

УДК 625.08

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-30-41>

## НИЖНИЙ ПРИВОД АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕГО СЛОЯ АВТОДОРОГИ

**В.А Николаев**  
ФГБОУ ВО ЯГТУ,  
г. Ярославль, Россия  
[Nikolaev53@inbox.ru](mailto:Nikolaev53@inbox.ru)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Агрегат непрерывного действия для формирования подстилающего слоя предназначен для увеличения производительности труда при строительстве автомобильных дорог и других объектов, для строительства которых необходимо снятие верхнего слоя грунта. В ковше агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог предусмотрено использование рабочих органов, осуществляющих резание грунта лезвиями ножей. Отрезанный грунт поступает в ковши. Рассмотрены силы, приложенные к ковшу. Теоретически обоснованные общие затраты энергии на резание грунта объёмом один кубический метр ковшами агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог 109 килоджоулей. На основании проведённых расчётов можно определить вращающий момент, мощность, необходимую для нижнего привода, передаточное отношение от гидромотора к звёздочкам, разработать конструкцию многих элементов агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог.

**Методика исследования.** Для определения вращающего момента, мощности, необходимой для нижнего привода, передаточного отношения от гидромотора к звёздочкам, к проекции ковша на горизонтальную плоскость приложены все силы, направленные по ходу ковша. В результате их сложения выявлено общее максимальное тяговое усилие перемещения всех ковшей в период их заполнения грунтом. На основании этого дана методика расчётов искомых параметров. Существует опасность высыпания грунта из ковша при его повороте на ведущих звёздочках нижнего привода. Для проверки полученных параметров рассмотрен поворот ковша на 90° на ведущих звёздочках нижнего привода. Выявлены силы, действующие на грунт, расположенный в ковше, в момент начала поворота ковша. Составлена система уравнений, на основе которой установлено условие недопустимости высыпания грунта из ковша при его повороте на ведущих звёздочках.

**Результаты.** В результате сложения сил, направленных по ходу ковша, определено общее максимальное тяговое усилие перемещения всех ковшей в период их заполнения грунтом, тяговое усилие на правую цепь и левую цепь. По разрушающей нагрузке выбраны тяговые цепи. Рассчитаны: вращающий момент нижнего привода, угловая скорость приводных звёздочек, мощность, необходимая для нижнего привода, передаточное отношение от гидромотора к звёздочкам. Исходя из передаваемой мощности выбран для нижнего привода агрегата героторный гидромотор. На основе расчётов разработана конструкция цепей, опорного катка, подвески цепей.

**Заключение.** На основании проведённых расчётов выявлены: максимальное тяговое усилие перемещения всех ковшей в период их заполнения грунтом 11870 ньютонов, вращающий момент нижнего привода 2362 ньютонметров, скорость цепей 1,686 метров в секунду, угловая скорость приводных звёздочек 8,47 радиан в секунду, мощность, необходимая для нижнего привода, 20 киловатт. Исходя из передаваемой мощности целесообразно использовать для нижнего привода агрегата героторный гидромотор МТ-160 и одноступенчатый планетарный редуктор с передаточным отношением от гидромотора к звёздочкам 7,674. Проведённые расчёты позволили разработать конструкцию многих элементов агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** агрегат непрерывного действия, грунт, проекции сил в горизонтальной плоскости, тяговое усилие, тяговые цепи, вращающий момент, нижний привод, приводные звёздочки.

Поступила 19.01.21, принята к публикации 26.02.21.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Николаев В.А. Нижний привод агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодороги / В.А. Николаев. – DOI <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-30-41> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18(77), № 1. – С. 30-41.

© Николаев В.А., 2021



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-30-41>

## LOWER DRIVE OF CONTINUOUS ACTION UNIT TO FORM UNDERLAYING LAYER OF ROAD

**Vladimir A. Nikolaiev**

Yaroslavl Technical University,  
Yaroslavl, Russia  
[nikolaev53@inbox.ru](mailto:nikolaev53@inbox.ru)

### ABSTRACT

**Introduction.** A continuous action unit for the formation of an underlying layer is designed to increase productivity in the construction of roads and other facilities, for which it is necessary to remove the top layer of soil. In the bucket of the continuous action unit to form an underlying layer of roads provides the use of working bodies, cutting the ground with blades of knives. The cut-off soil enters the buckets. The forces attached to the bucket are considered. Theoretically reasonable total energy costs for ground cutting of one cubic meter by buckets of continuous action unit to form an underlying layer of roads requires 109 kilojoules. Based on the calculations carried out, it is possible to determine the torque, the power required for the lower drive, the transmission ratio from the hydraulic motor to the stars, to develop the design of many elements of the continuous action unit to form the underlying layer of the road.

**The method of research.** To determine the torque, the power required for the lower drive, the transmission ratio from the hydraulic motor to the asterisks, to the projection of the bucket on the horizontal plane attached all forces are applied directed along the bucket. As a result of their addition, the total maximum traction force of moving all the boilers during their filling with soil was revealed. On the basis of this, the method of calculating the parameters of the required is given. There is a danger of the ground being poured out of the bucket when it is rotated on the leading stars of the lower drive. To check the parameters received, the bucket is rotated by 90 degrees on the leading stars of the lower drive. The forces acting on the ground, located in the bucket, at the moment of the beginning of the turn of the bucket were revealed. A system of equations has been created, on the basis of which the condition of inadmissibility of the dumping of soil from the bucket at its turn on the leading stars has been established.

**Results.** As a result of the addition of forces directed in the course of the bucket, the total maximum traction force of moving all the boilers during their filling with the ground, traction force on the right chain and left chain is defined. Traction chains are chosen by destructive load. The torque of the lower drive, the angular speed of the drive stars, the power required for the lower drive, the transmission ratio from the hydraulic motor to the asterisk are calculated. Based on the transferable power, a gerotor motor is chosen for the lower drive of the unit. On the basis of the calculations the design of chains, support rink, chain suspension have been developed.

**Conclusion.** Based on the calculations made, the maximum traction force of all the buckets during the period when they are filled with soil is 11,870 newtons, the torque of the lower drive is 2,362 newtonometers, the speed of the chains is 1,686 meters per second, the angular velocity of the drive stars is 8,47 radians per second, power required for lower drive is 20 kilowatts. Based on the transferable power, it is advisable to use MT-160 gerotor motor and a single-stage planetary gearbox with a transmission ratio from the hydraulic motor to the stars 7,674. The calculations made it possible to develop the design of many elements of the continuous action unit to form an underlying layer of roads.

