

УДК 625.08

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-676-688>

ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ НА РЕЗАНИЕ ГРУНТА КОВШАМИ АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕГО СЛОЯ АВТОДОРОГИ

В.А. Николаев

ФГБОУ ВО «ЯТУ»,
г. Ярославль, Россия
nikolaev53@inbox.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Для решения проблемы ускорения строительства автодорог, повышения их качества целесообразно использовать агрегат непрерывного действия для формирования подстилающего слоя. В общем объёме затрат энергии на строительство дорог существенную долю занимают работы, направленные на резание и транспортирование грунта. Рабочие органы существующих технических средств осуществляют преимущественно энергозатратное резание грунта, которое теоретически можно уподобить резанию пуансоном. Затраты энергии на резание грунта можно существенно уменьшить путём применения резания лезвиями. В ковше агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог предусмотрено использование рабочих органов, осуществляющих резание грунта лезвиями ножей. Рассмотрен процесс заполнения ковша отрезанным грунтом, силы, приложенные к ковшу, и общие объёмные затраты энергии на резание грунта ковшами агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя.

Методика исследования. Приведена методика построений для выявления кинематики заполнения ковша отрезанным грунтом. Дана методика расчёта: пути грунта по днищу корпуса ковша при его заполнении; результирующих сил проекций сил в продольно-вертикальной, поперечно-вертикальной и горизонтальной плоскости, приложенных к ковшу; моментов, приложенных к ковшу в продольно-вертикальной и горизонтальной плоскости, когда ковш пустой и полный. Приведены формулы вычисления суммарной энергии на перемещение ковша при резании грунта без учёта затрат энергии на процесс резания и определения общих затрат энергии на резание грунта объёмом один кубический метр ковшами агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог.

Результаты. На основе разработанной методики рассчитан условный путь грунта по днищу корпуса ковша при его заполнении, выявлены результирующие силы проекций сил в продольно-вертикальной, поперечно-вертикальной и горизонтальной плоскости, приложенных к ковшу. Определены моменты, приложенные к ковшу в продольно-вертикальной и горизонтальной плоскости, когда ковш пустой и полный. Вычислена суммарная энергия на перемещение ковша при резании грунта без учёта затрат энергии на процесс резания. Определены общие затраты энергии на резание грунта объёмом один кубический метр ковшами агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог.

Заключение. В ходе заполнения ковша агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог отрезанным грунтом происходит скручивание и сдвиг отрезанного пласта, которые способствуют его разрушению на фрагменты. В поперечно-вертикальной плоскости ковш уравновешен. Момент, приложенный к ковшу в продольно-вертикальной плоскости, уравновешивается элементами конструкции агрегата. Суммарная энергия на перемещение ковша при резании грунта, без учёта затрат энергии на процесс резания, включает затраты энергии: на ускорение грунта ковшем, на преодоление трения нижней плоскости ковша о грунт, на дополнительное горизонтальное усилие для перемещения ковша, обусловленное трением в элементах конструкции. Она составляет $u_k \approx 13 \text{ кДж/м}^3$. Теоретически обоснованы общие затраты энергии на резание грунта объёмом один кубический метр ковшами агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог $u_{k-гр} \approx 109 \text{ кДж/м}^3$.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобильная дорога, агрегат непрерывного действия, грунт, проекции сил в продольно-вертикальной плоскости, проекции сил в поперечно-вертикальной плоскости, проекции сил в горизонтальной плоскости, затраты энергии.

Поступила 13.11.20, принята к публикации 25.12.2020.

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: В.А. Николаев. Затраты энергии на резание грунта ковшами агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодороги. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (6): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-676-688>

© Николаев В.А.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-676-688>

ENERGY EXPENDITURE ON GROUND CUTTING BY CONTINUOUS ACTION BUCKETS TO FORM THE UNDERLYING LAYER OF THE ROAD

Vladimir A. Nikolaev,
Yaroslavl Technical University,
Yaroslavl, Russia
nikolaev53@inbox.ru

ABSTRACT

Introduction. To solve the problem of accelerating the construction of roads, improving their quality, it is advisable to use a continuous action unit to form a underlying layer. In general, energy costs for the construction of roads are a significant share occupied by work aimed at cutting and transporting the ground. The working bodies of existing technical means carry out mainly energy-intensive cutting of the ground, which theoretically can be likened to cutting a punch. The energy costs of ground cutting can be significantly reduced by the use of blade cutting. In the bucket of the continuous action unit to form a underlying layer of roads provides the use of working bodies, cutting the ground with blades of knives. The process of filling the bucket with cut soil, the forces attached to the bucket, and the total amount of energy spent on cutting the ground with the buckets of the continuous action unit to form the underlying layer are considered.

The method of research. The method of constructions to detect the kinematics of filling the bucket with the cut ground is given. The method of calculation is given: the path of the ground on the bottom of the bucket case when it is filled; the resulting force of force projections in the longitudinal-vertical, cross-vertical and horizontal plane attached to the bucket; moments attached to the bucket in a longitudinal-vertical and horizontal plane, when the bucket is empty and full. The formulas for calculating the total energy on the movement of the bucket when cutting the ground without taking into account the energy costs of the cutting process and determining the total energy costs of cutting the ground by one cubic meter of continuous action buckets to form the underlying layer of roads are given.

Results. On the basis of the developed method, the conditional path of the ground along the bottom of the bucket case was calculated, the resulting forces of force projections in the longitudinal-vertical, cross-vertical and horizontal plane attached to the bucket were revealed. The moments attached to the bucket in the longitudinal-vertical and horizontal plane, when the bucket is empty and full, have been determined. The total energy for moving the bucket during ground cutting is calculated without taking into account the energy costs of the cutting process. The total energy costs of cutting the ground by one cubic meter of continuous action buckets to form the underlying layer of roads have been determined.

Conclusion. During the filling of the bucket of the unit of continuous action to form the underlying layer of roads cut off soil is twisted and shift of the cut-off layer, which contribute to its destruction into fragments. In a cross-vertical plane, the bucket is balanced. The moment attached to the bucket in the longitudinal-vertical plane is balanced by elements of the structure of the unit. The total energy on moving the bucket when cutting the ground, without taking into account the energy costs of the cutting process, includes energy costs: to accelerate the ground with a bucket, to overcome the friction of the bottom plane of the bucket on the ground, to the additional horizontal force to move the bucket, caused by friction in the elements of the structure. It is $u_k \approx 13 \text{ kJ/m}^3$. Theoretically reasonable total energy costs for ground cutting of one cubic meter by the buckets of the continuous action unit to form the underlying layer of roads $[u]$ (k-gr) $\approx 109 \text{ kJ/m}^3$.

KEYWORDS: Road, continuous action unit, ground, projection of forces in longitudinal-vertical plane, projection of forces in cross-vertical plane, projection of forces in horizontal plane, energy expenditure.

Submitted 13.11.20, revised 25.12.2020.

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: Vladimir A. Nikolaev. Energy expenditure on ground cutting by continuous action buckets to form the underlying layer of the road. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (6): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-676-688>

© Nikolaev V.A.



