

Научная статья
УДК 631.51.01;631.311; 51-74
doi: 10.28983/asj.y2023i5pp160-165

**Влияние конструктивных параметров почвообрабатывающего орудия
на образование противозрозионного микрорельефа**

Николай Михайлович Соколов¹, Пётр Александрович Покусаев¹, Светлана Валентиновна Чумакова²

¹ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» г. Саратов, Россия

²Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова,
г. Саратов, Россия

e-mail: ariser@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований почвообрабатывающего орудия, обоснованы оптимальные конструктивные параметры рабочих органов противозрозионного приспособления и их влияние на технологические параметры образуемого на пашне микрорельефа.

Ключевые слова: водная и технологическая эрозия; противозрозионное приспособление; почвообрабатывающее орудие; микрорельеф; кулиса; лемешно-подрезающие рабочие органы.

Для цитирования: Соколов Н. М., Покусаев П. А., Чумакова С. В. Влияние конструктивных параметров почвообрабатывающего орудия на образование противозрозионного микрорельефа // Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 160–165. [http: 10.28983/asj.y2023i5pp160-165](http://10.28983/asj.y2023i5pp160-165).

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

The influence of the design parameters of a tillage tool on the formation of an anti-erosion microrelief

Nikolai M. Sokolov¹, Pyotr A. Pokusaev¹, Svetlana V. Chumakova²

¹Federal State Budgetary Scientific Institution “FANC of the South-East”, Saratov, Russia

²Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia
e-mail ariser@yandex.ru

Abstract. The results of theoretical and experimental studies of the soil-cultivating tool are presented; the optimal design parameters of the working bodies of the anti-erosion device and their influence on the technological parameters of the microrelief formed on arable land are substantiated.

Keywords: water and technological erosion, anti-erosion device, soil-cultivating tool, microrelief, wings, ploughshare-cutting working bodies.

For citation: Sokolov N.M., Pokusaev P. A., Chumakova S.V. The influence of the design parameters of a tillage tool on the formation of an anti-erosion microrelief // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(5):160–165. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i5pp160-165](http://10.28983/asj.y2023i5pp160-165).

Введение. Обработка почвы является наиболее доступным и эффективным приемом, защищающим склоновые земли от водной и технологической эрозии. В то же время при возделывании полевых культур на долю обработки почвы приходится более 40 % энергетических затрат. В связи с этим в настоящее время при совершенствовании агротехнологий большое внимание уделяется повышению их почвозащитной направленности и снижению энергоемкости. Это достигается за счет разработки новых, ресурсосберегающих рабочих органов, использующих пожнивные остатки для создания на поверхности пашни, противозрозионного микрорельефа [1–4].

По данным НИИСХ Юго-Востока [5–7], благодаря подрезанию верхнего пятисантиметрового слоя со стерней, при обработках почвы, создания из этой смеси противозрозионного микрорельефа (кулис), позволяет повысить экологическую безопасность территории за счет сокращения потерь воды со стоком и смыва почвы на зяби и паровых полях.

Целью исследований является повышение качества противозрозионной обработки почвы на склоновых землях за счет оптимизации конструктивных и технологических параметров почвообрабатывающего орудия.





Методика исследований. Расчет параметров рабочих органов противоэрозионного приспособления проводили с использованием основных положений классической механики и математики. Экспериментальную проверку полученных расчетных значений проводили на поле ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» в условиях, характерных для зоны Поволжья, согласно отраслевым стандартам ГОСТ Р52777-2007, ГОСТ Р52778-2007, СТО АИСТ 4.2-2004, СТО АИСТ 2.8-2007.

Результаты исследований. Согласно разработанным агротребованиям и техническому заданию (ТЗ), при обработке склоновых земель глубина рыхления почвы должна быть до 16 см. Одновременно с рыхлением верхний пятисантиметровый слой почвы должен подрезаться и перемещаться вверх по склону, образуя при этом из перемещаемой почвенно-стерневой смеси противоэрозионный микрорельеф (кулисы). Величина перемещения вверх по склону подрезанного слоя почвы должна составлять не менее 25 см, а параметры формируемых кулис (ширина 20...38 см и высота 12...25 см).