**KEYWORDS:** Continuous action unit, soil, projection of forces in horizontal plane, traction force, traction chains, torque, lower drive, drive stars.

**Submitted 19.01.21, revised 26.02.21.**

**The authors have read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

*For citation:* Nikolaev V.A. Lower drive of continuous action unit to form underlying layer of road. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (1):30-41. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-30-41>

© Nikolaiev V.A., 2021



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

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1) определены: вращающий момент, мощность, необходимая для нижнего привода, передаточное отношение от гидромотора к нижнему приводу;

2) разработаны конструкции: цепи, опорного катка, подвески цепей, конструктивные параметры которых получены на основе расчётов;

3) осуществлена проверка параметров ковша и ведущей звёздочки нижнего привода на недопустимость высыпания грунта из ковша при его повороте на ведущей звёздочке.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для формирования подстилающего слоя автомобильных дорог используют технические средства циклического действия. Их рабочие органы осуществляют преимущественно энергозатратное резание грунта, которое теоретически можно уподобить резанию пуансоном. Теоретические основы такого резания грунта весьма подробно рассмотрены [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24]. Затраты энергии на резание грунта можно существенно уменьшить путём применения резания лезвиями.

Агрегат непрерывного действия для формирования подстилающего слоя [25] предназначен для увеличения производительности труда при строительстве автомобильных дорог и других объектов, для строительства которых необходимо снятие верхнего слоя грунта. В ковше агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог предусмотрено использование рабочих органов, осуществляющих резание грунта лезвиями ножей [26, 27]. Отрезанный грунт поступает в ковши. Рассмотрены силы, приложенные к ковшу [27]. Теоретически обоснованные общие затраты энергии на резание грунта объёмом один кубический метр ковшами агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог. На основании проведённых расчётов можно определить вращающий момент, мощность, необходимую для нижнего привода, передаточное отношение от гидромотора к нижнему приводу, разработать конструкцию многих элементов агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Определим мощность, необходимую для нижнего привода, передаточное отношение от

гидромотора к звёздочкам, используя расчётные данные [27]. Допустим, ковш №1 пустой. Со схемы сил в горизонтальной плоскости [27], приложенных к ковшу, перенесём на рисунок 1 все силы, направленные по ходу ковша и сложим их.

Допустим, заполнение ковшей грунтом происходит равномерно по ходу их перемещения. Шаг расчёта:

$$K = \frac{F_{кхmax} - F_{кхmin}}{n_{гр}}, \quad (1)$$

где  $F_{кхmin}$  – суммарная минимальная горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения одного пустого ковша;  $F_{кхmax}$  – суммарная максимальная горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения одного наполненного ковша;  $n_{гр}$  – количество ковшей, наполняемых грунтом, с учётом ковшей на угловых роликах. Общее максимальное тяговое усилие  $F_{кх}$  перемещения всех ковшей в период их заполнения грунтом равно сумме тяговых усилий. Из рисунка 1 определим тяговое усилие на правую цепь  $P_{кхпр}$  и тяговое усилие на левую цепь  $P_{кхлев}$ .

Для расчёта цепей максимальное тяговое усилие перемещения всех ковшей в период их заполнения грунтом следует увеличить:

- на натяжение, необходимое для нормальной работы цепей, создаваемое натяжным устройством;

- усилие преодоления трения в цапфах холостых колёс и звёздочек от предварительного натяжения цепей;

- усилие преодоления сил инерции в момент начала движения цепей;

- усилие преодоления сил трения в шарнирах цепей;

- прочие усилия, например, на преодоление трения при перегибах на ведущей звёздочке и поворотном ролике.

Из опыта расчётов цепей [6] сумма перечисленных дополнительных усилий составляет приблизительно 35% от тягового усилия. Поэтому увеличим тяговое усилие на правую (по ходу), более нагруженную, цепь:

$$P_{\Sigma кхпр} = 1,35 P_{кхпр}. \quad (2)$$

Разрушающая нагрузка цепи

$$S_p = n_n P_{\Sigma кхпр}, \quad (3)$$

где  $n_n$  – коэффициент запаса прочности.

По разрушающей нагрузке выбираем стандартную тяговую цепь. Разработаем конструкции цепи, опорного катка, подвески цепей на основе расчётов [27].

