

Научная статья
Статья в открытом доступе

doi: 10.30987/2782-5957-2026-3-62-71

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ КИНЕМАТИКИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ БУЛЬДОЗЕРА С ВЫДВИЖНЫМИ СЕКЦИЯМИ

Любовь Александровна Сладкова^{1✉}, Даниил Евгеньевич Щепалин²

^{1,2} Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

¹ rich.cat2012@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0008-6786-0386>

² dany.shepalin2014@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-1447-4616>

Аннотация

Усилия, развиваемые на рабочем оборудовании бульдозера, зависят от кинематики движения их подвижных элементов. В рассматриваемой конструкции отвала с выдвигными секциями интенсификация разработки грунта достигается путем изменения каждой из секций углов резания, углов установки в направлении движения машины или при выдвигении секций при прямоустановленном положении отвала. Изменения положений секций отвала достигается при сочетании выдвигений штоков гидроцилиндров, что оказывает влияние на изменение развиваемых в них усилий.

Цель работы. Исследования изменений положений штоков гидроцилиндров при выполнении операций по изменению углов резания и углов установки в направлении движения машины или выдвигении секций при прямоустановленном положении отвала.

Задача, решению которой посвящена статья. Исследование изменения положения штоков гидроцилиндров усовершенствованного отвала бульдозера с выдвигными секциями на основе их кинематических свойств.

Методы исследования базируются на основных положениях теоретической механики и теории механизмов и машин.

Новизна работы. Методика оценки изменения геометрических параметров элементов рабочего оборудования бульдозера (штоков гидроцилиндров) с выдвигными секциями.

Результаты исследования. Суть исследования заключается в обосновании характера изменения параметров штоков гидроцилиндров, углов между ними для усовершенствованной конструкции отвала бульдозера при изменении углов резания, углов установки в направлении движения машины или при выдвигении секций при прямоустановленном положении отвала.

Выводы. Предлагаемая методика на основе проведенных исследований позволит автоматизировать процесс интенсификации разработки грунта, изменяя положение секций отвала.

Ключевые слова: отвал, секции, оборудование (гидроцилиндры), кинематика, исследования, методика.

Благодарности: Авторы выражают искреннюю благодарность членам редакционной коллегии журнала, рецензентам.

Ссылка для цитирования:

Сладкова Л.А. Методика исследований кинематики движения рабочего оборудования бульдозера с выдвигными секциями / Л.А. Сладкова, Д.Е. Щепалин // Транспортное машиностроение. – 2026. – № 3. – С. 62-71. doi: 10.30987/2782-5957-2026-3-62-71.

Original article
Open Access Article

METHOD TO STUDY KINEMATICS OF WORKING EQUIPMENT MOTION OF A BULLDOZER WITH EXTENDABLE SECTIONS

Lyubov Aleksandrovna Sladkova^{1✉}, Daniil Evgenievich Shchepalin²

^{1,2} Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

¹ rich.cat2012@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0008-6786-0386>

² dany.shepalin2014@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-1447-4616>

Abstract

The forces developed on the working equipment of a bulldozer depend on the kinematics of motion of its moving elements. In the considered blade design with extendable sections, the intensification of soil mining is achieved by changing each of the cutting angle sections, installation angles in the direction of machine movement or by extending the sections with the blade in a straight position. Changes in the positions of the blade sections are achieved by combining the extensions of the hydraulic cylinder rods, which affects the change in the forces developed in them.

The paper objective is to study changes in the positions of hydraulic cylinder rods when performing operations to change cutting angles and installation angles in the direction of movement of the machine or extending sections with a straight blade position.

The task which the paper is devoted is to study the changes in the position of hydraulic cylinder rods of an improved oval bulldozer with extendable sections based on their kinematic properties.

Research methods are based on the basic principles of theoretical mechanics and the theory of mechanisms and machines.

The novelty of the work. A method for evaluating changes in the geometric parameters of the working equipment elements of a bulldozer (hydraulic cylinder rods) with extendable sections.

Study results. The study is aimed at substantiation of the nature of the changes in the parameters of the hydraulic cylinder rods, the angles between them for the improved design of the bulldozer blade when changing cutting angles, installation angles in the direction of the machine movement or when extending sections with the blade in a straight position.

Conclusions. Based on the conducted research, the proposed method will automate the intensification of soil development by changing the position of the blade sections.

Keywords: blade, sections, equipment (hydraulic cylinders), kinematics, research, method.

Acknowledgements: The authors acknowledge the members of the editorial board of the journal and the reviewers.

Reference for citing:

Sladkova LA, Shchepalin DE. Method to study kinematics of working equipment motion of a bulldozer with extendable sections. *Transport Engineering*. 2026;3:62-71. doi: 10.30987/2782-5957-2026-3-62-71.