С целью выполнения данных агротребований в ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» был разработан способ обработки почвы Патент РФ №2719720 [8] и почвообрабатывающее орудие для реализации данного способа Патент РФ №2728129 [9].

Для безотвальной обработки почвы и создания поперек склона кулис, на раме орудия установлены плоскорежущие лапы шириной захвата 700 мм и противоэрозионное приспособление с лемешно-подрезающим рабочими органами, которые имеют возможность поворота в горизонтальной плоскости на вертикальных осях (рис. 1).

Данные рабочие органы при движении агрегата поперек склона обеспечивают рыхление почвы и одновременно создают из перемещаемой, вверх по склону, почвенно-стерневой массы противоэрозионные кулисы (рис. 2).

Учитывая, что при расчёте конструктивных параметров почвообрабатывающего орудия в основе лежат требования технического задания на его проектирование, поэтому геометрические параметры создаваемых противоэрозионных кулис, являются начальными условиями для обоснования размеров лемешно-подрезающих рабочих органов, которыми формируются данные кулисы. Выразив параметры создаваемых кулис через их объем и введя необходимые обозначения, получим V_K – объем кулисы по длине борозды, м³; V_{Ki} – объем кулисы, м³; V_{Ki} – объем почвы, захватываемой рабочим органом, формирующим кулису за время t , и который находится на отрезке, длина которого равна длине лемеха данного рабочего органа, м³; V_{Pi} – объем почвы, соответствующий лемешно-подрезающему рабочему органу, м³.

По истечении времени t объем срезаемой данным рабочим органом почвы превышает объем, который может на нем разместиться, т.е.

$$V_{Pi} > V_{Ki} \quad (1)$$

В этом случае происходит сход подрезанной почвы с лемешно-подрезающего рабочего органа и формирование кулисы.



Рис. 1. Общий вид почвообрабатывающего агрегата



Рис. 2. Общий вид обработанного склонового участка (предшественник озимая пшеница)

То есть объём кулисы будет равен объёму почвы, сходящей с данного рабочего органа орудия, при выполнении условия (1):

$$V_{Ki} = V_{Pi} - V_{Pi} \quad (2)$$

При глубине подрезания верхнего слоя почвы равной H , получаем

$$V_{Ki} = V_{Bi} - V_{Pi} \quad (3)$$

где V_{Bi} – объём почвы с учётом глубины подрезания почвы, зависящий от площади рабочего органа орудия S_{Pi} и глубины подрезания почвы H , м; S_{Pi} – площадь рабочего органа орудия, м².

$$V_{Bi} = HS_{Pi}; \quad (4)$$

$$V_{Ki} = HS_{Pi} - V_{Pi}; \quad (5)$$

$$V_{Pi} = lS_{Pi}, \quad (6)$$

где l – ширина захвата лемешно – подрезающего рабочего органа, м.

Далее получено значение объёма кулисы, соответствующее захвату рабочего органа

$$V_{Ki} = HS_{Pi} - lS_{Pi}; \quad (7)$$

$$V_{Ki} = S_{Pi}(H - l). \quad (8)$$

Анализ выражений (7) и (8) показывают, что параметры лемешно-подрезающего рабочего органа орудия оказывают основное влияние на размеры и объём создаваемых кулис.

С целью более точного определения параметров кулисы были использованы интегральные исчисления. Так как при сходе почвы с рабочего органа форма пласта, из которого формируется кулиса, близка к конусу, за счет установки подрезающего почву рабочего органа на угол φ и обрачивания срезанной почвы относительно лезвия лемеха, то его объём можно найти по формуле:

$$V_K = \sum_{i=1}^n V_{Pi} = V_{P1} + V_{P2} + \dots + V_{Pi} + \dots + V_{Pn}, \quad (9)$$

где n – количество пластов почвы, сходящих с лемешно-подрезающего рабочего органа, при формировании кулисы, по всей длине борозды.

$$V_{Pi} = \pi \int_{x_1}^{x_2} f^2(x) dx. \quad (10)$$

На рис. 3 представлена форма пласта почвы, сходящей с лемешно-подрезающего рабочего органа, позволяющая найти его объём.

