УДК 625.08
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-32-43

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЦЕПЕЙ И РАЗМЕРОВ ПЛАСТА ГРУНТА, ОТРЕЗАЕМОГО КОВШОМ АГРЕГАТА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ГРУНТА С ПОДСТИЛАЮЩЕГО СЛОЯ АВТОДОРОГИ

В.А. Николаев
ФГБОУ ВО ЯТУ,
г. Ярославль, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. *Чтобы автомобильная дорога была долговечной при минимально необходимых затратах на ее строительство, следует тщательно удалить верхний слой грунта, не затрагивая грунт, расположенный под верхним слоем. Проблема удешевления строительства автодорог без снижения их качества может быть решена путём создания агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя. Он удаляет верхний слой грунта с половины подстилающего слоя автомобильной дороги и одного будущего кювета. При движении агрегата ковши отрезают пласт грунта снизу и сбоку. Для этого на каждом ковше установлено нижнее лезвие, правое лезвие и консольное лезвие, частично подрезающее верхний слой грунта снизу для прохода следующего ковша. Лезвие нижнего ножа направлено под углом 10° к планке крепления ковша, лезвие правого ножа и лезвие консольного ножа – под углом 45° к направлению перемещения ковша.*

Методика исследования. *Для определения скорости цепей и размеров пласта грунта, отрезаемого ковшом, проведён анализ кинематики ковша и выполнены математические преобразования. Для проверки полученных параметров рассмотрен поворот ковша на 90° на ведущей звёздочке нижнего привода. Выявлена схема сил, действующих на грунт, расположенный в ковше, при его повороте на ведущей звёздочке нижнего привода. На основе преобразований системы двух уравнений и неравенства установлено условие недопустимости высыпания грунта из ковша при его повороте на ведущей звёздочке нижнего привода.*

Результаты. *Используя разработанную методику определения параметров, на основе принятых исходных данных вычислена скорость цепей, к которым присоединены ковши, и ширина пласта грунта, отрезаемого ковшом. Для проверки полученных параметров рассмотрен поворот ковша на 90° на ведущей звёздочке нижнего привода. После подстановки полученных значений параметров в неравенство установлено, что при таких параметрах ковша и ведущей звёздочки нижнего привода грунт не высыплется из ковша при его повороте.*

Заключение. *Из конструктивной компоновки агрегата для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги получены геометрические параметры ковша. На основе анализа кинематики взаимодействия ковша с грунтом выявлена скорость цепей, к которым присоединены ковши, и ширина пласта грунта, отрезаемого ковшом. Анализ сил, действующих на грунт, расположенный в ковше, в момент поворота ковша на ведущей звёздочке нижнего привода показал рациональность принятых и вычисленных параметров. На основе выявленных параметров можно определить затраты энергии на резание грунта ковшами агрегата для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *автомобильная дорога, подстилающий слой, агрегат непрерывного действия, грунт, скорость цепей, размер пласта грунта.*

Поступила 28.01.2020, принята к публикации 21.02.2020.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.
Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Николаев В.А. Определение скорости цепей и размеров пласта грунта, отрезаемого ковшом агрегата для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги. *Вестник СибАДИ*. 2020;17(1):32-43. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-32-43

© Николаев В.А.

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-32-43

SOIL LAYER CUT OFF BY THE AGGREGATE FOR REMOVING THE TOPSOIL FROM THE ROAD SUBLAYER: DETERMINATION OF THE CHAIN SPEED AND SIZES

Vladimir A. Nikolayev
Yaroslavl Technical University,
Yaroslavl, Russia

ABSTRACT

Introduction. *For the durable road at the minimum necessary cost of its construction the topsoil should be removed without affecting the ground. The problem of cheaper road construction without reducing the quality can be solved by creating an aggregate for the sublayer's formation. The aggregate removes the topsoil from half of the road sublayer and one of the ditch. The buckets of the moving aggregate cut off the soil layer from below and from one side. Therefore, each bucket is mounted by the bottom blade, the right blade and the console blade, partially cutting the topsoil from below for the passage of the next bucket. The blade of the lower knife with the 10 degrees' angle to the plank of the bucket; the blade of the right knife and the blade of the console knife – with the 45 degrees' angle towards the direction of the bucket moving.*

Materials and methods. *To determine the speed of chains and the size of the soil layer the author carried out the bucket kinematics' analysis and considered mathematical transformations. For checking the received parameters, the paper demonstrated the turn of the bucket on the leading 90 degrees' lower drive. The author revealed the scheme of forces acting on the ground, located in the bucket, when it turned on the leading lower drive. Based on the system's transformations of two equations and the inequality, the research established the inadmissibility of the bucket's phasing out when it turned on the leading lower drive.*

Results. *As a result, by using the developed method of determining parameters, based on the accepted raw data, the author calculated the speed of the chains, to which the buckets were attached, and the width of the soil, cut off by the bucket. After substitution of the received parameters in the inequality the author established that the ground would not fall out of the bucket by turning under such parameters of the bucket and of the leading lower drive.*

Discussion and conclusions. *As a result, the author obtains the geometric parameters from the structural layout of the aggregate for removing the topsoil from the road sublayer. Based on the analysis of the kinematics of the interaction of the bucket with the ground, the paper reveals the speed of the chains, to which the buckets are attached and the width of the soil layer cut off by the bucket. Analysis of the forces acting on the ground and locating in the bucket at the moment of the bucket turn on the leading lower drive shows the rationality of the accepted and calculated parameters. The author determines the energy costs of cutting the ground with the buckets of the aggregate for removing the topsoil from the road sublayer.*

KEYWORDS: *road, sublayer, aggregate of the continuous operation, ground, chains' speed, soil size.*

Submitted 28.01.2020, revised 21.02.2020.
The author has read and approved the final manuscript.
Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Nikolayev Vladimir A. Soil layer cut off by the aggregate for removing the topsoil from the road sublayer: determination of the chain speed and sizes. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17(1):32- 43. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-32-43

© Nikolayev V. A.

Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Чтобы автомобильная дорога была долговечной при минимально необходимых затратах на её строительство, следует тщательно удалить верхний слой грунта, не затрагивая грунт, расположенный под верхним слоем. Обычно эту работу выполняют бульдозерами, экскаваторами и другими техническими средствами циклического действия (рисунок 1).