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

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1) рассмотрен процесс заполнения ковша отрезанным грунтом;

2) выявлены проекции сил в продольно-вертикальной, поперечно-вертикальной и горизонтальной плоскости, приложенных к ковшу;

3) определены общие затраты энергии на резание ковшами одного кубического метра грунта.

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью совершенствования технических средств строительства дорог является увеличение производительности труда в сочетании с уменьшением относительных затрат энергии на выполнение заданных функций. Циклические технические средства, занятые в строительстве дорог, не обеспечат реализацию этой цели. Для её реализации необходимы агрегаты непрерывного действия. Агрегат непрерывного действия для формирования подстилающего слоя [1, 2, 3] предназначен для увеличения производительности труда при строительстве автомобильных дорог и других объектов, для строительства которых необходимо снятие верхнего слоя грунта.

В общем объёме затрат энергии на строительство дорог существенную долю занимают работы, направленные на резание и транспортирование грунта. Рабочие органы существующих технических средств осуществляют преимущественно энергозатратное резание грунта, которое теоретически можно уподобить резанию пуансоном. Теоретические основы такого резания грунта весьма подробно рассмотрены [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27]. Затраты энергии на резание грунта можно существенно уменьшить путём применения резания лезвиями. В ковше агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог предусмотрено использование рабочих органов, осуществляющих резание грунта лезвиями ножей [1, 2, 3]. Отрезанный грунт поступает в ковши. Рассмотрим процесс заполнения ковша отрезанным грунтом, силы, приложенные к ковшу, и общие объёмные затраты энергии на резание грунта ковшами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Схема заполнения ковша грунтом показана на рисунке 1. Так как движение относительно, можно представить, что не ковш воздействует на грунт, а пласт грунта, подрезанный кон-

сольным ножом, шириной $\delta = 30$ мм, высотой $h_{\text{сл}} = 250$ мм [1, 2, 3] воздействует на ковш. Лезвие правого ножа отрезает пласт от точки *A* до точки *B* (рисунок 1, а, б). Сечение отрезаемого пласта *ABCD*. От воздействия фаски правого ножа грунт получит горизонтальную скорость в поперечном направлении $v_{\text{конгор}} = 0,556$ м/с [3]. На линии *BD* пласт подрезает правая (по ходу) сторона нижнего ножа. Пласт перелетит через нижний нож и с горизонтальной продольной скоростью $v_k = 1,686$ м/с [1] опустится на днище корпуса ковша, преодолев расстояние $s_d = 190$ мм. Отложив это расстояние от точки пересечения траектории частицы *C* с лезвием нижнего ножа (см. рисунок 1, б), получим точку *Q* касания краем пласта днища корпуса ковша. Проведя луч из точки *Q*, параллельный лезвию нижнего ножа, получим точки *P*, *N*, *M*, соответствующие касанию пластом днища корпуса ковша. Спроецировав их на вид спереди (см. рисунок 1, а), получим условное сечение *MNQP* пласта в момент касания днища корпуса ковша. Это сечение пласта грунта следует считать условным, так как он, как правило, распадётся на фрагменты. В момент касания днища корпуса ковша условный пласт будет иметь угол наклона к горизонтали $72,6^\circ$. В связи с этим пласт будет (по ходу ковша) скручиваться против часовой стрелки.

Спроецировав точки *N* и *Q* на вид слева (рисунок 1, в), получим угол наклона $86,8^\circ$ условного сечения к горизонтали в продольно-вертикальной плоскости, то есть произойдёт сдвиг пласта. Скручивание и сдвиг пласта в процессе заполнения ковша способствуют его разрушению на фрагменты. Так как пласт перелетит через нижний нож, а предельная глубина снятия слоя грунта $h_{\text{сл}} = 250$ мм [1, 2, 3], возникает необходимость увеличения высоты ковша до 300 мм, чтобы пласт в полёте не задевал верхнюю стенку корпуса ковша.

Теперь допустим, что грунт изначально неподвижен, а ковш перемещается. Определим энергию, необходимую для ускорения грунта ковшем. Допустим, ковш только начал резание грунта. Пласт грунта, перелетевший через нижний нож (см. рисунок 1, б), после касания днища корпуса ковша продолжит скользить по нему до упора в заднюю стенку корпуса ковша. Из рисунка путь пласта грунта до задней стенки корпуса ковша варьируется от 252 мм до 272 мм. Примем средний путь грунта до задней стенки корпуса ковша $s_{\text{гр}} = 262$ мм = 0,262 м. За счёт силы трения о днище корпуса ковша грунт будет ускоряться. Представим грунт, объёмом один кубический