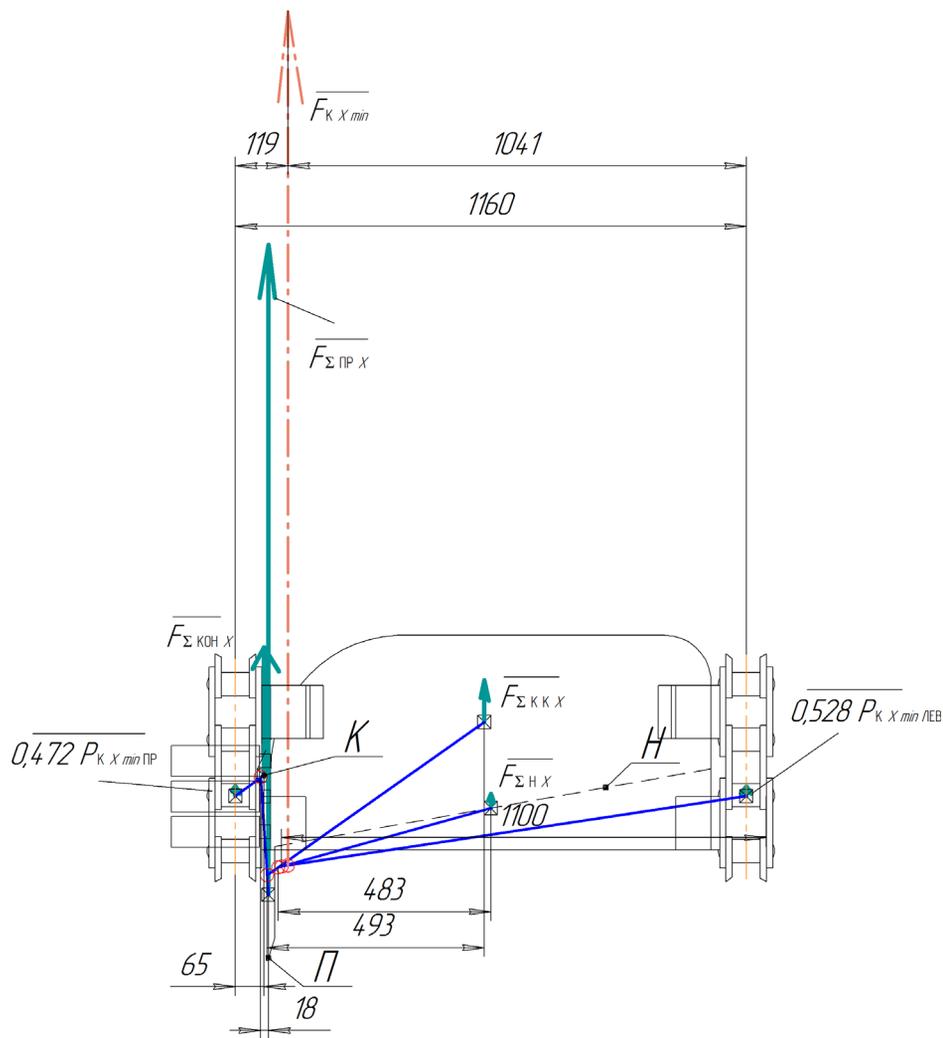


Рисунок 1 – Схема сил в горизонтальной плоскости, приложенных к ковшу и направленных по ходу ковша

Figure 1 – A diagram of forces in a horizontal plane, applied to the bucket and directed along to the bucket

Общее максимальное тяговое усилие перемещения всех ковшей в период их заполнения грунтом  $F_{кx}$ . Радиус начальной окружности приводной звёздочки  $r_n$ . Отсюда вращающий момент нижнего привода

$$M_{нп} = F_{кx} r_n. \quad (4)$$

Скорость цепей  $v_{ц}$  [1]. Угловая скорость приводных звёздочек

$$\omega_{нп} = \frac{v_{ц}}{r_n}. \quad (5)$$

Мощность, необходимая для нижнего привода,

$$N_{нп} = M_{нп} \omega_{нп}. \quad (6)$$

Передаточное отношение от гидромотора к нижнему приводу

$$i_{нпгп} = \frac{\omega_{гмп}}{\omega_{нп}}, \quad (7)$$

где  $\omega_{гмп}$  – угловая скорость гидромотора.

Существует опасность высыпания грунта из ковша при его повороте на ведущих звёздочках нижнего привода. Для проверки полученных параметров рассмотрим поворот ковша на  $90^\circ$  на ведущих звёздочках нижнего привода (рисунок 2).

В момент начала поворота ковша на грунт, расположенный в ковше, действует сила  $G$  тяжести, центробежная сила инерции  $F_{цб}$  и сила инерции  $F_j$ , вызванная торможением грунта в начале поворота. При этом сила  $F_j$  стре-

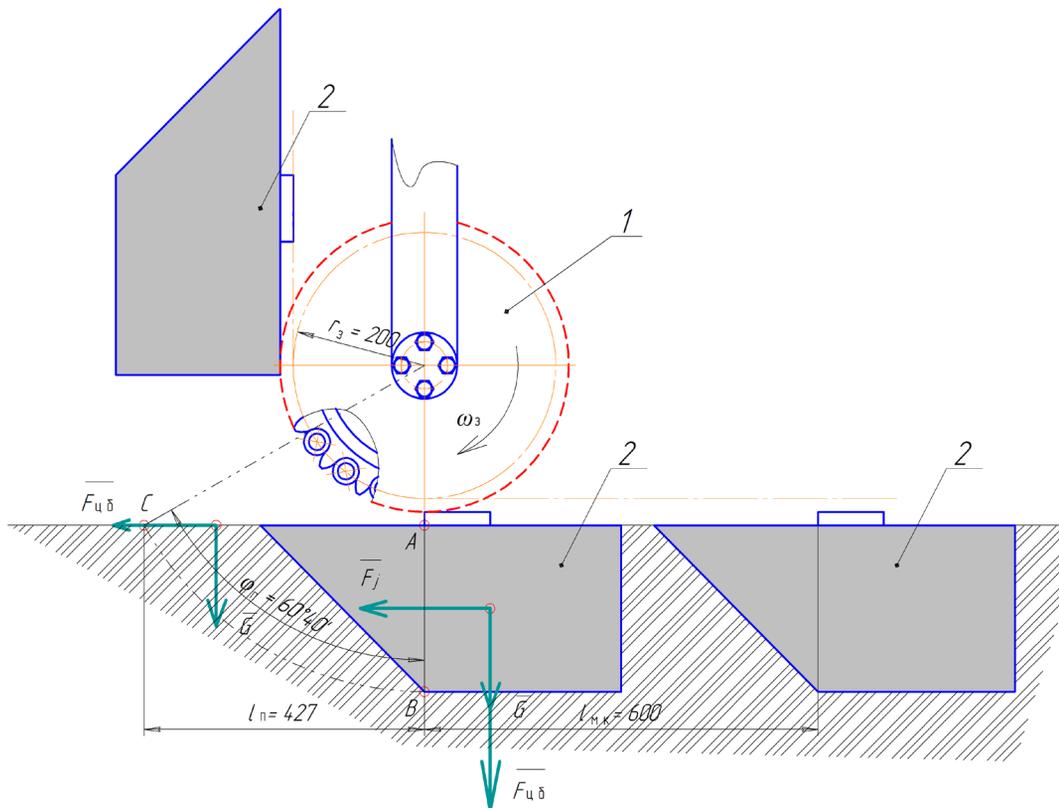


Рисунок 2 – Схема сил, действующих на грунт, расположенный в ковше, при его повороте на ведущих звёздочках нижнего привода: 1 – ведущая звёздочка нижнего привода; 2 – ковш

Figure 2 – The force scheme acting on the ground, located in the bucket, when it turns on the leading stars of the lower drive: 1 – the leading star of the lower drive; 2 – bucket

