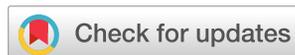


Научная статья  
УДК 625.08  
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-194-203>  
EDN: LQBTMV



## КОНСТРУКТИВНАЯ КОМПОНОВКА МАЛОГО РОТОРА ПРЯМОТОЧНОГО РОТОРНОГО РЫХЛИТЕЛЯ

**В. А. Николаев**

Ярославский государственный технический университет,  
г. Ярославль, Россия  
[Nikolaev53@inbox.ru](mailto:Nikolaev53@inbox.ru), <https://orcid.org/0000-7503-6612>

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Проблема ускорения и удешевления строительства автодорог без снижения их качества может быть решена путём создания комплекса агрегатов непрерывного действия. Агрегаты, следуя друг за другом, осуществляют весь комплекс работ, направленных на строительство автодорог. Одним из элементов агрегата непрерывного действия, формирующего кювет, является прямоточный роторный рыхлитель. Выявлено, что для выемки грунта вблизи оси вращения ротора прямоточного роторного рыхлителя должен быть установлен, соосно с большим ротором, малый ротор с большей угловой скоростью. Применение прямоточных роторных рыхлителей для разработки грунта сдерживается недостаточным теоретическим обоснованием их параметров. Прежде чем провести анализ взаимодействия элементов рабочих органов прямоточного роторного рыхлителя с грунтом необходимо уточнить конструктивную компоновку малого ротора.

**Методика исследования.** Малый ротор должен содержать два ножа, соединённых по периферии диском для придания жёсткости ножам; сечение ножей треугольное с углом заточки  $20^\circ$ , для максимальной трансформации угла заострения ножи должны иметь саблевидную форму; два зубца, расположенные на диске, для разрыхления грунта и его смещения в сторону ножей; наконечник вала малого ротора, диаметр которого должен превышать ширину ножа в месте его соединения с наконечником вала; спиральный нож на конце наконечника вала для рыхления грунта и его смещения в сторону ножей. Построив проекции на поперечно-вертикальную плоскость лезвия ножа, зубца и диска малого ротора, когда имеется различный угол отклонения лезвия в плоскости резания, можно выявить основные геометрические параметры элементов малого ротора прямоточного роторного рыхлителя. Применяя известные формулы теоретической механики, определим угловую скорость малого ротора и другие кинематические параметры.

**Результаты.** На основе методики построения проекции на поперечно-вертикальную плоскость лезвия ножа, зубца и диска малого ротора, когда имеется различный угол отклонения лезвия в плоскости резания, выявлены основные геометрические параметры элементов малого ротора прямоточного роторного рыхлителя. По формулам теоретической механики определены: окружная скорость точки на поверхности вала, угловая скорость малого ротора, время одного оборота малого ротора, путь агрегата за один оборот малого ротора. Построена и аппроксимирована зависимость радиуса точки на лезвии ножа малого ротора от угла поворота луча.

**Заключение.** Путём построения проекций на поперечно-вертикальную плоскость лезвия ножа при различных углах отклонения лезвия в плоскости резания. Определена оптимальная форма лезвия ножа. Выявлена трансформация угла заострения лезвия в зависимости от угла отклонения плоскости резания от плоскости, перпендикулярной к лезвию, передний, задний угол лезвия ножа, профиль лезвия ножа малого ротора в пространстве. Произведена конструктивная компоновка малого ротора. Вычислена окружная скорость точки на поверхности вала, угловая скорость малого ротора, время одного оборота малого ротора, путь агрегата за один оборот малого ротора.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** строительство, автодороги, агрегаты непрерывного действия, прямоточный роторный рыхлитель, малый ротор, геометрические и режимные параметры, конструктивная компоновка

Статья поступила в редакцию 09.01.2023; одобрена после рецензирования 27.01.2023; принята к публикации.

© Николаев В. А., 2023



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

**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. Конструктивная компоновка малого ротора прямооточного роторного рыхлителя // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 2 (90). С. 194-203. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-194-203>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-194-203>

EDN: LQBTMV

## CONSTRUCTIVE LAYOUT FOR SMALL ROTOR OF STRAIGHT-FLOW ROTARY RIPPER

**Vladimir A. Nikolaev**

Yaroslavl Technical University,

Yaroslavl, Russia

[Nikolaev53@inbox.ru](mailto:Nikolaev53@inbox.ru), <https://orcid.org/0000-7503-6612>

### ABSTRACT

**Introduction.** The problem of accelerating and cheapening the construction of roads without reducing their quality can be solved by creating a complex of continuous units. Units, following each other, carry out the whole complex of works aimed at roads construction. One of the elements of the continuous unit that forms the ditch is a straight-flow rotary ripper. It was found that in order to excavate the soil near the axis of rotation of the rotor of a straight-flow rotary ripper, a small rotor with a higher angular velocity should be installed, coaxially with a large rotor. The use of straight-flow rotary rippers for soil development is constrained by insufficient theoretical substantiation of their parameters. Before analysing the interaction of the elements of the working bodies of the straight-flow rotary ripper with the soil, it is necessary to clarify the structural layout of the small rotor.

