

Список использованных источников

1. Лепёшкин, Н. Д. К обоснованию способа и агрегата для основной обработки почвы склоновых земель (в условиях Республики Беларусь) / Н. Д. Лепёшкин, 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 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. Лепешкин, Н. Д. Требования к рабочим органам агрегата для основной обработки склоновых земель и выбор их типа / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, А. И. Филиппов // Современные технологии сельскохозяйственного производства : сб. научн. ст. по материалам XXV Междунар. научн.-практ. конф. (Гродно, 23 марта 2022 г.) – Гродно: ГГАУ, 2022 – С. 89–91.
4. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию типа дискового рабочего органа почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях / Н. Д. Лепешкин // 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. 148–157.
5. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины : Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н. И. Кленин, В. А. Сакун. – 2-е издание, перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. – 671 с.
6. Обоснование типа и параметров заделывающих рабочих органов и конструктивной схемы сеялки зернотукотравяной 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.

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 ПАРАМЕТРОВ ПРИКАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ К ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕМУ АГРЕГАТУ ДЛЯ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ И ВЛАГОЗАДЕРЖАНИЯ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

Аннотация. В статье представлены результаты теоретических исследований по обоснованию основных параметров опорно-прикатывающего и мульчирующего катков, входящих в состав почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях.

Ключевые слова: опорно-прикатывающий каток, мульчирующий каток, параметры, диаметр катка, зуб катка, планка катка, уплотнение почвы.

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 PARAMETERS OF THE PACKING WORKING BODIES TO THE SOIL TREATMENT UNIT FOR MOISTURE ACCUMULATION AND MOISTURE RETENTION ON SLOPE LANDS

Abstract. The article presents the results of theoretical studies to substantiate the main parameters of the support and mulching rollers included in the tillage unit for moisture accumulation and moisture retention on sloping lands.

Key words: backhoe roller, mulching roller, parameters, roller diameter, roller tooth, roller bar, soil compaction.

Введение

На основании ранее проведенных исследований [1, 2] установлено, что агрегат для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях с целью окончательного формирования влагонакопительного и влагозадерживающего слоя почвы наряду с дисковыми и рыхлительными рабочими органами должен содержать и прикатывающие рабочие органы, которые должны быть выполнены в виде блока прикатывающих катков и содержать последовательно установленные опорно-прикатывающий и мульчирующий катки. При этом опорно-прикатывающий каток должен быть кольчатого типа и состоять из полого цилиндра, на наружной поверхности которого должны равномерно располагаться зубчатые кольца. Мульчирующий каток должен быть планчатого типа и состоять из дисков, на наружной поверхности которых приварены планки, при этом планки должны быть наклонены к горизонту в поперечном направлении. Такое техническое решение позволит восстановить взрыхленную рыхлительными рабочими органами почву до оптимальной плотности, раздробить комья, выровнять поверхность почвы и окончательно сформировать на поверхности мульчирующий слой почвы и растительных остатков, причем предлагаемые катки должны работать без забивания и проскальзывания.

Обеспечить предъявляемые к каткам требования возможно только путем обоснованного определения его параметров, которое должно производиться на первом этапе теоретически, а затем окончательно приниматься после проведения экспериментальной проверки.

Цель статьи – теоретическое обоснование основных параметров прикатывающих рабочих органов к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях.

Основная часть

Общим основным параметром как опорно-прикатывающего, так и мульчирующего катков является их диаметр. Наряду с этим основными параметрами мульчирующего катка планчатого типа с наклонными к горизонту в поперечном направлении планками являются расстояние между планками, количество планок и угол наклона планок, а опорно-прикатывающего катка кольчатого типа с зубчатыми кольцами – количество зубьев на кольцах и расстояние между кольцами.

Обоснование диаметра опорно-прикатывающего и мульчирующего катков

Для эффективной работы прикатывающих катков необходимо, чтобы соблюдалось условие защемления почвенного комка 1 между поверхностью катка 2 и поверхностью почвы (рис. 1).

