

2. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат для формирования влагосберегающего, влагонакопительного слоя почвы на склоновых землях: пат. 12875 ВУ, МПК А01В 49/02 / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20210266 ; заявл. 29.09.2021 ; опубл. 30.04.2022.

3. Обоснование типа и параметров заделывающих рабочих органов и конструктивной схемы сеялки зернотукотравной для посева на склоновых землях. Исследование процессов подготовки почвы и механизированного посева семян многолетних трав на откосах мелиоративных каналов : отчет о НИР (заключительный) / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; рук. темы Н. Д. Лепешкин. – Минск, 2018. – 381 с. – № ГР 20161196.

4. Крук, И. С. Проектирование катковых приставок для пахотных агрегатов. Рекомендации / И. С. Крук [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2017. – 104 с.

5. Юнусов, Г. С. Прикатывающий каток с зигзагообразными рабочими органами / Г. С. Юнусов, Ю. А. Кропотов // Вестник Марийского государственного университета. – 2013. – № 11. – С. 27–29.

УДК 631.51

Поступила в редакцию 08.10.2022

Received 08.10.2022

**Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: mehposev@mail.ru*

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
РЫХЛИТЕЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ  
К ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕМУ АГРЕГАТУ  
ДЛЯ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ И ВЛАГОЗАДЕРЖАНИЯ  
НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ**

*Аннотация.* В статье теоретически обоснованы основные параметры рыхлительных рабочих органов чизельного типа, которые входят в состав почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях и обеспечивают одновременное рыхление как пахотного, так и подпахотного слоя почвы.

*Ключевые слова:* почвообрабатывающий агрегат, чизельный рабочий орган, параметры, послойное рыхление, долото, боковой нож, гребень.

**N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: mehposev@mail.ru*

**THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE MAIN PARAMETERS  
OF THE LOOSENING WORKING BODIES TO THE TILLING UNIT  
FOR MOISTURE ACCUMULATION AND MOISTURE RETENTION ON SLOPE LANDS**

*Abstract.* The article theoretically substantiates the main parameters of the loosening working bodies of the chisel type, which are part of the tillage unit for moisture accumulation and moisture retention on slope lands and provide simultaneous loosening of both the arable and subarable soil layers.

*Keywords:* tillage unit, chisel working body, parameters, layered loosening, chisel, side knife, comb.

**Введение**

Одним из путей защиты склоновых земель от водной эрозии является переход на безотвальные обработки почвы. Для технического обеспечения таких обработок ставится задача создания отечественного почвообрабатывающего агрегата, который за один проход по полю мог бы выполнять такие безотвальные влагосберегающие приемы основной обработки почвы, как мульчирование, чизелевание и глубокое рыхление почвы [1]. Для осуществления этих приемов обработки почвы

в составе агрегата предусматривается использование различных рабочих органов, в том числе и рыхлительных [2]. Анализ известных рыхлительных рабочих органов показал, что новый агрегат должен оборудоваться рыхлительными рабочими органами чизельного типа, которые должны включать криволинейную стойку, в нижней части которой установлено долото, а на боковых поверхностях ножи [3]. Такое конструктивное решение позволит обеспечить послойное рыхление почвы на двух уровнях. На первом уровне рыхление на глубину обычной обработки, т.е. рыхление пахотного слоя, и на втором – глубокое рыхление (до 40 см) с образованием на дне слоя гребней. С учетом того, что предлагаемый тип рыхлительного рабочего органа и его конструктивное решение способны обеспечить предъявляемые агротехнические требования, целесообразно провести теоретические исследования по обоснованию основных параметров данных рабочих органов.

Цель статьи – теоретически обосновать основные параметры рыхлительных рабочих органов к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях.

### Основная часть

За основные параметры рыхлительного рабочего органа примем параметры, которые наиболее существенно влияют на качество выполняемого им технологического процесса. В нашем случае, когда чизельный рабочий орган (рис. 1) состоит из криволинейной стойки 1, в нижней части которой установлено долото 2, на боковых поверхностях – ножи 3, то его основными требующими обоснования параметрами будут:

- расстояние между рабочими органами для глубокого рыхления в поперечном направлении (ширина междуследья);
- ширина боковых ножей;
- расстояние от боковых ножей до носка долота;
- угол установки долота к дну борозды и длина долота;
- расстояние между рабочими органами в продольном направлении.