Введение

Задача интенсификации разработки грунта путем модернизации рабочих органов землеройных машин [1] и рабочего оборудования землеройных машин является задачей, носящей теоретический и прикладной характер и связана с изменениями углов резания, углов установки отвала [2, 3]. Усилия, развиваемые на рабочем оборудовании бульдозера, зависят от кинематики движения их подвижных элементов (штоков гидроцилиндров), так как в рас-

сматриваемой конструкции отвала интенсификация разработки грунта достигается при изменении каждой из секций [4, 5] углов резания, углов установки в направлении движения машины или при выдвижении секций при прямо установленном положении отвала. Изменения положений секций отвала достигается путем сочетания выдвиганий штоков гидроцилиндров, что оказывает влияние на изменение развиваемых в них усилий [6].

Обоснования проведения исследований

Автоматизация управления рабочими органами отвала, равно как и других рабочих органов землеройных машин связана с сложностью и специфичностью процессов разработки грунта из-за самих физико-механических свойств грунта. Поэтому, в настоящее время автоматизированы операции и рабочие процессы этих машин, которые в наибольшей мере определяют производительность труда и эффективность их использования, так как в системах автоматического управления процессом разработки грунта обычно используют дискретные электронные системы на осно-

ве полупроводниковых элементов, обеспечивающих надежность работы системы путем применения бесконтактных элементов. Поэтому автоматическое управление рабочим процессом землеройных машин нашло применение на автогрейдерах, выпущенных в последние годы.

Необходимость проведения исследований обусловлена возможностью автоматизации процесса разработки грунта при минимальных усилиях копания грунта. Определение закономерностей изменения длины штоков гидроцилиндров при выполнении работ выдвижными секциями

отвала (рис. 1) является необходимым условием для обеспечения работы контроллеров, устанавливаемых на рабочем оборудовании.

Расчетная схема к определению изменения положений секции отвала в плане показана на рис. 2.

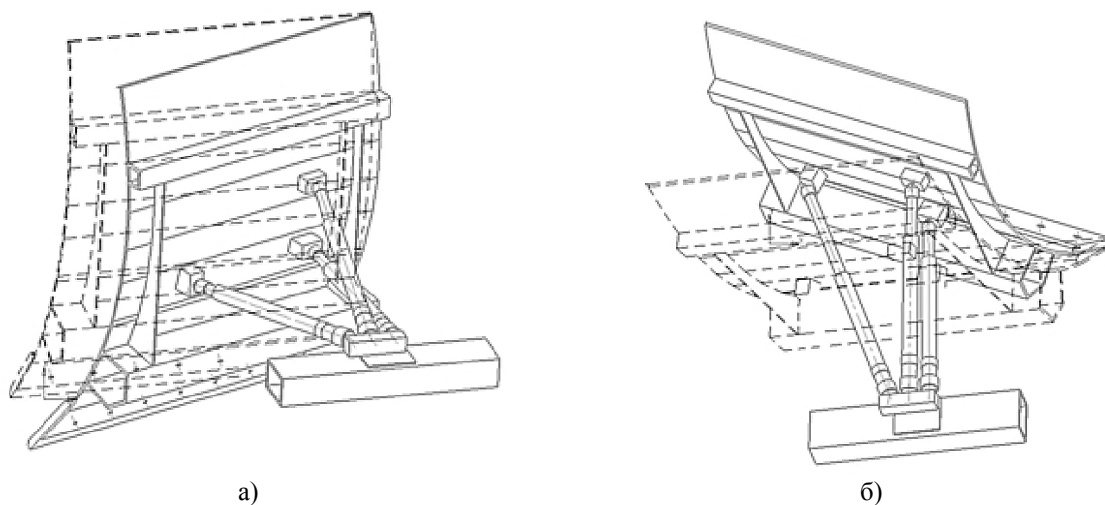


Рис. 1. Положения при изменении углов:
а – установки в плане; б – резания
Fig. 1. Positions when changing angles:
a) Attitudes in the plan; b) cutting

