного оборудования.

Предмет исследования: возможность реализации отвально-пневмошнекового устройства в конструкции предлагаемой землеройно-пневмотранспортной машины (ЗПТМ).

Материалы и методы: теоретическая взаимосвязь основных параметров пневмовинтового и бульдозерного оборудования ЗПТМ

Результаты: В настоящей работе рассмотрены такие параметры ЗПТМ как: толщина срезаемого слоя составляет $h = 0,01 \dots 0,04$ м расчетные скорость передвижения базовой машины $v = 0,25$ м/с, ширина бульдозерного отвала $L = 4,25$ м, а также избыточное давления воздуха в смесительной камере $P_k = 0,11 \dots 0,18$ МПа, диаметр шнека $D_{ш} = 0,18$ м; $0,2$ м; $0,25$ м и скорость вращения вала шнека пневмомеханического питателя $\omega = 16,67$ об/сек.

Установлена зависимость в виде степенной функции глубины среза разрыхленного материала (тонкоизмельченные отходы камнедробления) от давления сжатого воздуха в смесительной аэрокамере отвально-пневмошнековой ЗПТМ.

Выводы: особую роль на степень нелинейности зависимости глубины среза материала от давления сжатого воздуха в смесительной аэрокамере оказывает такой параметр, как диаметр шнека пневмомеханического питателя предлагаемой ЗПТМ. Особенность конструкции отвально-пневмошнековой ЗПТМ состоит в том, что по центру бульдозерного отвала выполнено загрузочное отверстие прямоугольной формы. Образовавшийся проем специальным бункером соединяется с приемной камерой пневмомеханической установки. Использование многосекционных отвалов бульдозеров повышенной эффективности с выступающими передними ножами дает возможность расположить приемную камеру пневмомеханической установки впереди по центру отвала, а смесительную аэрокамеру за ним. Такое решение позволяет не нарушать классическую форму бульдозерного отвала за счет использования вертикальных боковых поверхностей

Ключевые слова: бульдозерный отвал, пневматическое винтовое оборудование, шнек, отходы карьеров известняка-ракушечника.

ВВЕДЕНИЕ

В работе [2] отмечается, что «создание высокопроизводительных землеройных машин осуществляется по двум направлениям: совершенствование рабочих органов и машин традиционного типа, находящихся в настоящее время в эксплуатации, и производство принципиально новых рабочих органов и машин на базе использования достижений фундаментальных наук ... Выпуск высокоэффективного землеройного оборудования требует разработки методики синтеза рабочих органов, позволяющих на широкой научной основе осуществлять формирование новых технических решений».

В работе [8] отмечается, что «в настоящее время в Крыму эксплуатируется 30 карьеров по добыче пильного известняка с годовой производительностью более 3,5 млн м³. Ежегодно отвалы горнодобывающих предприятий увеличиваются на 1 млн м³ известняка и лишь половина этих отходов используется как вторичное сырье. ... Необходимо создавать технологии, для которых отходы известняка стали бы основным сырьевым материалом, а отвалы – новыми техногенными карьерами».

Бульдозер являются одним из видов навесного оборудования машин, которые используются в промышленном, гражданском, дорожном, мелиоративном строительстве, так как его конструкция проста, универсальна и имеет низкую себестоимость выполнения работы.

Совершенствование конструкции бульдозера, согласно работ [1, 2, 3, 9], является одним из направлений повышения его качества и эффективности применения в народном хозяйстве страны.

Цели данных направлений: расширение технологических возможностей и зоны действия; повышение производительности; снижение энергоёмкости процесса разработки грунта и металлоёмкости конструкции.

Известно, что основное преимущество пневмовинтового оборудования для сыпучего материала заключается в возможности одновременного выполнения операций измельчения и перемещения материала в шнеконапорном механизме, а также смешивании его с сжатым воздухом в смесительной аэрокамере и дальнейшей подачи аэроматериальной смеси в бункер (или на склад).

Поэтому предлагается концепция землеройно-пневмотранспортной машины для сыпучего

материала, в основу которой положены технологические преимущества бульдозеров и пневмомеханического оборудования.

Суть конструкции заключается в наличии загрузочного прямоугольного отверстия в плоскости бульдозерного отвала и расположении за ним пневматического винтового питателя.

Машина, в основном, предназначена для использования в мелиоративном строительстве для засыпки ям, оврагов, глубоких колодцев, отсыпки водоупорного слоя дна пруда или водоёма, а также для подачи тонкоизмельченных отходов известняка-ракушечника (тырса, штыб, известняковая мука, карбонатный песок и пр.) в кузов автосамосвала или в бункер.

Добавим, что в известном патенте RU 2 414273 «Огнегасящий состав, способ его приготовления и способ пожаротушения» [14] отмечено, что измельченный известняк (карбонат кальция) в виде известняковой муки является хорошо известным средством безопасности в угледобыче. Взрывоопасный огонь можно подавить рассеиванием такой известняковой муки в воздухе. При сильном нагревании известняк химически разлагается: $\text{CaCO}_3 \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$. Эта реакция разложения требует энергии и поэтому дает эффект охлаждения.

Отметим, что такая техника может применяться для тушения пожара в поле путем подачи огнегасящей сыпучей смеси на кромку фронта пламени.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Рассмотрим научные статьи, патенты и другие опубликованные в открытой печати литературные источники.

В работе [2] отмечается, что «одним из актуальных вопросов – является создание универсальной строительной техники, работающей на новых физико-технических принципах взаимодействия со средой и обладающей высокими экологическими качествами». В частности, в этой работе приводятся основные виды дополнительного сменного оборудования к бульдозерам с неповоротным отвалом (откосники, открылки, удлинители, кусторезная насадка-нож, грузовые вилы, подъемный крюк и пр.).

Бульдозер с винтошнековым интенсификатором по работе [9] может быть использован для послонной разработки грунта при работе в качестве путепроходчика и для обратной засыпки траншей (рис. 1).

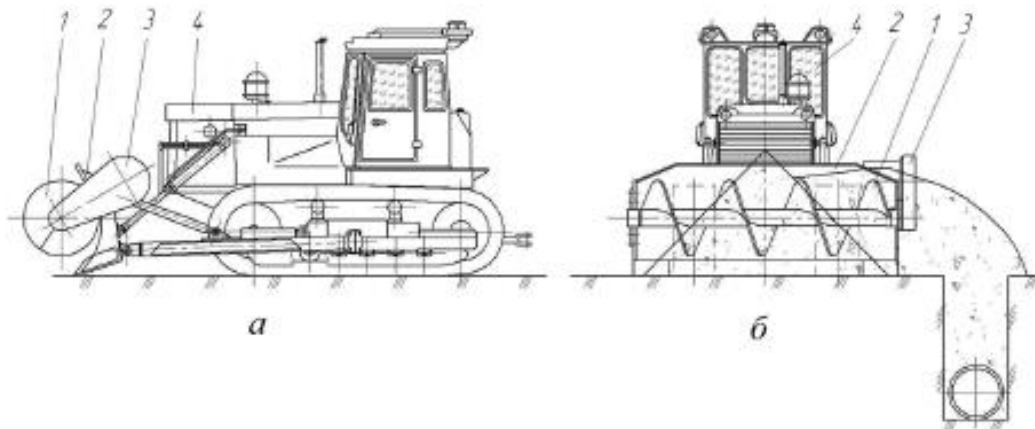


Рис. 1. Общий вид бульдозера, оборудованного винтошнековым интенсификатором: а – вид сбоку; б – вид спереди; 1 – винтошнековый интенсификатор; 2 – бульдозерное оборудование; 3 – привод винтошнекового интенсификатора; 4 – трактор.