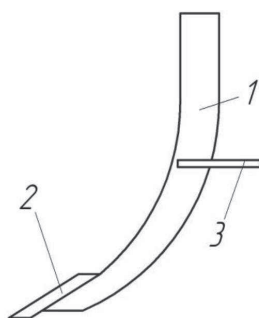


Рис. 1. Схема рыхлительного рабочего органа: 1 – стойка; 2 – долото; 3 – нож

#### **Обоснование расстояния между рабочими органами для глубокого рыхления в поперечном направлении (ширина междуследья)**

Характерной особенностью рыхлительных рабочих органов чизельного типа является то, что они производят рыхление с недорезом пласта по ширине захвата агрегата. В результате этого над дном борозды образуются неразрыхленные гребни, высота которых имеет большое значение для предотвращения внутрпочвенного стока воды на склонах. Поэтому при обосновании ширины междуследья в качестве оценочного критерия примем высоту гребня. Поскольку действующие в Республике Беларусь агротехнические требования, предъявляемые к машинам с чизельными рабочими органами, не содержат сведений о том, какой должна быть высота гребня, а зарубежные исследователи для своих расчетов принимают эту высоту, равной 0,2 м [4] и менее, то с учетом сказанного установим зависимость ширины междуследья от высоты гребня.

При глубоком рыхлении почвы сечение разрыхленной полосы расширяется сверху за счет бокового сдвига пласта под углом  $\omega$  (рис. 2, а), который зависит от механического состава, влажности почвы, ширины захвата, угла установки долота ко дну борозды и др. факторов и составляет

40–60° [5, 6]. Известно и то, что боковой сдвиг почвы отмечается лишь в слое почвы определенной глубины, который не должен превышать так называемую критическую глубину  $h_k = 32\text{--}36$  см, т. е. при рыхлении на глубине больше критической сдвиг почвы прекращается и нижняя часть разрыхленной плоскости имеет вид щели с вертикальными стенками (рис. 2, б).

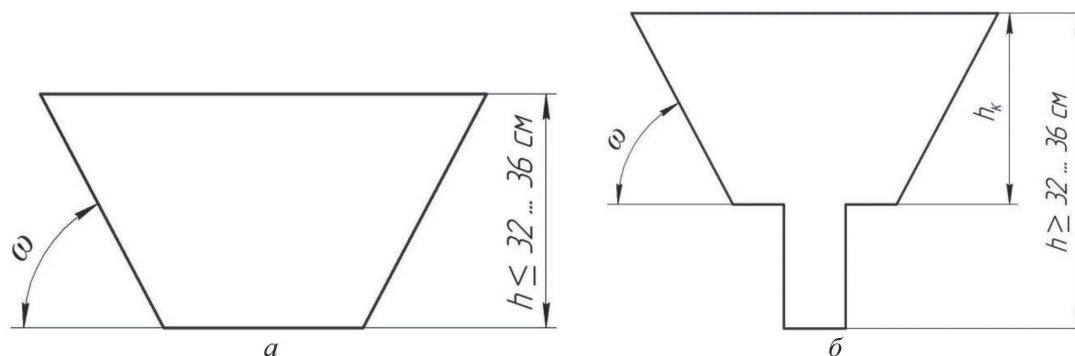


Рис. 2. Сечение полос почвы, разрыхленных на глубину меньшую и превышающую критическую: а – глубина меньше критической; б – глубина больше критической

Кроме этого, известно, что после предварительного рыхления верхнего слоя на глубину  $h_0$  (рис. 3) новая критическая глубина  $h'_k$  разрыхленного слоя увеличивается на глубину, близкую к  $h_0$ , а боковой сдвиг пласта идет не от критической глубины  $h_k$  однослойного рыхления, а с большей, от дна полос глубиной:

$$h'_k = h_k + h_0. \quad (1)$$

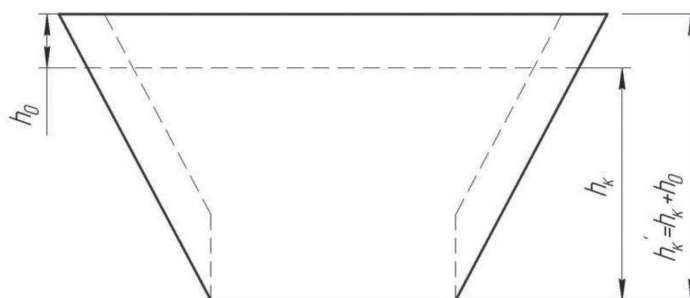


Рис. 3. Сечение полосы почвы с предварительным рыхлением верхнего слоя

При этом угол бокового сдвига  $\omega$  не изменяется.