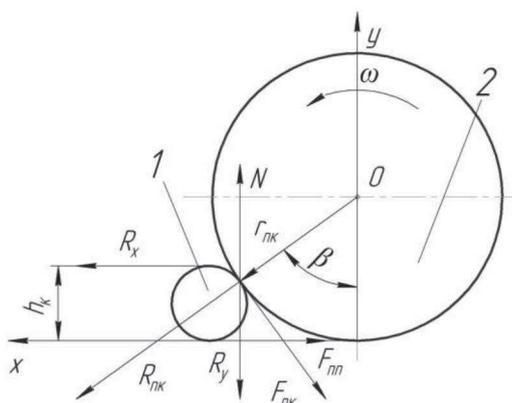


Рис. 1 Схема взаимодействия почвенного комка с прикатывающим катком:
 1 – почвенный комок; 2 – прикатывающий каток

Рассматриваемое условие имеет следующий вид, [3]:

$$R_x \leq F_{пн} + F_{пк} \cos \beta, \quad (1)$$

где R_x – горизонтальная составляющая силы давления прикатывающего катка на почвенный комок, Н; F_{mn} – сила трения между прикатывающим катком и поверхностью почвы, Н; $F_{нк}$ – сила трения между прикатывающим катком и комком почвы, Н; β – угол между направлением реакции комка почвы $R_{нк}$ и осью Oy , град.

Отдельные составляющие неравенства (1) определяются по выражениям:

$$R_x = R_{нк} \sin \beta; \quad (2)$$

$$F_{mn} = N \operatorname{tg} \varphi_{mn}; \quad (3)$$

$$F_{нк} = R_{нк} \operatorname{tg} \varphi_{нк}, \quad (4)$$

где $R_{нк}$ – результирующая сила действующая на комок от воздействия прикатывающего катка, Н; N – сила реакции комка почвы, Н; φ_{mn} – угол трения комка с почвой, град; $\varphi_{нк}$ – угол трения комка с поверхностью прикатывающего катка, град.

С учетом зависимостей (2) – (4) выражение (1) примет вид:

$$R_{нк} \sin \beta \leq R_{нк} (\operatorname{tg} \varphi_{mn} \cos \beta + \operatorname{tg} \varphi_{нк} \sin \beta \operatorname{tg} \varphi_{mn} + \operatorname{tg} \varphi_{нк} \cos \beta). \quad (5)$$

Отсюда

$$\operatorname{tg} \beta \leq \operatorname{tg} (\varphi_{mn} + \varphi_{нк}). \quad (6)$$

Из неравенства (6) следует, что почвенный комок не будет протаскиваться по поверхности поля, а будет разрушен при условии

$$\beta \leq \varphi_{mn} + \varphi_{нк}. \quad (7)$$

Из рис. 1 следует, что:

$$\cos \beta = \frac{r_{нк} - h_{к}}{r_{нк}} = 1 - \frac{h_{к}}{r_{нк}}, \quad (8)$$

где $r_{нк}$ – радиус прикатывающего катка, м; $h_{к}$ – высота почвенного комка, м.

Значение $\operatorname{tg} \beta$ с учетом (8) определим по выражению:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sqrt{r_{нк}^2 - (r_{нк} - h_{к})^2}}{r_{нк} - h_{к}}. \quad (9)$$

Приравнивая выражения (6) и (9), получаем:

$$\operatorname{tg} (\varphi_{mn} + \varphi_{нк}) = \frac{\sqrt{r_{нк}^2 - (r_{нк} - h_{к})^2}}{r_{нк} - h_{к}}. \quad (10)$$

После преобразования из выражения (10) получим зависимости радиуса прикатывающего катка от характеристик почвенного комка:

$$r_{нк} \geq \frac{1 + \operatorname{tg}^2 (\varphi_{mn} + \varphi_{нк})}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 (\varphi_{mn} + \varphi_{нк})} - 1} h_{к}. \quad (11)$$

Для расчетов по формуле (11) примем следующие исходные данные:

- угол внутреннего трения почвы $\varphi_{mn} = 52^\circ$;
- угол трения почвы о материал $\varphi_{нк} = 20-26^\circ$;
- высота почвенного комка $h_{к} = 0,01-0,1$ м;
- влажность почвы 16–18 %.

Результаты расчетов представлены графически на рис. 2.