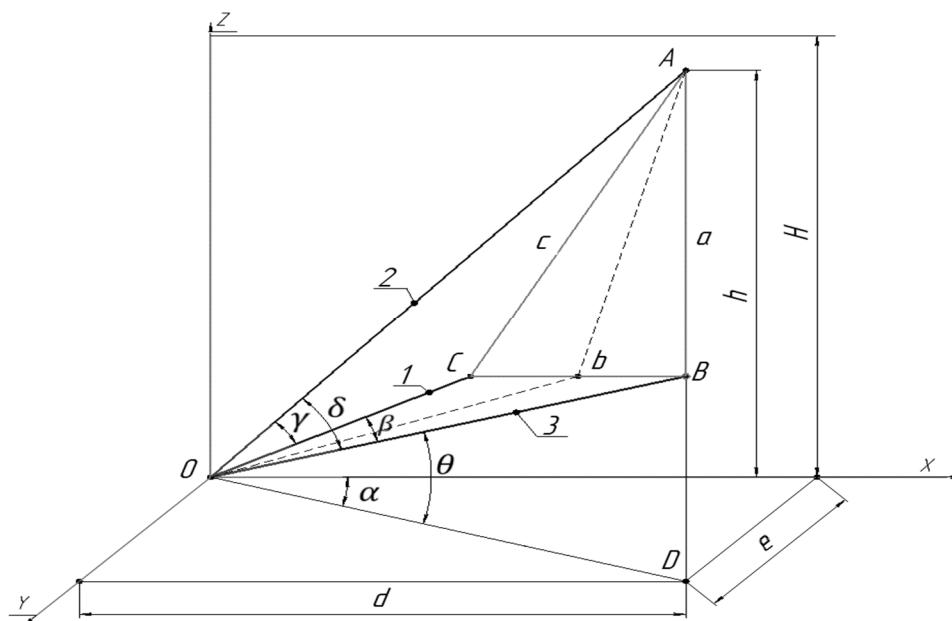


Рис. 2. Расчетная схема к изменению углов установки секции отвала
Fig. 2. Calculation scheme for changing the angles of the blade section

Исследуем изменение угла установки отвала в плане (рис. 1а) на изменение положений штоков гидроцилиндров. На рис. 2 видно, что поворот отвала в плане происходит путем выдвижения штока гидроцилиндра 1 при неподвижных гидроци-

линдрах 2 и 3 (рис. 3) при повороте отвала относительно точек A и B.

Здесь из тригонометрических характеристик видно, что углы C_1CO и CC_1O будут равны:

$$\angle C_1CO = 180 - \Delta\beta = 180 - \Delta\beta + (\beta + \theta) + 2\alpha_2. \quad (1)$$

$$\angle CC_1O = \frac{\alpha_2}{2} + \beta + \theta. \quad (2)$$

Определим соотношения

$$\begin{cases} \frac{CC_1}{\sin(\Delta\beta)} = \frac{a}{\sin(\frac{\alpha_2}{2} + \beta + \theta)} \\ \frac{CC_1}{\sin(\Delta\beta)} = \frac{b}{\sin(90 - \frac{\alpha_2}{2})} \end{cases}. \quad (3)$$

Откуда

$$\frac{a \cdot \sin(\beta)}{\sin(\frac{\alpha_2}{2} + \beta + \theta)} = \frac{\sin(\alpha_2) \cdot b}{\cos(\frac{\alpha_2}{2})};$$

или

$$\frac{a \cdot \sin(\beta)}{\sin(\frac{\alpha_2}{2}) \cos(\beta + \theta) + \sin(\beta + \theta) \cos(\frac{\alpha_2}{2})} = 2b \sin(\frac{\alpha_2}{2}). \quad (4)$$

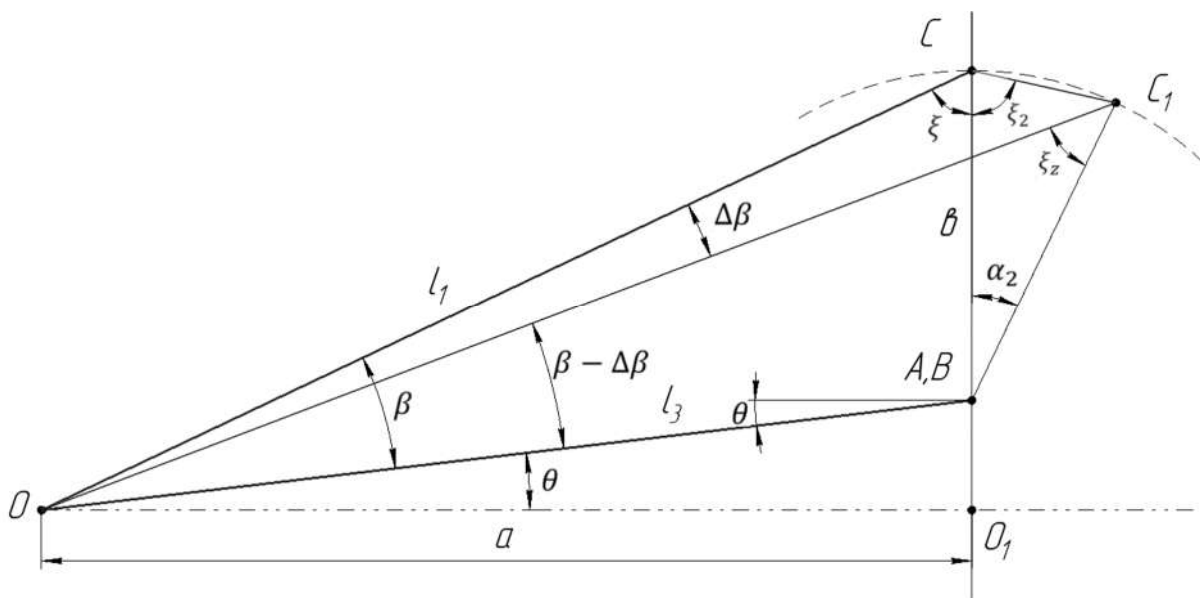


Рис. 3. Изменение угла установки в плане
Fig. 3. Changing the Installation Angle in Plan