Рисунок 1 – Удаление верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги

Figure 1 – Removing the topsoil from the road sublayer

Проблема удешевления строительства автодорог без снижения их качества может быть решена путём создания агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя. Агрегат содержит энергетическое устройство и рабочую часть. Он удаляет верхний слой грунта с половины подстилающего слоя автомобильной дороги и одного будущего кювета (рисунки 2, 3, 4)[1].

К корпусу *1* энергетического устройства присоединён гидробак *3*, гидроаппаратура автогоризонтали *5*, коробка отбора мощности *6* с предохранительным устройством. К корпусу также добавлены поводки *7*, управляемые гидроцилиндрами автогоризонтали *8*. На поводках установлены ведущие колёса *2* и катки *4*. Ведущие колёса и катки опоясаны гусеницами *25*. К корпусу шарнирно присоединена навеска *10*, изменяющая положение средней рамы *24* относительно энергетического устройства. К средней раме слева шарнирно присоединена левая рама *20*, а к ней – консоль *21*.

[1] Патент №2689007 РФ. Агрегат для удаления почвы с подстилающего слоя автодороги / В.А. Николаев, И.С. Тюремнов. № 2018122727; заявл. 21.06.2018; опубл. 23.05.2019, бюл № 15. 11 с.

© 2004–2020 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

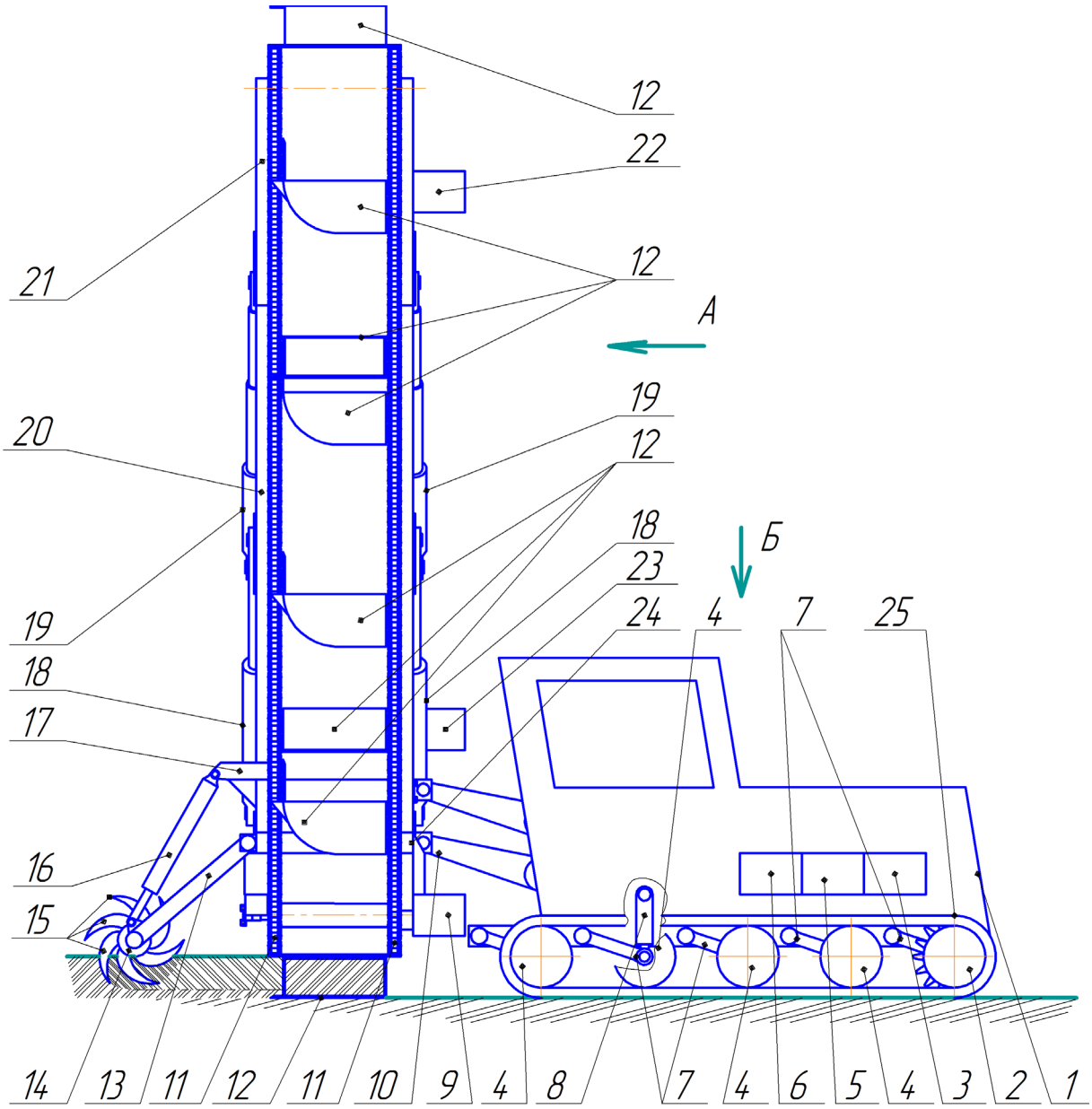


Рисунок 2 – Агрегат для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги, вид слева:
1 – корпус; 2 – ведущее колёсо; 3 – гидробак; 4 – каток; 5 – гидроаппаратура автогоризонтали;
6 – коробка отбора мощности; 7 – поводок; 8 – гидроцилиндр автогоризонтали;
9 – гидромотор нижнего привода; 10 – навеска; 11 – цепь; 12 – ковш; 13 – рамка рыхлителя;
14 – полая ось; 15 – рабочий орган рыхлителя; 16 – гидроцилиндр управления рыхлителем;
17 – кронштейн; 18 – гидроцилиндр управления левой рамой;
19 – телескопический гидроцилиндр; 20 – левая рама; 21 – консоль;
22 – гидромотор верхнего привода; 23 – гидромотор поворота; 24 – средняя рама; 25 – гусеница

