

УДК 631.171

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАВНИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА СОЛОМИСТОЙ МАССЫ

Есенин Михаил Анатольевич
аспирант
РИНЦ SPIN-код = 6845-8830
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», Рязань, Россия

Борычев Сергей Николаевич
д.т.н., профессор
РИНЦ SPIN-код = 9426-9897
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», Рязань, Россия

Высокие урожаи зерна истощают почвы. Для восстановления почвенного плодородия необходимо вносить питательные элементы. Одним из источников питательных элементов, используемых для восстановления почвенного плодородия, является незерновая часть урожая. В данной статье рассматривается технология использования незерновой части урожая, при которой зерноуборочный комбайн работает в режиме укладки соломы в валок, который в дальнейшем измельчается прицепным измельчителем незерновой части урожая. Замечено, что перед измельчением валок не распределяется на всю ширину захвата рабочих органов и крайние зоны измельчающего барабана остаются не задействованы в процессе измельчения. Разравнивающее устройство, выполненное в виде равнобедренного треугольника и установленное в передней части измельчителя, распределяет верхнюю часть валка незерновой части урожая к краям измельчающего барабана. Ключевым параметром разравнивающего устройства является рабочий угол, образуемый двумя рабочими поверхностями устройства. В статье приводится теоретическое определение рабочего угла разравнивающего устройства, подтвержденное результатами полевых исследований. Эффективность использования разравнивающего устройства оценена сравнением эксплуатационных затрат серийного измельчителя и оснащенного разравнивающим устройством

Ключевые слова: НЕЗЕРНОВАЯ ЧАСТЬ УРОЖАЯ, СОЛОМА, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ, УДОБРЕНИЕ, РАЗБРАСЫВАНИЕ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-180-016>

<http://ej.kubagro.ru/2022/06/pdf/16.pdf>

UDC 631.171

05.20.01 Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

THEORETICAL AND FIELD STUDIES OF A LEVELING DEVICE FOR STRAW MASS

Esenin Mihail Anatolievich
postgraduate student
RSCI SPIN- code = 6845-8830
FSBEI HE "Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev", Ryazan, Russia

Borychev Sergej Nikolaevich
Dr.Sci.Tech., Professor
RSCI SPIN-code = 9426-9897
FSBEI HE "Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev", Ryazan, Russia

High grain yields deplete soils. Nutrients must be added to restore soil fertility. One of the sources of nutrients used to restore soil fertility is the non-grain part of the crop. This article discusses the technology of using the non-grain part of the crop, in which the combine harvester operates in the mode of laying straw in a swath, which is further crushed by a trailed chopper of the non-grain part of the crop. It is noted that before grinding the roll is not distributed over the entire width of the working bodies and the extreme zones of the grinding drum remain unused in the grinding process. The leveling device, made in the form of an isosceles triangle and installed in the front part of the grinder, distributes the upper part of the roll of the non-grain part of the crop to the edges of the crushing drum. The key parameter of the leveling device is the working angle formed by the two working surfaces of the device. The article provides a theoretical definition of the working angle of the screed, confirmed by the results of field studies. The efficiency of using a screeder was evaluated by comparing the operating costs of a serial shredder and one equipped with a screeder