Введем обозначения. Пусть

$$\sin \frac{\alpha_2}{2} = x,$$

тогда

$$\cos \frac{\alpha_2}{2} = \sqrt{1 - x^2}. \quad (5)$$

С учетом выражения (5), преобразуем выражение (4) к виду:

$$a \cdot \sin(\beta) = 2bx^2 \cos(\beta + \theta) + 2bx\sqrt{1 - x^2} \sin(\beta + \theta). \quad (6)$$

Решение уравнения (6), позволяет получить выражение, связывающее углы

между гидроцилиндрами и их положением от точки крепления

$$\sin \frac{\alpha_2}{2} = x = \frac{a \sin^2 \beta + 4b^2}{4b(\sin \beta \cdot \cos(\beta + \theta) - b \cdot \sin^2(\beta + \theta))} \quad (7)$$

Ниже приведены результаты численного расчета изменения углов между гидроцилиндрами для различных сочетаний

работы гидроцилиндров (рис. 2) при изменении угла установки секции в плане (табл. 1).

Таблица 1

Результаты расчетов изменения параметров рабочего оборудования секции отвала в зависимости от изменения угла поворота отвала в плане

Table 1

Results of calculations of changes in the parameters of the blade section working equipment depending on the change in the blade rotation angle in the plan

Изменяемые параметры при: The parameters are changeable when:						
повороте секции отвала направо относительно направления движения бульдозера при неподвижных штоках 2 ($l_2 = 673$ мм) и 3 ($l_3 = 646$ мм), и при $\delta = 20^\circ$, шток 1 выдвигается/ turning the blade section to the right relative to the direction of movement of the bulldozer with fixed rods 2 ($l_2 = 673$ mm) and 3 ($l_3 = 646$ mm), and at $\delta = 20^\circ$, the rod 1 is extended						
Угол в лане/ Horizontal angle	l_1	Δl_1	β	$\Delta\beta$	γ	$\Delta\gamma$
0	729	-	24,8	-	35,7	-
5	765	36	23,2	-1,6	34,3	-1,4
10	796	31	21,7	-1,5	33,1	-1,2
15	835	39	20,3	-1,4	31,9	-1,2
20	865	30	17,1	-1,7	30,5	-1,4
25	895	30		-1,5	29,2	-1,3
повороте секции отвала налево относительно направления движения бульдозера при неподвижных штоках 2 ($l_2 = 673$ мм) и 3 ($l_3 = 646$ мм) и при $\delta = 20^\circ$, шток 1 втягивается when the blade section is turned to the left relative to the direction of movement of the bulldozer with fixed rods 2 ($l_2 = 673$ mm) and 3 ($l_3 = 646$ mm) and at $\delta = 20^\circ$, the rod 1 is retracted						
Угол в лане/ Horizontal angle	l_1	Δl_1	β	$\Delta\beta$	γ	$\Delta\gamma$
0	729	-	24,8	-	35,7	-
5	695	-34	25,8	1	36,6	0,9
10	657	-38	27,1	1,3	37,8	1,2
15	619	-38	28,4	1,3	38,9	1,1
20	580	-39	28,9	0,5	39,4	0,5
25	551	-29	29,4	0,5	40,1	0,7

Анализ табл. 1 показывает, что при изменении угла в плане от 0 до 25° при неподвижных штоках 2 ($l_2 = 673$ мм) и 3 ($l_3 = 646$ мм), и угле между ними $\delta = 20^\circ$, в случае выдвигания штока 1 наблюдается снижение приращения длины штока 1, которое по мере увеличения угла установки отвала в плане снижается. Аналогичная картина наблюдается и с изменением углов β и γ .

При втягивании штока 1 при неподвижных штоках 1 и 3 изменение длины штока 1 происходит более интенсивно, а величины углов β и γ увеличиваются.

Другие расчетные положения при изменении угла отвала в плане представлены в табл. 2.

Анализ табл. 2 показывает, что при изменении угла в плане от 0 до 25° при повороте секции отвала налево относительно направления движения бульдозера при неподвижном штоке 2 ($l_1 = 729$ мм) и подвижных штоках 2 и 3, работающих на выдвигание, наблюдается снижение приращения длин штоков 2 и 3, а также снижение приращения углов β , δ и γ .

При втягивании штоков 2 и 3 при неподвижном штоке 1 снижается приращение длин этих штоков. Величина угла β уменьшается δ и γ увеличиваются, причем изменение угла γ незначительно.