Так как в конструкции предлагаемого агрегата перед рыхлительными рабочими органами установлены дисковые рабочие органы, которые производят предварительное рыхление верхнего слоя на глубину  $h_0 \geq 12$  см, то критическая глубина для его рыхлительных рабочих органов увеличивается на  $h_0$  и будет составлять не 32–36 см, а 44–48 см. Поскольку максимальная глубина рыхления для предлагаемого агрегата составляет 40 см, то для расчетов ширины междуследья примем схему (рис. 4), где боковой сдвиг почвы идет от дна борозды.

На основании схемы (рис. 4) определим высоту гребней  $a$ , которая будет равна:

$$a = \frac{B - b}{2} \cdot \operatorname{tg} \omega, \quad (2)$$

где  $B$  – ширина междуследья, м;  $b$  – ширина долота, м;  $\omega$  – угол бокового сдвига почвы, град.

С учетом того, что в зависимости от условий различные фирмы комплектуют свои рабочие органы набором сменных долотьев различной ширины, то расчет ширины междурядья проведем с использованием долот шириной  $b = 0,05, 0,1, 0,2, 0,3$  м и среднем угле бокового сдвига  $\omega = 45^\circ$ .

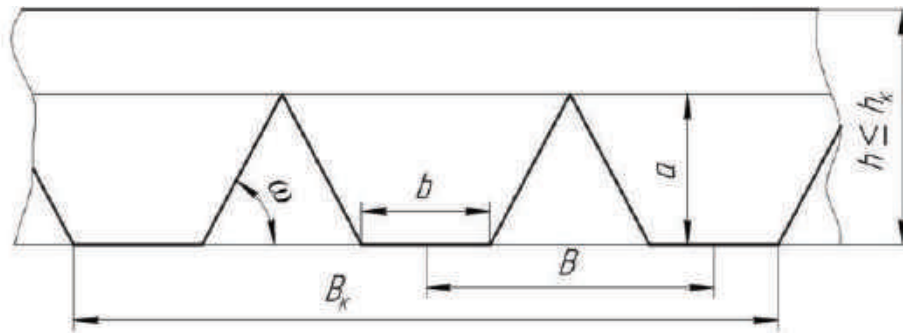


Рис. 4. Схема для определения высоты гребней между чизельными рабочими органами

Зависимость ширины междуследья от высоты гребней представлена на графике (рис. 5).

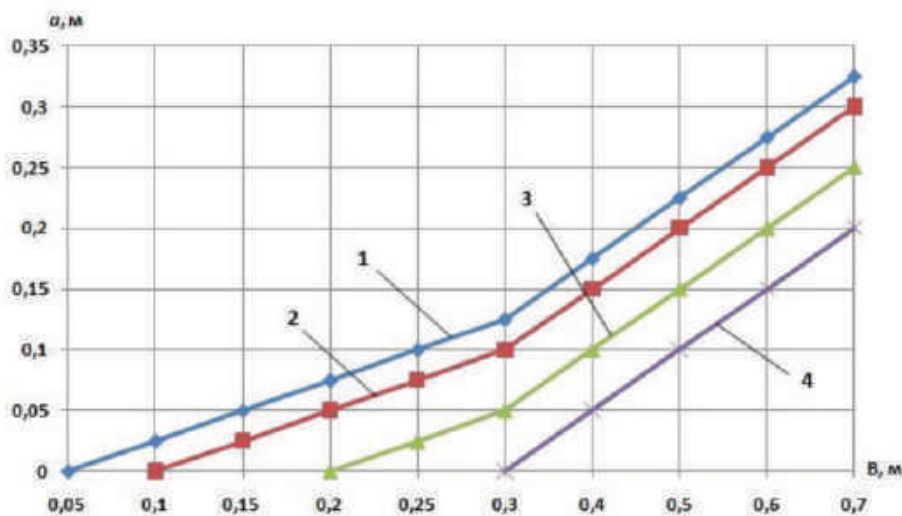


Рис. 5. График зависимости высоты гребней  $a$  от ширины междуследья рыхлительных рабочих органов  $B$  и ширины долота  $b$ : 0,05 м (1); 0,1 м (2); 0,2 м (3); 0,3 м (4)