Keywords: NON-GRAIN PART OF THE CROP, STRAW, DISTRIBUTION, UTILIZATION, FERTILIZER, SPREADING

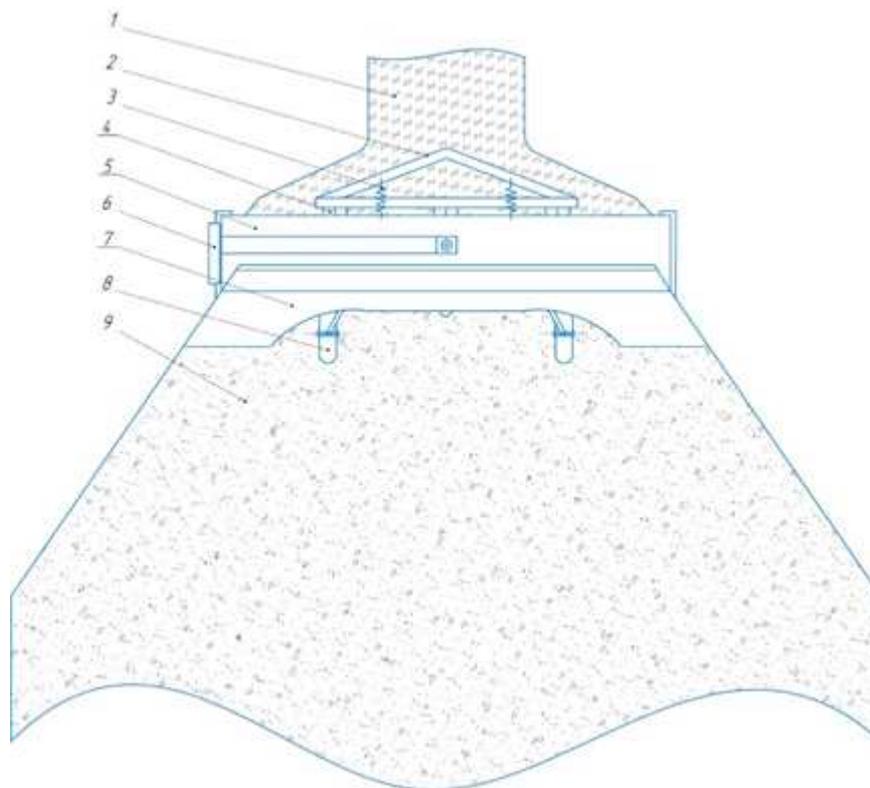
Ежегодно в Российской Федерации собирается большой урожай зерна [1]. Побочным продуктом производства зерна является незерновая часть урожая, используемая в качестве органического удобрения [2, 3, 4, 5]. В настоящее время широко применяется технология использования незерновой части урожая в качестве удобрения, при которой зерноуборочные комбайны работают с отключенным измельчителем, солома укладывается в валок [6], измельчается прицепными измельчителями незерновой части урожая и распределяется по поверхности поля. В процессе работы измельчителей незерновой части урожая наблюдается сгуживание массы в центральной зоне измельчающего барабана. В этом случае крайние зоны измельчающего барабана практически не задействованы в процессе измельчения валка. В результате уменьшается ширина распределения измельченной массы и большая ее часть скапливается в центре прохода агрегата.

Для решения данной проблемы предназначено разравнивающее устройство валка незерновой части урожая [7] обеспечивающее перераспределение массы солоmistых частиц из верхней центральной зоны валка к краям измельчающего барабана. Конструкция разравнивающего устройства (рисунок 1) представляет собой равнобедренный треугольник 2, закрепленный на корпусе измельчителя-мульчировщика 5 перед приемным окном измельчающей камеры. Одним из ключевых конструктивно-технологических параметров, влияющих на эффективность работы разравнивающего устройства, является рабочий угол, образуемый двумя рабочими поверхностями устройства.

Для определения рабочего угла устройства рассмотрим движение пучка солоmistых частиц вдоль рабочей поверхности разравнивающего устройства со следующими допущениями:

- 1) агрегат движется с равномерной скоростью;
- 2) взаимное влияние солоmistых частиц в валке не учитываем;

3) движение пучка соломистых частиц будем рассматривать как движение материальной точки.



1 – валок перед измельчением; 2 – разравнивающее устройство; 3 – пружины подвески разравнивающего устройства; 4 – шарниры крепления разравнивающего устройства; 5 – корпус измельчителя – мульчировщика; 6 – привод измельчающего барабана; 7 – направляющий дефлектор; 8 – опорные колеса; 9 – распределенная по полю измельченная соломистая масса.

Рисунок 1. – Схема установки разравнивающего устройства.

При контакте с разравнивающим устройством на пучок соломистых частиц действуют следующие силы:

Q – сила динамического давления массы соломы, Н;

N – сила нормальной реакции опоры, Н;

$F_{тр}$ – сила трения скольжения пучка соломистых частиц о рабочую поверхность разравнивающего устройства, Н;

$F_{ин}$ – равнодействующая силы инерции пучка соломистых частиц, Н.

Под воздействием силы динамического давления солоистой массы Q , находящейся в валке, пучок солоистых частиц перемещается вдоль рабочей поверхности разравнивающего устройства из центральной части валка к его краям (рисунок 2).