Результаты расчетов изменения параметров рабочего оборудования секции отвала
в зависимости от изменения угла поворота отвала в плане

Results of calculations of changes in the parameters of the working equipment of the blade section
depending on the change in the blade rotation angle in the plan

Изменяемы параметры при: The parameters are changeable when										
повороте секции отвала налево относительно направления движения бульдозера при неподвижных штоке 2 ($l_1 = 729$ мм) и подвижных штоках 2 и 3, работающих на выдвижение/ turning the blade section to the left relative to the direction of movement of the bulldozer with fixed rod 2 ($l_1 = 729$ mm) and movable rods 2 and 3 working for extension										
Угол в плане/ Horizontal angle	l_2	Δl_2	l_3	Δl_3	β	$\Delta\beta$	δ	$\Delta\delta$	γ	$\Delta\gamma$
0	673	-	646	-	24,8	-	20	-	35,7	-
5	713	40	689	43	24,6	-0,2	18,7	-1,3	34,8	-0,9
10	750	37	727	38	24,5	-0,1	17,8	-0,9	34,1	-0,7
15	787	37	766	39	23,7	-0,8	17	-0,8	32,9	-1,2
20	825	38	804	38	23,4	-0,3	16,2	-0,8	32,2	-0,7
25	863	38	845	41	22,5	-0,9	15,5	-0,7	30,9	-1,3
повороте секции отвала налево относительно направления движения бульдозера при неподвижных штоке 2 ($l_1 = 729$ мм) и подвижных штоках 2 и 3, работающих на втягивание/ turning the blade section to the left relative to the direction of movement of the bulldozer with a stationary rod 2 ($l_1 = 729$ mm) and movable rods 2 and 3 working for retraction										
Угол в плане/ Horizontal angle	l_2	Δl_2	l_3	Δl_3	β	$\Delta\beta$	δ	$\Delta\delta$	γ	$\Delta\gamma$
0	673	-	646	-	24,8	-	20	-	35,7	-
5	634	-39	606	-40	24,2	-0,6	21,03	1,03	36,05	0,35
10	596	-38	565	-41	23,4	-0,8	22,3	1,27	36,2	0,15
15	558	-38	526	-39	22,7	-0,7	23,42	1,12	36,4	0,2
20	518	-40	486	-40	21,7	-1	24,58	1,16	36,62	0,22
25	480	-38	449	-37	20,9	-0,8	25,78	1,2	36,92	0,3

Другие расчетные положения при изменении угла отвала в плане представлены в табл. 2.

Изменение угла резания (рис. 1б) можно осуществлять двумя способами:

– уменьшение угла резания производить за счет одновременного выдвижения штоков гидроцилиндров 1 и 3 вперед при неподвижном штоке 2, либо при уменьшении длины штока гидроцилиндра 2 при неподвижных штоках 1 и 3;

– увеличение угла резания производить за счет одновременного втягивания штоков гидроцилиндров 1 и 3 назад при неподвижном штоке 2, либо за счет выдвижения штока гидроцилиндра 2 при неподвижных штоках 1 и 3.

При выборе варианта будем ориентироваться на минимальное число выдви-

гаемых штоков и изменяемых углов, участвующих в процессе изменения угла резания (рис. 4).

При рассмотрении первой части предлагаемых вариантов, т.е. при работе гидроцилиндров 1 и 3 варианта видно, что в процессе изменения угла резания изменяются все углы между гидроцилиндрами, а при выдвижении (втягивании) штока гидроцилиндра 2 при неподвижных положениях штоков гидроцилиндров 2 и 3, изменяться будет только угол δ .

Рассмотрим изменение угла резания при перемещении штока 2. Плоскость OAB , ограничена точками крепления штоков гидроцилиндров, ограничивающих изменение угла δ (рис. 4). При этом точка A крепления штока гидроцилиндра на отвале будет перемещаться по дуге

окружности радиусом R , равной длине AB при неизменном положении точки B . остается неизменной. При втягивании

штока от 0 до -30° и при выдвигении штока от 0 до $+30^\circ$.