**The method of research.** The small rotor should contain two knives connected at the periphery by a disc to give rigidity to the knives; the cross-section of the knives is triangular with a sharpening angle of  $20^\circ$ , for maximum transformation of the angle of sharpening, the knives must have a saber-shaped shape; two teeth located on the disk to loosen the soil and shift it towards the knives; a shaft tip of the small rotor, the diameter of which must exceed the width of the knife at the point of its connection with the shaft tip; a spiral knife at the end of the shaft tip to loosen the soil and shift it towards the knives. By constructing projections on the transverse-vertical plane of the blade of the knife, the tooth and the disc of the small rotor, when there is a different angle of deviation of the blade in the cutting plane, it is possible to identify the basic geometric parameters of the elements of the small rotor of the straight-flow rotary ripper. Applying the well-known formulas of theoretical mechanics, we will determine the angular velocity of the small rotor and other kinematic parameters.

**Results.** Based on the method of constructing a projection on the transverse-vertical plane of the blade of a knife, a tooth and a disc of a small rotor, when there is a different angle of deviation of the blade in the cutting plane, the main geometric parameters of the elements of the small rotor of a straight-flow rotary ripper are revealed. According to the formulas of theoretical mechanics, the following are determined: the circumferential velocity of the point on the surface of the shaft, the angular velocity of the small rotor, the time of one revolution of the small rotor, the path of the unit for one revolution of the small rotor. The dependence of the radius of the point on the blade of the knife of the small rotor on the angle of rotation of the beam is constructed and approximated.

**Conclusion.** By constructing projections on the transverse-vertical plane of the knife blade at different angles of deflection of the blade in the cutting plane the optimal shape of the knife blade has been determined, the transformation of the angle of sharpening of the blade depending on the angle of deviation of the cutting plane from the plane perpendicular to the blade, the front, back corner of the knife blade, the profile of the blade of the small rotor knife in space was revealed, a structural layout of the small rotor was made, the circumferential velocity of the point on the surface of the shaft, the angular velocity of the small rotor, the time of one revolution of the small rotor, the path of the unit for one revolution of the small rotor are calculated.

**KEYWORDS:** Construction, roads, continuous units, straight-flow rotary ripper, small rotor, geometric and mode parameters, constructive layout

© Nikolaev V. A., 2023



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

*The article was submitted 09.01.2023; approved after reviewing 27.01.2023; accepted for publication.*

*The authors have read and approved the final manuscript 21.04.2023.*

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

*For citation: Nikolayev V. A. Constructive layout for small rotor of straight-flow rotary ripper. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2023; 20 (2): 194-203. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-194-203>*

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ:

1) разработана методика построения проекций на поперечно-вертикальную плоскость лезвия ножа при различных углах отклонения лезвия в плоскости резания;

2) выявлена трансформация угла заострения лезвия;

3) определена угловая скорость малого ротора и другие кинематические параметры;

4) произведена конструктивная компоновка малого ротора.

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема ускорения и удешевления строительства автодорог без снижения их качества может быть решена путём создания комплекса агрегатов непрерывного действия [1]. Агрегаты, следуя друг за другом, осуществляют весь комплекс работ, направленных на строительство автодорог. Одним из элементов агрегата непрерывного действия, формирующего кювет, является прямооточный роторный рыхлитель<sup>1,2</sup>. Установлено [2], что оптимальная скорость агрегата. Путём логических рассуждений, расчётов, построений в плоскости и пространстве определены геометрические и режимные параметры большого ротора прямооточного роторного рыхлителя диаметром 1 м [3]. Определён предельно малый радиус расположения окружных и торцевых ножей большого ротора. Выявлено, что для выемки грунта вблизи оси вращения ротора прямооточного роторного рыхлителя должен быть установлен, соосно с большим ротором, малый ротор с большей угловой скоростью.

Хотя теоретические основы разработки грунта весьма подробно рассмотрены<sup>3,4,5,6</sup> [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23], взаимодействие с грунтом элементов прямооточного роторного рыхлителя почти не изучено. Применение прямооточных роторных рыхлителей для разработки грунта сдерживается недостаточным теоретическим обоснованием их параметров. Прежде чем провести анализ взаимодействия элементов рабочих органов прямооточного роторного рыхлителя с грунтом необходимо уточнить конструктивную компоновку малого ротора.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Внутри полого вала привода большого ротора установим приводной вал малого ротора. Расстояние от оси вращения большого ротора до крайних точек лезвия окружного ножа № 4 изменяется от 209,5 мм до 217 мм [3]. Внешний радиус малого ротора должен быть меньше 209,5 мм. Примем внешний радиус малого ротора 180 мм, диаметр малого ротора 360 мм. Тогда максимальный кольцевой неразрыхлённый слой грунта между большим ротором и малым ротором останется толщиной  $217 - 180 = 37$  мм. Толщина минимального кольцевого неразрыхлённого слоя грунта между большим ротором и малым ротором  $209,5 - 180 = 29,5$  мм.