Из графика (рис. 5) видно, что при глубине обработки 0,4 м, высоте гребня 0,2 м и ширине долотьев от 0,05 до 0,3 м ширина междуследья должна составлять 0,45–0,7 м.

#### Обоснование ширины боковых ножей

Обоснование ширины боковых ножей 1, установленных на стойке 2, проведем в соответствии со схемой (рис. 6).

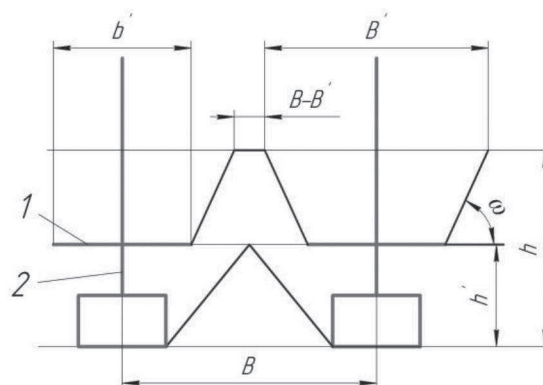


Рис. 6. Расчетная схема для определения ширины боковых ножей: 1 – боковой нож; 2 – стойка

На основании схемы (рис. 6) ширину междуследья  $B$  можно определить по формуле

$$B = (B - B') + b' + 2(h - h')\operatorname{tg}\omega, \quad (3)$$

где  $b'$  – ширина захвата боковых ножей, м;  $h'$  – высота установки боковых ножей на стойке рыхлительного рабочего органа, м;  $h$  – глубина обработки почвы, м;  $\omega$  – угол бокового сдвига почвы, град.

Из формулы (3) определим минимальную ширину боковых ножей, т.е. когда:

$$B - B' = 0. \quad (4)$$

Тогда

$$b' = 2(h - h')\operatorname{tg}\omega. \quad (5)$$

При глубине обработки  $h = 0,4$  м, высоте установки ножей на стойке  $h' = 0,2$  м (высота гребня) и  $\omega = 40^\circ$  ширина боковых ножей составит  $b' = 0,33$  м.

#### **Обоснование расстояния от боковых ножей до носка долота**

Расстояние боковых ножей до носка долота определим исходя из технологического процесса взаимодействия боковых ножей с почвой в продольной плоскости. Здесь для снижения энергоемкости процесса необходимо минимизировать наложение зон деформации пласта долотом и боковыми ножами друг на друга.

Данное условие будет обеспечено, если носок долота  $1$  и пересечение линии  $2$  скола почвенного пласта с поверхностью почвы боковыми ножами  $3$  будут лежать на одной линии  $4$  по вертикали (рис. 7).

Для обеспечения описанных выше условий расстояние от бокового ножа до носка долота  $L$  можно определить из выражения:

$$L = 2(h - h')\operatorname{tg}\omega, \quad (6)$$

где  $h$  – глубина обработки, м;  $h'$  – высота установки боковых ножей, м;  $\omega$  – угол бокового сдвига почвы, град.