Исходя из заданных параметров и теории интегрального исчисления, была получена формула для нахождения объёма кулисы в соответствии с рис. 3, отражающим форму кулисы, соответствующую телу вращения относительно оси Ox :

$$V_{Pi} = \pi \int_{x_1}^{x_2} (kx + b)^2(x) dx; \quad (11)$$

$$V_K = \pi \sum_{i=1}^n \int_{x_i}^{x_j} (k_i x + b_i)^2 dx = \pi \int_{x_1}^{x_2} (k_1 x + b_1)^2 dx + \\ + \pi \int_{x_2}^{x_3} (k_2 x + b_2)^2 dx + \dots + \pi \int_{x_i}^{x_j} (k_i x + b_i)^2 dx + \pi \int_{x_{n-1}}^{x_n} (k_n x + b_n)^2 dx. \quad (12)$$



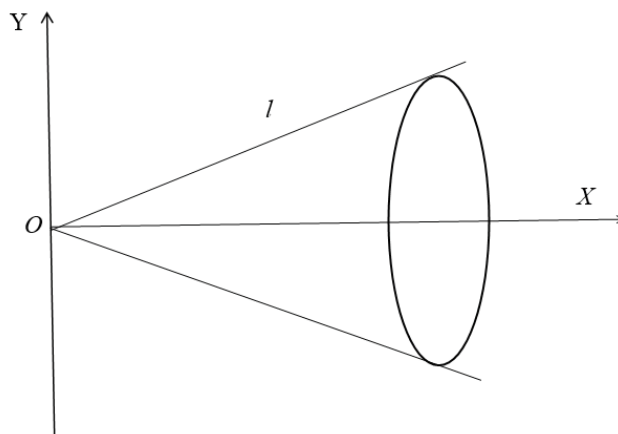


Рис. 3 Схема для определения объема почвы, при формировании кулисы, в процессе работы

По формуле (13) определяется объем кулисы по всей длине борозды.

Исходя из заданных параметров, выведена формула нахождения объема кулисы в соответствии с рис. 3, отражающим форму кулисы, соответствующую телу вращения относительно оси Ox

$$V_{\text{пи}} = \pi \int_0^{H_i} (kx)^2 dx. \quad (13)$$

Так как $k = \text{tg}\varphi$, то формула (13) преобразуется к виду

$$V_{\text{пи}} = \pi \int_0^{H_i} (\text{tg}\varphi x)^2 dx = \pi \text{tg}^2 \varphi \int_0^{H_i} x^2 dx. \quad (14)$$

Подставляя результаты формулы (14) в формулу (12), получим выражение для определения объема кулисы.

$$V_K = \pi \sum_{i=1}^n \int_{x_i}^{x_j} (\text{tg}\varphi_i x + b_i)^2 dx == \pi \int_{x_1}^{x_2} (k_1 x + b_1)^2 dx + \\ + \pi \int_{x_2}^{x_3} (k_2 x + b_2)^2 dx + \dots + \pi \int_{x_i}^{x_j} (k_i x + b_i)^2 dx + \pi \int_{x_{n-1}}^{x_n} (k_n x + b_n)^2 dx. \quad (15)$$

Экспериментальная проверка полученных расчетных значений проводилась на поле ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» в условиях, характерных для зоны Поволжья, согласно отраслевым стандартам.

В таблице представлены основные агротехнические показатели почвообрабатывающего агрегата при работе по стерне озимой пшеницы, почва чернозем южный, влажность почвы в пахотном слое составляла 18,7 %, твердость 1,9 Мпа.

Анализ полученных данных показал, что с увеличением уклона участка с 3° до 8° глубина рыхления почвы плоскорежущими лапами, глубина подрезания верхнего слоя со стерней и крошение почвенного пласта практически не изменялись, отклонение составляло не более 5 %.

Параметры создаваемых кулис с увеличением уклона участка, в результате дополнительного сопротивления со стороны срезаемого пласта почвы и частичного сползания перемещаемой почвенно-стерневой массы вниз по склону изменяются, ширина формируемых кулис уменьшается с 35,4 до 28,7 см, а их высота возрастает с 14,5 до 18,8 см.