Figure 2 – Aggregate for removing the topsoil from the road sublayer, the left view:
1 – body; 2 – leading wheel; 3 – hydrotank; 4 – roller; 5 – hydro-equipment of the auto-horizontal aggregate;
6 – power selection box; 7 – leash; 8 – hydrocylinder of the auto-horizontal aggregate; 9 – lower-wheel drive hydromotor;
10 – canopy; 11 – chain;12 – ladle; 13 – ripper frame; 14 – hollow axis;
15 – working body of the ripper; 16 – hydraulic cylinder control ripper;
17 - bracket; 18 – hydraulic cylinder control of the left frame; 19 – telescopic hydraulic cylinder;
20 – left frame; 21 – console; 22 – hydromotor of the upper drive; 23 – hydromotor turning;
24 – medium frame; 25 – caterpillar

© 2004–2020 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Положением левой рамы относительно средней рамы управляют два гидроцилиндра управления левой рамой *18*, а консоли относительно левой рамы – два телескопических гидроцилиндра *19*. К средней раме прикреплен гидромотор нижнего привода *9*, передающий вращающий момент на звёздочку. На консоли установлена ещё одна звёздочка, приводимая от гидромотора верхнего привода *22*. Звёздочки, ролики и поворотные ролики охвачены двумя цепями *11* с закреплёнными на них ковшами *12*. К средней раме присоединена правая рама, положением которой относительно средней рамы управляет гидромотор поворота *23*. К средней раме и правой раме присоединены рамки рыхлителей *13*. В них установлены полые оси *14*, в которых расположены рабочие органы рыхлителей *15*. К средней раме и правой раме приварены кронштейны *17*, а в них установлены гидроцилиндры управления рыхлителями *16*, присоединённые также к рамкам рыхлителей.

Если рельеф поверхности весьма равнинный, оператор перед началом работы включает гидроаппаратуру автогоризонтали в автоматический режим. В этом режиме корпус энергетического устройства и рабочая часть агрегата будут находиться в строго горизонтальном положении. При наезде гусениц на микронеровности гидроаппаратура автогоризонтали подаёт рабочую жидкость в нужные гидроцилиндры автогоризонтали. Они воздействуют на поводки, а поводки – на катки и ведущие колёса, изменяя их положение так, чтобы корпус оставался в строго горизонтальном положении. Если рельеф поверхности более сложный, оператор задаёт на гидроаппаратуру автогоризонтали необходимый крен корпуса либо управляет положением корпуса энергетического устройства и устройства удаления верхнего слоя грунта вручную.

Оператор гидроцилиндром управления навеской опускает рабочую часть агрегата так, чтобы она не касалась грунта. Затем он опускает рыхлители на поверхность грунта и включает перемещение агрегата вперёд. Оператор задаёт такое давление в гидропневмоаккумуляторе управления рыхлителями, при котором рабочие органы рыхлителя погрузились бы в грунт полностью, но не было избыточной нагрузки на полые оси пассивных рыхлителей. Рабочие органы рыхлителей взрыхляют верхний слой грунта.

Не прекращая перемещение агрегата, оператор переводит гидроцилиндры управления навеской в «плавающее» положение. Вращающий момент от гидромотора нижнего привода через редуктор, звёздочку поступает на цепи. Одновременно от гидронасоса рабочая жидкость поступает в гидромотор верхнего привода, который также создаёт вращающий момент, передаваемый через звёздочку на цепи. Угловая скорость вала гидромотора верхнего привода синхронизирована с угловой скоростью гидромотора нижнего привода. Ковши врезаются во взрыхлённый грунт. При перемещении справа налево (см. рисунок 3) ковши наполняются грунтом. Гидромотор подъёма перемещает ковши с грунтом вверх. Поворотные ролики на консоли установлены так, что от воздействия силы тяжести и центробежной силы инерции грунт из ковшей высыпается в мобильное транспортное средство «М» (см. рисунки 3, 4).

Ковши отрезают пласт грунта снизу и сбоку. При этом нижнее лезвие «Н» (рисунок5) отрезает слой грунта снизу, правое лезвие «П» – сбоку, а консольное лезвие «К» частично подрезает верхний слой грунта снизу для следующего ковша. Лезвие «Н» нижнего ножа направим под углом 10° к планке крепления ковша, то есть 80° к направлению перемещения ковша. Лезвие «П» правого ножа и лезвие «К» консольного ножа – под углом 45° к направлению перемещения ковша. При этом геометрические параметры ковша получаются из конструктивной компоновки агрегата.

В стенках корпуса ковша выполним прорези для установки ножей. Прорезь в правой стенке предназначена для установки консольного ножа *К*. Прорези, образующие правую щель ПЩ, левую щель *ЛЩ*, заднюю щель *ЗЩ* предназначены для установки нижнего ножа. К правому ножу припаяны направляющие пластины, а в правой стенке корпуса ковша выполнены пазы для установки правого ножа (рисунок 5, в). Правый нож вдвигают в корпус ковша так, чтобы направляющие пластины входили в пазы. Если лезвия ножей износились, вынимают сначала правый нож (рисунок 5, д) по направлению стрелки *I*. Потом вынимают нижний нож (рисунок 5, а), поворачивая его по направлению стрелки *II*. Далее вынимают из корпуса ковша консольный нож (рисунок 5, б), выдвигая его по направлению стрелки *III*. Установку ножей производят в обратном порядке. При установке в корпус ковша нижний нож прижимом фиксирует полку консольного ножа. Затем, после выдвижения, правый нож фиксирует в корпусе ковша нижний нож. Так осуществляется взаимное фиксирование ножей в корпусе ковша. Для исключения выпадения правого ножа его фиксируют в корпусе ковша кернением.