мится частично высыпать грунт из ковша, но этому препятствует неразработанный грунт ниже ковша. По мере поворота ковша сила  $G$  всё более препятствует высыпанию грунта из ковша. Сила  $F_{цб}$  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 А. Допустим, что со скоростью цепей  $v_{ц}$  после освобождения эти частицы будут лететь до встречи с нижней стенкой ковша  $l_{п}$  расстояние за время  $\tau_{п}$ . Чтобы эти частицы не вылетели из ковша, за это же время нижняя стенка ковша должна повернуться на угол  $\varphi_{п}$  (см. рисунок 2). Имеем систему двух уравнений и неравенства с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} l_{п} > v_{ц}\tau_{п} \\ \varphi_{п} = \omega_3\tau_{п} \\ v_{ц} = \omega_3r_3 \end{cases}$$

Из третьего уравнения  $\omega_3 = \frac{v_{ц}}{r_3}$ . Подставив во второе уравнение, получим  $\varphi_{п} = \frac{v_{ц}\tau_{п}}{r_3}$ . Откуда  $v_{ц}\tau_{п} = \varphi_{п}r_3$ . Подставив в первое уравнение, получим недопустимости высыпания грунта из ковша при его повороте на ведущих звёздочка:

$$l_{п} > \varphi_{п}r_3. \tag{8}$$

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Суммарная минимальная горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения одного пустого ковша,  $F_{кхmin} = 960\text{Н}$  [27]. Суммарная максимальная горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения одного наполненного ковша,  $F_{кхmax} = 1014\text{Н}$ . Ширина захвата агрегата 7 м. Расстояние между ковшами 0,6 м. Поэтому количество ковшей, наполняемых грунтом, с учётом ковшей на угловых роликах,  $n_{гр} = 12$ .

Ранее в [27] были определены все силы воздействия ковша на грунт в момент начала его заполнения. Со схемы сил в горизонталь-

ной плоскости, приложенных к ковшу [27], перенесём на рисунок 1 все силы, направленные по ходу ковша, и сложим. Силы  $F_{\Sigma\text{конх}} = 144\text{Н}$ ,  $F_{\Sigma\text{прх}} = 730\text{Н}$ ,  $F_{\Sigma\text{нх}} = 16\text{Н}$ ,  $F_{\Sigma\text{ккх}} = 47\text{Н}$ ,  $P_{\text{кхminпр}} = 11\text{Н}$ ,  $P_{\text{кхminлев}} = 12\text{Н}$ . Результирующая сила воздействия ковша на грунт в начале его заполнения  $F_{\text{кхmin}} = 960\text{Н}$  показана штрих-пунктиром. В результате распределения к правой по ходу ковша цепи приложена сила  $P_{1\text{кхпр}} = 862\text{Н}$ , к левой –  $P_{1\text{кхлев}} = 98\text{Н}$ , то есть  $P_{1\text{кхпр}} \approx 0,898F_{\text{кхmin}}$ ,  $P_{1\text{кхлев}} \approx 0,102F_{\text{кхmin}}$ . Результирующая сила воздействия на грунт заполненного ковша, направленная по ходу ковша, увеличится до  $F_{\text{кхmax}} = 1014\text{Н}$ [27]. Она будет несколько смещаться в сторону левой цепи, однако этим смещением можно пренебречь. Допустим, заполнение ковшей грунтом по мере их перемещения происходит равномерно. Шаг расчёта (1):

$$K = \frac{1014 - 960}{12} = 4,5\text{Н}.$$

Тогда в момент начала заполнения первого ковша тяговое усилие перемещения предыдущих ковшей составит, соответственно: 964,5

Н; 969 Н; 973,5 Н; 978 Н; 982,5 Н; 987 Н; 991,5 Н; 996 Н; 1000,5 Н; 1005Н; 1009,5 Н; 1014 Н.

Общее максимальное тяговое усилие перемещения всех ковшей в период их заполнения грунтом равно сумме тяговых усилий  $F_{\text{кх}} \approx 11870\text{Н}$ . Тяговое усилие на правую цепь  $P_{\text{кхпр}} = 0,898F_{\text{кх}}$ ;  $P_{\text{кхпр}} = 10660\text{Н}$ . Тяговое усилие на левую цепь  $P_{\text{кхлев}} \approx 1210\text{Н}$ .

Увеличим тяговое усилие на правую цепь (2):  $P_{\Sigma\text{кхпр}} \approx 14390\text{Н}$ . С учётом возможных резких перегрузок при снятии слоя грунта примем коэффициент запаса прочности  $n_n = 4$ . Разрушающая нагрузка (3):

$$S_p = 4 \cdot 14390 = 57560\text{Н}.$$

По разрушающей нагрузке выбираем стандартную цепь тяговую пластинчатую шарнирную М 80, тип 4, исполнение 2, ГОСТ 588–81, шаг цепи  $t = 125\text{мм}$ . Для унификации левую цепь принимаем такую, как правую. На рисунке 3 показана конструкция цепи, включая звено, к которому приварена пластина соединения с ковшем. Конструктивные параметры получены на основе расчётов [25, 26, 27].