Величина перемещения, вверх по склону, подрезанной почвенно-стерневой массы с увеличением уклона снижается на 4,7 см (13,2 %). Таким образом, полученная расчетным путем, через объем кулисы, ширина захвата лемешно-подрезающих рабочих органов равная $b = 500$ мм обес-



**Основные агротехнические показатели почвообрабатывающего агрегата
при работе по стерне озимой пшеницы**

Показатели	По ТЗ	Экспериментальные данные		
		Уклон участка в градусах		
		3°	5°	8°
Вид работ	Обработка зяби. Предшественник озимая пшеница			
Состав агрегата	ДТ 75М + противоэрозионный агрегат			
Скорость движения, км/ч	До 12	9,8	9,8	9,8
Глубина рыхления лапами, см	До 16	16,4	16,1	16,1
Глубина подрезания стерни, см	4...6	5,3	5,0	4,9
Крошение почвы, % размер комков менее 50 мм	≥50,0	64,2	63,1	68,3
Количество кулис, образуемых за 1 подход	4	4	4	4
Размер образуемых кулис, см по ширине по высоте	20–38	35,8	32,0	30,2
	12–25	14,5	15,2	16,9
Перемещение подрезаемого слоя почвы вверх по склону, см	Не менее 25	35,4	32,6	30,7
Подрезание сорняков, %	100	100	100	100

печивает надежное выполнение технологического процесса обработки почвы на склонах до 8°, при этом основные агротехнические показатели работы агрегата полностью соответствуют техническому заданию.

Агротехнические показатели работы почвообрабатывающего агрегата (ширина захвата лемешно-подрезающих рабочих органов $b = 500$, мм).

Заключение. Ширина захвата лемешно-подрезающих рабочих органов, определенная расчетным путем, равная $b = 500$ мм, по основным агротехническим параметрам при создании кулис по (ширине и высоте), а также величине перемещения подрезанной почвенно-стерневой массы постоянно вверх по склону соответствует техническому заданию на проектирование и изготовление почвообрабатывающего орудия.

Предлагаемый способ обработки почвы целесообразно применять на полях, не засоренных камнями, с уклоном обрабатываемого участка до 8° при влажности почвы от 11 до 24 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсосберегающие технологии возделывания озимой и яровой пшеницы в агроэкологических условиях Саратовской области. Саратов, 2009. 60с.
2. Бледных В.В., Рахимов З.С. Механическая эрозия при обработке почвы на склонах // Динамика почвообрабатывающих агрегатов и рабочие органы для обработки почвы: Тр. ЧИМЭСХ. Челябинск: ЧИМЭСХ, 1982. С. 14–19.
3. Макарова М.С., Зацаринный В.А. Перемещение пласта почвы при вспашке склоновых полей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 8. С. 16–18.
4. Соколов Н.М., Стрельцов С.Б., Худяков В.В. Обработка почвы в паровом поле // Успехи современного естествознания. 2017. № 11. С. 49–54.
5. Шабаев А.И. Адаптивно-экологические системы земледелия в агроландшафтах Поволжья. Саратов, 2003. 344 с.
6. Кузина Е.В., Шабаев А. И. Преимущества гребнекулисной обработки почвы при возделывании зерновых культур // Научная жизнь. 2015. № 1. С. 61–69.
7. Соколов Н.М., Стрельцов С.Б., Худяков В.В. Влияние параметров гребне-стерневых кулис на инфильтрацию воды в почву и эрозионный процесс // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12 (Часть 1). С. 19–22.
8. Патент РФ № 2719720, МПК А01В 79\02, А01В 13\16. Способ противоэрозионной обработки почвы в паровом поле / Соколов Н.М., Стрельцов С.Б., Худяков В.В., Соколов В.Н., Графов В.П. Заявлено 19.07.2019; Опубликовано 22.04.2020 Бюл. № 12.



9. Патент РФ № 2728129, МПК A01B 13\06, A01B 49\06. Орудие для противозрозионной обработки почвы / Соколов Н.М., Стрельцов С.Б., Либерцев С.А., Покусаев П.А. Заявлено 17.07.2019; Опубликовано 28.07.2020 Бюл. № 22.

10. Чумакова С.В., Попов Д.А. Математические методы и компьютерные технологии в исследовании компонентов природной среды // Специалисты АПК нового поколения: Сб. статей Всерос. науч.-практ. конф. Саратов, 2016. С. 872-875.