© 2004–2020 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

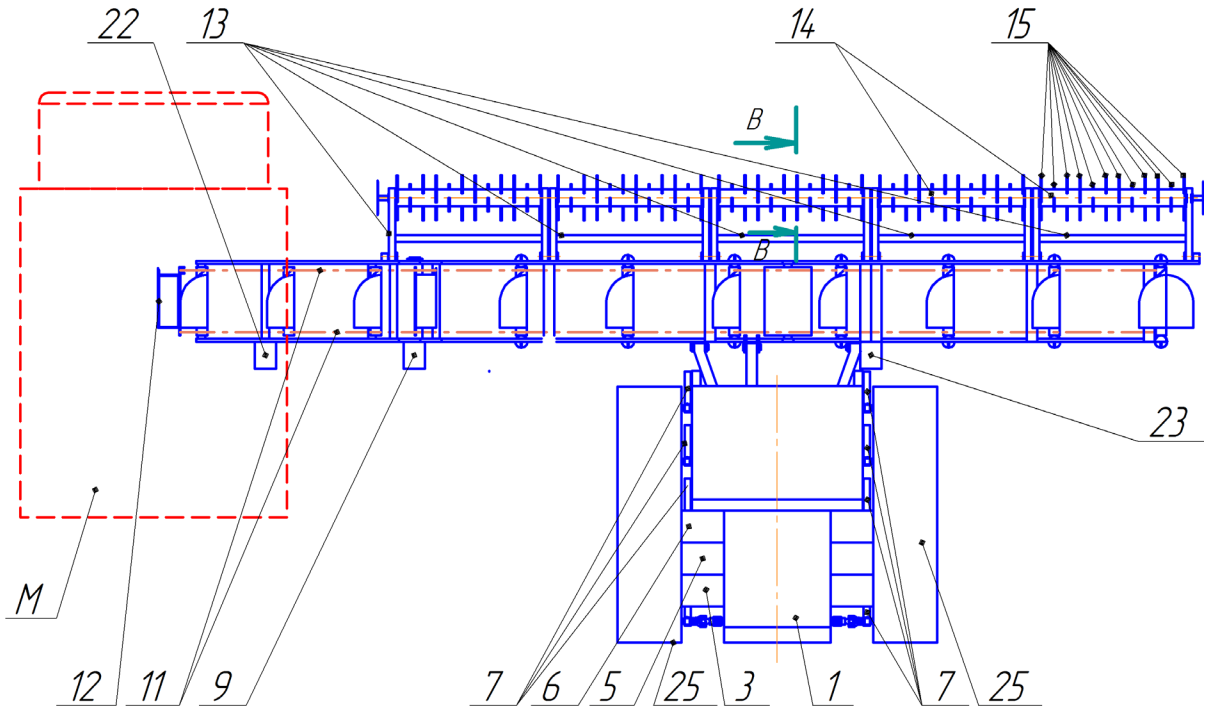


Рисунок 3 – Агрегат для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги, вид сверху (нумерация позиций едина)

Figure 3 – Aggregate for removing the topsoil from the road sublayer, top view

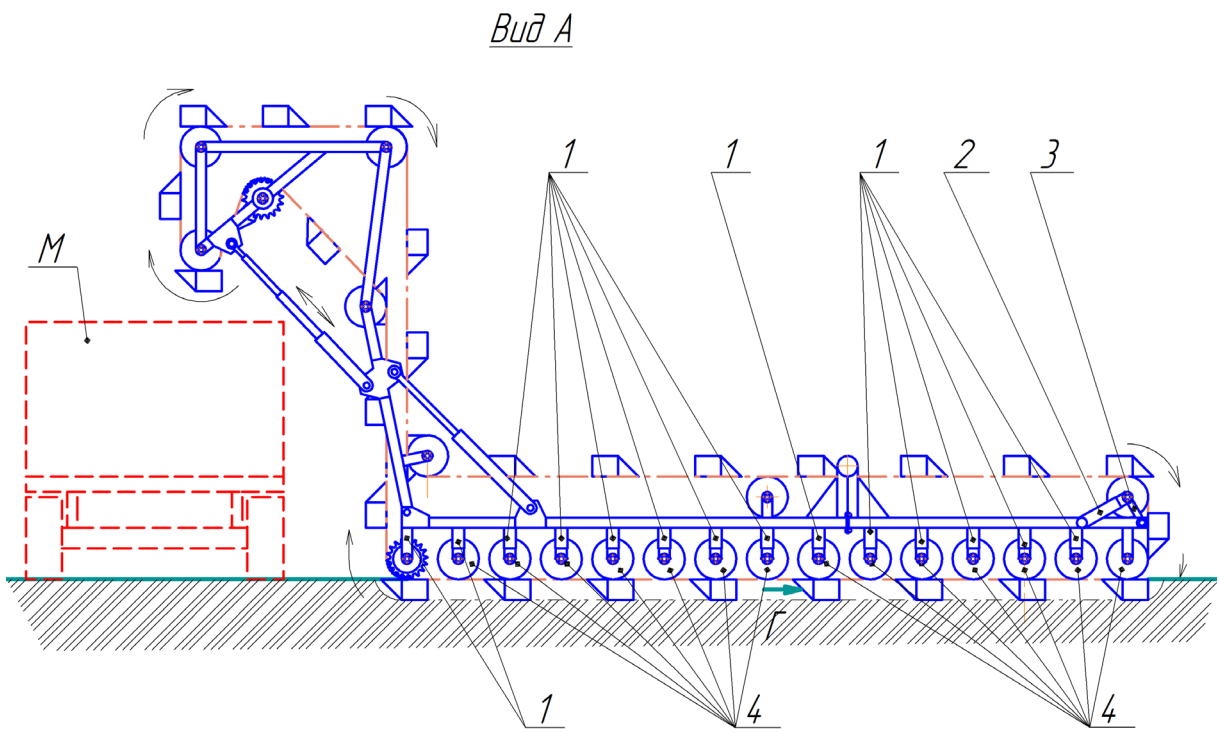


Рисунок 4 – Агрегат для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги, вид А