Fig. 1. General view of a bulldozer equipped with a screw intensifier: a - side view; b - front view; 1 - screw intensifier; 2 - bulldozer equipment; 3 - drive of the screw-screw intensifier; 4 - tractor.

Производительность бульдозерного отвала при копании грунта:

$$P = B \cdot h \cdot v_{\sigma} \cdot K_p, \quad (1)$$

где B - ширина отвала бульдозера, м; h - глубина копания грунта, м; v_{σ} - скорость движения базовой машины, м/с; K_p - коэффициент разрыхления грунта.

Производительность винтошнекового интенсификатора:

$$P_{шн} = 3600 \cdot \frac{\pi(D_{вн}^2 - d_e^2)}{4} \cdot S \cdot n_{ш} \cdot \psi, \quad (2)$$

где $D_{вн}$ - наружный диаметр витков шнека, м; d_e - диаметр вала шнека, м; S - шаг навивки шнека, м;

$n_{ш}$ - частота вращения шнека, c^{-1} ; ψ - коэффициент заполнения межвиткового пространства шнека.

Формула для определения взаимосвязи частоты вращения винтошнекового интенсификатора от его геометрических параметров и скорости движения базовой машины:

$$n_{ш} = \frac{B_{отв} \cdot h \cdot v_{\sigma} \cdot K_p}{900 \cdot \pi \cdot (D_{вн}^2 - d_e^2) \cdot S \cdot \psi}. \quad (3)$$

В патенте № 2410496 Российской Федерации (см. [10]), в конструкции бульдозера применен интенсификатор рабочего процесса – режущее шнековое колесо. Согласно патентных

исследований, проведенных в работе [4], бульдозерное оборудование (рис.2) состоит из отвала 1, гидроцилиндров 2 и режущего органа. Отличие в том, что режущий орган есть шнек 3,

имеющий двустороннюю навивку режущей ленты. Посередине вала установлена режущая фреза 4, а вал прикрепляется с помощью подшипниковых узлов-опор 5 к стойкам 6 отвала.

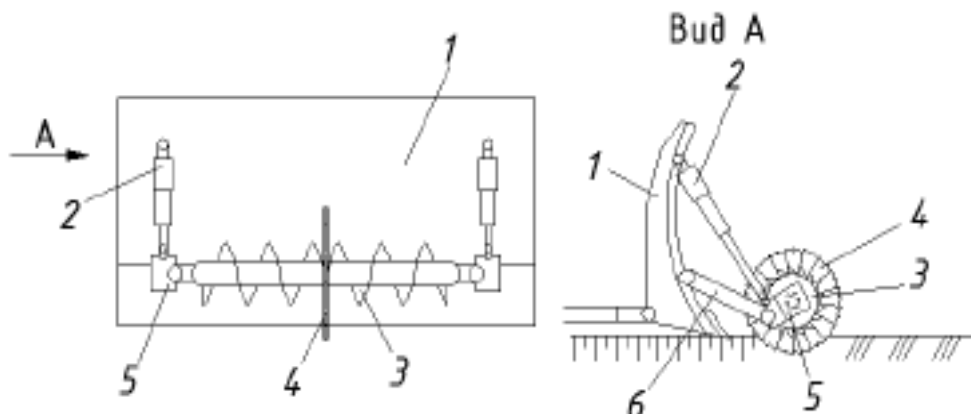


Рис. 2. Схема бульдозерного оборудования по работе [4]:

1 – отвал, 2 – гидроцилиндры, 3 – шнек, 4 – режущая фреза, 5 – подшипниковые узлы-опоры, 6 – стойки отвала.

Fig. 2. Diagram of bulldozer equipment according to work [4]:

1 – blade, 2 – hydraulic cylinders, 3 – auger, 4 – cutting milling cutter, 5 – bearing units, 6 – blade struts.

Бульдозер с таким (в нашем представлении) режущим шнекороторным интенсификатором может использоваться для рытья траншей и планировки площадок, задавая поверхности необходимый профиль.

В патенте № 2352724 Российской Федерации (см. [11]) предложен интенсификатор для отвала

бульдозера, представляющий собой комбинацию установленных по центру отвала четырех дисков и шнеков, которые расположены симметрично дискам и имеют винтовые поверхности направленные от лопастей 5 к дискам 2 (см. рис. 3).

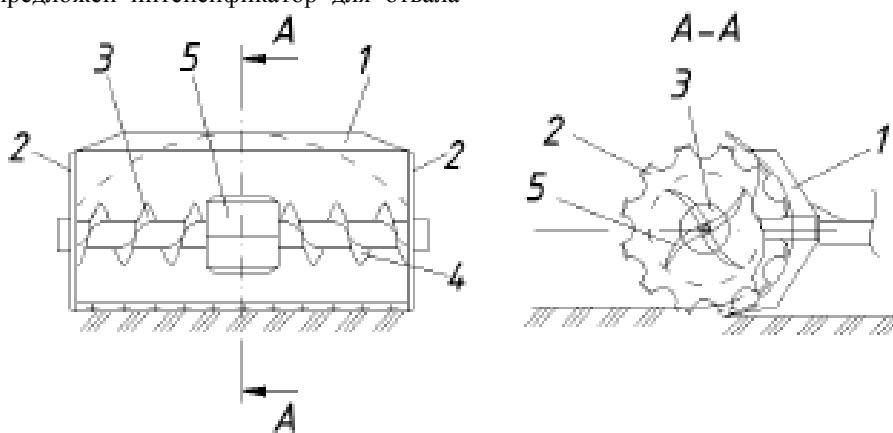


Рис. 3. Схема конструкции отвала по работе [4]:

1 – отвал, 2 – свободно вращающиеся диски, 3,4 – шнеки с разнонаправленными спиралями, 5 – лопасти.

Fig. 3. Diagram of the blade design according to [4]:

1 – blade, 2 – freely rotating discs, 3,4 – screws with multidirectional spirals, 5 – blades.

В рассматриваемом патенте, согласно описания в работе [4], такое бульдозерное оборудование позволяет создавать оптимальную форму призмы волочения при использовании на связных

(влажных) грунтах, уменьшать потери грунта в боковые валики.

В патенте № 2359087 Российской Федерации разработан бульдозерный отвал (см.[12] и рис.4), предназначенный для работы на плотных грунтах.