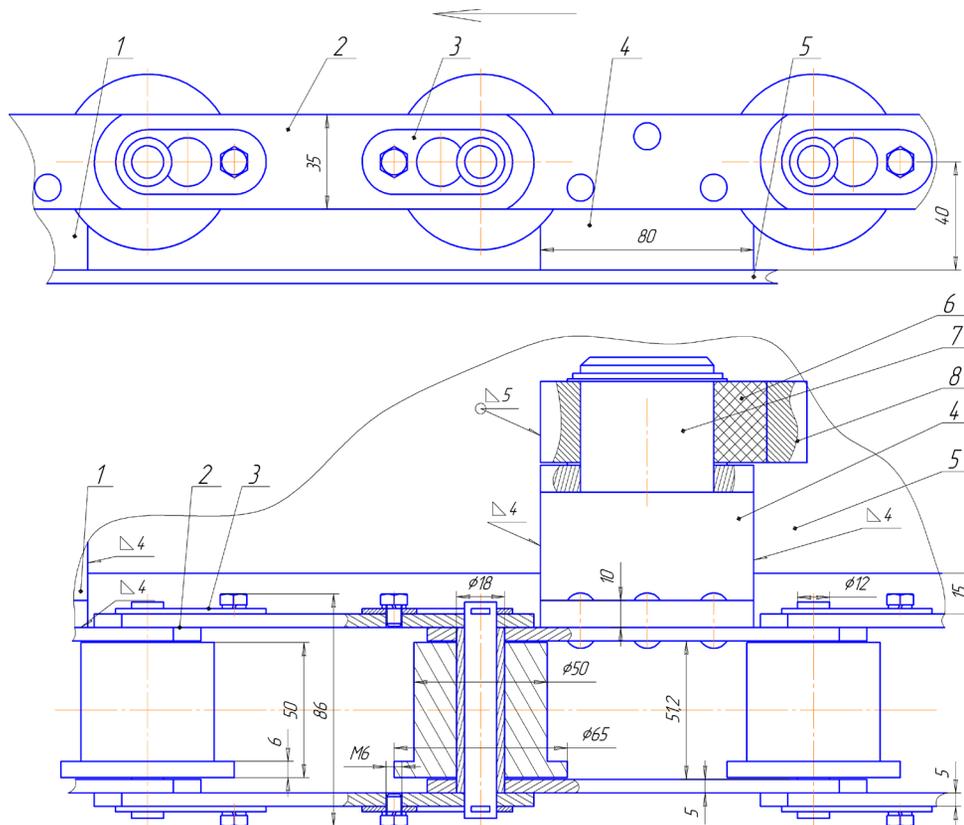


Рисунок 3 – Цепь тяговая пластинчатая шарнирная М 80, тип 4, исполнение 2: 1 – передний угольник; 2 – цепь; 3 – пластина; 4 – задний угольник; 5 – корпус ковша; 6 – амортизирующий компенсатор; 7 – палец; 8 – кронштейн

Figure 3 – М 80 chain traction plate, type 4, performance 2: 1 – front charcoal; 2 – chain; 3 – plate; 4 – rear coal; 5 – the case of the bucket; 6 – cushioning compensator; 7 - finger; 8 – bracket

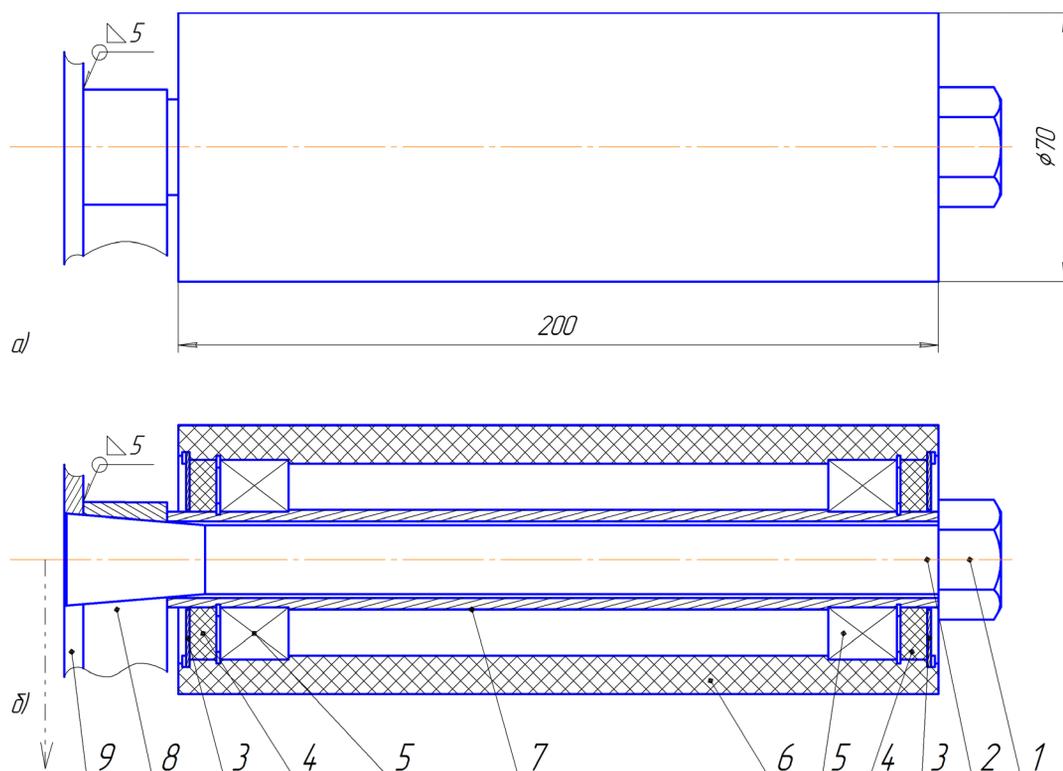


Рисунок 4 – Опорный каток: а – вид; б – сечение совместно с гусеницей: 1 – гайка; 2 – ось; 3 – защитная шайба; 4 – уплотнение; 5 – закрытый подшипник; 6 – обод; 7 – втулка; 8 – планка; 9 – корпус ковша

Figure 4 – Support rink: a) view; b) a section with a caterpillar; 1 – nut; 2 – axis; 3 – defensive puck; 4 – seal; 5 – closed bearing; 6 – rim; 7 – sleeve; 8 – bar; 9 – bucket casing

Ролики цепи выполнены с ребром для восприятия поперечных нагрузок. Цепи 2 содержат пластины 3 для фиксирования осей. Это позволяет быстро разъединить цепи в любом месте для устранения неисправности. Посредством передних угольников 1 корпус ковша 5 жёстко присоединён к звеньям цепей. Задние угольники 4 мягко присоединены к другим звеньям цепей. В них запрессованы пальцы 7. К корпусу ковша приварены кронштейны 8 с прорезями, в которых расположены амортизирующие компенсаторы 6. Амортизирующие компенсаторы позволяют смещаться звеньям цепей, присоединённых к корпусу ковша, относительно друг друга при изгибе цепей на поворотных роликах.

Применено цанговое крепление осей опорных катков (рисунок 4). К корпусу каждого ковша 9 приварены три планки 8 с прорезями, выполненными с уклоном. В каждую планку вставлена ось 2 с надетой на неё втулкой 7. На втулке с обеих сторон установлены подшипники 5, уплотнения 4 и защитные шайбы 3. На подшипники установлен обод 6. При затягивании гайки 1 обратный конус оси фиксирует её в планке. Для изменения глубины хода ковша в грунте ослабляют гайки и перемещают ось каждого опорного катка по планке, затем затягивают гайки. Для снятия опорного катка следует отвернуть гайку и вынуть ось внутрь ковша. Остальные элементы опорного катка при эксплуатации не разбирают. При неисправности опорный каток заменяют.