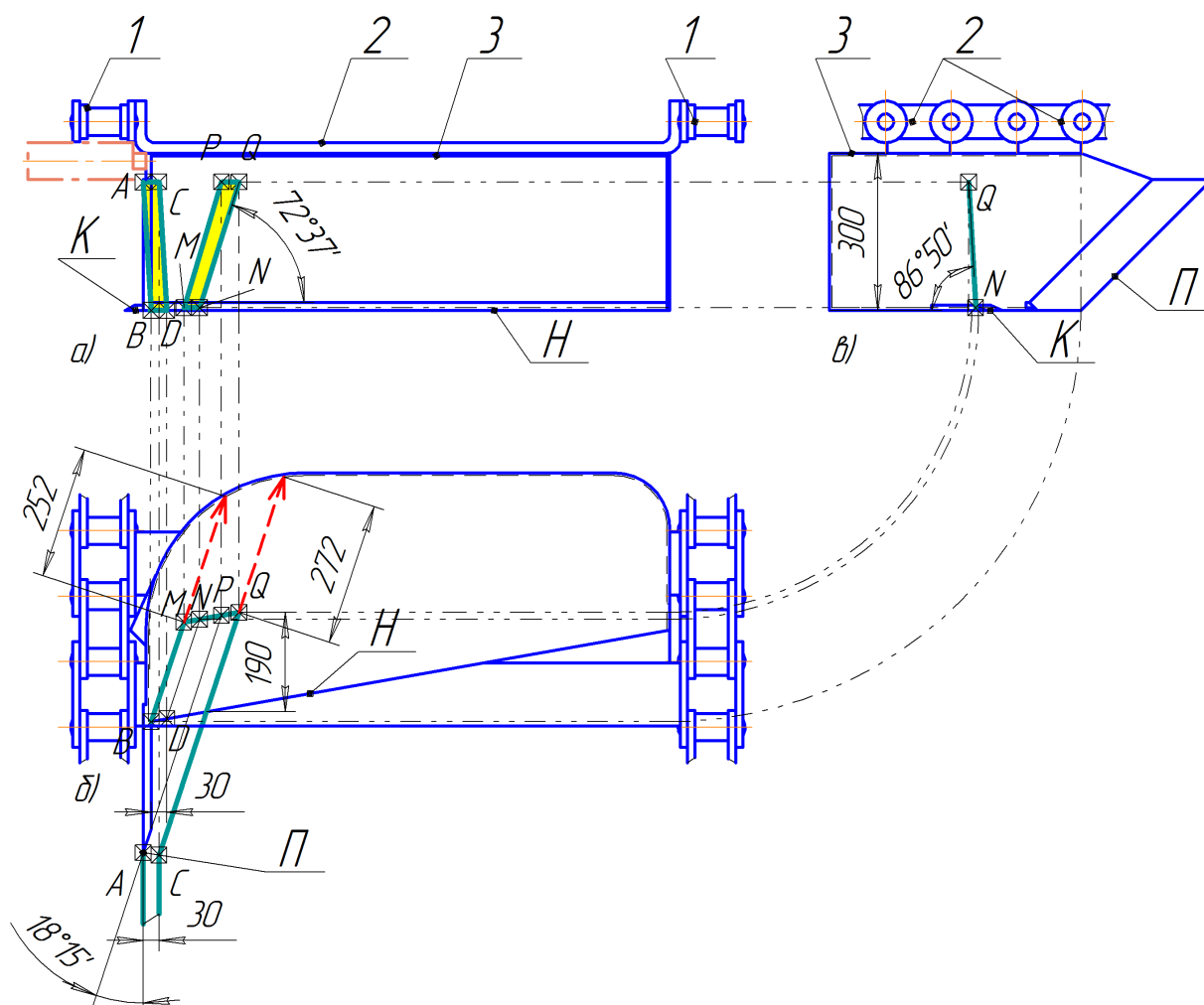


Рисунок 1 – Схема заполнения ковша грунтом: а – вид спереди; б – вид сверху; в – вид слева; 1 – цепь, 2 – скоба, 3 – корпус ковша

Figure 1 – The ladle-filling scheme with soil: a – front view; b – top view; c – view from the left; 1 – chain, 2 – staple, 3 – bucket case

метр, материальной точкой массой $m_{гр}$. Условная нормальная реакция днища корпуса ковша равна силе тяжести этого грунта

$$G_{гр} = g m_{гр}. \quad (1)$$

Условная суммарная сила трения грунта о днище корпуса ковша

$$F_{тр} = f G_{гр}. \quad (2)$$

Ускорение грунта днищем корпуса ковша

$$a_{гр-д} = \frac{F_{тр}}{m_{гр}}. \quad (3)$$

Допустим, начальная горизонтальная скорость грунта равна нулю. Конечная скорость грунта v_k . Если бы грунт ускорялся только за

счёт силы трения о днище корпуса ковша, то это ускорение произошло бы за время

$$\tau_{гр-д} = \frac{v_k}{a_{гр-д}}. \quad (4)$$

Условный путь грунта по днищу корпуса ковша за это время

$$S_{гр-д} = \frac{a_{гр-д} \tau_{гр-д}^2}{2}. \quad (5)$$

Текущая сила трения грунта о днище корпуса ковша при его стабильном поступлении в ковш обусловлена массой грунта в ковше. Условный объём грунта на стадии его ускорения в ковше равен произведению ширины и высоты пласта грунта, поступающего в ковш на условный путь грунта по днищу корпуса ковша

$$V_{гр-д} = \delta h_{сл} S_{гр-д}. \quad (6)$$

Сила тяжести этого грунта

$$G_{гр-д} = g m_{гр-д} = g \rho V_{гр-д}. \quad (7)$$

Сила трения грунта о днище корпуса ковша при стабильном поступлении грунта в ковш

$$F_{тр-д} = f G_{гр-д}. \quad (8)$$

Весь грунт ускоряется только за счёт силы трения о днище корпуса ковша. Затраты энергии на ускорение грунта ковшом при резании грунта объёмом один кубический метр

$$u_{угр-д} = \frac{m_{гр} v_k^2}{2}. \quad (9)$$

Энергия, необходимая для преодоления трения нижней плоскости ковша о грунт, зависит от силы тяжести ковша G_k . Кроме того, на пустой ковш по оси z действуют силы [1, 2, 3]: $F_{консз}$, $F_{прз}$, $F_{нз}$. Общая сумма сил, действующих на пустой ковш по оси z ,

$$F_{kz} = G_k + F_{консз} - F_{прз} + F_{нз}. \quad (10)$$

Общая сумма сил, действующих на ковш по оси z , должна быть направлена вниз для обеспечения устойчивости хода ковша по глубине. Ей равна нормальная реакция грунта на нижнюю плоскость пустого ковша. Тогда сила трения нижней плоскости пустого ковша о грунт

$$F_{тк} = f F_{kz}. \quad (11)$$

Сила, необходимая для преодоления трения нижней плоскости ковша о грунт, не являлась бы постоянной, а увеличивалась по мере наполнения ковша. Она создавала бы дополнительное сопротивление перемещению ковша, увеличивала бы затраты энергии на это перемещение. Расчётная сила тяжести грунта в ковше

$$G_{гр} = g \rho k_3 V_k, \quad (12)$$

где ρ – исходная плотность грунта; k_3 – коэффициент, учитывающий заполнение ковша; V_k – расчётный объём ковша.

Для уменьшения затрат энергии на перемещение ковшей, наполненных грунтом, внесём изменения в конструктивную схему. Присоединим дополнительно к правой стенке корпуса каждого ковша опорные катки, частич-

но воспринимающие избыточную вертикальную нагрузку, обусловленную силой тяжести ковшей и грунта в ковшах (на рисунке 1, а показано штрих-пунктирной линией). Кроме того, установим поддерживающие планки, управляемые гидроцилиндрами. Возможны и другие технические решения. Полости гидроцилиндров сообщаются с гидропневмоаккумуляторами. Примем, что гидропневмоаккумуляторы настроены на такое давление, чтобы общая сумма сил, действующих на ковш по оси z , была $F_{\Sigma kz}$. Тогда сила трения нижней плоскости ковша о грунт

$$F_{тк} = f F_{\Sigma kz}. \quad (13)$$

Затраты энергии на преодоление трения нижней плоскости ковша о грунт при резании грунта объёмом один кубический метр

$$u_{тк} = F_{тк} S_k. \quad (14)$$

Сила трения отрезанного грунта о днище корпуса ковша и сила трения нижней плоскости ковша о грунт направлены горизонтально. Горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения корпуса ковша,

$$F_{\Sigma kxx} = F_{тр-д} + F_{тк}. \quad (15)$$

Горизонтальная поперечная сила незначительна, поэтому ею можно пренебречь.

На рисунках 2, 3, 4 показаны схемы проекций сил в продольно-вертикальной, поперечно-вертикальной и горизонтальной плоскости, приложенных к ковшу. Минимальная нагрузка на опорные катки и поддерживающие планки

$$F_{kzmin} = F_{kz} - F_{\Sigma kz}. \quad (16)$$

Максимальная нагрузка на опорные катки и поддерживающие планки

$$F_{kzmax} = F_{kz} + G_{гр} - F_{\Sigma kz}. \quad (17)$$

Распределение вертикальной нагрузки (см. рисунок 2): на правые (по ходу ковша) опорные катки и поддерживающие планки $0,472 F_{kzmin}$, на левые поддерживающие планки $0,528 F_{kzmin}$. Для установки глубины снимаемого слоя путём перемещения правых опорных катков в правой стенке корпуса ковша имеются прорези $Пр$.