Figure 4 – Aggregate for removing the topsoil from the road sublayer, A view

© 2004–2020 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

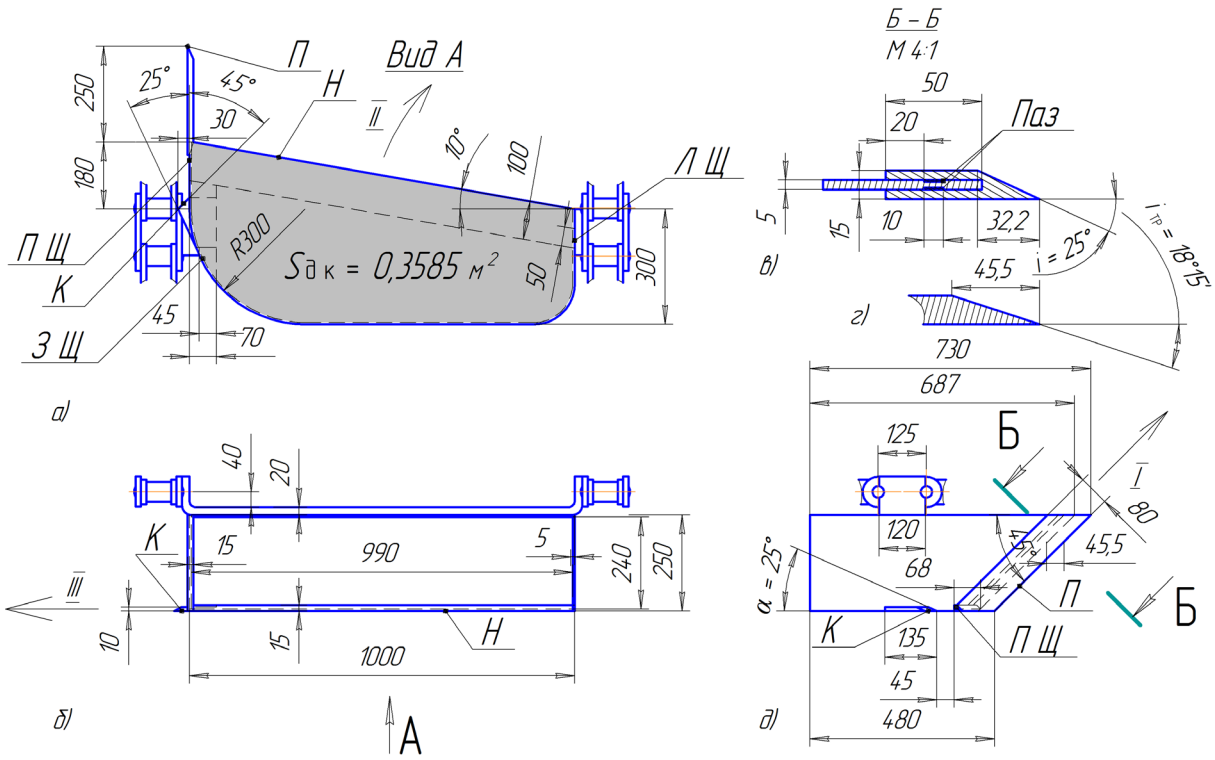


Рисунок 5 – Ковш: а – вид А; б – вид спереди; в – сечение Б – Б; г – трансформация угла заточки правого лезвия; д – вид слева

Figure 5 – Bucket: а – A view; б – front view; в – Б – Б section; г – transformation of the right blade sharpening corner; д – left view

Примем угол заточки лезвия правого ножа $i = 25° < \varphi_{с-п}$ (см. рисунок 5, в), тогда длина фаски 32,2 мм. Перенесём это расстояние на след секущей плоскости *Б – Б*. Измерим длину фаски в направлении перемещения ковша (см. рисунок 5, д) – получилось 44,5 мм. Изобразим отдельно сечение фаски горизонтальной плоскостью (рисунок 5, г) и определим трансформацию угла заточки правого лезвия $i_{тр} = 18{,}25°$. Передний угол лезвия правого ножа $\alpha_{пр} = i_{тр} = 18{,}25°$.

Из конструктивной компоновки: высота ковша 0,25 м, равная максимальной глубине снимаемого верхнего слоя грунта $h_{сл} = 0{,}25$ м, ширина ковша 1,0, длина левой стенки ковша 0,3 м, толщина его стенок 5 мм. Соответственно внутренние размеры: высота ковша $h_к = 0{,}24$ м, ширина ковша $b_к = 0{,}99$ м, длина левой стенки ковша $l_к = 0{,}295$ м. Тогда площадь днища ковша $S_{д\,к} = 0{,}3585$ м^2, его объём $V_к = S_{д\,к} h_к$; $V_к = 0{,}086$ м^3; . Теоретические основы резания грунта весьма подробно рассмотрены[2, 3] [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24]. Однако представляет теоретический и практический интерес анализ резания грунта ковшами агрегата непрерывного действия.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Определим скорость цепей и размеры пласта грунта, отрезаемого ковшом. Объём грунта, снимаемого агрегатом за секунду,

[2] Жук А.Ф. Теоретическое обоснование рациональной технологической схемы и параметров ротационного плуга. Сборник научных трудов «Теория и расчёт почвообрабатывающих машин». Т. 120. М. : Машиностроение, 1989. С. 145-153.

[3] Попов Г.Ф. Рабочие органы фрез. М.: материалы НТС ВИСХОМ. Вып. 27. ОНТИ ВИСХОМ, 1970. С. 490-497.

© 2004–2020 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

$$V_{сл} = Bh_{сл}v_а, \quad (1)$$

где – скорость агрегата. Объём грунта, загружаемого в ковши агрегата за секунду,

$$V_{заг} = k_р Bh_{сл}v_а, \quad (2)$$

где – коэффициент, учитывающий увеличение объёма грунта при его разрыхлении.

Количество ковшей, проходящих через продольное сечение агрегата за секунду,

$$n_к = \frac{V_{заг}}{V_к} = \frac{k_р Bh_{сл}v_а}{k_з V_к}. \quad (3)$$

С другой стороны, количество ковшей, проходящих через продольно-поперечное сечение агрегата в секунду, зависит от скорости цепей и расстояния между ковшами:

$$n_к = \frac{v_ц}{l_{м\,к}}. \quad (4)$$

Отсюда $\frac{k_р Bh_{сл}v_а}{k_з V_к} = \frac{v_ц}{l_{м\,к}} \rightarrow k_р Bh_{сл}v_а l_{м\,к} = k_з V_к v_ц;$

$$\frac{v_а}{v_ц} = \frac{k_з V_к}{k_р Bh_{сл} l_{м\,к}}, \text{ или } v_ц = \frac{k_р Bh_{сл} l_{м\,к}}{k_з V_к} v_а. \quad (5)$$

Так как количество ковшей, проходящих через продольное сечение агрегата за секунду, (формула 4), ширина пласта грунта, отрезаемого ковшом,

$$\delta = \frac{k_з V_к}{k_р Bh_{сл}}. \quad (6)$$

Если известна объёмная масса грунта, его масса в ковше

$$m_к = \frac{\rho k_з V_к}{k_р}. \quad (7)$$

Существует опасность высыпания грунта из ковша при его повороте на ведущей звёздочке нижнего привода. Для проверки полученных параметров рассмотрим поворот ковша на 90° на ведущей звёздочке нижнего привода (рисунок 6).