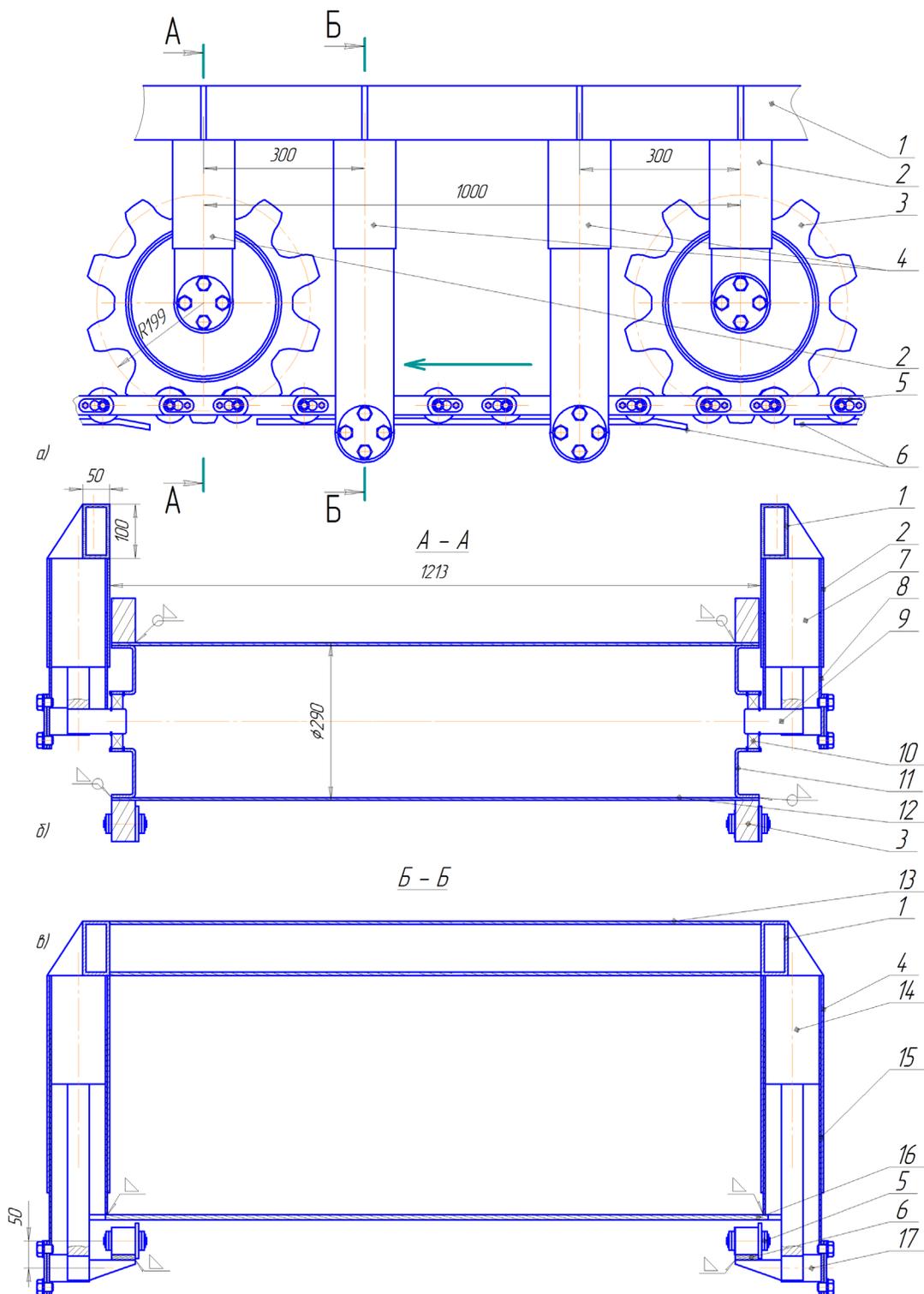


Рисунок 5 – Подвеска цепей: а – вид сбоку (сзади по ходу агрегата); б – сечение А – А; в – сечение Б – Б; 1 – лонжерон (средней или правой рамы); 2, 4 – внешняя направляющая; 3 – ролик; 5 – цепь; 6 – поддерживающая планка; 7 – гидроцилиндр роликов; 8, 15 – внутренняя направляющая; 9, 17 – цапфа; 10 – подшипник; 11 – диск; 12 – трубчатая ось; 13 – траверса; 14 – гидроцилиндр поддержки; 16 – связь

Figure 5 – Chain suspension: a) side view (back in the course of the unit); б) Section A – A; в) Section B – B; 1 – spargeron (middle or right frame); 2, 4 – external guide; 3 – roller; 5 – chain; 6 – supporting bar; 7 – hydrocylinder rollers; 8, 15 – internal guide; 9, 17 – herp; 10 – bearing; 11 – disk; 12 – tubular axis; 13 – traverse; 14 – support hydrocylinder; 16 – connection

Уточним радиус начальной окружности ведущих звёздочек нижнего привода. Так как шаг цепи  $t = 125\text{мм}$ , примем на них по 10 зубьев. Тогда радиус начальной окружности ведущей звёздочки нижнего привода  $r_n = 199\text{мм}$ . Для копирования неровностей рельефа опорными катками на цепи сверху воздействуют звездообразные ролики 3 (рисунок 5), которые имеют сходные параметры с ведущими звёздочками нижнего привода.

Средняя и правая рама сварена из лонжеронов 1 и траверс 13. Клонжеронам приварены внешние направляющие 2, 4, гидроцилиндры роликов 7. Гидроцилиндры роликов сообщаются с гидропневмоаккумулятором управления роликами. В штоки гидроцилиндров роликов запрессованы цапфы 9, к которым присоединены внутренние направляющие 8. На цапфах 9 установлены подшипники 10, а на них – диски 11 с приваренной к ним трубчатой осью 12 со звездообразными роликами. К лонжеронам также приварены гидроцилиндры поддержки 14, сообщаются с гидропневмоаккумулятором управления поддерживающими планками. В штоки гидроцилиндров поддержки запрессованы цапфы 17, к которым присоединены внутренние направляющие 15, связанные связями 16. К цапфам 17 приварены поддерживающие планки 6. Цепь 5 перемещается между роликами и поддерживающими планками. В зависимости от свойств грунта автоматика, изменяя давление в гидропневмоаккумуляторах, регулирует ход ковшей так, чтобы они не выглублялись из грунта и не создавали избыточное сопротивление перемещению.