Если коэффициент трения качения между поддерживающими планками и цепями, опорными катками и грунтом, минимальное дополнительное горизонтальное усилие для перемещения ковша

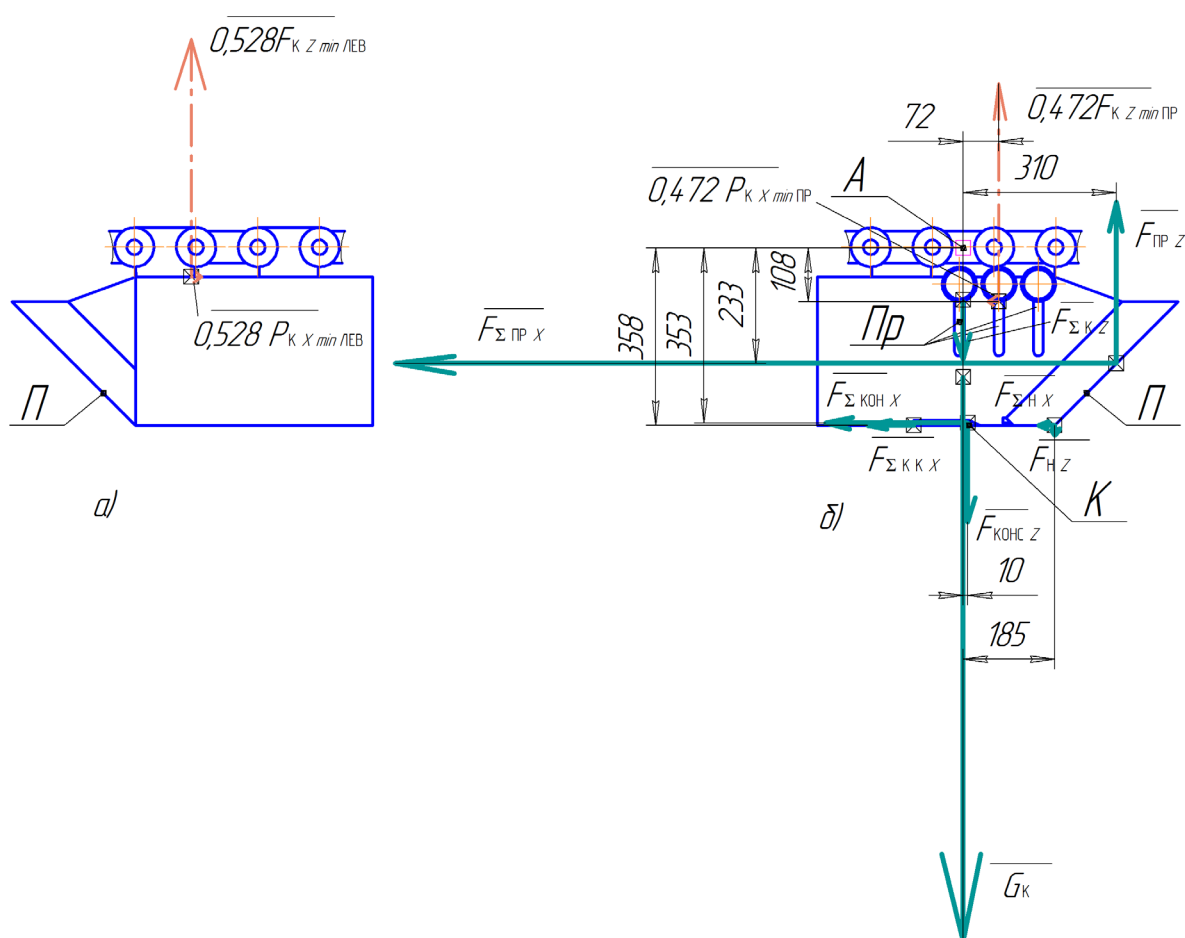


Рисунок 2 – Схема проекций сил в продольно-вертикальной плоскости, приложенных к ковшу:
а – вид с правой стороны; б – вид слева

Figure 2 – Force projection scheme in the longitudinal-vertical plane attached to the bucket:
a – view on the right side; b – View from the left

$$P_{kxmin} = f_k F_{kxmin}. \quad (18)$$

Максимальное дополнительное горизонтальное усилие для перемещения ковша

$$P_{kxmax} = f_k F_{kxmax}. \quad (19)$$

Среднее дополнительное горизонтальное усилие для перемещения ковша $P_{kxср}$. Допустим, что дополнительное горизонтальное усилие для перемещения ковша распределено на цепи пропорционально нагрузке F_{kz} :

$$P_{kxminпр} = 0,472 \cdot P_{kxmin}. \quad (20)$$

$$P_{kxminлев} = 0,528 \cdot P_{kxmin}. \quad (21)$$

$$P_{kxmaxпр} = 0,472 \cdot P_{kxmax}. \quad (22)$$

$$P_{kxmaxлев} = 0,528 \cdot P_{kxmax}. \quad (23)$$

Затраты энергии на дополнительное горизонтальное усилие для перемещения ковша при резании грунта объёмом один кубический метр

$$u_{доп} = P_{kxср} s_k. \quad (24)$$

Суммарная горизонтальная поперечная сила, действующая на ковш и направленная по ходу ковша вправо,

$$F_{ку} = F_{пру} - F_{консу}. \quad (25)$$

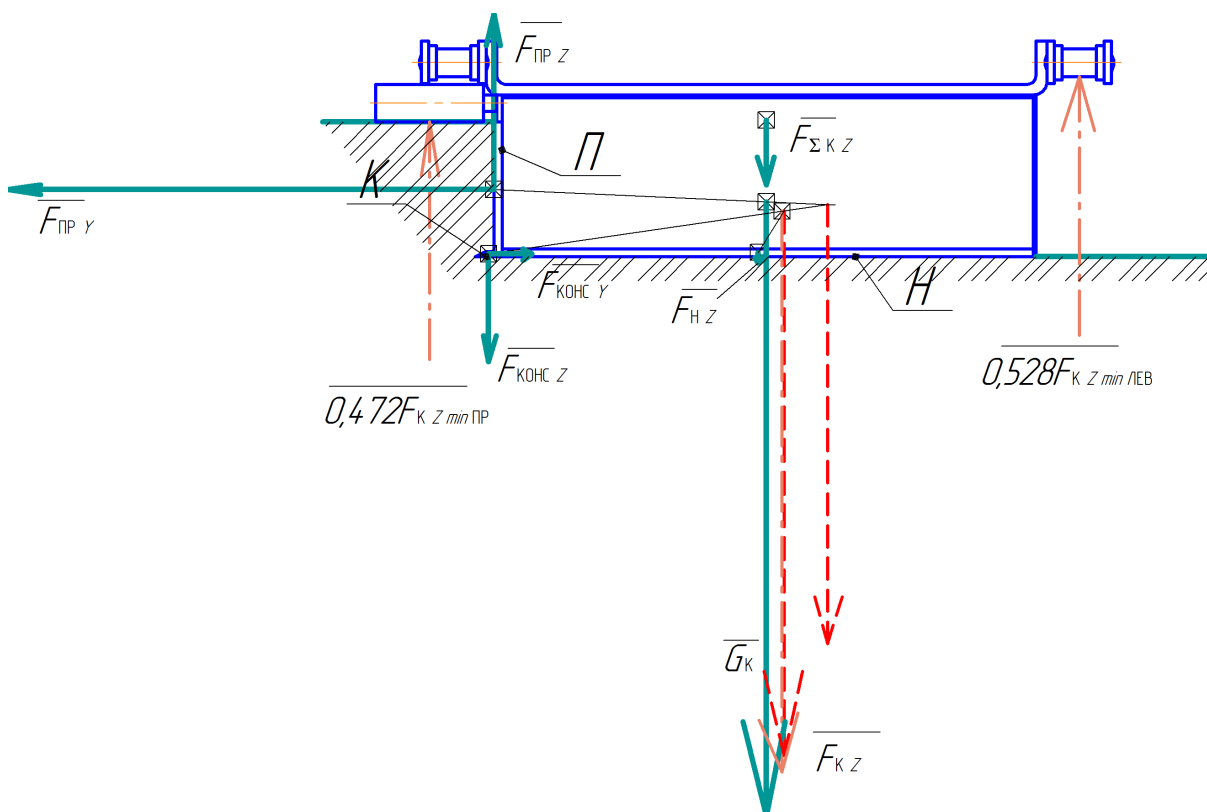


Рисунок 3 – Схема проекций сил в поперечно-вертикальной плоскости, приложенных к ковшу

Figure 3 – A scheme of projections of forces in a cross-vertical plane attached to the bucket

Суммарная минимальная горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения ковша,

$$F_{kx\min} = F_{\Sigma\text{конх}} + F_{\Sigma\text{прх}} + F_{\Sigma\text{нх}} + F_{\Sigma\text{ккх}} + P_{kx\min}. \quad (26)$$

Суммарная максимальная горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения ковша,

$$F_{kx\max} = F_{\Sigma\text{конх}} + F_{\Sigma\text{прх}} + F_{\Sigma\text{нх}} + F_{\Sigma\text{ккх}} + P_{kx\max}. \quad (27)$$

Суммарная средняя горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения ковша,

$$F_{kx\text{ср}} = F_{\Sigma\text{конх}} + F_{\Sigma\text{прх}} + F_{\Sigma\text{нх}} + F_{\Sigma\text{ккх}} + P_{kx\text{ср}}. \quad (28)$$

Момент, приложенный к ковшу в горизонтальной плоскости, когда ковш пустой:

$$M_{\Gamma} = F_{\text{пру}} \cdot 0,377 + F_{\Sigma\text{прх}} \cdot 0,485 + F_{\Sigma\text{конх}} \cdot 0,495 - F_{\text{консу}} \cdot 0,109 - F_{\Sigma\text{ккх}} \cdot 0,005 - F_{\Sigma\text{нх}} \cdot 0,02 + P_{kx\min\text{пр}} \cdot 0,605 - P_{kx\text{лев}} \cdot 0,632. \quad (29)$$

Момент, приложенный к ковшу в горизонтальной плоскости, когда ковш полный, немного меньше. Этот момент уравнивают цепи, к которым присоединён ковш. Точка А (см. рисунок 2) является условным центром вращения ковша в проекции на продольно-вертикальную плоскость. Момент, приложенный к ковшу в продольно-вертикальной плоскости, когда ковш пустой:

$$M_{\text{вmin}} = F_{\Sigma\text{прх}} \cdot 0,223 + F_{\Sigma\text{конх}} \cdot 0,353 + F_{\Sigma\text{ккх}} \cdot 0,358 + F_{\Sigma\text{нх}} \cdot 0,353 + F_{\text{нз}} \cdot 0,185 + F_{\text{консз}} \cdot 0,01 - F_{\text{прз}} \cdot 0,31 - F_{kz\min} \cdot 0,072 + P_{kx\min\text{пр}} \cdot 0,108 + P_{kx\min\text{лев}} \cdot 0,358. \quad (30)$$

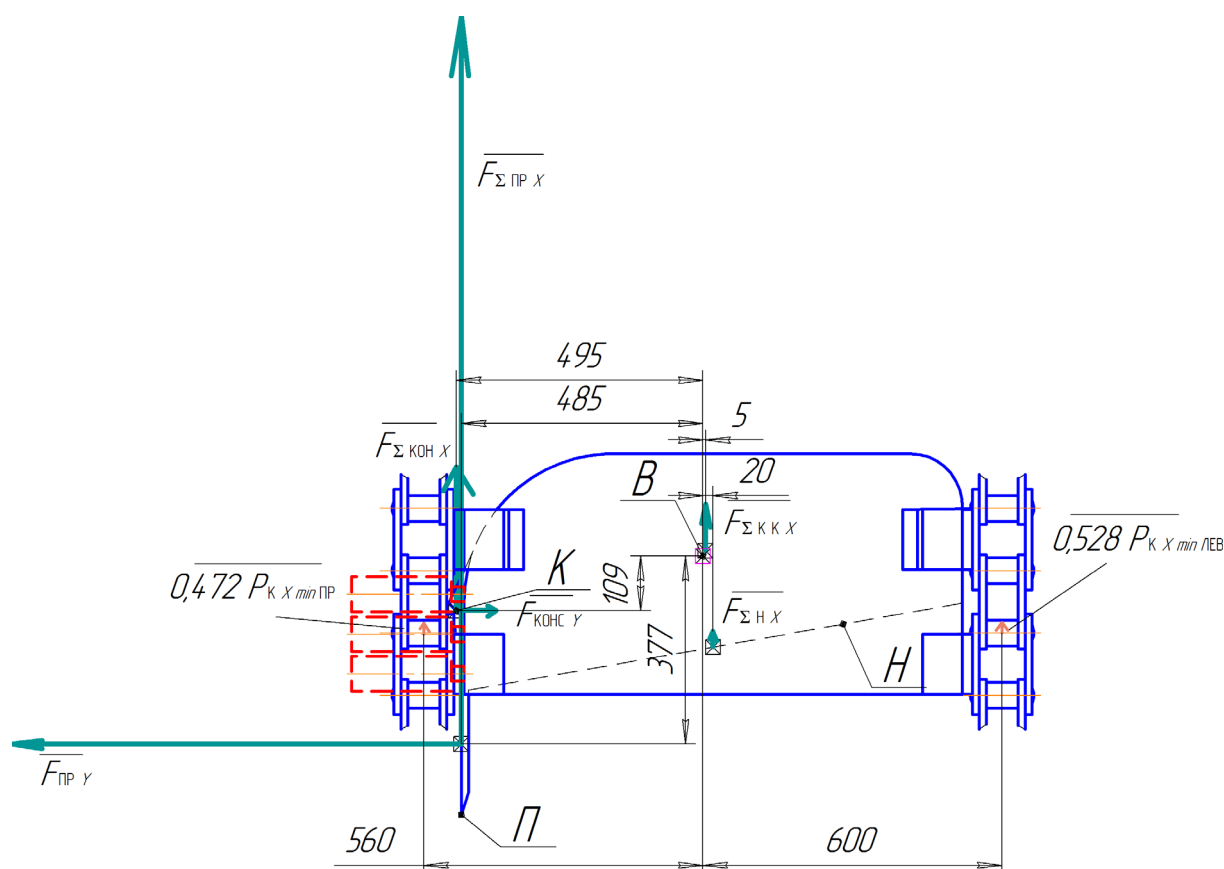


Рисунок 4 – Схема проекций сил в горизонтальной плоскости, приложенных к ковшу

Figure 4 – A diagram of force projections in the horizontal plane attached to the bucket

Момент, приложенный к ковшу в продольно-вертикальной плоскости, когда ковш полный:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{вmin}} = & F_{\Sigma \text{прх}} \cdot 0,223 + F_{\Sigma \text{конх}} \cdot 0,353 + \\
 & + F_{\Sigma \text{ккх}} \cdot 0,358 + F_{\Sigma \text{нх}} \cdot 0,353 + \\
 & + F_{\text{нз}} \cdot 0,185 + F_{\text{консз}} \cdot 0,01 - \\
 & - F_{\text{прз}} \cdot 0,31 - F_{\text{кзmax}} \cdot 0,072 + \\
 & + P_{\text{кхmaxпр}} \cdot 0,108 + P_{\text{кхmaxлев}} \cdot 0,358.
 \end{aligned} \quad (31)$$

Суммарная энергия на перемещение ковша при резании грунта объемом один кубический метр

$$u_k = u_{\text{угр-д}} + u_{\text{тк}} + u_{\text{доп}}. \quad (32)$$

Общие затраты энергии на резание грунта объемом один кубический метр ковшами состоят из суммарной энергии, необходимой для резания грунта консольным ножом, суммарной

энергии, необходимой для резания грунта правым ножом, суммарной энергии, необходимой для резания грунта нижним ножом и суммарной энергии на перемещение ковша:

$$u_{\text{к-гр}} = u_{\text{конс}} + u_{\text{пр}} + u_{\text{н}} + u_{\text{к}}. \quad (33)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Допустим, масса грунта объемом один кубический метр $m_{\text{гр}} = 1600 \text{ кг}$. Условная нормальная реакция дна ковша равна силе тяжести этого грунта (1).

$$G_{\text{гр}} = 9,8 \cdot 1600 = 15680 \text{ Н}.$$

Допустим, коэффициент трения грунта о сталь $f = 0,5$. Условная суммарная сила трения грунта о днище корпуса ковша (2):

$$F_{\text{тгр}} = 0,5 \cdot 15680 = 7840 \text{ Н}.$$

Ускорение грунта днищем корпуса ковша (3):

$$a_{гр-д} = \frac{7840}{1600} = 4,9 \text{ м/с}^2.$$

Допустим, начальная горизонтальная скорость грунта равна нулю. Конечная скорость грунта [1] $v_k = 1,686 \text{ м/с}$. Если бы грунт ускорился только за счёт силы трения о днище корпуса ковша, то это ускорение произошло бы за время (4):

$$\tau_{гр-д} = \frac{1,686}{4,9} = 0,344 \text{ с}.$$

Условный путь грунта по днищу корпуса ковша за это время (5):

$$s_{гр-д} = \frac{4,9 \cdot 0,344^2}{2} = 0,289 \text{ м}.$$

Так как условный путь грунта по днищу корпуса ковша превышает средний путь грунта до задней стенки корпуса ковша, то есть $s_{гр-д} > s_{гр}$, то грунт будет скользить по днищу корпуса ковша до упора в заднюю стенку корпуса ковша. Однако, поскольку разность этих величин незначительна, удара грунта о заднюю стенку корпуса ковша в период начала его заполнения не произойдёт. При дальнейшем перемещении ковша расположенный в нём грунт будет смягчать воздействие на ковш вновь поступающего грунта.

Условный объём грунта на стадии ускорения в ковше (6):

$$V_{гр-д} = 0,03 \cdot 0,25 \cdot 0,289 = 0,0021675 \text{ м}^3.$$

Сила тяжести этого грунта (7):

$$G_{гр-д} = 9,8 \cdot 1600 \cdot 0,0021675 \approx 34 \text{ Н}.$$

Сила трения грунта о днище корпуса ковша при стабильном поступлении грунта в ковш (8):

$$F_{тр-д} = 0,5 \cdot 34 = 17 \text{ Н}.$$

Затраты энергии на ускорение грунта ковшем при резании грунта объёмом один кубический метр (9):

$$u_{угр-д} = \frac{1600 \cdot 1,686^2}{2} = 2274 \text{ Дж/м}^3.$$

Масса корпуса ковша из конструктивной

компоновки 46 кг. Масса консольного ножа – 0,3 кг, масса правого ножа – 2 кг, масса нижнего ножа – 9,9 кг. Общая масса ковша $m_k = 58,2 \text{ кг}$. Сила тяжести ковша $G_k = 570 \text{ Н}$. Кроме того, на пустой ковш по оси z действуют силы [1, 2, 3]: $F_{консз} = 99,5 \text{ Н}$, $F_{прз} = 163 \text{ Н}$, $F_{hz} = 11,5 \text{ Н}$.

Общая сумма сил, действующих на пустой ковш по оси z , (10):

$$F_{kz} = 570 + 99,5 - 163 + 11,5 = 518 \text{ Н}.$$

Сила трения нижней плоскости пустого ковша о грунт (11):

$$F_{тк} = 0,5 \cdot 518 = 259 \approx 260 \text{ Н}.$$

Допустим, исходная плотность грунта $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$; примем коэффициент, учитывающий заполнение ковша, $k_3 = 0,8$; расчётный объём ковша, $V_k = 0,086 \text{ м}^3$ [1]. Расчётная сила тяжести грунта в ковше (12):

$$G_{гр} = 9,8 \cdot 1600 \cdot 0,8 \cdot 0,086 \approx 1080 \text{ Н}.$$

Допустим, что гидropневмоаккумуляторы настроены на такое давление, чтобы общая сумма сил, действующих на ковш по оси z , была $F_{\Sigma kz} = 60 \text{ Н}$. Тогда сила трения нижней плоскости ковша о грунт (13):

$$F_{тк} = 0,5 \cdot 60 = 30 \text{ Н}.$$

Затраты энергии на преодоление трения нижней плоскости ковша о грунт при резании грунта объёмом один кубический метр (14):

$$u_{тк} = 30 \cdot 133 = 3990 \text{ Дж/м}^3.$$

Сила трения грунта о днище корпуса ковша и сила трения нижней плоскости ковша о грунт направлены горизонтально. Горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения корпуса ковша по грунту, (15):

$$F_{\Sigma ккх} = 17 + 30 = 47 \text{ Н}.$$

Минимальная нагрузка на опорные катки и поддерживающие планки (16):

$$F_{kzmin} = 518 - 60 = 458 \text{ Н}.$$

Максимальная нагрузка на опорные катки и поддерживающие планки (17):