В момент начала поворота ковша на грунт, расположенный в ковше, действует сила G тяжести, центробежная сила инерции $F_{ц\,б}$ и сила инерции F_j, вызванная торможением грунта в начале поворота. При этом сила F_j стремится частично высыпать грунт из ковша, но этому препятствует неразработанный грунт ниже ковша. По мере поворота ковша сила всё более препятствует высыпанию грунта из ковша. Сила $F_{ц\,б}$ в период поворота стремится частично высыпать грунт из ковша, но этому также препятствует неразработанный грунт ниже ковша. Сила инерции F_j, вызванная торможением грунта в начале поворота, стремится высыпать грунт, расположенный вблизи поверхности, из ковша.

Первыми освободятся частицы грунта вблизи точки *A*. Допустим, что со скоростью цепей $v_ц$ после освобождения эти частицы будут лететь до встречи с нижней стенкой ковша $l_п$ расстояние за время $\tau_п$ (см. рисунок 6). Чтобы эти частицы не вылетели из ковша, за это же время нижняя стенка ковша должна повернуться на угол $\varphi_п$. Примем радиус начальной окружности ведущей звёздочки нижнего привода $r_з$.

Имеем систему двух уравнений и неравенства с тремя неизвестными

$$\begin{cases} l_п > v_ц \tau_п \\ \varphi_п = \omega_з \tau_п. \\ v_ц = \omega_з r_з \end{cases}$$

Из третьего уравнения $\omega_з = \frac{v_ц}{r_з}$, подставив во второе уравнение, получим $\varphi_п = \frac{v_ц \tau_п}{r_з}$. Откуда $v_ц \tau_п = \varphi_п r_з$, подставив в первое уравнение, получим неравенство

$$l_п > \varphi_п r_з. \quad (8)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Из конструктивной компоновки ширина захвата агрегата для удаления грунта с подстилающего слоя автодороги $B = 7$ м. Примем скорость агрегата для удаления грунта с подстилающего слоя автодороги: $v_а = 0{,}085$, коэффициент, учитывающий заполнение ковша $k_з = 0{,}8$, коэффициент, учитывающий увеличение объёма грунта при его разрыхлении, $k_р \approx 1{,}3$.

Скорость цепей из условия заполнения ковшей при максимальной глубине снимаемого слоя грунта (формула 5)

$$v_ц = \frac{1{,}3 \cdot 7 \cdot 0{,}25 \cdot 0{,}6}{0{,}8 \cdot 0{,}086} 0{,}085 = 1{,}686 \text{ м/с}.$$

Количество ковшей, проходящих через продольное сечение агрегата за секунду (формула 4)

$$n_к = \frac{1{,}686}{0{,}6} \approx 2{,}8 \text{ шт/с}.$$

© 2004–2020 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

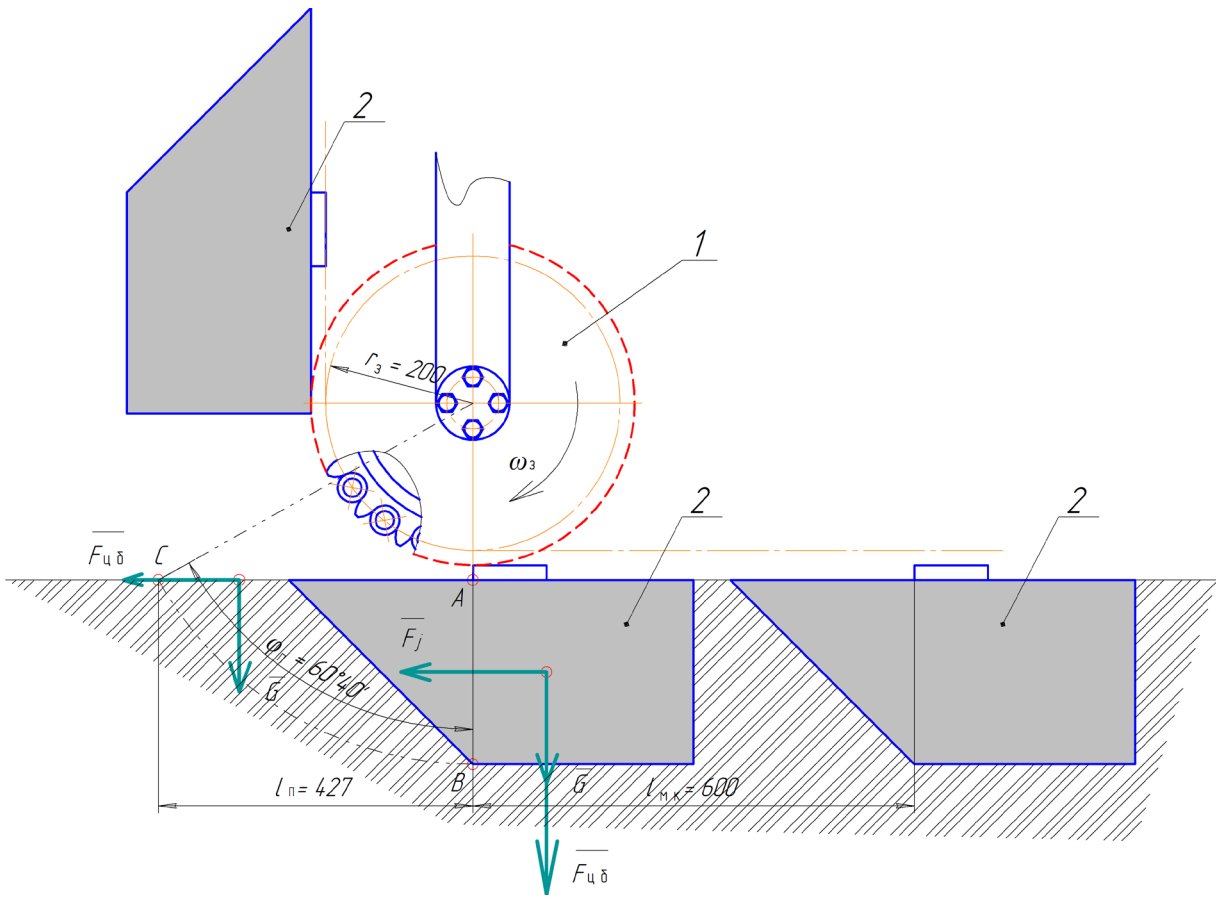


Рисунок 6 – Схема сил, действующих на грунт, расположенный в ковше, при его повороте на ведущей звёздочке нижнего привода: 1 – ведущая звёздочка нижнего привода; 2 – ковш