Выполним конструктивную компоновку малого ротора. Малый ротор должен содержать:

- два ножа, соединённых по периферии диском для придания жёсткости ножам; сечение ножей треугольное с углом заточки  $20^\circ$ ,

<sup>1</sup> Патент РФ №2735497. Прямоточный роторный рыхлитель / Николаев В. А.; заявл. 09.01.2019 №2019100367; опубл. 03.11.2020, бюл. №31. 14 с.

<sup>2</sup> Патент РФ №2709849. Агрегат непрерывного действия, формирующий кювет и основание автомобильной дороги / Николаев В. А.; заявл. 17.03.2020 №2020111163; опубл. 23.12.2019, бюл. №36.13 с.

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> Попов Г. Ф. Рабочие органы фрез. М.: Материалы НТС ВИСХОМ. Вып. 27. ОНТИ ВИСХОМ, 1970. С. 490 – 497.

<sup>5</sup> Баловнев [и др.] Машины для земляных работ: конструкции, расчёт, потребительские свойства. Белгород. Изд-во БГТУ, 2012. 401 с.

<sup>6</sup> Исследование рабочих органов землеройных машин непрерывного действия. Сборник под ред. З. Е. Гарбузова. М.: 1966. 88 с.

для максимальной трансформации угла заострения ножи должны иметь саблевидную форму;

- два зубца, расположенные на диске, для разрыхления грунта и его смещения в сторону ножей;

- наконечник вала малого ротора, диаметр которого должен превышать ширину ножа в месте его соединения с наконечником вала;

- спиральный нож на конце наконечника вала для рыхления грунта и его смещения в сторону ножей.

Направление вращения малого ротора по часовой стрелке при виде спереди, то есть противоположное по отношению к направлению вращения большого ротора для уменьшения реактивного момента, создаваемого большим ротором.

Примем угол отклонения лезвия в плоскости резания  $\beta = 30^\circ, \beta = 40^\circ, \beta = 50^\circ$ . Если условно полагать, что в проекции на поперечно-вертикальную плоскость искажение угла отклонения лезвия по отношению к плоскости резания происходит на один градус, то в проекции угол  $\beta$  трансформируется, соответственно:

$$90^\circ - 30^\circ - 1^\circ = 59^\circ; 90^\circ - 40^\circ - 1^\circ = 49^\circ; \\ 90^\circ - 50^\circ - 1^\circ = 39^\circ.$$

Построив проекции на поперечно-вертикальную плоскость лезвия ножа, зубца и диска малого ротора, когда угол отклонения лезвия в плоскости резания  $\beta = 30^\circ, \beta = 40^\circ, \beta = 50^\circ$ , выявим основные геометрические параметры элементов малого ротора прямооточного роторного рыхлителя.

Так как угол отклонения лезвия в плоскости резания  $\beta$ , угол заострения лезвия трансформируется из угла в плоскости, перпендикулярной лезвию, принятого  $20^\circ$ , в угол  $i_{тр}$ . Трансформация угла заострения лезвия позволяет уменьшить задний угол до  $\varepsilon_{т.р.}$ . Если скорость агрегата  $v_a$ , окружная скорость точки на поверхности вала малого ротора

$$v_{окр.р.} = \frac{v_a}{\tan \varepsilon_{т.р.}} \quad (1)$$

Поскольку радиус наконечника малого ротора  $r$ , необходимая угловая скорость малого ротора

$$\omega_{м.р.} = \frac{v_{окр.р.}}{r} \quad (2)$$

Время одного оборота малого ротора

$$\tau_{1.м.р.} = \frac{2\pi}{\omega_{м.р.}} \quad (3)$$

В малом роторе два ножа. Подача на нож

$$s_n = v_a \tau_{1/2} \quad (4)$$

Путь агрегата за один оборот малого ротора

$$s_a = v_a \tau_1 \quad (5)$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 1 показано построение проекции на поперечно-вертикальную плоскость (вид спереди) лезвия ножа, зубца и диска малого ротора, когда угол отклонения лезвия в плоскости резания  $\beta = 50^\circ$ . Проведём окружность диаметром 360 мм, соответствующую наружному диаметру диска, предназначенного для придания жёсткости ножам. Проведём окружности из центра вращения ротора диаметром 30, 40, 50, 60, 80, ..., 360 мм. Сначала на рисунке 1 проведём горизонтальный луч из центра вращения малого ротора до пересечения с окружностью диаметром 360 мм. Допустим, радиус наружной поверхности зубца, расположенного на диске, соответствует радиусу окружности. Проведём касательную  $DE$  к этой окружности в произвольной точке. Так как угол трения стали о грунт  $\varphi_{с-г} \approx 25^\circ$ , проведём под углом  $25^\circ$  к касательной луч, показывающий направление внутренней поверхности зубца на диске. Вращая луч, показывающий направление внутренней поверхности зубца на диске, совместно с касательной  $DE$  относительно центра вращения малого ротора, устанавливаем их так, чтобы направление внутренней поверхности зубца было перпендикулярно лучу, проведённому из центра вращения малого ротора. Получим точку  $C$ . Проведём через точку  $C$  окружность. Диаметр этой окружности 328,48 мм показывает минимальный внутренний радиус диска. Примем внутренний диаметр диска 330 мм. Обозначим контуры зубца.