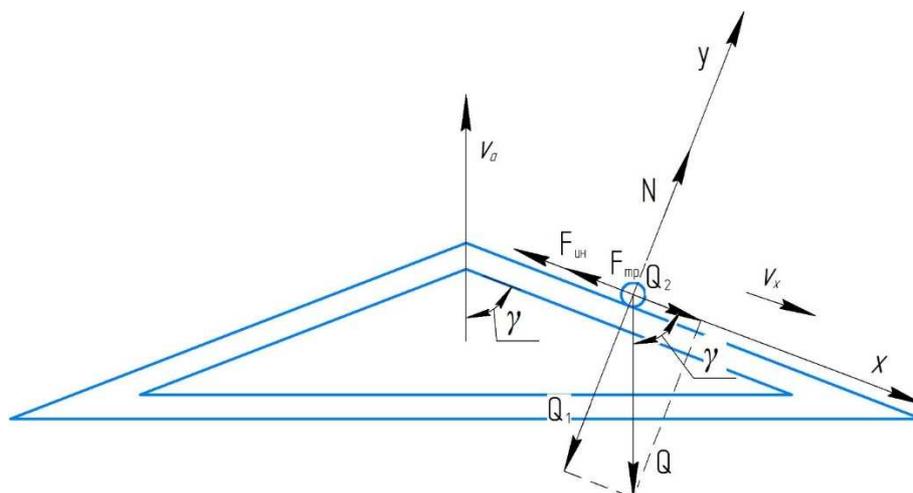


Рисунок 2. – Схема сил, действующих на пучок солоистых частиц при его движении вдоль рабочей поверхности разравнивающего устройства.

Учитывая, что равнодействующая сил инерции пучка солоистых частиц определяется выражением:

$$F_{ин} = m \frac{dv_x}{dt} \quad (1)$$

где m – масса пучка солоистых частиц, кг;

v_x – скорость перемещения частицы вдоль рабочей поверхности разравнивающего устройства, м/с;

запишем дифференциальное уравнение движения пучка солоистых частиц вдоль оси x в виде:

$$m \frac{dv_x}{dt} = Q_2 - F_{тр} \quad (2)$$

Сила трения пучка солоистых частиц о рабочую поверхность разравнивающего устройства определяется выражением:

$$F_{тр} = Nf \quad (3)$$

где: f – коэффициент трения скольжения пучка солоистых частиц по рабочей поверхности разравнивающего устройства.

Исходя из уравнения равновесия сил вдоль оси y и разложения силы динамического давления соломистой массы на составляющие при проецировании на оси x , y сила нормальной реакции опоры будет определяться выражением:

$$N = Q \sin \gamma \quad (4)$$

где γ – угол отклонения рабочей поверхности разравнивающего устройства от направления движения агрегата, град.

Учитывая выражения (3) и (4) преобразуем дифференциальное уравнение движения пучка солоmistых частиц (2) к виду:

$$m \frac{dv_x}{dt} = Q(\cos \gamma - f \sin \gamma) \quad (5)$$

Разделив переменные и проинтегрировав обе части уравнения получим.

$$v_x = \frac{Q}{m}(\cos \gamma - f \sin \gamma)t + C \quad (6)$$

Предположим, что при $t=0$ скорость $v_x \approx \frac{v_a}{\cos \gamma}$. В таком случае $C = \frac{v_a}{\cos \gamma}$. Подставляя значения C в уравнение (6) получим формулу для определения скорости перемещения пучка солоmistых частиц вдоль рабочей поверхности разравнивающего устройства.

$$v_x = \frac{Qt}{m}(\cos \gamma - f \sin \gamma) + \frac{v_a}{\cos \gamma} \quad (7)$$

Запишем условие перемещения пучка солоmistых частиц вдоль рабочей поверхности разравнивающего устройства:

$$\frac{Qt}{m}(\cos \gamma - f \sin \gamma) + \frac{v_a}{\cos \gamma} > 0 \quad (8)$$

или

$$f \sin \gamma - \cos \gamma < \frac{v_a m}{Qt \cos \gamma} \quad (9)$$

Согласно рациональной формуле В.П. Горячкина сила динамического давления солоmistой массы определяется выражением:

$$Q = (k + \varepsilon v_a^2)S \quad (10)$$

где: k – удельная сила сцепления частиц соломы в валке, кг/м²;

S – площадь поперечного сечения валка, разравненная одной из сторон разравнивающего устройства, м²;

ε – коэффициент, учитывающий форму рабочей поверхности разравнивающего устройства и свойства соломистой массы.

Подставим выражение (10) в выражение (9) и преобразуя его получим:

$$f \sin \gamma \cos \gamma - \cos^2 \gamma < \frac{v_a m}{(k + \varepsilon v_a^2) S t} \quad (11)$$

Выражение (11) описывает зависимость угла отклонения рабочей поверхности разравнивающего устройства от направления движения агрегата и скорости движения агрегата. Оптимальный угол отклонения рабочей поверхности разравнивающего устройства от направления движения агрегата зависит от коэффициента трения соломы о рабочую поверхность разравнивающего устройства.