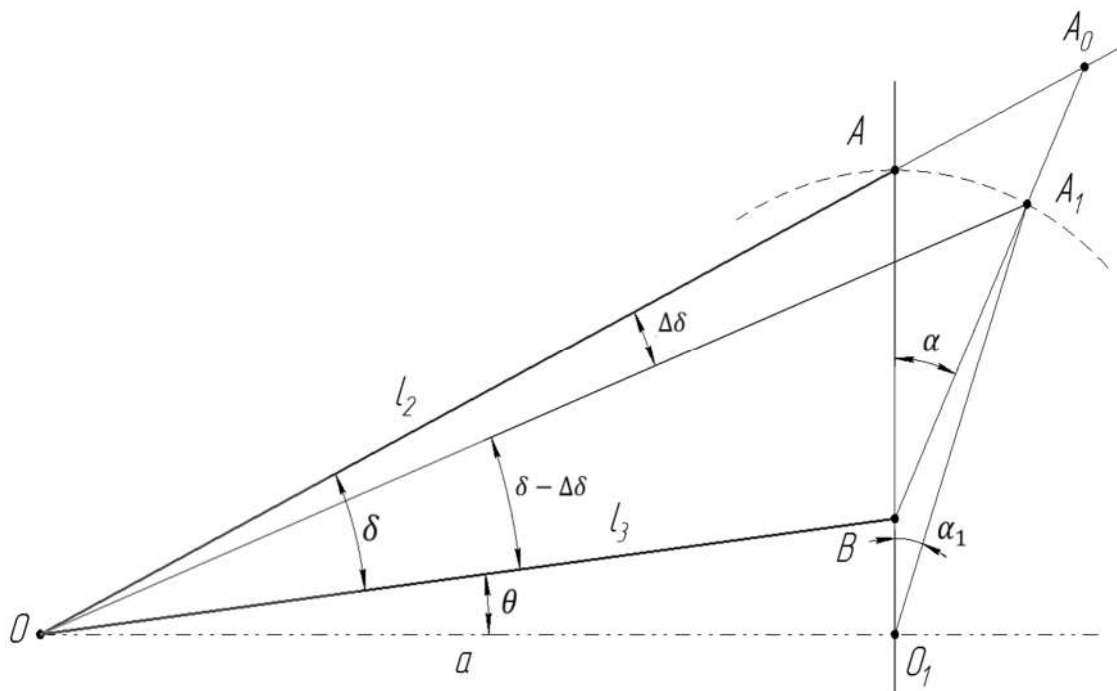


Рис. 4. Изменение угла резания при перемещении штока гидроцилиндра 2
Fig. 4. Change in the cutting angle when moving the hydraulic cylinder rod 2

При выдвигении штока гидроцилиндра 2, произойдет изменение его длины l_2 на величину AA_0 за счет поворота отвалной поверхности O_1 относительно точки B (рис. 4), в соответствии с которым введем исходные данные:

- $BA = BA_1$ – по построению;
- $OA = l_2$; $OB = l_3$;
- $O_1A = O_1A_1$ – по построению;
- δ – угол между штоками (2 и 3);
- $\Delta\delta$ – угол при смещении штока 2;
- θ – угол между поверхностью грунта и штоком 3;
- O_1A – плоскость отвала.

Длину дуги AA_1 , ограничивающей перемещение точки A определим по формуле:

$$AB = AO_1 - BO_1 = l_3(\cos\theta \cdot \operatorname{tg}(\theta + \delta) - \operatorname{tg}\delta). \quad (10)$$

Подставив выражение (10) в (9), получим выражение, позволяющее оценивать

$$\frac{\alpha_1}{\alpha} = \frac{BA}{OA} = \frac{l_3}{l_2}(\cos\theta \cdot \operatorname{tg}(\theta + \delta) - \operatorname{tg}\delta). \quad (11)$$

$$\begin{cases} \cup AA_1 = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot BA}{180} \\ \cup AA_1 = \frac{\pi \cdot \alpha_1 \cdot OA}{180} \end{cases} \quad (8)$$

Откуда получим:

$$\begin{cases} \frac{\alpha_1 \cdot OA}{\alpha \cdot BA} = 1; \\ \frac{\alpha_1}{\alpha} = \frac{BA}{OA}. \end{cases} \quad (9)$$

Из тригонометрических соотношений рисунка 3 имеем

$$\begin{aligned} AO_1 &= a \cdot \operatorname{tg}(\theta + \delta); \\ a &= l_3 \cdot \cos\theta; \\ O_1B &= l_3 \cdot \operatorname{tg}\delta. \end{aligned}$$

изменение углов установки отвала в зависимости от изменения угла резания:

Ниже приведены результаты численного расчета изменения углов между гидроцилиндрами для различных сочетаний

работы гидроцилиндров (рис. 2) при изменении угла установки секции в плане (табл. 3).