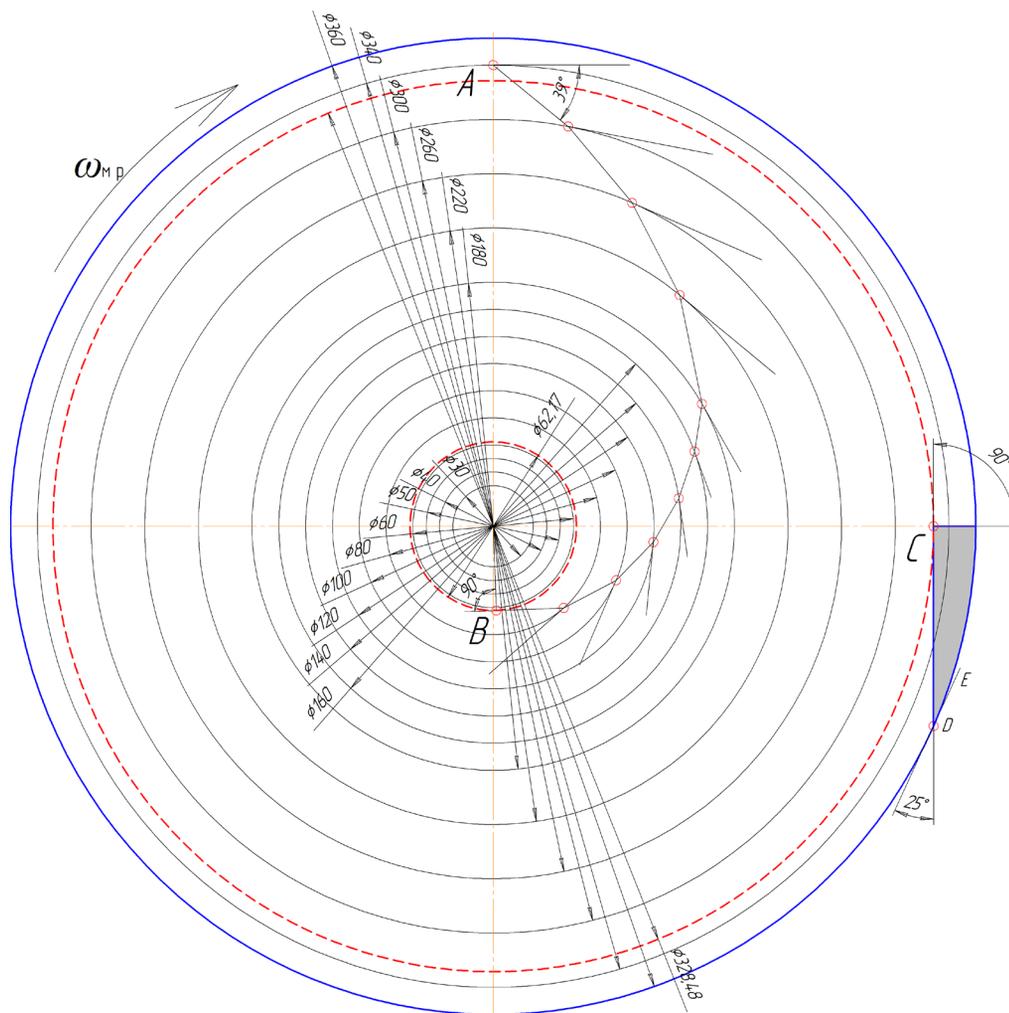


Рисунок 1 – Построение проекции на поперечно-вертикальную плоскость (вид спереди) лезвия ножа, зубца и диска малого ротора; угол отклонения лезвия в плоскости резания  
Источник: составлено автором.

Figure 1 – Construction of the projection on the transverse-vertical plane (front view) of the blade of the knife, the tooth and the disk of the small rotor; angle of deflection of the blade in the cutting plane  $\beta=50^\circ$   
Source: compiled by the authors.