$$F_{kzmax} = 518 + 1080 - 60 = 1538 \text{ Н}.$$

Минимальная нагрузка на правые опорные катки и поддерживающие планки

$F_{kzminпр} = 216\text{Н}$, на левые поддерживающие планки $F_{kzminлев} = 242\text{Н}$. Максимальная нагрузка на правые опорные катки и поддерживающие планки $F_{kzmaxпр} = 726\text{Н}$, на левые поддерживающие планки $F_{kzmaxлев} = 812\text{Н}$. Примем коэффициент трения качения между поддерживающими планками и цепями, опорными катками и грунтом $f_k = 0,05$. Тогда минимальное дополнительное горизонтальное усилие для перемещения ковша (18):

$$P_{kxmin} = 0,05 \cdot 458 \approx 23\text{Н}.$$

Максимальное дополнительное горизонтальное усилие для перемещения ковша (19):

$$P_{kxmax} = 0,05 \cdot 1538 \approx 77\text{Н}.$$

Среднее дополнительное горизонтальное усилие для перемещения ковша $P_{kxср} = 50\text{Н}$. Допустим, что дополнительное горизонтальное усилие для перемещения ковша распределено на цепи пропорционально нагрузке F_{kz} (20–23):

$$P_{kxminпр} = 0,472 \cdot 23 \approx 11\text{Н}.$$

$$P_{kxminлев} = 0,528 \cdot 23 \approx 12\text{Н}.$$

$$P_{kxmaxпр} = 0,472 \cdot 77 \approx 36\text{Н}.$$

$$P_{kxmaxлев} = 0,528 \cdot 77 \approx 41\text{Н}.$$

Затраты энергии на дополнительное горизонтальное усилие для перемещения ковша при резании грунта объёмом один кубический метр (24):

$$u_{доп} = 50 \cdot 133 = 6650 \text{ Дж/м}^3.$$

Суммарная горизонтальная поперечная сила, действующая на ковш и направленная по ходу ковша вправо, (25):

$$F_{ку} = 454 - 40 = 414\text{Н}.$$

Она прижимает ковш к стенке неподрезанного грунта, придавая устойчивость ходу ковша. Суммарная минимальная горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения ковша, (26):

$$F_{kxmin} = 144 + 730 + 16 + 47 + 23 = 960\text{Н}.$$

Суммарная максимальная горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения ковша, (27):

$$F_{kxmax} = 144 + 730 + 16 + 47 + 77 = 1014\text{Н}.$$

Суммарная средняя горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения ковша, (28):

$$F_{kxср} = 144 + 730 + 16 + 47 + 50 = 987\text{Н}.$$

В поперечно-вертикальной плоскости ковш уравновешен (см. рисунок 3). Точка В является условным центром масс грунта в проекции на горизонтальную плоскость (см. рисунок 4). Момент, приложенный к ковшу в горизонтальной плоскости, когда ковш пустой (29):

$$\begin{aligned} M_{\Gamma} &= 454 \cdot 0,377 + 730 \cdot 0,485 + \\ &+ 144 \cdot 0,495 - 40 \cdot 0,109 - \\ &- 47 \cdot 0,005 - 16 \cdot 0,02 + 11 \cdot 0,560 - \\ &- 12 \cdot 0,600 = 591\text{Нм}. \end{aligned}$$

Момент, приложенный к ковшу в продольно-вертикальной плоскости, когда ковш пустой (30):

$$\begin{aligned} M_{вmin} &= 730 \cdot 0,223 + 144 \cdot 0,353 + \\ &+ 47 \cdot 0,358 + 16 \cdot 0,353 + \\ &+ 11,5 \cdot 0,185 + 99,5 \cdot 0,01 - \\ &- 163 \cdot 0,31 - 458 \cdot 0,072 + \\ &+ 11 \cdot 0,108 + 12 \cdot 0,358 \approx 152\text{Нм}. \end{aligned}$$

Момент, приложенный к ковшу в продольно-вертикальной плоскости, когда ковш полный (31):

$$\begin{aligned} M_{вmin} &= 730 \cdot 0,223 + 144 \cdot 0,353 + \\ &+ 47 \cdot 0,358 + 16 \cdot 0,353 + \\ &+ 11,5 \cdot 0,185 + 99,5 \cdot 0,01 - \\ &- 163 \cdot 0,31 - 1538 \cdot 0,072 + \\ &+ 36 \cdot 0,108 + 41 \cdot 0,358 \approx 67\text{Нм}. \end{aligned}$$

По мере наполнения ковша момент, приложенный к ковшу в продольно-вертикальной плоскости, уменьшается. Момент, приложенный к ковшу в продольно-вертикальной плоскости, уравновешивается преимущественно натяжением цепей, поддерживающими планками и частично опорными катками.

Суммарная энергия на перемещение ковша при резании грунта объёмом один кубический метр, без учёта затрат энергии на процесс резания, (32):

$$u_k = 2274 + 3990 + 6650 = 12917 \text{ Дж/м}^3.$$

Суммарная энергия, необходимая для резания грунта консольным ножом, правым но-

жом, нижним ножом была вычислена ранее [1, 2, 3]. Общие затраты энергии на резание грунта объёмом один кубический метр (33):

$$u_{\text{к-гр}} = 20000 + 71282 + 4740 + 12917 \approx 108840 \text{ Дж/м}^3.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе заполнения ковша агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог отрезанным грунтом происходит скручивание и сдвиг отрезанного пласта, которые способствуют его разрушению на фрагменты. В поперечно-вертикальной плоскости ковш уравновешен. Момент, приложенный к ковшу в продольно-вертикальной плоскости, уравнивается элементами конструкции агрегата. Проекция сил в продольно-вертикальной плоскости, приложенных к ковшу, позволяют определить суммарные силы тяги цепей.