Результаты расчетов изменения параметров рабочего оборудования секции отвала в зависимости от изменения угла резания секции отвала

Таблица 3

Table 3

Results of calculations of changes in the parameters of the working equipment of the blade section depending on the change in the cutting angle of the blade section

Изменяемы параметры при: <i>The parameters are changeable when</i>				
повороте секции отвала направо относительно направления движения бульдозера при неподвижных штоках 1 и 3 $(l_1 = 729 \text{ мм})$ и 3 ($l_3 = 646 \text{ мм}$), и при $\beta = 24,8^\circ$; $\delta = 35,7^\circ$, шток 2 выдвигается <i>turning the blade section to the right relative to the direction of movement of the bulldozer with stationary rods 1 and 3</i> $(l_1 = 729 \text{ мм})$ and 3 ($l_3 = 646 \text{ мм}$), and at $\beta = 24.8^\circ$; $\delta = 35.7^\circ$, rod 2 extends				
Изменение угла резания/ <i>Изменение угла резания</i>	l_2	Δl_2	γ	$\Delta \gamma$
0	673	-	20	-
5	690	17	19,65	-0,35
10	707	17	18,8	-0,85
15	723	16	18,1	-0,7
20	739	16	17,3	-0,8
25	754	15	16,5	-0,8
повороте секции отвала направо относительно направления движения бульдозера при неподвижных штоках 1 и 3 ($l_1 = 729 \text{ мм}$) и 3 ($l_3 = 646 \text{ мм}$), и при $\beta = 24,8^\circ$; $\delta = 35,7^\circ$, шток 2 втягивается <i>turning the blade section to the right relative to the direction of movement of the bulldozer with fixed rods 1 and 3</i> $(l_1 = 729 \text{ мм})$ and 3 ($l_3 = 646 \text{ мм}$), and at $\beta = 24.8^\circ$; $\delta = 35.7^\circ$, rod 2 retracts				
Изменение угла резания	l_2	Δl_2	γ	$\Delta \gamma$
0	673	-	20	-
5	655	-18	20,2	0,2
10	638	-17	20,7	0,5
15	620	-18	20,5	-0,2
20	602	-18	20,4	-0,1
25	584	-18	20,2	-0,2

Проведем анализ табл. 3. При повороте секции отвала направо относительно направления движения бульдозера при неподвижных штоках 1 и 3 ($l_1 = 729 \text{ мм}$) и 3 ($l_3 = 646 \text{ мм}$), и при $\beta = 24,8^\circ$; $\delta = 35,7^\circ$, при этом шток 2 выдвигается наблюдается снижение приращения длины штока 2, при одновременном увеличении самой длины и уменьшении угла γ .

При повороте секции отвала направо относительно направления движения бульдозера при неподвижных штоках 1 и 3 ($l_1 = 729 \text{ мм}$) и 3 ($l_3 = 646 \text{ мм}$), и при $\beta = 24,8^\circ$; $\delta = 35,7^\circ$, при этом шток 2 втягивается наблюдается постоянство в приращении

длины штока 2, при одновременном уменьшении самой длины и незначительном изменении угла γ . В теории можно считать его постоянным.

Другие расчетные положения представлены в табл. 4.

Проанализируем результаты расчетов, представленных в табл. 4.

При повороте секции отвала налево относительно направления движения бульдозера при неподвижном штоке 2 ($l_2 = 673 \text{ мм}$) и подвижных штоках 1 и 3, работающих на выдвигание можно наблюдать стабильность (линейность) увеличения длины штока 1 и такую же стабильность

снижения величины угла γ . Длина штока 3 изменяется более интенсивно в сторону увеличения, но при этом снижается величина угла β и δ .

При повороте секции отвала налево относительно направления движения

бульдозера при неподвижном штоке 2 ($l_2 = 673$ мм) и подвижных штоках 1 и 3, работающих на втягивание можно наблюдать снижение длин штоков 1 и 3 с одновременным увеличением углов β и γ и снижении величины угла δ .

Таблица 4

Результаты расчетов изменения параметров рабочего оборудования секции отвала в зависимости от изменения угла поворота отвала в плане

Table 4

King equipment depending on the change in the blade rotation angle in the plan

Изменяемы параметры при: <i>The parameters are changeable when</i>										
повороте секции отвала налево относительно направления движения бульдозера при неподвижных штоке 2 ($l_2 = 673$ мм) и подвижных штоках 1 и 3, работающих на выдвигание <i>turning the blade section to the left relative to the direction of movement of the bulldozer with fixed rod 2 ($l_2 = 673$ mm) and moving rods 1 and 3, working for promotion</i>										
Изменение угла резания/ Изменение угла резания	l_1	Δl_1	l_3	Δl_3	β	$\Delta\beta$	δ	$\Delta\delta$	γ	$\Delta\gamma$
0	729	-	646	-	24,8	-	20	-	35,7	-
5	748	19	667	21	24,08	-0,72	19,7	-0,3	34,9	-0,8
10	766	18	684	17	23,5	-0,58	19,4	-0,3	34,2	-0,7
15	785	19	707	23	22,9	-0,6	19,09	-0,31	33,5	-0,7
20	803	18	726	19	22,4	-0,5	18,6	-0,49	32,8	-0,7
25	821	18	746	20	21,9	-0,5	18,1	-0,5	32,1	-0,7
повороте секции отвала налево относительно направления движения бульдозера при неподвижных штоке 2 ($l_2 = 673$ мм) и подвижных штоках 1 и 3, работающих на втягивание <i>turning the blade section to the left relative to the direction of movement of the bulldozer with fixed rod 2 ($l_2 = 673$ mm) and moving rods 1 and 3, working for retraction</i>										
Изменение угла резания/ Изменение угла резания	l_1	Δl_1	l_3	Δl_3	β	$\Delta\beta$	δ	$\Delta\delta$	γ	$\Delta\gamma$
0	729	-	646	-	24,8	-	20	-	35,7	-
5	710	-19	626	-20	25,3	0,5	19,8	-0,2	36,1	0,4
10	694	-16	607	-19	25,9	0,6	19,6	-0,2	36,4	0,3
15	677	-17	587	-20	26,6	0,7	19,1	-0,5	37,03	0,63
20	661	-16	569	-18	27,2	0,6	18,9	-0,2	37,64	0,61
25	641	-20	550	-19	27,9	0,7	18,6	-0,3	38,21	0,57