Figure 6 – Diagram of the forces acting on the ground and located in the bucket by switching on the leading lower drive: 1 – leading lower drive; 2 – ladle

Ширина пласта грунта, отрезаемого ковшом (формула 6)

$$\delta = \frac{0{,}8 \cdot 0{,}086}{1{,}3 \cdot 7 \cdot 0{,}25} \approx 0{,}03 \text{ м} = 30 \text{ мм}.$$

Примем ширину консольного лезвия $b_к = 30$ мм, равную слою грунта, подрезаемую ковшом, δ. Если объёмная масса грунта $\rho = 1600$ кг/м^3, его масса в ковше (формула 7)

$$m_к = \frac{1600 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}086}{1{,}3} \approx 85 \text{ кг}.$$

Примем радиус начальной окружности ведущей звёздочки нижнего привода $r_з = 200$ мм. Подставив значения параметров: расстояние $l_п = 427$ мм (см. рисунок 6), угол $\varphi_п = 60{,}67° \approx 1{,}0586$ рад, $r_з = 200$ мм, в неравенство (8) получим: $427 > 1{,}0586 \cdot 200$.

Условие выполняется. При таких параметрах ковша и ведущей звёздочки нижнего привода грунт не высыплется из ковша при его повороте.

© 2004–2020 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из конструктивной компоновки агрегата для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги получены геометрические параметры ковша. На основе анализа кинематики взаимодействия ковша с грунтом выявлена скорость цепей, к которым присоединены ковши, и ширина пласта грунта, отрезаемого ковшом. Анализ сил, действующих на грунт, расположенный в ковше, в момент поворота ковша на ведущей звёздочке нижнего привода показал рациональность принятых и вычисленных параметров. На основе выявленных параметров можно определить затраты энергии на резание грунта ковшами агрегата для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карасёв Г.Н. Определение силы резания грунта с учётом упругих деформаций при разрушении // Строительные и дорожные машины. 2008. № 4. С. 36–42.

2. Карнаухов А.И., Орловский С.Н. Определение затрат удельной энергии на процесс резания лесных почв торцевыми фрезами // Строительные и дорожные машины. 2010. № 1. С. 20–22.

3. Кравец И.М. Определение критической глубины резания при комбинированном резании грунтов гидрофрезой // Строительные и дорожные машины. 2010. № 5. С. 47–49.

4. Кириллов Ф.Ф. Детерминированная математическая модель временного распределения тягового усилия для многорезцовых рабочих органов землеройных машин // Строительные и дорожные машины. 2010. № 11. С. 44–48.

5. Берестов Е.И. Влияние трения грунта по поверхности ножа на сопротивление резанию // Строительные и дорожные машины. 2010. № 11. С. 34–38.

6. Вершинин А.В., Зубов В.С., Тюльнев А.М. Повышение эффективности дискофрезерных рабочих механизмов для разработки мёрзлых грунтов // Строительные и дорожные машины. 2012. № 8. С. 42–44.

7. Баловнев В.И., Нгуен З.Ш. Определение сопротивлений при разработке грунтов рыхлителем по интегральному показателю прочности // Строительные и дорожные машины. 2005. № 3. С. 38–40.

8. Ryabets N., Kurzhner F. Weakening of frozen soils by means of ultra-high frequency energy // Cold Regions Science and Technology. 2003. Vol. 36. Pp. 115–128.

9. Liu X., Liu P. Experimental research on the compressive fracture toughness of wing fracture of frozen soil // Cold Regions Science and Technology. 2011. Vol. 65. Pp. 421–428.

10. Talalay P.G. Subglacial till and Bedrock drilling // Cold Regions Science and Technology. 2013. Vol. 86. Pp. 142–166.

11. Sun X. ACT-timely experimental study on meso-scopic damage development of frozen soil under triaxial shearing // Rock and Soil Mechanics. 2005. № 8. Pp. 150–163.

12. Li Q. Development of Frozen Soil Model // Advances in Earth Science. 2006. № 12. Pp. 96–103.

13. Atkinson J. The Mechanics of Soils and Foundations. CRC. Press. 2007. 448 p.

14. Баловнев В.И., Данилов Р.Г., Улитич О.Ю. Исследование управляемых ножевых систем землеройно-транспортных машин // Строительные и дорожные машины. 2017. № 2. С. 12–15.

15. Нилов В.А., Фёдоров Е.В. Разработка грунта скрепером в условиях свободного резания // Строительные и дорожные машины. 2016. № 2. С. 7–10.

16. Чмиль В.П. Насосно-аккумулятивный привод рыхлителя с автоматическим выбором угла резания // Строительные и дорожные машины. 2016. № 11. С. 18–20.

17. Кабашев Р.А., Тургумбаев С.Д. Экспериментальные исследования процесса копания грунтов роторно-дисковыми рабочими органами под гидростатическим давлением // Вестник СибАДИ. 2016. № 4. С. 23–28.

18. Сёмкин Д.С. О влиянии скорости рабочего органа на силу сопротивления резанию грунта // Вестник СибАДИ. 2017. № 1. С. 37–43.

19. Константинов Ю.В. Методика расчёта сопротивления и момента сопротивления резанию почвы прямым пластинчатым ножом фрезы // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 5. С. 31–39.

20. Сыромятников Ю.Н., Храмов И.С., Войнаш С.А. Гибкий элемент в составе рабочих органов роторной почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 5. С. 32–39.

21. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Силовой анализ механизмов перемещения рабочих органов почвообрабатывающих машин по заданной траектории // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 1. С. 47–54.

22. Драняев С.Б., Чаткин М.Н., Корявин С.М. Моделирование работы винтового Г-образного ножа почвообрабатывающей фрезы // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 7. С. 13–19.

23. Николаев В.А. Ориентировочный расчёт мощности циклического резания грунта // Вестник СибАДИ. 2019. № 3. С.228–240. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-228-240.