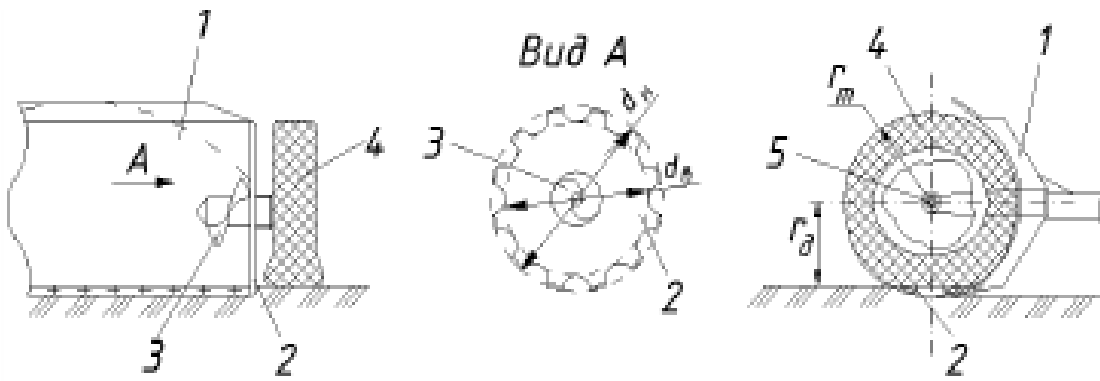


Рис. 4. Схема конструкции отвала по работе [4]:

1 – бульдозерный отвал, 2 – свободно вращающиеся диски, 3 – шнековые лопасти, 4 – колеса с пневматическими шинами, 5 – общая ось.

Fig. 4. Diagram of the blade design according to work [4]:

1 – dozer blade, 2 – freely rotating discs, 3 – auger blades, 4 – wheels with pneumatic tires, 5 – common axle.

В патенте описывается бульдозерный отвал 1, у которого интенсификатор рабочего процесса представляет собой сочетание дисковой фрезы 2 (в патенте свободно вращающиеся диски 2), консольных шнеков 3 (в патенте шнековые лопасти 3) и пневмошин 4 (в патенте колеса с пневматическими шинами 4), расположенных вместо боковых открьлок и установленных на общей оси вращения 5. Свободно вращающиеся диски 2 имеют зубчатую режущую кромку. Консольные шнеки 3 имеют разнонаправленные винтовые поверхности. Диаметр каждого из шнеков меньше, чем диаметр впадин режущей кромки диска фрезы.

Как отмечено в работе [4], достоинствами такого бульдозера являются повышение эффективности

разработки плотных грунтов и снижение энергоемкости за счет повышения производительности.

Рабочий орган бульдозера, согласно патента № 2459910 Российской Федерации предназначен для работы на грунтах с низкой несущей способностью.

Согласно патенту [13] рабочий орган бульдозера (см. рис.5) включает отвал 1 с несущей рамой 2. Интенсификатор рабочего процесса представляет собой комбинацию небольшого ленточного конвейера и конических фрез 5 (в патенте дисковые ножи 5), установленных по торцам отвала. Лента конвейера имеет сребки 6.

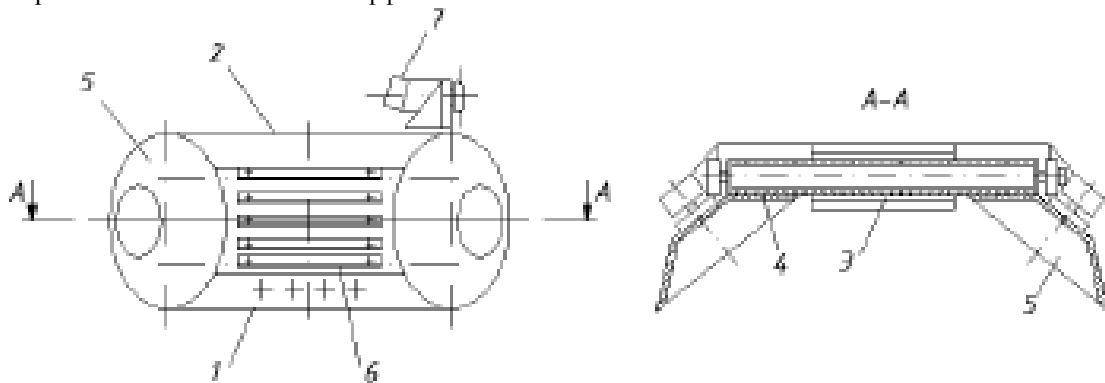


Рис. 5. Схема конструкции отвала по работе [4]:

1 – отвал, 2 – несущая рама, 3 – бесконечная гибкая лента со скребками; 4 – фрикционное покрытие, 5 – дисковые ножи; 6 – скребки.

Fig. 5. Diagram of the blade design according to work [4]:

1 – blade, 2 – supporting frame, 3 – endless flexible belt with scrapers; 4 – friction coating, 5 – circular knives; 6 – scrapers.

Верхний поворотный барабан по средствам цепной передачи прикреплен к гидромотору, закрепленному на раме. Также используется фрикционная передача от барабанов конвейера к боковым поверхностям конических фрез. Поэтому применено фрикционное покрытие на наружной стороне барабанов и конических фрез. Достоинства данного технического решения – это создание оптимальной призмы волочения и увеличение

производительности при работе на грунтах с низкой несущей способностью.

Далее рассмотрим конструкции и принцип работы пневмомеханической установки нагнетательного действия для сыпучего материала, оборудованной горизонтальным шнеком и универсальной смесительной аэрокамерой (см. [6] и рис. 6).

Пневмовинтовая установка (или пневмомеханическая), представленная на рис. 6, отличается конструкцией смесительной камеры 9.

Принцип работы этой установки. Материал поступает в приемную камеру 2. Затем, консольным

шнеком 4 по цилиндру 3 преодолевая сопротивление обратного клапана 5 сыпучий материал наклонное днище 10 (аэрирующее устройство). Далее интенсивно разрыхляется, насыщается воздухом и перемещается к эжектору 8.

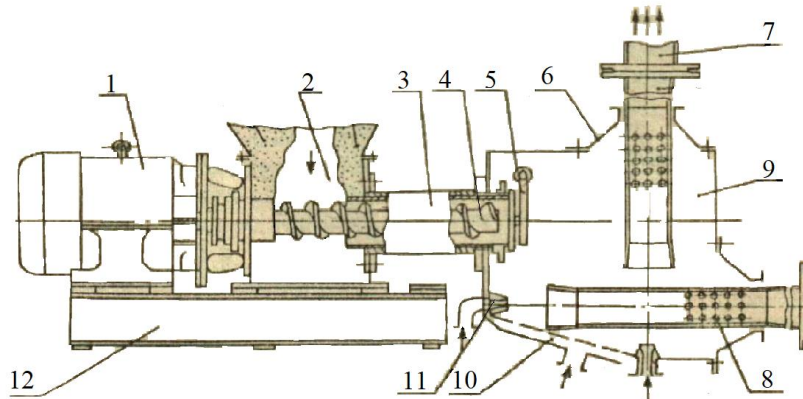


Рис. 6. Схема пневмовинтовой установки с унифицированной смесительной камерой:

- 1 – электродвигатель; 2 - приемная камера; 3 – цилиндрический корпус (цилиндр); 4 – шнек; 5 – обратный клапан; 6 – переставляемая коническая насадка; 7 – транспортный трубопровод; 8 – эжектор; 9 – смесительная аэрокамера; 10 – наклонное аэроднище; 11 – сопло; 12 – станина.

Fig. 6. Diagram of a pneumatic screw installation with a unified mixing chamber:

- 1 – electric motor; 2 – receiving chamber; 3 – cylindrical body (cylinder); 4 – auger; 5 – check valve; 6 – adjustable conical nozzle; 7 – transport pipeline; 8 – ejector; 9 – mixing aerial chamber; 10 – inclined airfield; 11 – nozzle; 12 – bed.

Если пневмовинтовая установка работает в режиме пневмонасоса, то сопло 11 и эжектор 8 устанавливаются в горизонтальное положение. Для работы в режиме пневмоподъемника сопло 11 и эжектор 8 переставляется с помощью конической насадки 6 в вертикальное положение. Через открытый нижний торец и открытые сквозные отверстия эжектора 8 материал поступает в транспортный трубопровод 7.

Производительность пневмовинтовой установки в режиме пневмоподъемника (рис. 6), отмечается в работе [7], определяется по последним напорным виткам шнека по формуле:

$$P_{ш} = 0,785 \cdot (D_{ш}^2 - d_{в}^2) \cdot S'_н \cdot K_{ск} \cdot \rho_o \cdot n \cdot 60, \quad (4)$$
 где $D_{ш}$ – диаметр шнека, м; $d_{в}$ – диаметр вала шнека, м; $S'_н$ – шаг последнего напорного витка без толщины витка; $K_{ск}$ – коэффициент скольжения шнека; ρ_o – средняя плотность материала, т/м³; n – частота вращения шнека, мин⁻¹.

$$K_{ск} = B \cdot S \cdot (10 \cdot p_k)^\xi, \quad (5)$$
 где B – коэффициент, показывающий степень влияния угла подъема $\alpha_{сп}$ винтовой линии последнего напорного витка на коэффициент скольжения $K_{ск}$, равный

$$B = -0,0197 \cdot \alpha_{сп}^2 + 0,534 \cdot \alpha_{сп} - 2,62, \quad (6)$$
 где $\alpha_{сп}$ – угол подъема винтовой линии витка по среднему радиусу; S – коэффициент, учитывающий степень влияния коэффициента уплотнения шнека K_y на коэффициент скольжения $K_{ск}$.

$$S = -0,53 \cdot K_y^2 + 1,64 \cdot K_y - 0,65, \quad (7)$$

где K_y – коэффициент уплотнения шнека, определяемый как отношение межвиткового пространства первого заборного и последнего напорного витков:

$$K_y = \frac{S_3 - \delta_3}{S_н - \delta_н}; \quad (8)$$

ξ – коэффициент, показывающий степень влияния диаметра шнека $D_{ш}$ на коэффициент скольжения $K_{ск}$ (определяется по графику в [6]).

Степенная связь избыточного давления в смесительной камере питателя и коэффициента $\xi - (10 \cdot p_k)^\xi$ – отражает степень влияния противодавления и диаметра шнека на величину коэффициента скольжения $K_{ск}$ и учитывает уплотнение материала в шнеке за счет избыточного давления.

Формула производительности винтовых питателей (см. [5]) учитывает влияние избыточного давления на работу питателя с помощью опытного коэффициента k .

Эта зависимость имеет вид:

$$G = 3600 \cdot F_m \cdot \gamma \cdot v (1 - k \cdot p), \text{Т/ч}, \quad (9)$$

где F_m – площадь поперечного сечения транспортируемого материала в м²; γ – плотность транспортируемого материала в т/м³; v – поступательная скорость движения сыпучего материала в м/с; p – избыточное давление в аэрокамере в кг/см²; k – коэффициент, значения которого определяются опытным путем (при $n = 1460$ об/мин для питателя ПШМ-1 $k=0,5$, для питателя ПШМ-2 $k=0,75$, при $n = 980$ об/мин для питателя ПШМ-3 $k=0,47$).

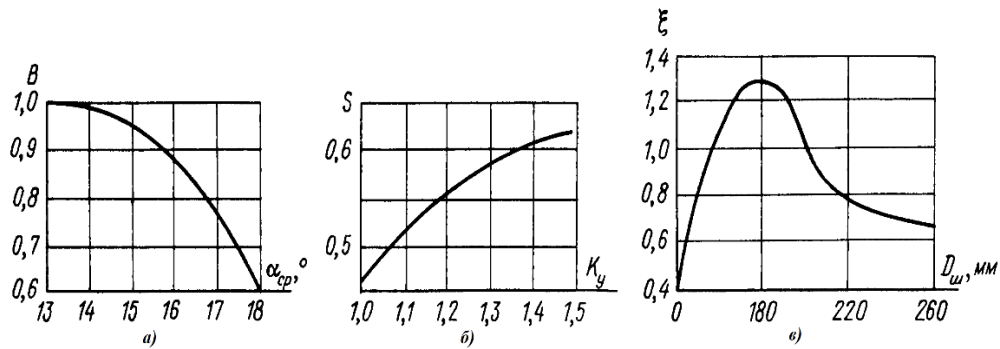


Рис.7. Зависимость составляющих коэффициента скольжения:

а) – B от угла подъема α_{CP} винтовой линии последнего напорного витка шнека; б) – S от коэффициента уплотнения шнека K_U ; в) – ξ от диаметра шнека $D_{ш}$.

Fig. 7. Dependence of the components of the slip coefficient:

а) – B from the ascent angle α_{CP} of the helical line of the last pressure head of the screw; б) – S from the coefficient of compaction of the screw K_U ; в) – ξ from the screw diameter $D_{ш}$.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотренные ранее интенсификаторы рабочего процесса бульдозера, в основном, ускоряли процесс формирования призмы волочения при использовании на различных грунтах.

Дорожные машины, оборудованные отвальными рабочими органами, с различными отверстиями в конструкции отвала известны. Это, например, снегоуборочные машины для содержания автомобильных дорог и аэродромов.

Отличительная особенность предлагаемого интенсификатора ЗПТМ (см. рис. 8) заключается, во-первых, в том, что загрузочное окно 2 в конструкции отвала 1 играет роль

потокоформирующего элемента, и во-вторых, применяется для тонкоизмельченных и разрыхленных отходов камнедробления (в дальнейшем по тексту - сыпучий материал). Пневмомеханическая установка (ПМУ) 3 размещена за бульдозерным отвалом 1. Плоскость отверстия приемной камеры 4 ПМУ 3 расположена горизонтально (в своем обычном рабочем положении). Загрузочное окно 2 и приемная камера 4 связаны бункером 8.

ПМУ содержит в своей конструкции цилиндрический корпус 5 (далее по тексту цилиндр) со шнеком 7 и универсальную смесительную аэрокамеру 6.

Компоновочная схема отвального пневмошнекового механизма ЗПТМ представлен на рис. 8.

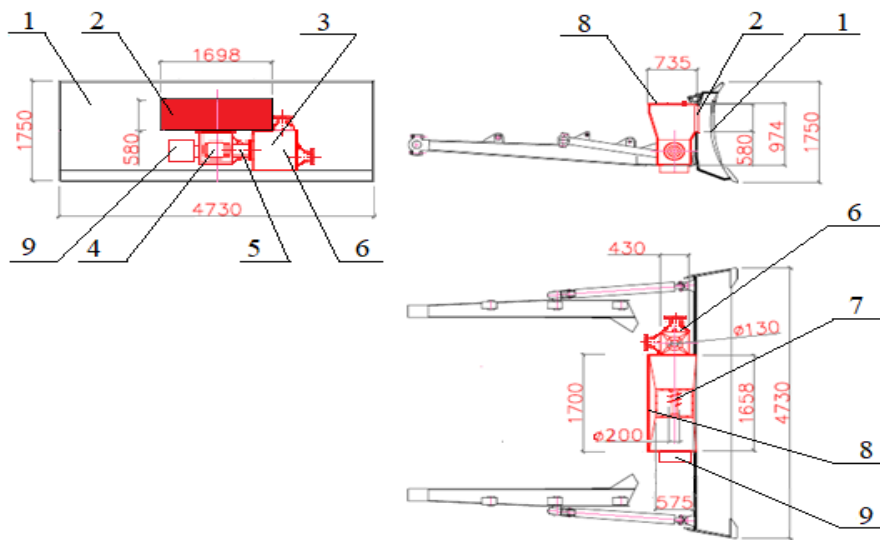


Рис.8. Схема отвально-шнекового механизма землеройно-пневмотранспортной машины.

1 – бульдозерный отвал; 2 – загрузочное окно бульдозерного отвала; 3 – пневмовинтовое оборудование (пневмовинтовая установка); 4 – приемная камера; 5 – цилиндрический корпус (цилиндр); 6 – универсальная смесительная аэрокамера; 7 – шнек; 8 – бункер; 9 – привод.

Fig. 8. Diagram of the moldboard-auger mechanism of the earth-moving pneumatic transport machine:

1 – dozer blade; 2 – loading window of the dozer blade; 3 – pneumatic screw equipment (pneumatic screw installation); 4 – receiving chamber; 5 – cylindrical body (cylinder); 6 – universal mixing aerial chamber; 7 – auger; 8 – bunker; 9 – drive.

Для описания процесса работы машины используем рис. 9.

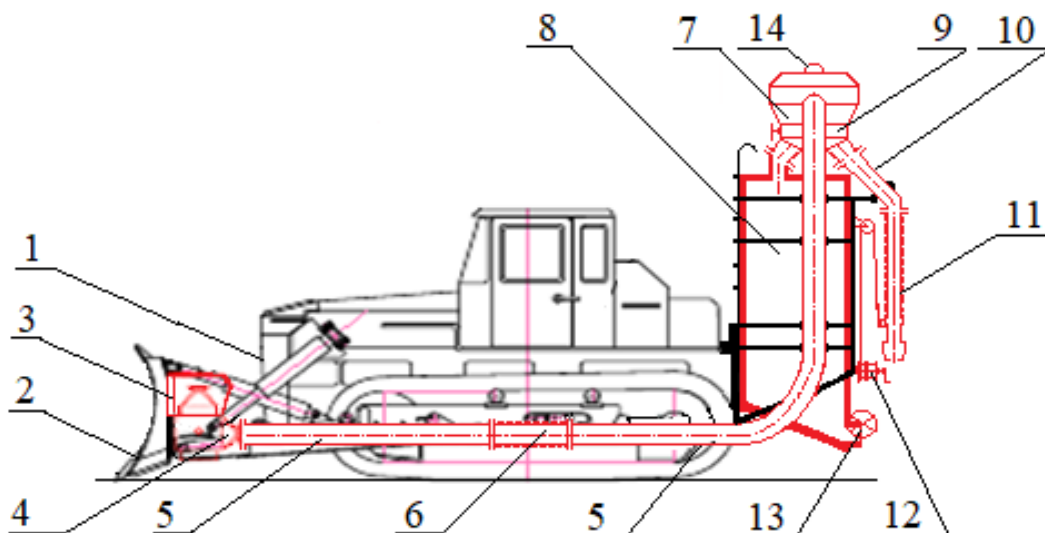


Рис.9. Общая схема устройства предлагаемой землеройно-пневмотранспортной машины (ЗПТМ):

1 – базовая машина; 2 – отвал; 3 – загрузочное окно; 4 – пневмомеханическая установка с унифицированной смесительной камерой; 5 – нагнетательный трубопровод; 6 – гибкий участок трубопровода; 7 – бункер-гаситель; 8 – основной бункер; 9 – переключатель направления потока материала; 10 – патрубок для отвода потока материала; 11 – гибкий трубопровод; 12 – приспособление для подъема гибкого трубопровода; 13 – боковой пневматический разгрузатель; 14 – патрубок для отвода воздуха к фильтру.

Fig. 9. General diagram of the device of the proposed earthmoving and pneumatic transport machine (ZPTM):

1 – basic machine; 2 – blade; 3 – loading window; 4 – pneumatic mechanical plant with a unified mixing chamber; 5 – delivery pipeline; 6 – flexible section of the pipeline; 7 – bunker-damper; 8 – main bunker; 9 – material flow direction switch; 10 – branch pipe for diverting the material flow; 11 – flexible pipeline; 12 – a device for lifting a flexible pipeline; 13 – side pneumatic unloader; 14 – branch pipe for air outlet to the filter.

На первом этапе рабочего процесса слой предварительно разрыхленного сыпучего материала перемещается по поверхности отвала 2. Далее сыпучий материал перемещается к загрузочному отверстию 3 и сквозь него поступает в бункер. В нижней части бункера расположена приемная камера ПМУ.

На втором этапе из приемной камеры шнеком разрыхленный материал направляется по цилиндрическому корпусу в универсальную смесительную аэрокамеру, где происходит его смешивание с воздухом. В процессе перемещения по цилиндрическому корпусу шнек измельчает и домальвает комки перемещаемого материала. Далее измельченный материал направляется в смесительную аэрокамеру.

На третьем этапе в смесительной аэрокамере поток частиц измельченного материала смешивается с сжатым воздухом и поступает в нагнетательный трубопровод 5.

Затем аэроматериальная смесь под действием избыточного давления сжатого воздуха через бункер-гаситель 7 перемещается в основной бункер 8. Переключатель потока 9 направляет поток в патрубок 10 и далее в гибкий трубопровод 11 в случае выгрузки материала в автомобиль.