Выводы

Предлагаемая методика исследований кинематики движения рабочего оборудования бульдозера с выдвигаемыми секциями позволила получить математические зависимости, позволяющие заложить алгоритм изменения положений отвала

бульдозера в зависимости от изменения положений элементов рабочего оборудования и создать контролеры автоматизации процесса интенсификации разработки грунта путем изменения положения секций отвала.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баловнев В.И. Рабочие органы землеройных машин интенсифицирующего действия. Москва, Машиностроение, 1981. 224 с.
2. Недорезов И.А. Интенсификация рабочих органов землеройных машин. Млсква, Стройиздат, 1981. 50 с.
3. Зеленин, Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. Москва, Машиностроение, 1975. 424 с.
4. Ветров Ю.А. Машины для специальных земляных работ : учебное пособие для вузов по специальности «Строительные и дорожные машины и оборудование» / Ю. А. Ветров, В. Л. Баладинский. - Киев : Вища школа, 1980. 191 с.
5. Пат. 2833557 Российская Федерация МПК E02F3/76 E01H5/06. Рабочий орган землеройной

машины отвального типа. / Л.А. Сладкова, П.А. Григорьев № 3585341 : патентообладатель: Российский университет транспорта: заявл. 22.02.2024 : опубл. 18.09.24.

6. Пат. Пат. 2826913 Российская Федерация МПК E02F3/76 E01H5/06. Рабочий орган землеройной машины отвального типа. / Л.А. Сладкова, П.А. Григорьев № 3585341 : патентообладатель: Российский университет транспорта: заявл. 22.02.2024 : опубл. 30.01.2025.
7. Дорожные машины : Учебник для специальности «Строит. и дор. машины и оборудование» вузов. В 2 ч. Ч. 1. Машины для земляных работ (Теория и расчет) / Т.В. Алексеева, К.А. Артемьев, А.А. Бромберг и др. – Москва, Машиностроение, 1972. 504 с.

REFERENCES

1. Balovnev VI. Working bodies of earthmoving machines of intensifying action. Moscow: Mashinostroenie; 1981.
2. Nedorezov IA. Intensification of the working bodies of earthmoving machines. Moscow: Stroyizdat; 1981.
3. Zelenin, Balovnev VI, Kerov IP. Machines for earthworks. Moscow: Mashinostroenie; 1975.
4. Vetrov YuA, Baladinsky VL. Machines for special earthworks: textbook for universities. Kiev: Vishcha Shkola; 1980.

5. Sladkova LA, Grigoriev PA. Working body of a dump-type earthmoving machine. RF Patent No.2833557 МПК E02F3/76 E01H5/06. 18 Sept 2024.
6. Sladkova LA, Grigoriev PA. Working body of a dump-type earthmoving machine. RF Patent No. МПК E02F3/76 E01H5/06. 30 Jan 2025.
7. Alekseeva TV, Artemyev KA, Bromberg AA. Road cars: textbook for universities. Moscow: Mashinostroenie; 1972.

Информация об авторах:

Сладкова Любовь Александровна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические средства», Российский университет транспорта, тел. +7(965) 377-93-89.

Sladkova Lyubov Aleksandrovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Ground Transport and Technological Facilities, Russian University of Transport, phone: +7(965) 377-93-89.

Щепалин Даниил Евгеньевич – аспирант кафедры «Наземные транспортно-технологические средства», Российский университет транспорта, тел. +7(920) 622-18-43.

Shchepalin Daniil Evgenievich – Postgraduate Student of the Department of Ground Transport and Technological Facilities, Russian University of Transport, phone: +7(920) 622-18-43.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 27.10.2025; одобрена после рецензирования 12.02.2026; принята к публикации 27.02.2026. Рецензент – Измеров М.А., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.

The article was submitted to the editorial office on 27.10.2025; approved after review on 12.02.2026; accepted for publication on 27.02.2026. The reviewer is Izmerov M.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University.