Общее максимальное тяговое усилие перемещения всех ковшей в период их заполнения грунтом  $F_{кх} \approx 11870\text{Н}$ . Радиус начальной окружности приводной звёздочки  $r_n = 0,199\text{м}$ . Вращающий момент нижнего привода (4):  $M_{нп} = 11870 \cdot 0,199 = 2362\text{Нм}$ .

Скорость цепей  $v_{ц} = 1,686\text{ м/с}$  [1]. Угловая скорость приводной звёздочки (5):

$$\omega_{нп} = \frac{1,686}{0,199} \approx 8,47\text{ рад/с}.$$

Мощность, необходимая для нижнего привода (6),

$$N_{нп} = 2362 \cdot 8,47 = 20012\text{Вт} \approx 20\text{кВт}.$$

Примем нижний привод агрегата от гидромотора. Кроме создания вращающего момента, гидромотор смягчает воздействие перегрузок на элементы привода. Исходя из передаваемой мощности выберем героторный

гидромотор МТ-160, угловая скорость ротора  $\omega_{гмп} = 65\text{ рад/с}$ , мощность – 26,5 кВт.

Передаточное отношение от гидромотора к нижнему приводу (7):

$$i_{нпмп} = \frac{65}{8,47} \approx 7,674.$$

Необходима установка одноступенчатого планетарного редуктора. Нижний привод цепей предназначен для создания тягового усилия с целью резания грунта и заполнения им ковшей. Для предохранения цепей от внезапных перегрузок, например, при встрече ковша с камнем или корнем дерева, необходима установка в нижнем приводе предохранительной муфты. На предохранительной муфте установлен датчик, а в приводе ходовой части энергетической установки – бортовые фрикционы. При срабатывании предохранительной муфты агрегат немедленно останавливается.

Для проверки полученных параметров рассмотрим поворот ковша на  $90^\circ$  на ведущей звёздочке нижнего привода (см. рисунок 2). Подставим в неравенство (8) значения параметров: расстояние  $l_n = 427\text{мм}$ , угол  $\varphi_n = 60,67^\circ \approx 1,0586\text{рад}$ ,  $r_3 = 200\text{мм}$ . 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.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведённых расчётов выявлены: максимальное тяговое усилие перемещения всех ковшей в период их заполнения грунтом  $F_{кх} \approx 11870\text{Н}$ , вращающий момент нижнего привода  $M_{нп} = 2362\text{Нм}$ , скорость цепей  $v_{ц} = 1,686\text{ м/с}$ , угловая скорость приводных звёздочек  $\omega_{нп} = 8,47\text{ рад/с}$ , мощность, необходимая для нижнего привода,  $N_{нп} \approx 20\text{кВт}$ . Исходя из передаваемой мощности целесообразно использовать для нижнего привода агрегата героторный гидромотор МТ-160 и одноступенчатый планетарный редуктор с передаточным отношением от гидромотора к звёздочкам  $i_{нпмп} = 7,674$ . Проведённые расчёты позволили разработать конструкцию многих элементов агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жук А.Ф. Теоретическое обоснование рациональной технологической схемы и параметров ротационного плуга. Сборник научных трудов «Теория

и расчёт почвообрабатывающих машин». Т 120. Москва: Машиностроение, 1989. С. 145–153.

2. Попов Г.Ф. Рабочие органы фрез. Москва: Материалы НТС ВИСХОМ. Вып. 27. ОНТИ ВИСХОМ, 1970 С. 490–497.

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

4. 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.

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

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

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

8. 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.

9. 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.

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

11. 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. P. 421-428.

12. Talalay P.G. Subglacial till and Bedrock drilling. // Cold Regions Science and Technology. 2013. Vol. 86. P. 142-166.

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

14. Li Q. Development of Frozen Soil Model. // Advances in Earth Science. 2006. №12. P. 96-103.

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

16. 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.

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

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

19. 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.

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

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

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. Николаев В.А. Определение скорости цепей и размеров пласта грунта, отрезаемого ковшем агрегата для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги // Вестник СибАДИ, 2020. №1. С. 32–43.

26. Николаев В.А. Анализ взаимодействия кромки лезвия консольного ножа с грунтом // Вестник СибАДИ, 2020. №2. С. 172–181.

27. Николаев В.А. Затраты энергии на резание грунта ковшами агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодороги // Вестник СибАДИ, 2020. №6. С. 676–688.

## REFERENCES

1. Zhuk A.F. Teoreticheskoe obosnovanie racional'noj tekhnologicheskoy skhemy i parametrov rotacionnogo pluga [Theoretical justification of the rational technological scheme and parameters of the rotary plow]. *Sbornik nauchnyh trudov «Teoriya i raschyot pochvoobrabatyvayushchih mashin»*. Т 120. Moscow, *Mashinostroenie*, 1989: 145-153. (in Russian)

2. Popov G.F. Rabochie organy frez [Working bodies of milling cutters]. Moscow, *Materials VISHOM NTS. ISS. 27. ONTI VISHOM*, 1970: 490-497. (in Russian)

3. Karasyev G.N. Opredelenie sily rezaniya grunta s uchyotom uprugih deformatsij pri razrushenii [Determination of the cutting force of the soil, taking into account elastic deformations during destruction]. *Construction and road machinery*, 2008; 4: 36-42. (in Russian)