Для разгрузки бункера 8, также, используется пневматический боковой разгрузатель 13. Подъем и опускание гибкого трубопровода 11 производится с помощью система блоков и полиспаатов 12. Воздух через патрубок 14 отводится для очистки.

1. Предположения, положенные в основу расчетной модели:

1.1. Конструкция отвала бульдозера содержит отверстие, через которое поступает в установившемся режиме срезаемый отвалом при ходе бульдозера материал;

1.2. Дальнейшее транспортирование материала осуществляется одно – или двухопорным шнеком (имеющий две противоположно (или встречно) направленные винтовые поверхности);

1.3. Сбор материала осуществляется в бункер, расположенный за бульдозером.

2. Основное балансовое соотношение.

Из предположения (1.1) об установившемся режиме движения материала к шнековому механизму следует

$$Q_0 = Q_{\text{шн}} \quad (10)$$

где Q_0 – объем срезаемого материала, $Q_{\text{шн}}$ – объем транспортируемого шнековым механизмом материала, за единицу времени (в расчетах - за 1 секунду).

3. Геометрические параметры элементов отвального механизма.

h – глубина срезаемого слоя, м

v – скорость бульдозера, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

L – ширина отвала, м.

Отсюда:

$$Q_0 = Lv h \quad (11)$$

Геометрические и кинематические параметры шнекового механизма:

D – диаметр шнека, м;

$d_{\text{шн}}$ – диаметр вала шнека, м;

s – шаг шнека, м;

n – скорость вращения вала шнека, оборотов/минуту;

ω – скорость вращения вала шнека, об/с.

Объемная производительность одного шнека (с одним цилиндрическим корпусом)

$$Q_{\text{шн}}^1 = 0,785 \cdot (D^2 - d_{\text{шн}}^2) \cdot n \cdot S'_H \cdot \frac{K_{CK}}{60}, \quad (12)$$

с двумя шнеками (с двумя цилиндрическими корпусами)

$$Q_{\text{шн}}^2 = 1,57 \cdot (D^2 - d_{\text{шн}}^2) \cdot n \cdot S'_H \cdot K_{CK}/60. \quad (13)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Предварительное обсуждение возможных технических решений.

Параметры h, L, v, m (количество цилиндрических корпусов (цилиндров) -1 или 2), D, d, s, n, S'_H, K_{CK} не могут быть заданы произвольно. Координирующее их взаимодействие соотношение (1) при учете зависимостей (8), (9) и (10) резко сужает круг возможных технических решений. Более того, в зависимости от условий применения устройства возможны различные комбинации указанных параметров. В связи с этим отметим то обстоятельство, что перечисленные параметры существенно различаются по своей роли в балансовой зависимости:

h, v , имеют непрерывный характер изменения и вполне определенные диапазоны изменения: $h = 0,01 \dots 0,25$ (м), $v = 0,25 \dots 0,75$ (м/с).

В то же время параметры L, m, D, d, s, n принимают дискретные ряды значений, что обусловлено наличием конкретных устройств с известными геометрическими и кинематическими значениями.

Для обеспечения совместности работы приравняем выражения (11) и (12).

Глубина срезаемого слоя грунта h бульдозера с отвальным пневмошнековым напорным механизмом определяется в зависимости от $D, d_{\text{шн}}, S'_H, n, L, v$, по формуле:

$$h = [0,785(D^2 - d_{\text{шн}}^2) \cdot n/60 \cdot S'_H \cdot K_{CK}]/(L \times v) \quad (14)$$

Подставим в выражение (13) зависимость (5), получим

$$h = [0,785(D^2 - d_{\text{шн}}^2) \cdot 16,67 \cdot S'_H \cdot B \cdot S \cdot (10 \cdot P_K)^\xi]/(L \times v) \quad (15)$$

где P_K – избыточное давление в смесительной камере ПМУ, МПа.

Зафиксируем значения $\omega = 16,67$ об/сек, $v = 0,25$ м/с, $L = 4,25$ м.

Запишем вспомогательное выражение $0,785 \cdot 16,67/(L \times v) = 12,31619$.

Тогда $h = 12,31619 \cdot (D^2 - d_{\text{шн}}^2) \cdot S'_H \cdot B \cdot S \cdot (10 \cdot P_K)^\xi$.

Зафиксируем значения параметров $D = 0,2$ м, $d_{\text{шн}} = 0,1$ м, $S'_H = 0,12$ м. Далее, принимаем значение коэффициента уплотнения шнека $K_y = 1,1$ по графику а) на рис.7 получаем $S = 0,52$. Затем, принимаем угол подъема винтовой линии витка по среднему радиусу $\alpha_{\text{cp}} = 18^\circ$ и по графику б) на рис. 7 получим величину $B = 0,6$. При этом $D^2 - d_{\text{шн}}^2 = 0,03$.

Тогда для шнека $D = 0,2$ м получим $h = 0,013834 \cdot (10 \cdot P_K)^\xi$, где $\xi = 1$ (см. график в) рис. 7). Тогда обозначим $A = 0,013834 \approx 0,014$. Назовем коэффициент A параметром, характеризующим глубину срезаемого слоя.

Значит

$$h = 0,014 \cdot (10 \cdot P_K). \quad (16)$$

График зависимости приведен на рис. 10.

Зафиксируем значения параметров $D = 0,18$ м, $d_{\text{шн}} = 0,09$ м, $S'_H = 0,11$ м, $\omega = 16,67$ об/сек, $v = 0,25$ м/с, $L = 4,25$ м. Далее, принимаем значение коэффициента уплотнения шнека $K_y = 1,12$ по графику а) на рис.7 получаем $S = 0,55$. Затем, принимаем угол подъема винтовой линии витка по среднему радиусу $\alpha_{\text{cp}} = 18^\circ$ и по графику б) на рис. 7 получим величину $B = 0,6$. При этом $D^2 - d_{\text{шн}}^2 = 0,0243$.

Тогда для шнека $D = 0,18$ м получим $h = 0,010864 \cdot (10 \cdot P_K)^\xi$, где $\xi = 1,28$ (см. график в) рис. 7). Принимаем $A = 0,011$.

Следовательно

$$h = 0,011 \cdot (10 \cdot P_K)^{1,28}. \quad (17)$$

График зависимости приведен на рис. 10.

Зафиксируем значения параметров $D = 0,25$ м, $d_{\text{шн}} = 0,12$ м, $S'_H = 0,15$ м. Далее, принимаем значение коэффициента уплотнения шнека $K_y = 1,0$ по графику а) на рис.7 получаем $S = 0,47$. Затем, принимаем угол подъема винтовой линии витка по среднему радиусу $\alpha_{\text{cp}} = 18^\circ$ и по графику б) на рис. 7 получим величину $B = 0,6$. При этом $D^2 - d_{\text{шн}}^2 = 0,0481$.

Тогда для шнека $D = 0,25$ м получим $h = 0,025059 \cdot (10 \cdot P_K)^\xi$, где $\xi = 0,67$ (см. график в) рис. 7). $A = 0,025$.