Затем проведём касательную через точку А окружности диаметром 340 мм, превышающей внутренний диаметр диска. От касательной отложим угол  $39^\circ$ . Проведём луч из точки А под этим углом до пересечения с окружностью меньшего диаметра, то есть 300 мм. Поставим там точку В и через неё проведём касательную к окружности диаметром 300 мм. Вновь отложим угол  $39^\circ$ , проведём луч до пересечения с окружностью ещё меньшего диаметра. Повторив эти построения, получим ломаную линию, приближённую к проекции лезвия ножа на поперечно-вертикальную плоскость ротора. Построение проекции на поперечно-вертикальную плоскость лезвия АВ ножа проводим до вертикали, проходящей через центр вращения

малого ротора, так как при этом угол между последним лучом и вертикалью близок к  $90^\circ$ .

Через эту точку проведём штриховой линией окружность. В результате построений выявлен диаметр наконечника вала малого ротора со спиральным ножом – 62,17 мм, который округлим до 62 мм. Наконечник вала малого ротора предназначен для разрушения грунта вблизи оси ротора. Конический наконечник вала ввинчивается в грунт, нарушая его сплошность. Соединив точки плавной кривой, получим проекцию на поперечно-вертикальную плоскость лезвия ножа малого ротора.

На рисунках 2 и 3 показаны построения проекций на поперечно-вертикальную плоскость лезвия ножа, когда угол отклонения лезвия в плоскости резания и  $\beta = 30^\circ$  и  $\beta = 40^\circ$ .

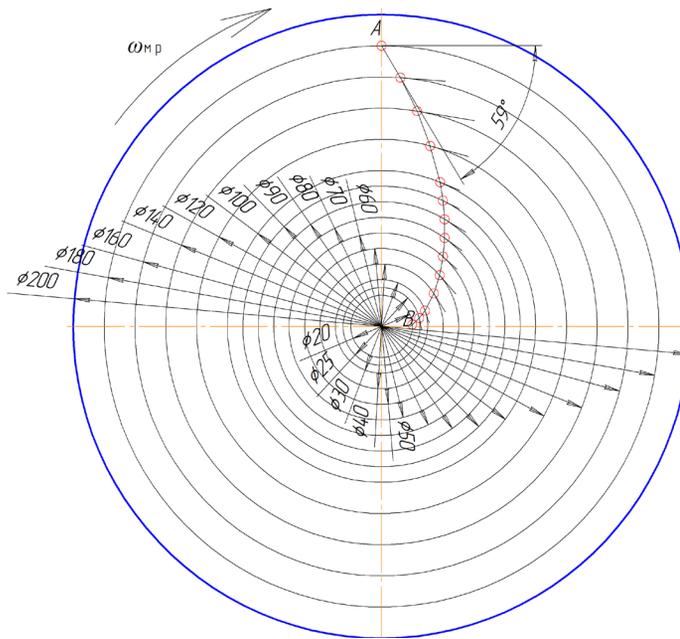


Рисунок 2 – Построение проекции на поперечно-вертикальную плоскость (вид спереди) лезвия ножа, наружного зубца и диска малого ротора; угол отклонения лезвия в плоскости резания  $\beta = 30^\circ$   
 Источник: составлено автором.

Figure 2 – Construction of the projection on the transverse-vertical plane (front view) of the knife blade, the outer tooth and the disk of the small rotor; angle of deflection of the blade in the cutting plane  $\beta = 30^\circ$   
 Source: compiled by the authors.

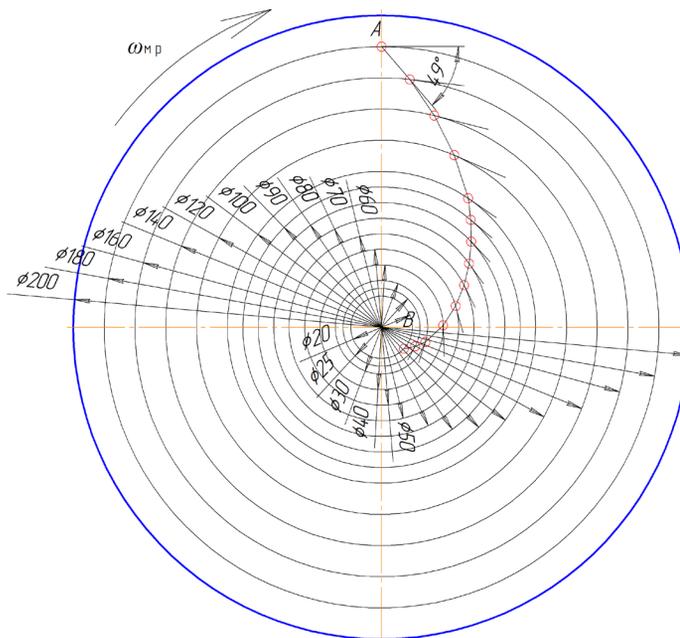


Рисунок 3 – Построение проекции на поперечно-вертикальную плоскость (вид спереди) лезвия ножа, наружного зубца и диска малого ротора; угол отклонения лезвия в плоскости резания  $\beta = 40^\circ$   
 Источник: составлено автором.