11. Буйлов В.Н., Люляков И.В., Чумакова С.В. К вопросу о причинах износа рабочих органов культиваторов // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы 30-го Междунар. семинара им. В.В. Михайлова. 2017. С. 139-141.

12. Чумакова С.В., Абдразакова Я.Р. Применение математического моделирования к задачам прикладного характера // Современная интеллектуальная трансформация социально-экономических систем: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 147-150.

13. Левченко Г.В., Андреев Н.А., Чумакова С.В. Обоснование конструктивных параметров устройства для обрезки растительных остатков шпалерных овощных культур // Аграрный научный журнал. 2020. № 5. С. 104-106.

14. Левченко Г.В., Чумакова С.В., Рыжкова И.В. Роботизированные системы в закрытом грунте // Актуальные проблемы и перспективы инновационной агроэкономики: сб. статей Нац. (Всерос.) науч.-практ. конф. 2020. С. 201-206.

REFERENCES

1. Resource-saving technologies for the cultivation of winter and spring wheat in the agroecological conditions of the Saratov region. Saratov, 2009. 60 ps. (In Russ.).

2. Blednykh V.V., Rakhimov Z.S. Mechanical erosion during tillage on slopes. *Dynamics of soil-cultivating units and working bodies for tillage*. Chelyabinsk, 1982: 14-19. (In Russ.).

3. Makarova M.S., Zatsarinny V.A. Movement of a layer of soil during plowing of slope fields. *Mechanization and electrification of agriculture*. 2008; 8: 16-18. (In Russ.).

4. Sokolov N.M., Streltsov S.B., Khudyakov V.V. Soil cultivation in a fallow field. Successes of modern natural science. 2017; 11: 49-54. (In Russ.).

5. Shabaev A.I. Adaptive-ecological systems of agriculture in the agrolandscapes of the Volga region. Saratov, 2003. 344 p. (In Russ.).

6. Kuzina E.V., Shabaev A.I. Advantages of bed-rock tillage in the cultivation of grain crops. *Scientific Life*. 2015; 1: 61-69. (In Russ.).

7. Sokolov N.M., Streltsov S.B., Khudyakov V.V. Influence of parameters of ridge-stubble wings on water infiltration into the soil and erosion process. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2015; 12 (Part 1): 19-22. (In Russ.).

8. RF patent No. 2719720, IPC A01V 79\02, A01V 13\16. Sokolov N.M., Streltsov S.B., Khudyakov V.V., Soklov V.N., Grafov V.P. Method of anti-erosion tillage in a fallow field. Claimed on 07/19/2019; Posted on 22.04.2020 Bull. No. 12. (In Russ.).

9. RF patent No. 2728129, IPC A01V 13\06, A01V 49\06. Tool for anti-erosion tillage / Sokolov N.M., Streltsov S.B., Libertsev S.A., Pokusaev P.A. Claimed on 07/17/2019; Posted on 28.07.2020 Bull. No. 22. (In Russ.).

10. Chumakova S.V., Popov D.A. Mathematical methods and computer technologies in the study of the components of the natural environment. *Specialists of the agro-industrial complex of the new generation*. 2016: 872-875. (In Russ.).

11. Buylov V. N., Lyulyakov I. V., Chumakova S. V., On the issue of the causes of wear of the working bodies of cultivators. *Problems of economy and operation of autotractor equipment*. 2017: 139-141. (In Russ.).

12. Chumakova S.V., Abdrazakova Ya.R. Application of mathematical modeling to applied problems. *Modern intellectual transformation of socio-economic systems*. 2020: 147-150. (In Russ.).

13. Levchenko G.V., Andreev N.A., Chumakova S.V. Justification of the design parameters of the device for trimming plant residues of trellis vegetable crops. *Agrarian scientific journal*. 2020; 5: 104-106. (In Russ.).

14. Levchenko G.V., Chumakova S.V., Ryzhkova I.V. Robotic systems in closed ground. *Actual problems and prospects of innovative agroecoeconomics*. 2020: 201-206. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 15.11.2022; одобрена после рецензирования 20.12.2022; принята к публикации 28.12.2022.

The article was submitted 15.11.2022; approved after reviewing 20.12.2022; accepted for publication 28.12.2022.