Обозначим левую часть неравенства (11) как функцию $F(\gamma)$ а правую часть неравенства (11) как функцию $F(v_a)$.

Значение функции $F(\gamma)$ зависит от коэффициента трения пучка солоmistых частиц о рабочую поверхность разравнивающего устройства. Согласно справочным данным [8] наибольший коэффициент трения солоmistых частиц о шлифованную сталь равный $f = 0,56$ достигается при влажности соломы 17,0% и влажности воздуха 81%.

Значение функции $F(v_a)$ определим при следующих постоянных: $m = 0,004$ кг; $k = 7,5$ кг/м² [9]; $\varepsilon = 1$; $S = 0,1364$ м²; и переменных значениях $v_a = 1,67$ м/с; $t = 0,16$ с.

С помощью программного обеспечения Math CAD построим график функции $F(\gamma)$ и обозначим на нем график функции $F(v_a) = 0,03$ (рисунок 3).

Анализируя полученные зависимости, определим, что при коэффициенте трения пучка солоmistых частиц о рабочую поверхность разравнивающего устройства $f = 0,59$ движение пучка солоmistых частиц вдоль рабочей поверхности разравнивающего устройства будет происходить при угле $\gamma < 64$ градусов (рисунок 3).

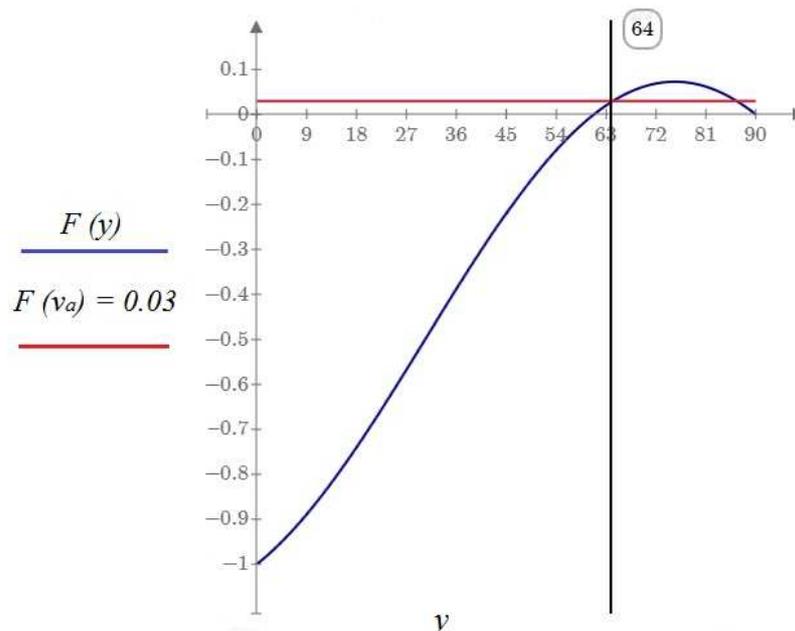


Рисунок 3. – График зависимости угла отклонения γ рабочей поверхности разравнивающего устройства от направления движения агрегата при коэффициенте трения $f = 0,56$.

Разравнивающее устройство представляет собой равнобедренный треугольник, рабочие поверхности разравнивающего устройства образуют рабочий угол разравнивающего устройства α , численно равный двум углам отклонения рабочей поверхности разравнивающего устройства от направления движения агрегата γ . Таким образом, разравнивающее устройство будет обеспечивать перемещение солоmistых частиц из центральной верхней зоны вала к краям измельчающего барабана при рабочем угле $\alpha < 128$ градусов.

Полученное теоретическое значение рабочего угла разравнивающего устройства было подтверждено полевыми исследованиями. Измельчитель-

мульчировщик Kverneland FX-230, оборудованный разравнивающим устройством работал на измельчении валков соломистой массы озимой пшеницы.

В результате полевых исследований было установлено, что оптимальный рабочий угол разравнивающего устройства составляет 124 градуса. При таком значении рабочего угла измельчитель-мульчировщик, оборудованный разравнивающим устройством, обеспечивает распределение измельченной массы на ширину 5,98 метра, при этом обеспечивается равномерность распределения на уровне 78,75%. Стандартный измельчитель-мульчировщик распределяет измельченную массу на ширину не более 3,5 метров [10].