Следовательно

$$h = 0,025 \cdot (10 \cdot P_K)^{0,67}. \quad (18)$$

График зависимости приведен на рис. 10.

Составим таблицу, которая отражает взаимозависимости основных параметров, соответствующей формулам 16, 17, 18. Данные приведены в табл. 1.

Таблица 1. Расчет h по формулам 16, 17, 18
Table 1. Calculation of h using formulas 16, 17, 18

dP_k	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
P_k	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
D	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
A	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
ξ	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
$10P_k$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$h(D=0,18)$	0,011	0,01245	0,01389	0,01539	0,01692	0,01848	0,02008	0,0217	0,02334
D	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
A	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
ξ	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$10P_k$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$h(D=0,2)$	0,014	0,0154	0,0168	0,0182	0,0196	0,021	0,0224	0,0238	0,0252
D	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
A	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
ξ	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
$10P_k$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$h(D=0,25)$	0,025	0,02665	0,02825	0,0298	0,03132	0,0328	0,03425	0,03567	0,03707

Для построения графика функций $h=f(P_k)$ составим расчетную таблицу (см. табл.№2).

Таблица 2. Табличное представление функций $h=f(P_k)$
Table 2. Tabular representation of the functions $h = f(P_k)$

P_k	$h(D=0,18)$	$h(D=0,2)$	$h(D=0,25)$
0,1	0,011	0,014	0,025
0,11	0,01245	0,0154	0,02665
0,12	0,01389	0,0168	0,02825
0,13	0,01539	0,0182	0,0298
0,14	0,01692	0,0196	0,03132
0,15	0,01848	0,021	0,0328
0,16	0,02008	0,0224	0,03425
0,17	0,0217	0,0238	0,03567
0,18	0,02334	0,0252	0,03707

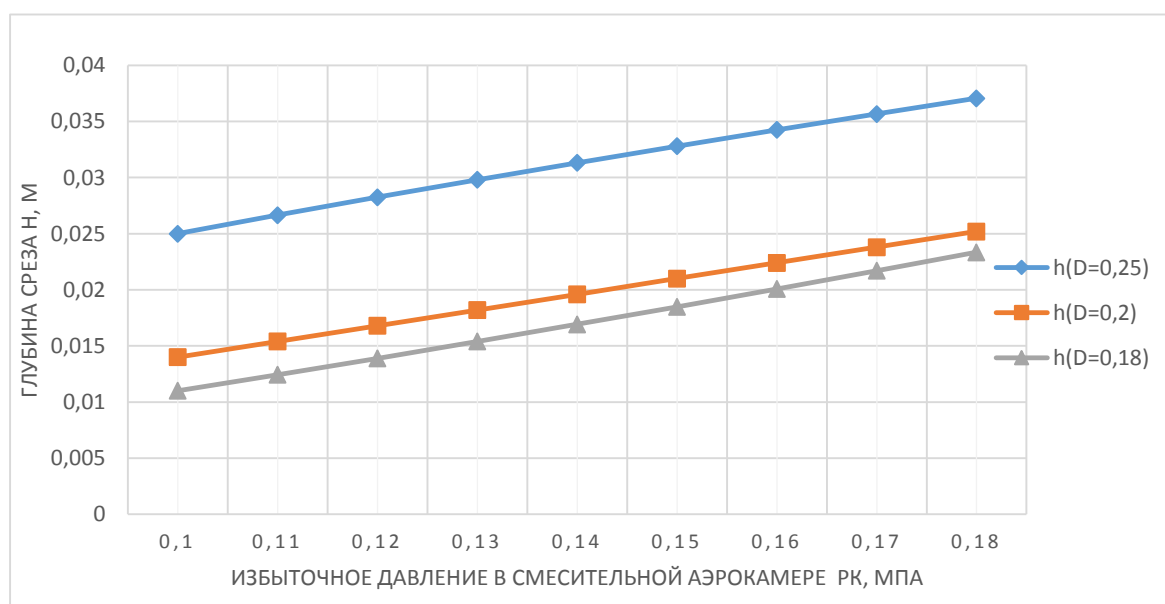


Рис.10. Совмещенный график зависимости глубины среза h от избыточного давления P_k в смесительной камере ПМУ ЗТМ для функций $h=f(P_k)$ ($h(D=0,18)$, для $h(D=0,2)$, для $h(D=0,25)$)

Fig. 10. Combined graph of the dependence of the cut depth h on the excess pressure P_k in the mixing chamber of the ПМУ ЗТМ for the functions $h = f(P_k)$ ($h(D = 0.18)$, for $h(D = 0.2)$, for $h(D = 0.25)$)

ВЫВОДЫ

1. В настоящее время одним из направлений развития землеройно-транспортных машин является применение различных интенсификаторов рабочего процесса, специфические свойства которых определяются не только конкретными физико-механическими свойствами обрабатываемых грунтов, но и природой физических эффектов, положенных в основу новых технических решений (например, бульдозерное оборудование совкового типа с воздушной подушкой, газоздушная смазка поверхности скольжения отвала бульдозера и пр.).

2. В настоящей работе рассмотрены такие параметры ЗПТМ как: толщина срезаемого слоя составляет $h = 0,01 \dots 0,04$ м расчетные скорость передвижения базовой машины $v = 0,25$ м/с, ширина бульдозерного отвала $L = 4,25$ м, а также избыточное давления воздуха в смесительной камере $P_k = 0,11 \dots 0,18$ МПа, диаметр шнека $D_{ш} = 0,18$ м; $0,2$ м; $0,25$ м и скорость вращения вала шнека пневмомеханического питателя $\omega = 16,67$ об/с.

Установлена зависимость в виде степенной функции глубины среза разрыхленного материала (тонкоизмельченные отходы камнедробления) от давления сжатого воздуха в смесительной аэрокамере отвально-пневмошнековой ЗПТМ.

3. Отметим, что особую роль на степень нелинейности зависимости глубины среза материала от давления сжатого воздуха в смесительной аэрокамере оказывает такой параметр, как диаметр шнека пневмомеханического питателя предлагаемой ЗПТМ.

4. В тематике строительной и дорожной техники существуют примеры машин, оборудованных отвальными рабочими органами с технологическими отверстиями различного функционального назначения. Особенность конструкции отвально-пневмошнековой ЗПТМ состоит в том, что по центру бульдозерного отвала выполнено загрузочное отверстие прямоугольной формы. Образовавшийся прием специальным бункером соединяется с приемной камерой пневмомеханической установки.

Однако, использование многосекционных отвалов бульдозеров повышенной эффективности с выступающими передними ножами дает возможность расположить приемную камеру пневмомеханической установки впереди по центру отвала, а смесительную аэрокамеру за ним. Такое решение позволяет не нарушать классическую форму бульдозерного отвала за счет использования вертикальных боковых поверхностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1983. – 183 с.

2. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1993. – 383 с.

3. Бочкарева Т.М. Технология планировочных и землеройных работ: учебно-методическое пособие. Пермь.: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2015. – 132 с.