Figure 3 – Construction of the projection on the transverse-vertical plane (front view) of the knife blade, the outer tooth and the disk of the small rotor; angle of deflection of the blade in the cutting plane  $\beta = 40^\circ$   
 Source: compiled by the authors.

Таблица  
 Трансформация угла заострения лезвия в зависимости от угла отклонения плоскости резания от плоскости, перпендикулярной к лезвию; угол заточки лезвия 20°  
 Источник: составлено автором.

Table  
 Transformation of the angle of sharpening of the blade depending on the angle of  $\beta$  deviation of the cutting plane from the plane perpendicular to the blade; blade sharpening angle is 20°  
 Source: compiled by the authors.

Угол наклона плоскости резания, $\beta$	Угол заострения лезвия, $i$
25	18,17
30	17,37
35	16,43
40	15,38
45	14,21
50	12,93
55	11,55
60	10,08

Из рисунков видно, что следует принять угол отклонения лезвия в плоскости резания  $\beta = 50^\circ$ , так как развёртка лезвия ножа охватывает угол  $180^\circ$ . Резание при этом будет более энергосберегающим ввиду большего скольжения лезвия. Если  $\beta > 50^\circ$ , два ножа не поместятся в малом роторе.

Чтобы нож осуществлял резание лезвием, передний угол должен быть меньше угла трения грунта о сталь. Допустим, передний угол

$\alpha_t = 25^\circ$ . Путём пространственных построений выявлена трансформация угла заострения лезвия. Когда угол отклонения лезвия в плоскости резания  $\beta = 50^\circ$ , угол заострения лезвия трансформируется из  $20^\circ$  в  $i_{тр} = 12,93^\circ \approx 13^\circ$  (таблица). Трансформация угла заострения лезвия позволит скорректировать задний угол:  $\varepsilon_{тр м р} = 25^\circ - 13^\circ = 12^\circ$ .

На рисунке 4 показана зависимость радиуса точки на лезвии ножа малого ротора от угла поворота луча (см. рисунок 1). Зависимость можно аппроксимировать экспонентой, но практически точной получается аппроксимация уравнением третьей степени (утолщённая жёлтая линия).

Окружная скорость точки на поверхности вала (1):

$$v_{окр м р} = \frac{0,085}{\tan 12^\circ} = \frac{0,085}{0,2125} = 0,4 \text{ м/с.}$$

Так как наконечник вала малого ротора диаметром 62 мм, радиус наконечника малого ротора  $r = 31 \text{ мм} = 0,031 \text{ м}$ , а необходимая угловая скорость малого ротора (2):

$$\omega_{м р} = \frac{0,4}{0,031} = 12,9 \text{ рад/с.}$$

Время одного оборота малого ротора (3):

$$\tau_{1 м р} = \frac{2 \cdot 3,14}{12,9} = 0,486 \text{ с.}$$

В малом роторе два ножа. Время 1/2 поворота ротора  $\tau_{1/2} = 0,486/2 \approx 0,243 \text{ с}$ .

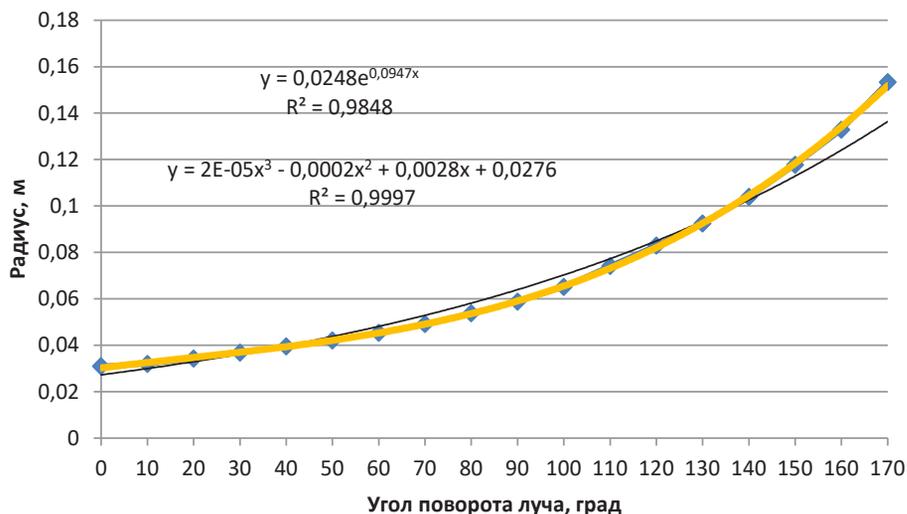


Рисунок 4 – Зависимость радиуса точки на лезвии ножа малого ротора от угла поворота луча  
 Источник: составлено автором.

Figure 4 – Dependence of  $p$  radius of the point on the blade of the knife of the small rotor on  $\varphi$  angle rotation of the beam  
 Source: compiled by the authors.