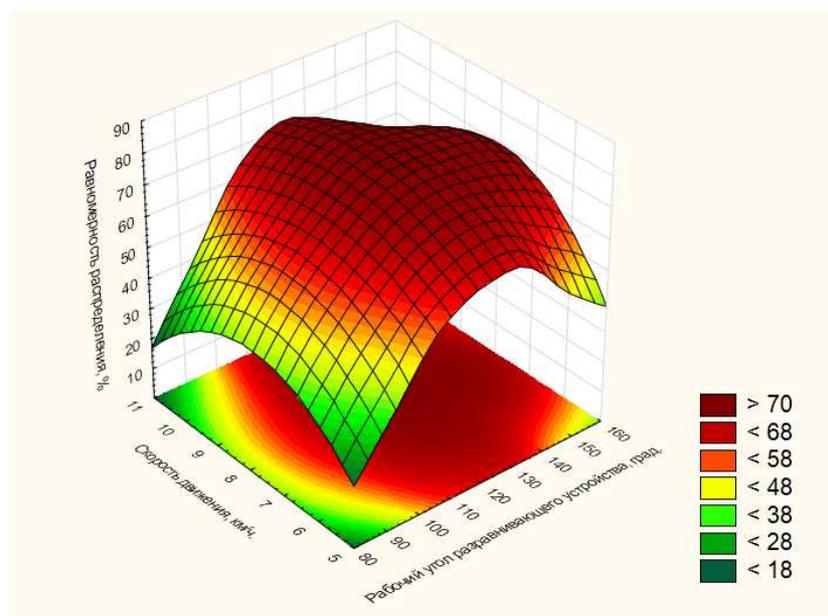


Рисунок 4. – Зависимость равномерности распределения измельченной массы от рабочего угла разравнивающего устройства и скорости движения агрегата.

Таблица 1. – Эксплуатационные затраты при работе серийного измельчителя – мульчировщика и оснащенного разравнивающим устройством.

Вид затрат	Базовая машина	Модернизированная машина
Амортизационные отчисления, руб/га	81,65	47,01
Затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб/га	17,13	9,86
Затраты на хранение техники, руб/га	5,71	3,29
Затраты на оплату труда обслуживающего персонала, руб/га	43,19	24,46
Затраты на горюче-смазочные материалы, руб/га	54,92	32,67
Удельные капиталовложения, руб/га	571,01	328,76
Эксплуатационные затраты, руб/га	773,61	446,05
Экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат, руб/га	327,56	

Оценить экономическую эффективность использования разравнивающего устройства на измельчителе-мульчировщике можно сравнивая эксплуатационные затраты, представленные в таблице 1.

Разравнивающее устройство, установленное на измельчитель-мульчировщик Kverneland FX-230 позволяет экономить 327,56 рублей с каждого обработанного гектара за счет снижения эксплуатационных затрат, вызванное увеличением производительности агрегата за счет увеличения ширины распределения измельченной массы по поверхности поля.

Литература

1. Обзор рынка зерна - Текст : электронный // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации : официальный сайт. - 2021. - URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-ekonomiki-investitsiy-i-regulirovaniya-rynkov/industry-information/info-obzor-rynkov-za-24-12-2021/> (дата обращения: 01.02.2022).

2. Биологический круговорот питательных веществ при использовании удобрений и биоресурсов в системах земледелия различной интенсификации:

Коллективная монография // Под ред. Л.И. Ильина, С.И. Зинченко. – Иваново: ПресСто, 2021. – 312 с. – ISBN 978-5-6046374-5-6. – DOI 10.51961/9785604637456.

3. Ловчиков А.П. Биологизация земледелия в ресурсосберегающих технологиях возделывания зерновых культур [Текст] / А.П. Ловчиков, В.П. Ловчиков, Е.А. Поздеев // Международный научно-исследовательский журнал. - №1(43). - Часть 2. - 2015. - С.44-47. - DOI: 10.18454/IRJ.2016.43.094

4. Солома на удобрение. - Текст : электронный // Министерство сельского хозяйства и продовольствия республики Беларусь НПЦ НАН Беларуси по земледелию : официальный сайт. - 2019. - URL: <http://mshp.gov.by/information/materials/zem/agriculture/f7f46206918d55d9> (дата обращения: 12.04.2022).

5. Основы системной технологии восстановления почвенного плодородия с использованием незерновой части урожая и сидеральных культур / А. М. Бондаренко, А. Ю. Несмиян, Л. С. Качанова, Ю. Г. Кормильцев // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 3(47). – С. 29-34. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41141017>

6. Use of straw in organic farming / I. Y. Bogdanchikov, N. V. Byshov, A. N. Bachurin, M. A. Yesenin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia, 04–05 июля 2020 года. – Omsk City, Western Siberia, 2021. – P. 012220. - DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012220.