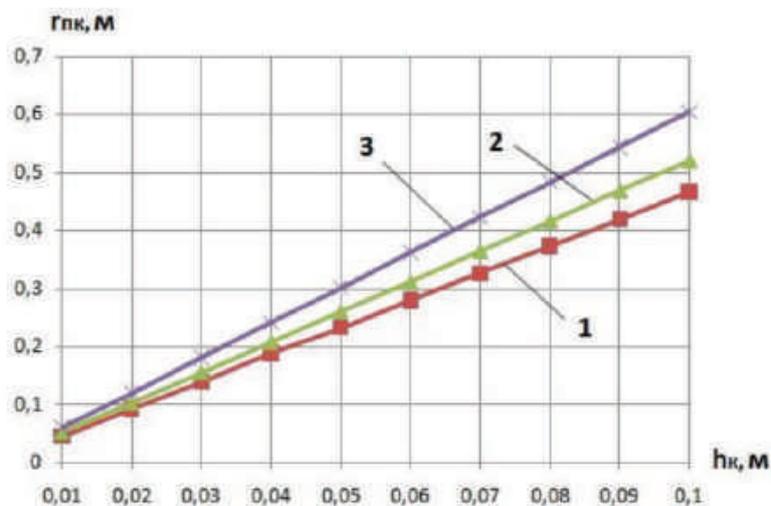


Рис. 2. График зависимости радиуса прикатывающего катка $r_{нк}$ от высоты почвенных комков h_k при различных углах трения $\varphi_{нк}$ почвы о сталь: 20° (1); 23° (2); 26° (3)

Анализ графиков на рис. 2 показывает, что рациональное значение диаметра опорно-прикатывающего катка, установленного сразу за рыхлительными рабочими органами, где могут присутствовать крупные комки (от 0,05 до 0,1 м), составляет 0,6 м, а мульчирующего катка, установленного за опорно-прикатывающим, где в основном присутствуют комки до 0,03 м, составляет 0,35 м.

Обоснование расстояния между планками и количеством планок мульчирующего катка

При работе мульчирующего катка планки 1 (рис. 3), имеющие прямоугольное сечение и закрепленные на кольцах 2, внедряются в почву.

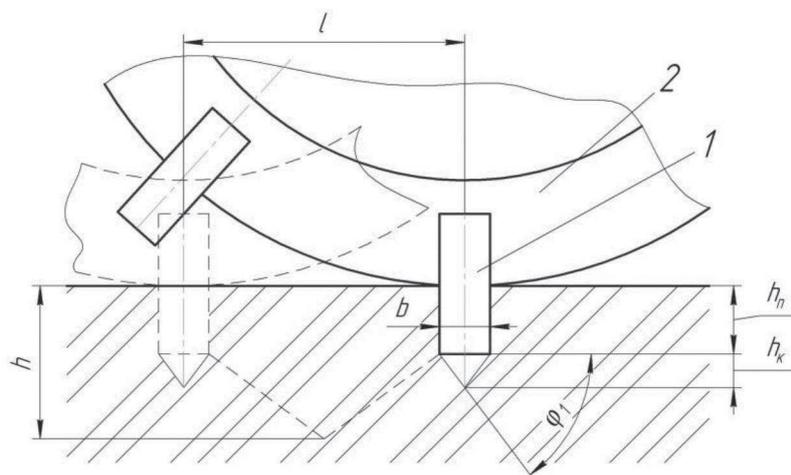


Рис. 3. Схема взаимодействия планок мульчирующего катка с почвой: 1 – планка; 2 – кольцо

При этом под планкой образуется почвенный клин, высоту h_k которого можно определить по формуле:

$$h_k = \frac{b}{2} \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (12)$$

где b – ширина планки, м; φ_1 – угол внутреннего трения почвы, град.

После того как клин сформирован, дальнейшее заглубление планки будет влиять только на глубину распространения уплотнения, а плотность почвы увеличиваться не будет [4]. Поэтому для

достижения максимального значения плотности планку необходимо заглубить в почву на высоту h_n , равную высоте клина h_k .

При дальнейшем движении клина и внедрении в почву второй планки между ними также образуются уплотненные зоны, глубину пересечения которых h определяем по формуле:

$$h = \frac{b}{2} \operatorname{tg} \varphi_1 + \left(\frac{l}{1} - \frac{b}{2} \right) \operatorname{ctg} \varphi_1. \quad (13)$$

или

$$l = \frac{2h_1 - b \operatorname{tg} \varphi_1 + b \operatorname{ctg} \varphi_1}{\operatorname{ctg} \varphi_1}, \quad (14)$$

где l – расстояние между планками, м.

Задав ширину планки $b = 0,015$ м и углом трения φ_1 , значение которого в зависимости от типа почвы изменяется в пределах от 38° до 50° , определим расстояние между планками l .

Результаты расчетов представлены графически (рис. 4).

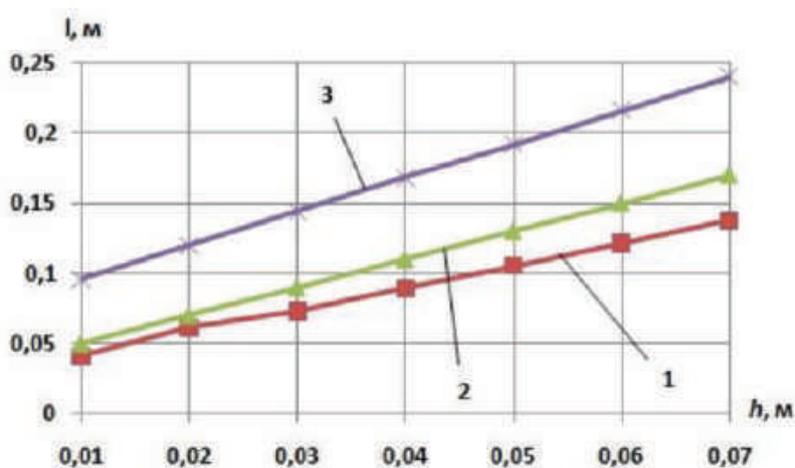


Рис. 4. Зависимость расстояния между планками l в зависимости от глубины уплотнения h при разных углах φ_1 : 38° (1); 45° (2); 50° (3)

С учетом того, что при подготовке почвы под посев зерновых культур максимальная глубина расположения подуплотненного слоя должна составлять 0,05 м, расстояние между планками (при $\varphi_1 = 45^\circ$ – средний суглинок) будет составлять 0,13 м (рис. 4).

Количество планок n определим по формуле

$$n = \frac{\pi D_m}{l}, \quad (15)$$

где D_m – диаметр катка, м.

Тогда, с учетом, что $D_m = 0,35$ м, $n = 8,45$ шт., округлим n до целого числа и примем $n = 8$ шт. С учетом округления $l = 0,1374$ м.

Обоснование угла наклона планок мульчирующего катка

При работе мульчирующего катка его планки l , которые имеют наклон в поперечной плоскости относительно его оси 2 (рис. 5), производят смещение в поперечно-продольном направлении почвы гребней и других неровностей, образовавшихся после прохода предшествующих рабочих органов, что способствует повышению качества выравнивания. Однако такой каток при смещении почвы наклонными планками может образовывать и свои гребни, высота которых будет зависеть от угла наклона планок к его оси.

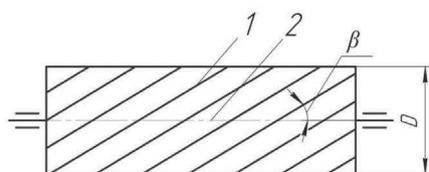


Рис. 5. Схема к определению угла наклона планки: 1 – планка; 2 – ось катка

Угол наклона планок 1 (рис.5) к оси 2 определим из выражения [5]:

$$\beta = \text{arcctg}\left(\frac{2\sqrt{hD - h^2}}{l}\right), \quad (16)$$

где h – высота гребнистости почвы, м; D – диаметр катка, м; l – расстояние между соседними планками вдоль образующей, описывающей нижние концы планок, м.

Расчет угла β в зависимости от гребнистости почвы h , полученной после прохода катка, представлен графически (рис. 6).

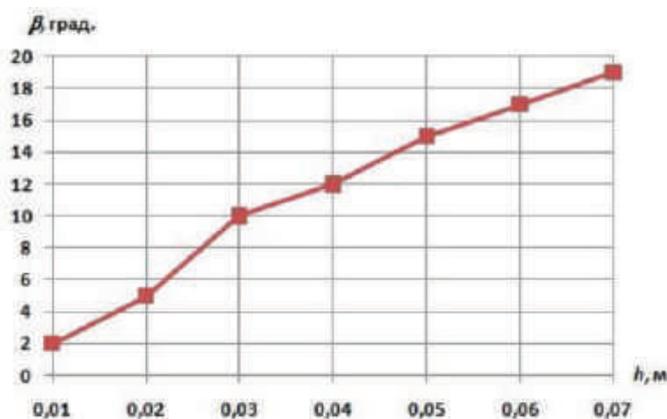


Рис. 6. График зависимости угла β от высоты гребней h

Из расчета видно, что с увеличением угла β увеличивается и гребнистость h , но т.к. в соответствии с агротребованиями при подготовке почвы под посев зерновых гребнистость почвы не должна превышать 0,04 м, то угол наклона β можно принять 12° .

Обоснование количества зубьев на кольцах и расстояния между кольцами опорно-прикатывающего катка

При работе опорно-прикатывающего катка (рис. 7) его кольца 1, выполненные в виде зубьев и закрепленные на барабане 2, должны подуплотнять пахотный слой на глубину h .

Поскольку глубина h больше глубины мульчирующего слоя ($h = 0,05$ м), а максимальная плотность почвы от внедрения зуба достигается после его полного внедрения в почву, то высоту зуба b примем равной высоте h_1 , т.е. $b = h_1$.

При движении катка и внедрении в почву его зубьев между ними (рис. 7, б) образуются уплотненные зоны, глубину пересечения которых h можно определить по формуле

$$h = h_1 + \frac{l}{2} \text{tg}\varphi_1. \quad (17)$$

или

$$l = \frac{2(h - h_1)}{\text{tg}\varphi_1}, \quad (18)$$

где l – расстояние между вершинами зубьев, м; φ_1 – угол внутреннего трения почвы, град.

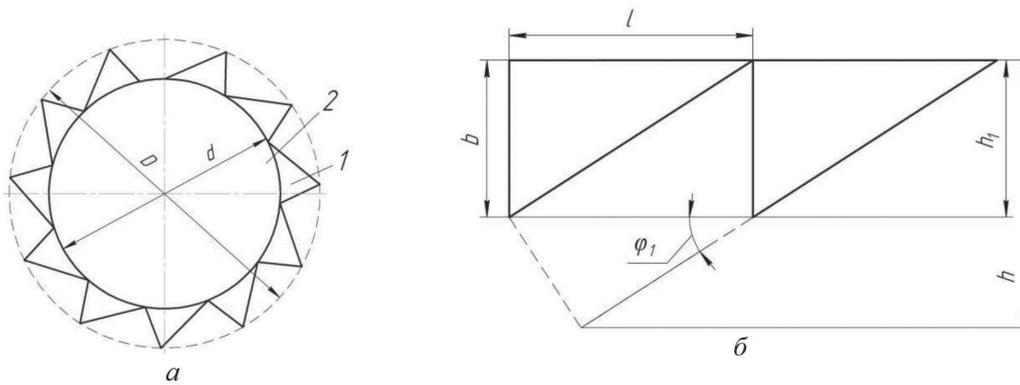


Рис. 7. Схемы к определению количества зубьев на кольцах опорно-прикатывающего катка:
a – каток (вид сбоку); *б* – схема взаимодействия зубьев катка с почвой в продольном направлении

Задавшись углом трения $\varphi_1 = 45^\circ$ (суглинистые почвы) и глубиной мульчирующего слоя h_1 , которая в зависимости от возделываемой культуры изменяется в пределах от 0,01 м (трава) до 0,06 м (зернобобовые), определим зависимость глубины уплотнения h от расстояния между зубьями l .

Результаты расчета представим в виде графика (рис. 8).

С учетом того, что глубина корнеобитаемого слоя зерновых культур составляет около 0,12 м, принимаем $h = 0,12$ м. Тогда расстояние между зубьями (при $\varphi_1 = 45^\circ$ и $h_1 = 0,05$ м) составляет $l = 0,14$ м (рис. 8).

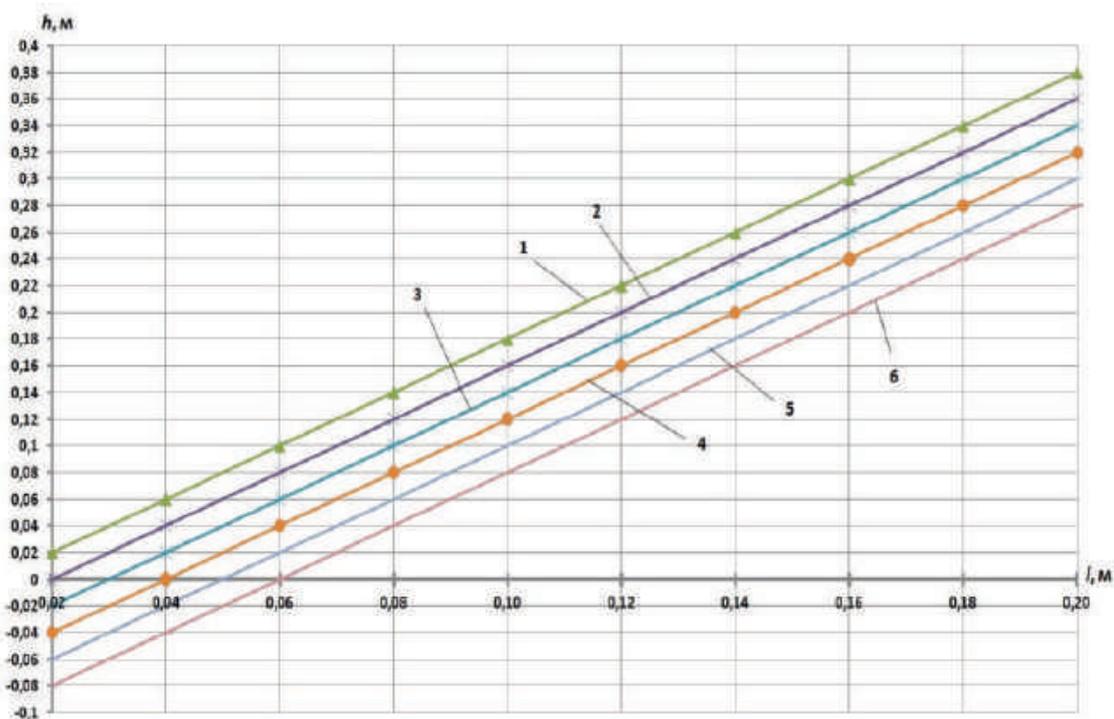


Рис. 8. Зависимость расстояния между зубьями l от глубины уплотнения h при различной глубине мульчирующего слоя h_1 : 0,01 (1); 0,02 (2); 0,03 (3); 0,04 (4); 0,05 (5); 0,06 (6)

Количество зубьев n определим по формуле:

$$n = \frac{\pi D}{l}, \quad (19)$$

где D – диаметр катка по наружным концам зубьев, м.

С учетом, что $D = 0,6$ м, количество зубьев $n = 13,46$ шт. Округлим n до целого числа и примем $n = 13$ шт. С учетом округления $l = 0,1449$. При этом диаметр барабана d , когда $b = h_1$ будет равен:

$$d = D - 2h_1. \quad (20)$$

Подставляя численные значения в формулу (20), получаем $d = 0,5$ м.

Расстояние между кольцами катка определим с учетом пересечения уплотненных зон в поперечном направлении (рис. 9), глубину которых h и далее расстояние L можно определить по формулам

$$h = h_1 + \left(\frac{L}{2} + \frac{B}{2}\right)tg\varphi_1, \quad (21)$$

$$L = \frac{2(h - h_1) + Btg\varphi_1}{tg\varphi_1}. \quad (22)$$

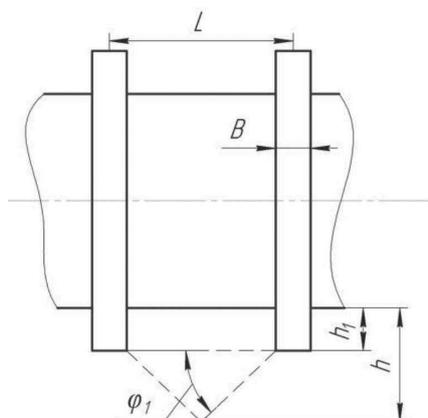


Рис. 9. Схема взаимодействия колец катка с почвой в поперечном направлении

Приняв из технологических и прочностных условий $B = 0,01$ м (при $\varphi_1 = 45^\circ$, $h_1 = 0,05$ м, $h = 0,12$ м), расстояние между кольцами $L = 0,15$ м.

Заключение

1. Опорно-прикатывающий каток кольчатого типа, состоящий из полого цилиндра (барабана), на наружной поверхности которого установлены зубчатые кольца, должен иметь диаметр по наружным кромкам зубьев 0,6 м, диаметр барабана – 0,5 м, ширину зуба 0,01 м, количество зубьев на кольце – 13 шт., расстояние между кольцами на барабане – 0,15 м. При этом глубина уплотнения катком составит 0,12 м.

2. Мульчирующий каток, состоящий из наклонных к горизонту планок, должен иметь диаметр по концам планок 0,35 м, ширину планок 0,015 м, количество планок – 8 шт., угол наклона планок к горизонту – 12° . При проходе такого катка будет обеспечено сплошное уплотнение почвы, разрушены комья диаметром более 0,03 м, а гребнистость поверхности поля будет не более 0,04 м.

3. Для уточнения и окончательного принятия решения по теоретически обоснованным параметрам целесообразно изготовить макетные образцы прикатывающих рабочих органов и провести экспериментальные исследования.

Список использованных источников

1. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию типа катковых рабочих органов почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях / Н. Д. Лепешкин, В. К. Клыбик, 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. 121–127.

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 зернотукотравяной 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