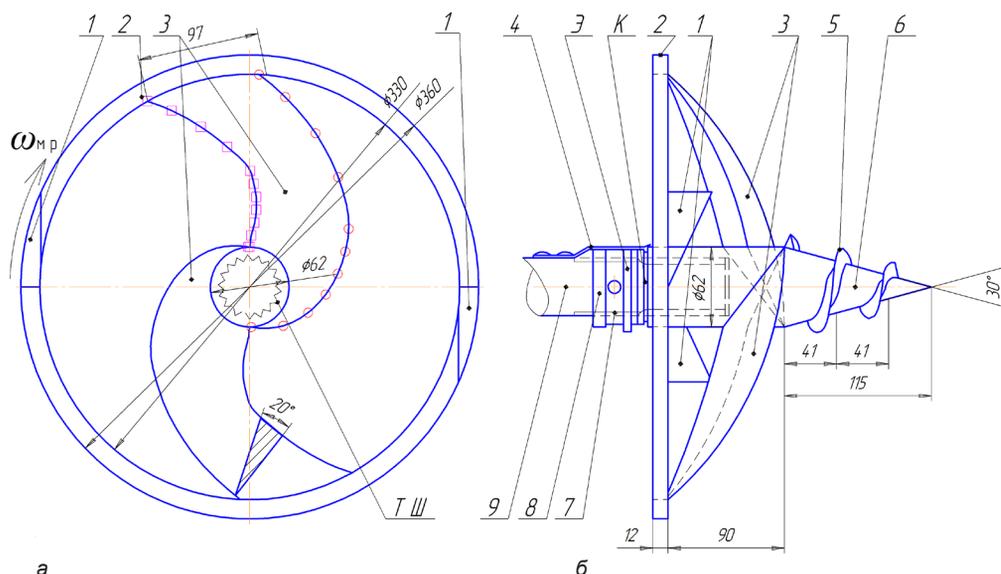


Рисунок 5 – Схема малого ротора: а – вид спереди (спиральный нож не показан); б – вид слева: 1 – зубец; 2 – диск; 3 – нож; 4 – стопорная пластина; 5 – спиральный нож; 6 – наконечник вала; 7 – гайка-съёмник; 8 – кольцо; 9 – вал малого ротора  
 Источник: составлено автором.

Figure 5 – Diagram of the small rotor: a – front view (spiral knife is not shown); b – left view: 1 – tooth; 2 – disk; 3 – knife; 4 – locking plate; 5 – spiral knife; 6 – shaft tip; 7 – nut-puller; 8 – ring; 9 – small rotor shaft  
 Source: compiled by the authors.

Скорость агрегата  $v_a = 0,085 \text{ м/с}$  [4]. Подача на нож, то есть толщина слоя грунта, срезаемого ножом (4),

$$s_n = 0,085 \cdot 0,243 \approx 0,02 \text{ м} = 20 \text{ мм}.$$

Скопируем проекции на поперечно-вертикальную плоскость лезвия ножа, зубца и диска малого ротора с рисунка 1 на рисунок 5, а.

Проекцию на поперечно-вертикальную плоскость точки соединения с валом малого ротора задней линии ножа совместим с проекцией точки соединения лезвия противоположного ножа с валом малого ротора. Радиус наконечника малого ротора  $r = 31 \text{ мм}$ , поэтому проекция ширины ножа малого ротора на поперечно-вертикальную плоскость там, где он присоединён к наконечнику малого ротора

$$c'_n = \pi r = 3,14 \cdot 31 \approx 97 \text{ мм}.$$

Чтобы не только резать грунт, но и транспортировать его внутрь большого ротора, ширина ножа малого ротора должна быть постоянной. Проведя несколько окружностей с центром в оси вращения малого ротора через точки на лезвии ножа (на рисунке не показаны), отложим от этих точек дуги длиной  $s'_n$ . Получим точки на проекции задней линии ножа на поперечно-вертикальную плоскость. Соединив эти точки лекальной кривой, получим проекцию на поперечно-вертикальную плоскость задней

линии ножа. Повернув проекции ножа и зубца на  $180^\circ$ , построим проекцию на эту плоскость второго ножа и зубца. Наложим сечение ножа с углом заточки  $20^\circ$ .

Скорость агрегата  $v_a = 0,085 \text{ м/с}$ . Период оборота малого ротора  $\tau_{1 \text{ м р}} = 0,486 \text{ с}$ . Тогда путь агрегата за один оборот малого ротора (5):  $s_a = 0,085 \cdot 0,486 \approx 0,041 \text{ м}$ .

Шаг спирального ножа малого ротора должен быть равен пути агрегата за один оборот малого ротора:  $s_{c_n} = s_a = 41 \text{ мм}$ . Отложив два шага спирального ножа, получим угол  $30^\circ$  при вершине конической части вала малого ротора (рисунок 5, б).