4. Karnaukhov A.I. Orlovskiy S.N. Opredelenie zhatrat udel'noj energii na process rezaniya lesnyh pochv torcevyimi frezami [Determination of the specific energy costs for the process of cutting forest soils with end mills]. *Construction and road machinery*, 2010; 1: 20-22. (In Russian)
5. Kravets I.M. Opredelenie kriticheskoy glubiny rezaniya pri kombinirovannom rezanii gruntov gidrofrezoy [Definition of critical depth of cut for the combined cutting the soil hidromasaj]. *Construction and road machinery*, 2010. 5: 47-49. (In Russian)
6. Kirillov F.F. Determinirovannaya matematicheskaya model' vremennogo raspredeleniya tyagovogo usiliya dlya mnogorezcovykh rabochih organov zemlerojnyh mashin [Deterministic mathematical model of the time distribution of traction force for multi-cutter working bodies of earthmoving machines]. *Construction and road machinery*, 2010; 11: 44-48. (In Russian)
7. Berestov E.I. Vliyaniye treniya grunta po poverhnosti nozha na soprotivleniye rezaniyu [Effect of soil friction on the knife surface on the cutting resistance]. *Construction and road machinery*, 2010. No 11: 34-38. (In Russian)
8. Vershinin A.V., Subov V.S., Tyulnev A.M. Povysheniye effektivnosti diskofrezernykh rabochih mekhanizmov dlya razrabotki myorzlykh gruntov [Improving the efficiency of disc-milling working mechanisms for the development of frozen soils]. *Construction and road machinery*, 2012; 8: 42-44. (In Russian)
9. Balovnev V.I., Nguen Z.SH. Opredeleniye soprotivlenij pri razrabotke gruntov ryhlitelem po integral'nomu pokazatelyu prochnosti [Determination of resistances in the development of soils with a ripper according to the integral strength index]. *Construction and road machines*, 2005. 3: 38-40. (In Russian)
10. Ryabets N., Kurzner F. Weakening of frozen soils by means of ultra-high frequency energy. *Cold Regions Science and Technology*. 2003; 36: 115-128.
11. 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.
12. Talalay P.G. Subglacial till and Bedrock drilling. *Cold Regions Science and Technology*. 2013. 86: 142-166.
13. 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.
14. Li Q. Development of Frozen Soil Model. *Advances in Earth Science*. 2006; 12: 96-103.
15. Atkinson J. The Mechanics of Soils and Foundations. *CRC Press*. 2007: 448 p.
16. Balovnev V.I., Danilov R.G., Ulitich O.YU. Issledovanie upravlyaemykh nozhevykh sistem zemlerojno-transportnykh mashin [Research of controlled knife systems of earthmoving and transport machines]. *Construction and road vehicles*. 2017; 2: 12-15. (In Russian)
17. Nilov V.A., Fyodorov E.V. Razrabotka grunta skreperom v usloviyah svobodnogo rezaniya [Ground scraper development in free cutting conditions]. *Construction and road machines*, 2016; 2: 7-10. (In Russian)
18. CHmil' V.P. Nasosno-akkumulyativnyj privod ryhlitel'ya s avtomaticheskim vyborom ugla rezaniya [Pump-accumulator drive of the ripper with automatic selection of the cutting angle]. *Construction and road machines*, 2016; 11: 18-20. (In Russian)
19. Kabashev R.A., Turgumbaev S.D. Eksperimental'nye issledovaniya processa kopaniya gruntov rotorno-diskovymi rabochimi organami pod gidrostaticheskim davleniem [Experimental studies of the process of digging soil by rotary-disk working bodies under hydrostatic pressure]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2016; 4: 23-28. (In Russian)
20. Syomkin D.S. O vliyaniy skorosti raboche-go organa na silu soprotivleniya rezaniyu grunta [On the influence of the speed of the working body on the strength of the resistance to cutting the soil]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2017; 1: 37-43. (In Russian)
21. Konstantinov YU.V. Metodika raschyota soprotivleniya i momenta soprotivleniya rezaniyu pochvy pryamym plastinchatym nozhom frezy [Method of calculating the resistance and moment of resistance to cutting the soil with a straight plate cutter knife]. *Tractors and agricultural machines*, 2019; 5: 31-39. (In Russian)
22. Syromyatnikov YU.N., Hramov I.S., Vojnash S.A. Gibkij element v sostave rabochih organov rotor-noj pochvoobrabatyvayushchej ryhlitel'no-separiruyushchej mashiny [Flexible element in the composition of the working bodies of the rotary tillage loosening and separating machine]. *Tractors and agricultural machines*, 2018; 5: 32-39. (In Russian)
23. Parhomenko G.G., Parhomenko S.G. Silovoj analiz mekhanizmov peremeshcheniya rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin po zadanoj traektorii [Power analysis of the mechanisms of movement of working bodies of tillage machines along a given trajectory]. *Tractors and agricultural machines*, 2018;1: 47-54. (In Russian)
24. Dranyaev S.B., CHatkin M.N., Koryavin S.M. Modelirovaniye raboty vintovogo G-obraznogo nozha pochvoobrabatyvayushchej frezy [Simulation of the operation of a screw L-shaped knife of a tillage cutter]. *Tractors and agricultural machines*, 2017; 7: 13-19. (In Russian)
25. Nikolayev V.A. Opredeleniye skorosti cepej i razmerov plasta grunta, otrezaemogo kovshom agregata dlya udaleniya verhnego sloya grunta s podstila-yushchego sloya avtodorogi [Determination of the speed of the chains and the size of the soil layer cut by the bucket of the unit to remove the top layer of soil from the underlying layer of the highway]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2020; 1: 32-43. (In Russian)

26. Nikolayev V.A. Analiz vzaimodejstviya kromki lezviya konsol'nogo nozha s gruntom [Analysis of the interaction of the edge of the cantilever knife blade with the ground]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2020; 2: 172-181. (In Russian)

27. Nikolaev V.A. Zatraty jenergii na rezanie grunta kovshami agregata nepreryvnogo dejstvija dlja formirovaniya podstilajushhego sloja avtodorogi [Energy Expenditure on ground cutting by buckets of the unit of continuous action to form the underlying layer of the road]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2020; 6: 676-688. (In Russian)

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Николаев Владимир Анатольевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительные и дорожные машины» ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет» (г. Ярославль, Московский пр., 88, тел. 8 910 961 51 87), e-mail: nikolaev53@inbox.ru*

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*Vladimir A. Nikolaev, Dr. of Sci., Professor of the Construction and Road Machines Department, Yaroslavl Technical University. Yaroslavl, Moscow Avenue, 88. Phone: 8 910 961 51 87, e-mail: nikolaev53@inbox.ru.*