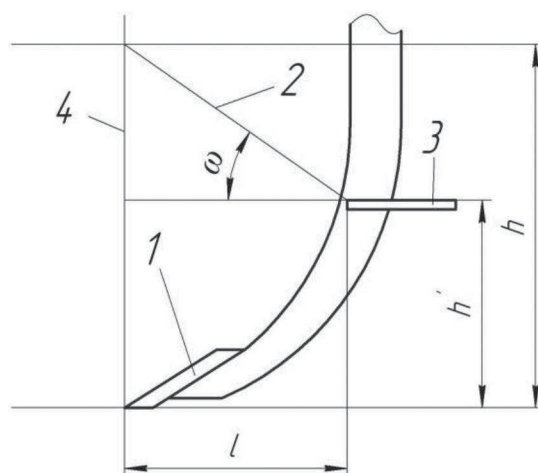


Рис. 7. Расчетная схема для определения расстояния от боковых ножей до носка долота:  $1$  – долото;  $2$  – линия скола почвенного пласта;  $3$  – боковой нож;  $4$  – линия по вертикали

При глубине обработки  $h = 0,4$  м, высоте установки боковых ножей  $h' = 0,2$  м и угле  $\omega = 40^\circ$  расстояние от боковых ножей до носка долота будет равно  $L = 0,168$  м.

### Обоснование угла установки долота к дну борозды и длины долота

На долоте рыхлительного рабочего органа, как известно, преобладает деформация сжатия, при достижении определенной величины которой происходит сдвиг (скол) слоя почвы, который, поднимаясь по рабочему органу, подвергается дополнительному крошению. В некоторых случаях подпор пласта может оказаться недостаточным для подъема по рабочему органу, поэтому почва начинает сгруживаться перед ним, образуя так называемые застойные зоны (призмы волочения). В результате этого пласт движется не по рабочему органу, а по почве застойной зоны, что обуславливает дополнительное сопротивление, приводящее к увеличению энергозатрат на перемещение рыхлительного рабочего органа. Чтобы сгруживания не возникало, подпор пласта должен быть достаточным, т.е. необходимо, чтобы давление почвы при движении по рабочему органу создавалось большее, чем сопротивление сжатия  $\delta$ .

Условие, при котором не возникает сгруживание почвы перед рабочим органом, можно представить в виде неравенства [7]:

$$\delta \geq \frac{v^2 \gamma \left[ \frac{\sin(\beta + \varphi + \rho)}{2} - \sin^2 \left( \frac{\beta + \varphi + \rho}{2} \right) \right] \text{ctg}(\beta + \varphi) + l g \gamma}{\sin \left( \frac{\beta + \varphi + 3\rho}{2} \right) + \cos \left( \frac{\beta + \varphi + 3\rho}{2} \right) \text{ctg}(\beta + \varphi)}, \quad (7)$$

где  $v$  – агротехническая скорость, м/с;  $\gamma$  – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>;  $\beta$  – угол установки долота к дну борозды (угол крошения), град;  $\varphi$  – угол трения почвы о сталь (угол внешнего трения), град;  $\rho$  – угол трения почвы о почву (угол внутреннего трения), град;  $l$  – длина долота, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Из выражения (7) следует, что вероятность возникновения сгруживания почвы перед рабочим органом возникает с увеличением длины долота, плотности почвы, скорости движения агрегата и зависит от физико-механических свойств почвы и угла крошения, но не зависит от поперечного сечения пласта.

С помощью формулы (7) установим зависимости сопротивления сжатия  $\delta$  от угла крошения  $\beta$  и длины долота  $l$  и представим в виде графика (рис. 8).