24. Николаев В.А. Анализ циклического резания грунта // Вестник СибАДИ. 2019. № 9. С. 642–657. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-642-657.

© 2004–2020 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

REFERENCES

1. Karasjov G.N. Opredelenie sily rezanija grunta s uchjotom uprugih deformacij pri razrushenii [Definition of the cutting force of soil considering elastic deformation at fracture]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2008; 4: 36–42 (in Russian).

2. Karnauhov A.I., Orlovskij S.N. Opredelenie zatrat udel'noj jenergii na process rezanija lesnyh pochv torcevymi frezami [Costing of specific energy on the cutting process of forest soils end mills]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2010; 1: 20–22 (in Russian).

3. Kravec I.M. Opredelenie kriticheskoj glubiny rezanija pri kombinirovannom rezanii gruntov gidrofrezoj [Determine critical cutting depth when combined cutting soils gidrofrezoj]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2010; 5: 47–49 (in Russian).

4. Kirillov F.F. Determinirovannaja matematicheskaja model' vremennogo raspredelenija tjagovogo usilija dlja mnogorezcovyh rabochih organov zemlerojnyh mashin [Deterministic mathematical model of the temporal distribution of traction for mnogorezcovyh working bodies of earthmoving machines]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2010; 11: 44-48 (in Russian).

5. Berestov E.I. Vlijanie trenija grunta po poverhnosti nozha na soprotivlenie rezaniju [Influence of friction of soil on the surface of the knife cutting resistance]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2010; 11: 34–38 (in Russian).

6. Vershinin A.V., Zubov V.S., Tjul'nev A.M. Povyshenie jeffektivnosti diskofrezernyh rabochih mehanizmov dlja razrabotki mjorzlyh gruntov [Improving the efficiency of the working mechanisms for the development of diskofrezernyh mjorzlyh soil]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2012; 8: 42–44 (in Russian).

7. Balovnev V.I., Nguen Z.Sh. Opredelenie soprotivlenij pri razrabotke gruntov ryhlitelem po integral'nomu pokazatelju prochnosti [Identification of resistances when designing primers Ripper by a combined indicator of strength]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2005; 3: 38–40 (in Russian).

8. Ryabets N., Kurzhner F. Weakening of frozen soils by means of ultra-high frequency energy. *Cold Regions Science and Technology*. 2003; 36: 115–128.

9. Liu X., Liu P. Experimental research on the compressive fracture toughness of wing fracture of frozen soil. *Cold Regions Science and Technology*. 2011; 65: 421–428.

10. Talalay P.G. Subglacial till and Bedrock drilling. *Cold Regions Science and Technology*. 2013; 86: 142–166.

11. Sun X. ACT-timely experimental study on meso-scopic damage development of frozen soil under triaxial shearing. *Rock and Soil Mechanics*. 2005; 8: 150–163.

12. Li Q. Development of Frozen Soil Model. Advances in Earth Science. 2006; 12: 96–103.

13. Atkinson J. *The Mechanics of Soils and Foundations*. CRC. Press. 2007: 448.

14. Balovnev V.I., Danilov R.G., Ulitich O.Ju. Issledovanie upravljaemyh nozhevyh sistem zemlerojno-transportnyh mashin [Study of guided knife systems of ground-moving vehicles]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2017; 2: 12–15 (in Russian).

15. Nilov V.A., Fjodorov E.V. Razrabotka grunta skreperom v uslovijah svobodnogo rezanija [Ground development with a scraper in free cutting conditions]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2016; 2: 7–10 (in Russian).

16. Chmil' V.P. Nasosno-akkumuljativnyj privod ryhlitelja s avtomaticheskim vyborom ugla rezanija [Pump-accumulating ripper drive with automatic cutting angle selection]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2016; 11: 18–20 (in Russian).

17. Kabashev R.A., Turgumbaev S.D. Jeksperimental'nye issledovanija processa kopanija gruntov rotorno-diskovymi rabochimi organami pod gidrostaticheskim davleniem [Experimental studies of the process of digging soils by rotary-disk working organs under hydrostatic pressure]. *Vestnik SibADI*. 2016; 4: 23–28 (in Russian).

18. Sjomkin D.S. O vlijanii skorosti rabochego organa na silu soprotivlenija rezaniju grunta [On the impact of the speed of the working body on the force of resistance to ground cutting]. *Vestnik SibADI*. 2017; 1: 37–43 (in Russian).

19. Konstantinov Ju.V. Metodika raschjota soprotivlenija i momenta soprotivlenija rezaniju pochvy prjamym plastinchatym nozhom frezy [The method of calculating resistance and the moment of resistance to soil cutting with a straight plate cutter knife]. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2019; 5: 31–39 (in Russian).

20. Syromjatnikov Ju.N., Hramov I.S., Vojnash S.A. Gibkij jelement v sostave rabochih organov rotornoj pochvoobrabatyvajushhej ryhlitel'no-separirujushhej mashiny [Flexible element in the working organs of the rotary soil processing loosening and separating machine]. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2018; 5: 32–39 (in Russian).

21. Parhomenko G.G., Parhomenko S.G. Silovoj analiz mehanizmov peremeshhenija rabochih organov pochvoobrabatyvajushhih mashin po zadannoj traektorii [Power analysis of the mechanisms of movement of working bodies of soil processing machines on a given trajectory]. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2018; 1: 47–54 (in Russian).

22. Dranjaev S.B., Chatkin M.N., Korjavin S.M. Modelirovanie raboty vintovogo G-obraznogo nozha pochvoobrabatyvajushhej frezy [Simulation of the work of a screw g-shaped knife soil cutter]. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2017; 7: 13–19 (in Russian).

23. Nikolayev V.A. Approximate calculation of the circular soil cutting capacity. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019; 16(3): 228–240 (in Russian). https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-228-240.

© 2004–2020 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

24. Nikolayev V.A. Analysis of the cyclical ground cutting. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019; 16(6): 642–657 (in Russian). https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-642-657.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Николаев Владимир Анатольевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительные и дорожные машины» ФГОУ ВО Ярославский технический университет (г. Ярославль, Московский пр., 88. e-mail: Nikolaev53@inbox.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir A. Nikolaev – Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Construction and Road Machines' Department, Yaroslavl Technical University (Yaroslavl, 88, Moskovsky Ave., e-mail: Nikolaev53@inbox.ru).

© 2004–2020 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal