

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛНОТЫ РЫХЛЕНИЯ ЧИЗЕЛЬНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

**Н. Д. ЛЕПЕШКИН, В. В. МИЖУРИН**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: belagromechno@tut.by*

**А. И. ФИЛИППОВ**

*УО «Гродненский государственный аграрный университет»,  
г. Гродно, Республика Беларусь, e-mail: ggau@ggau.by*

**К. Л. ПУЗЕВИЧ**

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, e-mail: baa\_mgishp@mail.ru*

*(Поступила в редакцию 20.09.2022)*

*В статье приводится исследование влияния различных факторов на показатели полноты рыхления чизельными рабочими органами. Это связано с особенностью технологического процесса, выполняемого чизельными рабочими органами, которая заключается в том, что рыхление такими рабочими органами осуществляется с недорезом пласта по ширине захвата. В результате этого часть пласта остается неразрыхленной. Поэтому при создании современных отечественных агрегатов для безотвальной основной обработки почвы, в состав которых входят чизельные рабочие органы, очень важно, чтобы конструктор располагал материалами, которые позволяли бы им обоснованно подходить к проектированию данных агрегатов и их рабочих органов, в том числе и с учетом полноты рыхления. Хотя действующее в настоящее время в Республике Беларусь нормативные документы на разработку почвообрабатывающих машин и не содержат сведений о том, какой высоты должен быть гребень и какая площадь пласта может быть необработанной, но для расчетов в качестве оценочных критериев, которыми пользуются зарубежные исследователи, можно принять высоту гребня, которая не должна составлять 20 см и площадь обработанного пласта, которая должна быть не менее 60 %. При проектировании почвообрабатывающих агрегатов с чизельными рабочими органами необходимо учитывать влияние на полноту рыхления обрабатываемого ими пласта таких факторов, как ширина междуследья, глубина обработки почвы, ширина долота или лапы, угол бокового сдвига почвы, количество рабочих органов на агрегате. Установлено, что с увеличением ширины междуследья, угла бокового сдвига почвы, а также с уменьшением глубины обработки, ширины долота, количества рабочих органов на агрегате полнота рыхления уменьшается.*

**Ключевые слова:** *рабочие органы, чизельные, рыхление, культиватор, конструкции, агрегаты, материалы, проектирование, обработка почвы, безотвальная, график.*

*The article presents a study of the influence of various factors on the indicators of the completeness of loosening by chisel working bodies. This is due to the peculiarity of the technological process performed by chisel working bodies, which lies in the fact that loosening by such working bodies is carried out with an undercut of the formation along the width of the capture. As a result, part of the formation remains unbroken. Therefore, when creating modern domestic units for non-moldboard main tillage, which include chisel working bodies, it is very important that the designer has materials that would allow them to reasonably approach the design of these units and their working bodies, including taking into account the completeness of loosening. Although the current regulatory documents for the development of tillage machines in the Republic of Belarus do not contain information about how high the ridge should be and what area of the layer may be uncultivated, but for calculations, as evaluation criteria used by foreign researchers, one can take the height of the crest, which should not be 20 cm, and the area of the treated formation, which should be at least 60%. When designing soil-cultivating units with chisel working bodies, it is necessary to take into account the influence on the completeness of loosening of the layer they process, of such factors as the width of the intertrack, the depth of tillage, the width of the chisel or paw, the angle of lateral shift of the soil, the number of working bodies on the unit. It has been established that with an increase in the width of the track spacing, the angle of lateral shear of the soil, as well as with a decrease in the depth of processing, the width of the bit, the number of working bodies on the unit, the completeness of loosening decreases.*

**Key words:** *working bodies, chisel, loosening, cultivator, structures, aggregates, materials, design, tillage, non-moldboard, schedule.*

### **Введение**

В последние годы в Республике Беларусь при проведении основной обработки почвы наряду с традиционной отвальной вспашкой широко начала использоваться и безотвальная обработка [1, 2]. Для технического обеспечения такой обработки на ряде заводов республики наряду с выпуском агрегатов отечественного производства осуществлено воспроизводство отдельных зарубежных агрегатов, в которых для рыхления почвы используются чизельные рабочие органы. Однако практика их использования показала, что в условиях Беларуси они не везде обеспечивают требуемую растениями

полноту рыхления. Это связано с особенностью технологического процесса выполняемого чизельными рабочими органами, которая заключается в том, что рыхление такими рабочими органами осуществляется с недорезом пласта по ширине захвата. В результате этого часть пласта остается неразрыхленной. Поэтому при создании современных отечественных агрегатов для безотвальной основной обработки почвы в состав которых входят чизельные рабочие органы очень важно чтобы конструктора располагали материалами, которые позволяли бы им обоснованно подходить к проектированию данных агрегатов и их рабочих органов, в том числе и с учетом полноты рыхления.

В связи с этим целью данной статьи является теоретическое исследование влияния различных факторов на показатели полноты рыхления чизельными рабочими органами.

### Основная часть

Известно, что при работе чизельного рабочего органа сечение разрыхленной им полосы расширяется снизу вверх за счет бокового сдвига пласта по углом  $\omega$  (рис. 1, а), который зависит от таких факторов, как механический состав почвы, влажность почвы и других факторов, и составляет для дерново-подзолистых почв  $40\text{--}60^\circ$ .

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.к. при рыхлении на глубину больше критической, сдвиг почвы прекращается, и нижняя часть разрыхленной площади имеет вид щели с вертикальными стенками (рис. 1, б).



Рис. 1. Сечение полос почвы, разрыхленных на глубину меньшую и превышающую критическую

Кроме этого, известно, что после предварительного рыхления верхнего слоя на глубину  $h_0$  (рис. 2) 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 полосы, глубина которой равна:

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

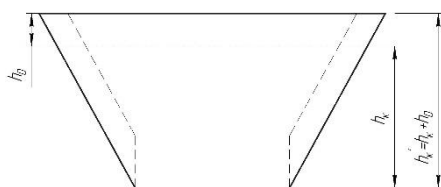


Рис. 2. Сечение полосы почвы с предварительным рыхлением верхнего слоя

При этом угол бокового сдвига  $\omega$  не изменяется [3, 4].

Так как в конструкции современных агрегатов перед их чизельными рабочими органами, как правило, устанавливают дисковые рабочие органы, которые производят предварительное рыхление верхнего слоя на глубину  $h_0$  равную 12 см и более, то критическая глубина рыхления для таких агрегатов увеличивается на  $h_0$  и будет составлять не 32–36 см, а 44–48 см [5, 8, 9, 10].

Поскольку максимальная глубина рыхления для чизельных агрегатов не превышает 40 см, то для дальнейших расчетов примем схему (рис. 3), где боковой сдвиг почвы не идет от дна борозды.

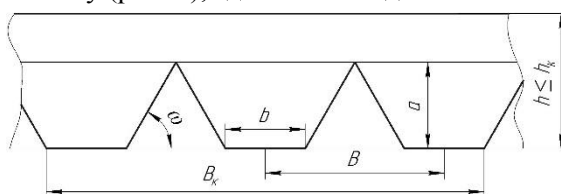


Рис. 3. Схема для определения высоты гребней между чизельными рабочими органами

Для оценки качества рыхления почвы чизельными рабочими органами будем использовать коэффициент полноты рыхления  $k$ , определяемый как отношение обработанной к общей площади, выраженное в процентах:

$$k = \frac{S}{S_{\Sigma}} \cdot 100 \% , \quad (2)$$

где  $S$  – площадь сечения взрыхленной части пласта в поперечном сечении,  $\text{м}^2$ ;  $S_{\Sigma}$  – общая площадь поперечного сечения пласта,  $\text{м}^2$ .

Площадь сечения взрыхленной части пласта  $S$  определим как:

$$S = S_{\Sigma} - S_1, \quad (3)$$

где  $S_1$  – площадь поперечного сечения неразрушенных гребней,  $\text{м}^2$ .

С учетом выражения (3) формула (2) примет вид:

$$k = \frac{S_{\Sigma} - S_1}{S_{\Sigma}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{S_1}{S_{\Sigma}}\right) \cdot 100 \% . \quad (4)$$

Площадь неразрушенных гребней определится по формуле:

$$S_1 = (n - 1)S_r = (n - 1) \frac{(B - b)^2}{4} \text{tg} \omega, \quad (5)$$

где  $n$  – число рабочих органов, шт.;  $S_r$  – площадь гребней,  $\text{м}^2$ ;  $B$  – расстояние между рабочими органами (ширина междуследья), м;  $b$  – ширина долота или лапы, м.

Далее определим площадь сечения пласта:

$$S_{\Sigma} = h \cdot B_k, \quad (6)$$

где  $h$  – глубина рыхления пласта, м;  $B_k$  – конструктивная ширина захвата, м.

С учетом того, что:

$$B_k = (n - 1) B + b. \quad (7)$$

Тогда общая площадь поперечного сечения составит:

$$S_{\Sigma} = [(n - 1) B + b] h. \quad (8)$$

Подставив полученные выражения (5) и (8) в формулу (4) получим:

$$k = 1 - \frac{(n - 1) \frac{(B - b)^2}{4} \text{tg} \omega}{[(n - 1) B + b] h} \cdot 100 \% . \quad (9)$$

Таким образом, полученное выражение (9) показывает связь между полнотой рыхления чизельными рабочими органами и влияющими на неё факторами, такими как ширина междуследья, глубина обработки, ширина долота или лапы, угол бокового сдвига почвы, количество рабочих органов на агрегате.

Исследуем влияние этих факторов на полноту рыхления путем изменения одного из них при неизменных остальных, а полученные зависимости отобразим на графиках.

На рис. 4 представлен график зависимости коэффициента полноты рыхления  $k$  от ширины междуследья  $B$  при  $b = 0,1$  м;  $n = 5$  шт.;  $\omega = 45^\circ$ ;  $h = 0,4$  м.

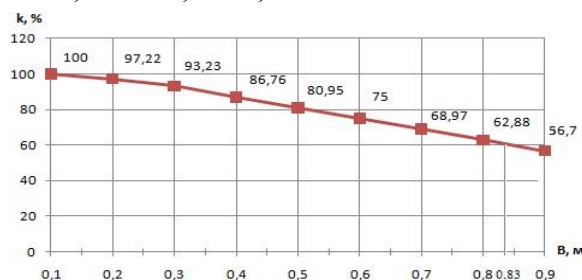


Рис. 4. График зависимости коэффициента полноты рыхления  $k$  от ширины междуследья  $B$

Из графика (рис. 4) видно, что при увеличении ширины междуследья  $B$  от 0,1 до 0,9 м коэффициент полноты рыхления уменьшается с 100 % до 56,7 %.

Зависимость коэффициента полноты рыхления  $k$  от ширины долота  $b$  и ширины междуследья

$V$  при  $n = 5$  шт.;  $\omega = 45^\circ$ ;  $h = 0,4$  м представлена на графике (рис. 5).

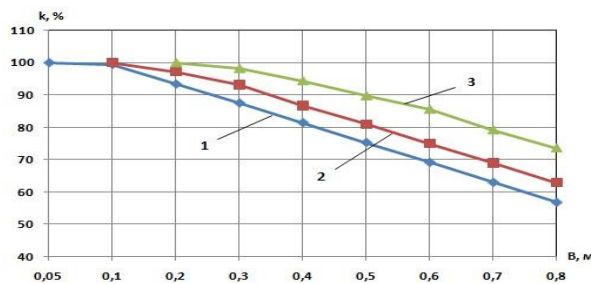


Рис. 5. График зависимости коэффициента полноты рыхления  $k$  от ширины междуследья  $V$  и ширины долота  $b$ :  
1)  $b = 0,05$  м; 2)  $b = 0,1$  м; 3)  $b = 0,2$  м

Из графика (рис. 5) видно, что при одних и тех же значениях ширины междуследья  $V$  с уменьшением ширины долота  $b$  полнота рыхления также уменьшается.

На графике (рис. 6) представлена зависимость коэффициента полноты рыхления  $k$  от ширины междуследья  $V$  и угла бокового сдвига почвы  $\omega$  при  $n = 5$  шт.;  $h = 0,4$  м;  $b = 0,1$  м.

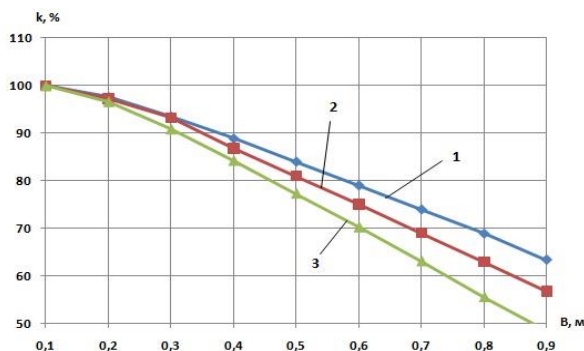


Рис. 6. График зависимости ширины междуследья  $V$  от коэффициента полноты рыхления  $k$  и угла бокового сдвига  $\omega$ :  
1)  $\omega = 40^\circ$ ; 2)  $\omega = 45^\circ$ ; 3)  $\omega = 60^\circ$

Из графика (рис. 6) видно, что при увеличении угла  $\omega$  от  $40^\circ$  до  $60^\circ$  ширина междуследья  $V$  при которой обеспечивается полнота рыхления 60 %, уменьшилась.

На графике (рис. 7) представлена зависимость коэффициента полноты рыхления  $k$  от ширины междуследья  $V$  и количества рабочих органов  $n$  при  $h = 0,4$  м,  $\omega = 45^\circ$ ,  $b = 0,1$  м.

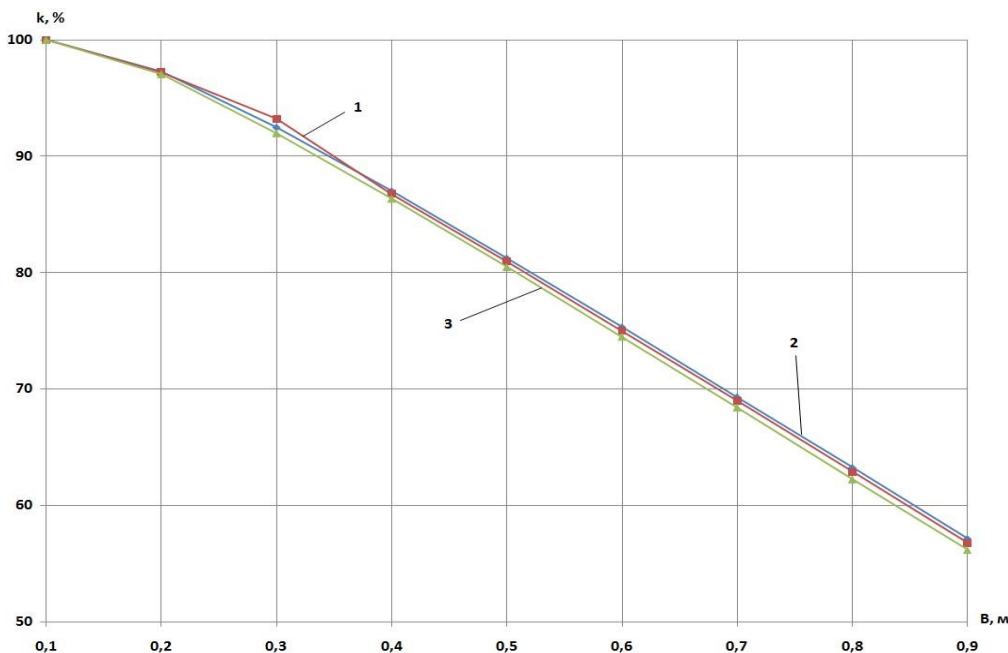


Рис. 7. График зависимости ширины междуследья  $V$  в зависимости от коэффициента полноты рыхления  $k$  и количества рабочих органов  $n$ : 1)  $n = 4$ ; 2)  $n = 5$ ; 3)  $n = 9$

Из графика (рис. 7) видно, что количество рабочих органов при одних и тех же значениях ширины

междуследья  $B$  не оказывает существенного влияния на полноту рыхления, хотя с увеличением количества рабочих органов полнота рыхления незначительно снижается.

На графике (рис. 8) представлено влияние на полноту рыхления глубины обработки  $h$ , при различных значениях ширины междуследья  $B$  и  $\omega = 45^\circ$ ;  $b = 0,1$  м;  $n = 5$  шт.

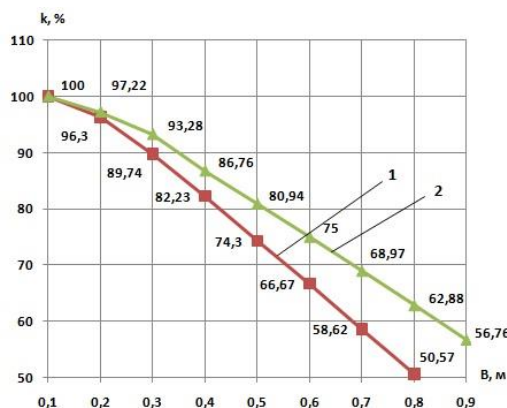


Рис. 8. График зависимости ширины междуследья  $B$  от коэффициента полноты рыхления  $k$  и глубины обработки  $h$ :  
1)  $h = 0,3$  м; 2)  $h = 0,4$  м

Из графика (рис. 8) видно, что глубина рыхления почвы  $h$  оказывает влияние на полноту рыхления при одних и тех же значениях ширины междуследья: чем больше глубина, тем лучше рыхление.

Наряду с коэффициентом полноты рыхления, особенно при проектировании почвообрабатывающих агрегатов для обработки склоновых земель, важное значение для предотвращения внутрисочечного стока воды имеет высота гребня, который образуется на дне борозды после прохода чизельных рабочих органов.

Высоту гребня  $a$  можно определить на основании схемы (рис. 3), которая будет равна:

$$a = \frac{B - b}{2} \cdot \operatorname{tg} \omega, \quad (10)$$

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

С учетом того, что ширина долота (лапы) в зависимости от условий может изменяться от 0,25 до 1,0 м, а рабочие органы комплектоваться набором сменных долотьев различной ширины, то расчет высоты гребня  $a$  проведем для долотьев шириной от 0,25 до 0,3 при  $h = 0,4$  м,  $\omega = 45^\circ$  и ширине междуследья изменяемой от 0,05 до 0,7 м.

Зависимость высоты гребня  $a$  от ширины долота  $b$  и ширины междуследья  $B$  представлена на графике (рис. 9).

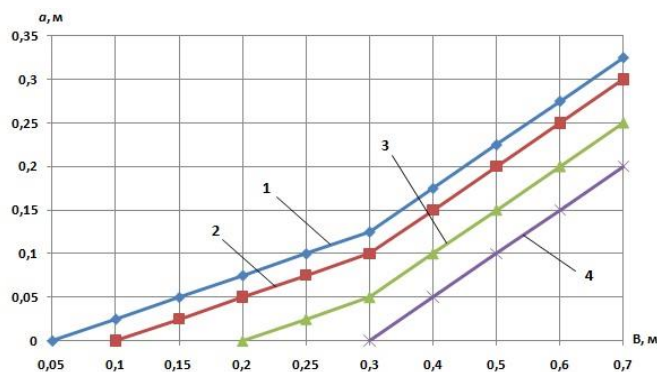


Рис. 9. График зависимости высоты гребней  $a$  от ширины междуследья рыхлительных рабочих органов  $B$  и ширины долота  $b$ : 1)  $b = 0,05$  м; 2)  $b = 0,1$  м; 3)  $b = 0,2$  м; 4)  $b = 0,3$  м

Из графика (рис. 9) следует, что с увеличением ширины долота высота гребня уменьшается, а с увеличением ширины междуследья, наоборот, увеличивается [11, 12, 13, 14].

### Заключение

Хотя действующие в настоящее время в Республике Беларусь нормативные документы на разработку почвообрабатывающих машин и не содержат сведений о том, какой высоты должен быть гребень и какая площадь пласта может быть необработанной, но для расчетов в качестве оценочных критериев, которыми пользуются зарубежные исследователи, можно принять высоту гребня, которая

не должна составлять 20 см и площадь обработанного пласта, которая должна быть не менее 60 % [6, 7, 15, 16].

При проектировании почвообрабатывающих агрегатов с чизельными рабочими органами необходимо учитывать влияние на полноту рыхления обрабатываемого ими пласта таких факторов, как ширина междуследья, глубина обработки почвы, ширина долота или лапы, угол бокового сдвига почвы, количество рабочих органов на агрегате.

Установлено, что с увеличением ширины междуследья, угла бокового сдвига почвы, а также с уменьшением глубины обработки, ширины долота, количества рабочих органов на агрегате полнота рыхления уменьшается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лепешкин, Н. Д. Адаптивные технологии и машины для почвозащитного земледелия в условиях Республики Беларусь / Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, В. В. Мижурин, А. Ф. Жук // Сельскохозяйственные машины и технологии – ВИМ – 2014 г. – № 4 – С. 43–47.
2. Лепешкин, Н. Д. Механизация почвозащитного земледелия / Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, А. Ф. Черныш // Наука и инновации. – 201. – № 10 (140) – С. 26–28.
3. Жук, А. Ф. Рыхление почвы чизельными долотами и щелерезами / А. Ф. Жук // Техника в сельском хозяйстве. – № 3. – 2006. – С. 21–25.
4. Кострицын, А. К. Об угле сдвига почвы рабочими органами почвообрабатывающих орудий: сб. научн. тр. ВИМ. – Т. 96 М. – 1983. – С. 102–108.
5. Лепешкин, Н. Д. Результаты испытаний агрегата безотвальной обработки почв АБТ-4 на суглистых почвах / Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, П. П. Костюков, И. С. Мстиславская // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47 – Т.1 – С. 56–62.
6. Щириков, В. Н. Определение параметров глубокорыхлителей для обработки почвы в засушливых условиях / В. Н. Щириков, Г. Г. Пархоменко // Вестник аграрной науки Дона. – № 4 (20). – 2012. – С. 17–22.
7. 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 с.
8. Филиппов, А. И. Прямой посев сельскохозяйственных культур в условиях республики Беларусь – ближайшая реальность / А. И. Филиппов, Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сборник научных трудов. – Гродно: ГГАУ, 2017. – Т. 38. – С. 245–251.
9. Филиппов, А. И. К вопросу защиты склоновых земель от водной эрозии / А. И. Филиппов, Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, Д. В. Заяц // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сборник научных трудов. – Гродно: ГГАУ, 2017. – Т. 38. – С. 251–257.
10. Лепешкин, Н. Д. Обзор зарубежных комбинированных агрегатов / Н. Д. Лепешкин, А. И. Филиппов, А. С. Добышев, К. Л. Пузевич // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии: материалы междунар. науч.-технич. конф. 19–21 окт. Минск, 2016 г. – В 2 т. – Т. 1. – С. 141–147.
11. Филиппов, А. И. Установка для исследования показателей качества и тягового сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов / А. И. Филиппов, Н. Д. Лепешкин, Н. С. Козлов // Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XX междунар. науч.-практ. конф. – Гродно: ГГАУ, 2017. – С. 258–260.
12. Лепешкин, Н. Д. Разработка оборотного 12-корпусного плуга для различных почв / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц, А. И. Филиппов. // Сборник научных статей по материалам XXIII Международной научно-практической конференции. – Гродно: ГГАУ, 2020. – С. 102–104.
13. Лепешкин, Н. Д. Перспективный плуг ПО-(8+4)-40 для тракторов мощностью 450 л.с. / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц, А. И. Филиппов, К. Л. Пузевич // Вестник Белорус. гос. с.-х. акад. № 1. г. Горки, 2021. – С. 167–171.
14. Лепешкин, Н. Д. Комбинированный почвообрабатывающе-посевной агрегат для высокопроизводительного посева зерновых и других культур / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц, А. И. Филиппов, К. Л. Пузевич // Вестник Белорус. гос. с.-х. акад. – № 3. г. – Горки, 2021. – С. 181–186.
15. Лепешкин, Н. Д. Разработка почвообрабатывающе-посевного агрегата АПП-9 с одновременным внесением минеральных удобрений / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц, А. И. Филиппов. // Сборник научных статей по материалам XXIII Международной научно-практической конференции. – Гродно: ГГАУ, 2020. – С. 100–102.
16. Лепешкин, Н. Д. Обоснование технологического процесса работы агрегата для основной безотвальной обработки почвы на склонах / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, А. И. Филиппов // Сборник научных статей «Современные технологии сельскохозяйственного производства» по материалам XXV Международной научно-практической конференции. – Гродно: ГГАУ, 2022. – С. 92–95.