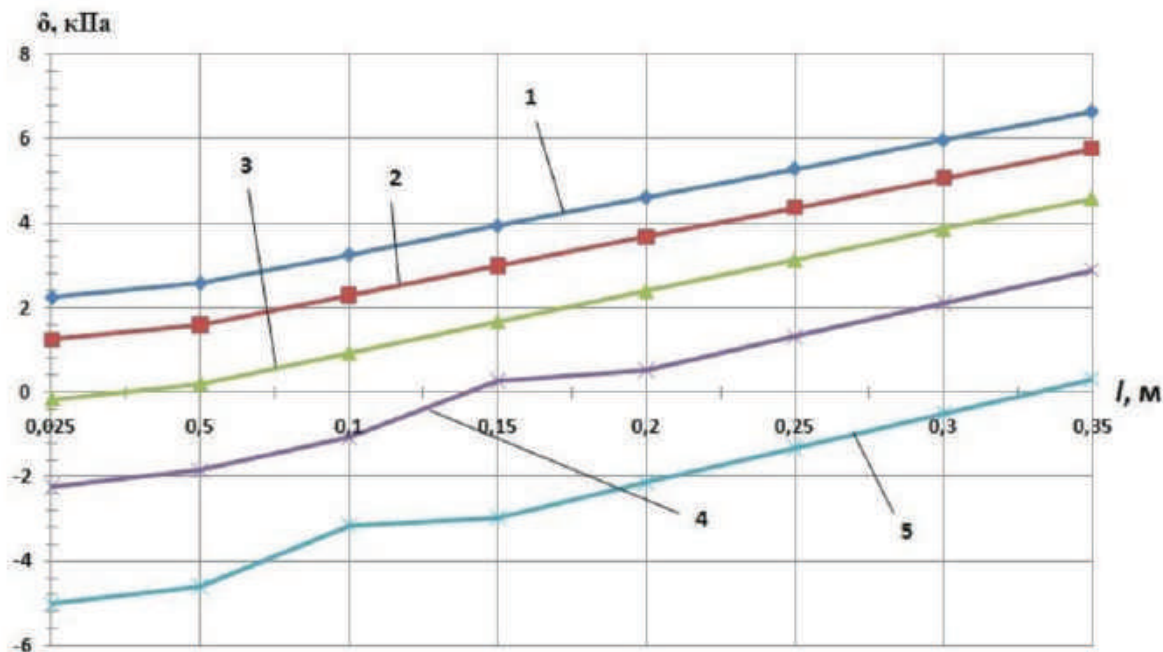


Рис. 8. График зависимости сопротивления сжатия  $\delta$  от длины долота  $l$  при угле крошения  $\beta$ :  $\beta = 10^\circ$  (1);  $\beta = 15^\circ$  (2);  $\beta = 20^\circ$  (3);  $\beta = 25^\circ$  (4);  $\beta = 30^\circ$  (5)

Для дерново-подзолистых суглинистых сухих почв  $\delta = 3$  кПа [8, 9]. Из анализа полученных кривых (рис. 8) следует, что при изменении  $\beta$  от  $10$  до  $35^\circ$  и  $l$  от  $0,025$  до  $0,35$  м  $\delta$  начинает резко возрастать уже при  $\beta = 20^\circ$ , поэтому долото должно располагаться под углом к дну борозды (угол крошения)  $\beta = 15\text{--}20^\circ$  и иметь длину  $l = 0,16\text{--}0,25$  м.

#### **Обоснование расстояния между рабочими органами в продольном направлении**

Расстояние между рыхлительными рабочими органами в продольном направлении  $l$  определим с учетом деформации пласта почвы в продольном направлении (рис. 9).

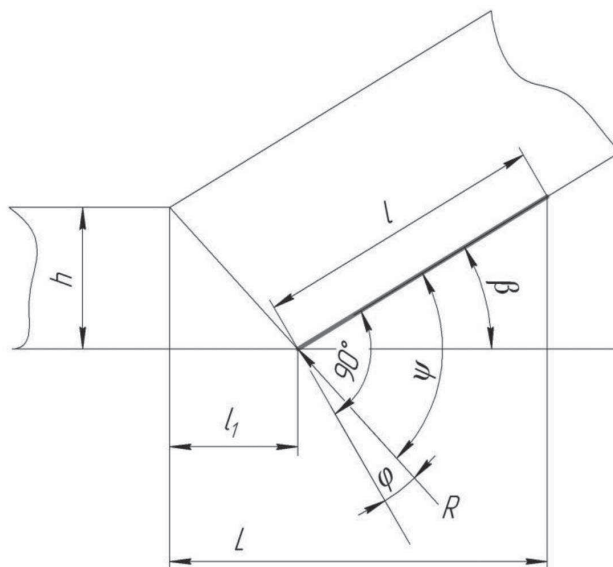


Рис. 9. Расчетная схема для определения расстояния между рабочими органами:  $R$  – равнодействующая элементарных переменных сил сопротивления почвы и сил трения по рабочей поверхности долота

Из схемы (рис. 9) видно, что расстояние между рабочими органами  $L$  равно:

$$L = l_1 + l \cos \beta, \quad (8)$$

где  $l_1$  – расстояние, на которое разрушается почва перед долотом, м;  $l$  – длина долота, м;  $l = 0,16\text{--}0,25$  м;  $\beta$  – угол крошения, град.