4. Гончарова О.В., Вахрушев С.И. Патентные исследования по совершенствованию конструкции отвалов бульдозеров // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии. Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Электрон. журнал. 2016. Часть 1. Режим доступа: <http://sbornikstf.pstu.ru/council/?n=6&s=302>. (дата обращения 25.05.2020).

5. Малис А.Я. Пневматический транспорт сыпучих материалов при высоких концентрациях. М.: Машиностроение, 1969. – 183 с.

6. Морозов А.Д. Модернизация и повышение экологической чистоты пневмотранспорта. Учеб. пособие. К.: УМК ВО, 1992. – 72 с.

7. Пневмотранспортное оборудование: Справочник / М.П. Калинушкин, М.А. Коппель, В.С. Серяков, М.М. Шапунов; под общ. ред. М.П. Калинушкина. – Л.: Машиностроение, 1986. – 286 с.

8. Федоркин С.И. Механоактивация вторичного сырья в производстве строительных материалов. Симферополь: Таврия, 1997. – 180 с.

9. Хмара Л.А., Кроль Р.Н. Теоретическое исследование режимов работы шнекового интенсификатора // Международная научно-техническая конференция «Интерстроймех – 2005»: труды. Ч. 1. Тюмень: ТюмГНГУ. – 2005. – С.262-266.

10. Полковников Ю.Ф., Новиков В.С., Голев С.А. Бульдозер: пат. 2410496 Российская Федерация. 2011. Бюл. № 3. – 5 с.

11. Курилов Е.В., Алексеев А.А. Бульдозерное оборудование: пат. 2352724 Российская Федерация. 2009. Бюл. № 11. 6 с.

12. Курилов Е.В., Алексеев А.А. Бульдозерное оборудование: пат. 2359087 Российская Федерация. 2007. Бюл. № 17. – 5 с.

13. Курилов Е.В., Гаг Я.В., Бородулина М.А. Рабочий орган бульдозера: пат. 2459910 Российская Федерация. 2012. Бюл. № 24. – 5 с.

14. Бьорк Я. Огнегасящий состав, способ его приготовления и способ пожаротушения: пат. RU 2 414273 Российская Федерация. 2009. Бюл. № 31. – 2 с.

REFERENCES

1. Balovnev V.I., Khmara L.A. Intensification of earthworks in road construction. M.: Transport, 1983. – 183 p.

2. Balovnev V.I., Khmara L.A. Intensification of soil development in road construction. Moscow: Transport, 1993. – 383 p.

3. Bochkareva T.M. Technology of planning and excavation works: teaching aid. Perm.: Publishing house of the Perm National Research Polytechnic University, 2015. – 132 p.

4. Goncharova O.V., Vakhrushev S.I. Patent research on improving the design of bulldozer dumps // Building and architecture. Experience and modern technologies. Perm National Research Polytechnic University. Electron. magazine. 2016. Part 1. Access mode: <http://sbornikstf.pstu.ru/council/?n=6&s=302>. (date of treatment 05/25/2020).

5. Malis A.Ya. Pneumatic conveying of bulk materials at high concentrations. M.: Mashinostroenie, 1969. – 183 p.

6. Morozov A.D. Modernization and improvement of environmental friendliness of pneumatic transport. Textbook. allowance. K.: UMK VO, 1992. – 72 p.

7. Pneumatic conveying equipment: Handbook / M.P. Kalinushkin, M.A. Koppel, V.S. Seryakov, M.M. Shapunov; under total. ed. M.P. Kalinushkin. – L.: Mashinostroenie, 1986. – 286 p.

8. Fedorkin S.I. Mechanical activation of secondary raw materials in the production of building materials. Simferopol: Tavria, 1997. – 180 p.

9. Khmara L.A., Krol R.N. Theoretical study of the operating modes of the screw intensifier // International scientific and technical conference "Interstroytech - 2005": proceedings. Part 1. Tyumen: TyumGNGU. – 2005. – P. 262-266.

10. Polkovnikov Yu.F., Novikov V.S., Golev S.A. Bulldozer: US Pat. 2410496 Russian Federation. 2011. Bul. No. 3. – 5 p.

11. Kurilov E.V., Alekseev A.A. Bulldozer equipment: US Pat. 2352724 Russian Federation. 2009. Bul. No. 11. – 6 p.

12. Kurilov E.V., Alekseev A.A. Bulldozer equipment: US Pat. 2359087 Russian Federation. 2007. Bul. No. 17. – 5 p.

13. Kurilov E.V., Hague Ya.V., Borodulina M.A. The working body of the bulldozer: US Pat. 2459910 Russian Federation. 2012. Bul. No. 24. – 5 p.

14. Bjork J. Fire extinguishing composition, method of its preparation and method of fire extinguishing: US Pat. RU 2 414273 Russian Federation. 2009. Bul. No 31. – 2 p.

EARTHMOVING - PNEUMATIC CONVEYING MACHINE FOR PROCESSING LIMESTONE-SHELL WASTE

Kovalyov A.A., Kutuzov V.V., Elkina I.I.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

Abstract: The design concept of a pneumomechanized earthmoving and transport machine for crushed limestone stone crushing waste, which is a combination of working bodies of pneumomechanical and bulldozer equipment, is proposed

Subject of research: the possibility of implementing a moldboard-pneumatic auger device in the design of the proposed earthmoving pneumatic transport machine (ZPTM).

Materials and methods: theoretical relationship of the main parameters of the pneumatic screw and bulldozer equipment of the ZPTM.

Results: In this work, the following parameters of ZPTM are considered: the thickness of the cut layer is $h = 0.01 \dots 0.04$ m, the calculated speed of movement of the base machine is $v = 0.25$ m / s, the width of the dozer blade is $L = 4.25$ m, and also excess air pressure in the mixing chamber $P_k = 0.11 \dots 0.18$ MPa, screw diameter $D_{sh} = 0.18$ m; 0.2 m; 0.25 m and the rotational speed of the screw shaft of the pneumatic mechanical feeder $\omega = 16.67$ rpm.

The dependence in the form of a power function of the cut depth of the loosened material (finely ground waste of stone crushing) on the pressure of compressed air in the mixing aerial chamber of the moldboard-pneumatic screw ZPTM has been established

Conclusions: a special role in the degree of nonlinearity of the dependence of the depth of cut of the material on the pressure of compressed air in the mixing aerial chamber is played by such a parameter as the diameter of the screw of the pneumo-mechanical feeder of the proposed ZPTM. The design feature of the moldboard-pneumatic screw ZPTM is that a rectangular loading opening is made in the center of the bulldozer blade. The resulting opening is connected by a special hopper with the receiving chamber of the pneumatic mechanical installation. The use of multi-section blades of bulldozers of increased efficiency with protruding front knives makes it possible to position the receiving chamber of the pneumatic mechanical installation in front of the center of the blade, and the mixing aerial chamber behind it. This solution allows not to violate the classic shape of the dozer blade due to the use of vertical side surfaces

Key words: bulldozer blade, pneumatic screw equipment, auger, waste of limestone-shell rock quarries.