Изобразим спиральный нож и завершим оформление конструкции малого ротора. Он содержит наконечник вала 6, на конической части которого расположен спиральный нож 5. В наконечнике вала имеются углубления для установки двух ножей 3. По периферии ножи соединены диском 2 с зубцами 1. Внутри наконечника вала выполнены треугольные шлицы Т Ш для его установки на вал малого ротора 9. Для повышения надёжности малый ротор выполнен неразборным. Его элементы соединены сваркой и пайкой. К валу малого ротора присоединена на резьбе гайка-съёмник 7 с кольцом 8 и заклёпками – стопорная пластина 4. На поверхности гайки-съёмника имеется эксцентрик Э.

Перед установкой малого ротора гайку-съёмник навёртывают на вал малого ротора так, чтобы выступ эксцентрика поднял пружинную стопорную пластину. Вдвинув малый ротор на треугольные шлицы вала малого ротора, поворачивают гайку-съёмник в противоположную сторону. При этом конец стопорной пластины входит в канавку  $K$  на кончике вала. Для снятия малого ротора гайку-съёмник поворачивают так, чтобы она перемещалась в сторону кончика вала. При этом она выступом эксцентрика сначала приподнимет стопорную пластину, освобождая малый ротор, а затем своим торцом произведёт его первоначальный сдвиг с треугольных шлицев.

Вал малого ротора установлен на подшипниках внутри вала большого ротора. Для привода малого ротора использован планетарный редуктор, солнечная шестерня которого установлена на противоположном конце вала малого ротора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Путём построения проекций на поперечно-вертикальную плоскость лезвия ножа при различных углах отклонения лезвия в плоскости резания. Определена оптимальная форма лезвия ножа. Выявлена трансформация угла заострения лезвия в зависимости от угла отклонения плоскости резания от плоскости, перпендикулярной к лезвию, передний, задний угол лезвия ножа, профиль лезвия ножа малого ротора в пространстве. Произведена конструктивная компоновка малого ротора.

На основании расчётов: окружная скорость точки на поверхности вала  $v_{\text{окр.м.р.}} = 0,4$  м/с; угловая скорость малого ротора  $\omega_{\text{м.р.}} = 12,9$  рад/с; время одного оборота малого ротора  $\tau_{1\text{м.р.}} = 0,486$  с; толщина слоя грунта, срезаемого ножом, ; путь агрегата за один оборот малого ротора  $s_a \approx 0,041$  м.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Николаев В. А. Определение затрат энергии, необходимой для воздействия поверхности ножа и нижней части отвала бульдозера на грунт в начале прохода // *Вестник СибАДИ*. 2022; 19 (4): 484–499. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-484-499>
2. Николаев В. А. Расчёт скорости прямого роторного рыхлителя // *Дороги и мосты*. Сборник, выпуск 41/1. Москва. 2019. С. 35–39.
3. Николаев В. А. Конструктивная компоновка и режимные параметры большого ротора прямого роторного рыхлителя // *Вестник СибАДИ*. 2022; 19 (6): 800–813. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-800-813>
4. Зыков Б. И. Теория рабочих процессов строительных машин. Ярославль: Изд. ЯГТУ, 2003. 114 с.
5. Карасёв Г. Н. Определение силы резания грунта с учётом упругих деформаций при разру-

шении // *Строительные и дорожные машины*. 2008. № 4. С. 36–42.

6. 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.

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

8. 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.

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

10. 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.

11. 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.

12. 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.

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

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.

17. 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. Сыромьятников 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.

## REFERENCES

1. Nikolayev V.A. Determination of the energy required to expose the surface of the knife and the bottom of the bulldozer blade to the ground at the beginning of the pass. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (4): 484-499. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-484-499>

2. Nikolaev V.A. Calculation of the speed of the ramjet rotary ripper // Roads and bridges. Collection, issue 41/1. Moscow. 2019: 35-39.

3. Nikolayev V.A. Structural layout and operating parameters for a large rotor of a direct-flow bucket wheel type aggregator. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (6): 800-813. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-6-800-813>

4. Zykov B. I. Teoriya rabochih processov stroitel'nyh mashin [Workflow theory of construction machinery]. Ja-rosavl': Izd. JaGTU, 2003. 114 p. (in Russ.)

5. 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 Russ)

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

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

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

9. 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 Russ)

10. 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 Russ)

11. 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.

12. 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.

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

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

17. 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 Russ.)

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

19. Sjomkin D.S. O vlijanii skorosti rabocheho 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 Russ.)

20. 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 Russ.)

21. Syromjatnikov Ju. N., Hramov I. S., Vojnash S. A. Gibkij jelement v sostave rabochih organov rotnoj 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 Russ.)

22. 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 Russ.)

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Николаев Владимир Анатольевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительные и дорожные машины», SPIN-код: 8865-0397.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir A. Nikolayev – Dr. of Sci., Professor of the Construction and Road Machinery Department, SPIN-код: 8865-0397.