Исходя из условия распространения зон деформации почвы определим расстояние, на которое разрушается почва перед долотом:

$$l_1 = h \cdot \operatorname{ctg}(\psi), \quad (9)$$

где  $h$  – глубина рыхления, м;  $\psi$  – угол скола (сдвига), град.

Тогда

$$\psi = 90^\circ - (\beta + \varphi), \quad (10)$$

где  $\beta$  – угол установки долота к дну борозды (угол крошения), град.,  $\beta = 15\text{--}20^\circ$ ;  $\varphi$  – угол трения почвы о сталь (угол внешнего трения), град.,  $\varphi = 26^\circ$  [4].

Подставив выражение (9) и (10) в (8), получим:

$$L = h \operatorname{ctg}[90^\circ - (\beta + \varphi)] + l \cos \beta. \quad (11)$$

С помощью полученной формулы (11) определяется расстояние между рабочими органами в продольном направлении. С учетом полученных данных по выбору угла  $\beta$  и длины долота  $l$ , для глубины рыхления  $h = 0,4$  м  $L$  составляет  $0,56\text{--}0,61$  м.

## Закключение

В результате проведения теоретических исследований по обоснованию параметров рыхлительных рабочих органов установлено:

1. Рыхлительные рабочие органы чизельного типа, состоящие из стойки, наральника (долота) и боковых ножей, при рыхлении почвы на глубину 0,3–0,4 м с использованием сменных долотьев шириной захвата от 0,05 до 0,3 м должны устанавливаться на раме агрегата на расстоянии друг от друга в поперечном направлении (ширина междуследья), равном 0,45–0,7 м. При этом высота внутрипочвенных гребней будет составлять 0,2 м.

2. Ширина захвата боковых ножей при глубине рыхления 0,4 м и высоте установки ножей на стойке 0,2 м (высота гребней) должна составлять 0,33 м. Расстояние от рабочих кромок боковых ножей до носка долота должно быть 0,168 м, а расстояние между рыхлительными рабочими органами в продольном направлении должно быть 0,56–0,61 м. Такие параметры исключат наложение зон деформации пласта рабочими элементами рыхлительных рабочих органов и обеспечат минимальную энергоёмкость процесса.

3. Угол установки долота ко дну борозды (угол крошения) должен быть 15–20°, а длина долота должна составлять 0,16–0,25 м. При таком угле крошения и длине долота исключается сгуживание почвы, т.к. давление почвы при движении по рабочему органу будет больше, чем сопротивление сжатия.

## Список использованных источников

1. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию способа и агрегата для основной обработки почвы склоновых земель (в условиях Республики Беларусь) / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Зубенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 131–137.
2. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат для формирования влагоберегающего, влагонакопительного слоя почвы на склоновых землях: пат. 12875 ВУ, МПК А01В 49/02 / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20210266 ; заявл. 29.09.2021 ; опубл. 30.04.2022.
3. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию типа рыхлительных рабочих органов почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 138–147.
4. Окас Котаберген. Разработка навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5 : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Окас Котаберген. – Саратов, 2017. – 145 л.
5. Жук, А. Ф. Рыхление почвы чизельными долотами и щелерезами./ А. Ф. Жук // Техника в сельском хозяйстве.– 2006. – № 3. – С. 21–25.
6. Кострицын, А. К. Об угле сдвига почвы рабочими органами почвообрабатывающих орудий /А. К. Кострицын // Сб. научн. тр. ВИМ. – М., 1983. – Т. 96. – С. 102–108.
7. Щиров, В. Н. Определение параметров глубокорыхлителей для обработки почвы в засушливых условиях / В. Н. Щиров, Г. Г. Пархоменко // Вестник аграрной науки Дона. – 2012. – № 4. – С. 17–22.
8. Вагин, А. Т. К вопросу обоснования параметров рабочих органов для основной обработки почв / А. Т. Вагин // Вопросы сельскохозяйственной механики: Труды ЦНИИМЭСХ Нечерноземной зоны СССР. – Минск, 1967. – Т. 16. – С. 57–98.
9. Бахтин, П. У. Физико-механические и технологические свойства почв / П. У. Бахтин. – М. : Знание, 1971. – 64 с.