Суммарная энергия на перемещение ковша, без учёта затрат энергии на процесс резания, включает затраты энергии: на ускорение грунта ковшом, на преодоление трения нижней плоскости ковша о грунт, на дополнительное горизонтальное усилие для перемещения ковша, обусловленное трением в элементах конструкции. Она составляет $u_{\text{к}} \approx 13 \text{ кДж/м}^3$. Теоретически обоснованные общие затраты энергии на резание грунта объёмом один кубический метр ковшами агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя автодорог $u_{\text{к-гр}} \approx 109 \text{ кДж/м}^3$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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. №1. С. 32-43.
2. Николаев В.А. Анализ взаимодействия кромки лезвия консольного ножа с грунтом // Вестник СибАДИ, 2020. №2. С. 172-181.
3. Николаев В.А. Анализ взаимодействия правого ножа агрегата непрерывного действия с грунтом // Вестник СибАДИ, 2020. №4. С. 452-463.
4. 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. 14153.
5. Попов Г.Ф. Рабочие органы фрез. М.: Материалы НТС ВИСХОМ. ОНТИ ВИСХОМ, 1970. № 27. С. 490-497.
6. Карасёв Г.Н. Определение силы резания грунта с учётом упругих деформаций при разрушении // Строительные и дорожные машины. 2008. №4. С. 36-42.
7. Карнаухов А.И., Орловский С.Н. Определение затрат удельной энергии на процесс резания лесных почв торцевыми фрезами // Строительные и дорожные машины. 2010. №1. С. 20-2.
8. Кравец И.М. Определение критической глубины резания при комбинированном резании грунтов гидрофрезой // Строительные и дорожные машины. 2010. №5. С. 47-49.
9. 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.
10. Берестов Е.И. Влияние трения грунта по поверхности ножа на сопротивление резанию // Строительные и дорожные машины. 2010. №11. С. 34-38.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Talalay P.G. Subglacial till and Bedrock drilling. // Cold Regions Science and Technology. 2013. Vol. 86. Pp. 142-166.
16. 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.
17. Li Q. Development of Frozen Soil Model. // Advances in Earth Science. 2006. №12. Pp. 96-103.
18. Atkinson J. The Mechanics of Soils and Foundations. CRC. Press. 2007. 448 p.
19. 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.
20. Нилов В.А., Фёдоров Е.В. Разработка грунта скрепером в условиях свободного резания // Строительные и дорожные машины. 2016. №2. С. 7-10.
21. Чмиль В.П. Насосно-аккумулятивный привод рыхлителя с автоматическим выбором угла резания // Строительные и дорожные машины. 2016. №11. С. 18-20.
22. 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.

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

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

25. 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.

26. 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.

27. 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.

REFERENCES

1. Nikolayev V.A. Opredelenie skorosti cepej i razmerov plasta grunta, otrezaemogo kovshom agregata dlya udaleniya verhnego sloya grunta s podstilaushchego sloya avtodorogi [Determining the speed of chains and the size of the soil layer cut off by the bucket of the unit to remove the top layer of soil from the underlying layer of the road]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 1: 32-43. (in Russian)

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

3. Nikolaev V.A. Analiz vzaimodejstvija pravogo nozha agregata nepreryvnogo dejstvija s gruntom [Analysis of the interaction of the right knife of the continuous action unit with the ground]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 1: 32-43.

4. 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 plough]. *Teoriya i raschyot pochvoobrabatyvayushchih mashin*. 1989; 120: 145-153. (in Russian)

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

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

7. Karnaukhov A.I., Orlovskiy S.N. Opredelenie zatraat udel'noj energii na process rezaniya lesnyh pochv torcevyimi frezami [Determination of specific energy costs for the process of cutting forest soils with end mills]. *Construction and road machinery*. 2010; 1: 20-22. (in Russian)

8. Kravets I.M. Opredelenie kriticheskoy glubiny rezaniya pri kombinirovannom rezanii gruntov gidrofrezoy [Critical depth of the cut determination in the combined cutting soil by hydromiller]. *Construction and road machinery*. 2010; 5: 47-49. (in Russian)

9. Kirillov F.F. Determinirovannaya matematicheskaya model' vremennogo raspredeleniya tyagovogo usiliya dlya mnogorezcovykh rabochih organov zemlerojnyh mashin [Deterministic mathematical model of the traction force time distribution for multi-section working bodies of earth moving machines]. *Construction and road machinery*. 2010; 11: 44-48. (in Russian)

10. Berestov E.I. Vliyanie treniya grunta po poverhnosti nozha na soprotivlenie rezaniyu [Soil friction effect on the knife surface on cutting resistance]. *Construction and road machinery*. 2010; 11: 34-38. (in Russian)

11. Vershinin A.V., Subov V.S., Tyulnev A.M. Povyshenie effektivnosti diskofreznykh 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)

12. Balovnev V.I., Nguen Z.SH. Opredelenie soprotivlenij pri razrabotke gruntov ryhlitelem po integral'nomu pokazatelyu prochnosti [Determination of resistance in the soil development with a ripper according to the integral strength indicator]. *Construction and road machines*. 2005; 3: 38-40. (in Russian)

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

14. 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.

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

16. 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.

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

18. Atkinson J. The Mechanics of Soils and Foundations. *CRC. Press*. 2007; 448.

19. Balovnev V.I., Danilov R.G., Ulitich O.Yu. Issledovanie upravlyaemykh nozhevyykh sistem zemlerojno-transportnykh mashin [Research of controlled knife systems of earth moving and transport vehicles]. *Construction and road vehicles*. 2017; 2: 12-15. (in Russian)

20. Nilov V.A., Fyodorov E.V. Razrabotka grunta skreperom v usloviyakh svobodnogo rezaniya [Soil development with a scraper in free cutting conditions]. *Construction and road machines*. 2016; 2: 7-10. (in Russian)

21. CHmil' V.P. Nasosno-akkumulyativnyj privod ryhlitelya s avtomaticheskim vyborom ugla rezaniya [Pump-accumulator ripper drive with an automatic choice of a cutting angle]. *Construction and road machines*. 2016; 11: 18-20. (in Russian)

22. Kabashev R.A., Turgumbaev S.D. Eksperimental'nye issledovaniya processa kopaniya gruntov rotornno-diskovymi rabochimi organami pod gidrostaticheskim davleniem [Experimental studies of the soil digging process with a rotary-disk working bodies under the hydrostatic pressure]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2016; 4: 23-28. (in Russian)

23. Syomkin D.S. O vliyaniy skorosti rabocheho organa na silu soprotivleniya rezaniyu grunta [On the speed influence of the working body on the resistance strength to cutting soil]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017; 1: 37-43. (in Russian)

24. Konstantinov Yu.V. Metodika raschyota soprotivleniya i momenta soprotivleniya rezaniyu pochvy pryamym plastinchatym nozhom frezy [Method for calculating the resistance and a resistance moment to cutting soil with a straight plate cutter knife]. *Tractors and agricultural machines*. 2019; 5: 31-39. (in Russian)

25. Syromyatnikov Yu.N., Hramov I.S., Vojnash S.A. Gibkij element v sostave rabochih organov rotornoj pochvoobrabatyvayushchej ryhlitel'no-separiruyushchej mashiny [Flexible element in the working bodies of a rotary tillage and ripper separation machine]. *Tractors and agricultural machines*. 2018; 5: 32-39. (in Russian)

26. Parhomenko G.G., Parhomenko S.G. Silovoj analiz mekhanizmov peremeshcheniya rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin po zadanoj traektorii [Power analysis of mechanisms for moving working bodies of tillage machines along a given trajectory]. *Tractors and agricultural machines*. 2018; 1: 47-54. (in Russian)

27. Dranyaev S.B., CHatkin M.N., Koryavin S.M. Modelirovanie raboty vintovogo G-obraznogo nozha pochvoobrabatyvayushchej frezy [Modeling the operation of a screw I-shaped knife of a tillage mill]. *Tractors and agricultural machines*. 2017; 7: 13-19. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Николаев Владимир Анатольевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительные и дорожные машины» ФГОУ ВО «Ярославский технический университет». ORCID. 0000-0001-7503-6612 (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. ORCID. 0000-0001-7503-6612 (Yaroslavl Technical University, Yaroslavl, Moscow Avenue, 88. Phone: 8 910 961 51 87, e-mail: nikolaev53@inbox.ru).