7. Патент на полезную модель № 205449 U1 Российская Федерация, МПК А01D 34/43. Устройство для утилизации незерновой части урожая : № 2020143036 : заявл. 24.12.2020 : опубл. 15.07.2021 / И. Ю. Богданчиков, Н. В. Бышов, А. Н. Бачурин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN XBDDHF. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46471695>.

8. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / Под ред. Красниченко. – М.: Машиностроение, 1961. – Т.2 – 862 с.

9. Пьянов, В. С. Влияние комплектации зерноуборочного комбайна "Дон-1500Б" соломоуборочными средствами на основные эксплуатационные показатели его работы : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пьянов Виктор Сергеевич. – Ставрополь, 2006. – 173 с. – EDN NNVGRT. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16077219>

10. Результаты полевых испытаний разравнивающего устройства в агрегате для утилизации незерновой части урожая в качестве удобрения / И. Ю. Богданчиков, А. Н. Бачурин, М. А. Есенин, А. И. Мартышов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2021. – Т. 13. – № 3. – С. 93-99. – DOI 10.36508/RSATU.2021.14.95.013. – EDN YXDAWB.

References

1. Obzor rynka zerna - Tekst : elektronnyj // Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii : oficial'nyj sajt. – 2021. – URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-ekonomiki-investitsiy-i-regulirovaniya-rynkov/industry-information/info-obzor-rynkov-za-24-12-2021/> (дата обращения: 01.02.2022).

2. Biologicheskij krugovorot pitatel'nyh veshchestv pri ispol'zovanii udobrenij i bioresursov v sistemah zemledeliya razlichnoj intensivnogo intenzifikacii: Kollektivnaya monografiya // Pod red. L.I. Il'ina, S.I. Zinchenko. – Ivanovo: PresSto, 2021. – 312 s. – ISBN 978-5-6046374-5-6. – DOI 10.51961/9785604637456.

3. Lovchikov A.P. Biologizaciya zemledeliya v resursosberegayushchih tekhnologiyah vozdeystviya zernovyh kul'tur [Tekst] / A.P. Lovchikov, V.P. Lovchikov, E.A. Pozdeev // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. - №1(43). - CHast' 2. - 2015. - S.44-47. - DOI: 10.18454/IRJ.2016.43.094
4. Soloma na udobrenie. - Tekst : elektronnyj // Ministerstvo sel'skogo hozyajstva i prodovol'stviya respubliki Belarus' NPC NAN Belarusi po zemledeliyu : oficial'nyj sajt. - 2019. - URL:<http://mshp.gov.by/information/materials/zem/agriculture/f7f46206918d55d9> (data obrashcheniya: 12.04.2022).
5. Osnovy sistemoj tekhnologii vosstanovleniya pochvennogo plodorodiya s ispol'zovaniem nezernovoj chasti urozhaya i sideral'nyh kul'tur / A. M. Bondarenko, A. YU. Nesmiyan, L. S. Kachanova, YU. G. Kormil'cev // Vestnik agrarnoj Dona. – 2019. – № 3(47). – S. 29-34. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41141017>
6. Use of straw in organic farming / I. Y. Bogdanchikov, N. V. Byshov, A. N. Bachurin, M. A. Yesenin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia, 04–05 июля 2020 года. – Omsk City, Western Siberia, 2021. – P. 012220. - DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012220
7. Patent na poleznuyu model' № 205449 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01D 34/43. Ustrojstvo dlya utilizacii nezernovoj chasti urozhaya : № 2020143036 : zayavl. 24.12.2020 : opubl. 15.07.2021 / I. YU. Bogdanchikov, N. V. Byshov, A. N. Bachurin [i dr.] ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva". – EDN XBDDHF. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46471695>
8. Spravochnik konstruktora sel'skohozyajstvennyh mashin / Pod red. Krasnichenko. – M.: Mashinostroenie, 1961. – T.2 – 862 s.
9. P'yanov, V. S. Vliyanie komplektacii zernouborochnogo kombajna "Don-1500B" solomouborochnymi sredstvami na osnovnye ekspluatacionnye pokazateli ego raboty : special'nost' 05.20.01 "Tekhnologii i sredstva mekhanizacii sel'skogo hozyajstva" : dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / P'yanov Viktor Sergeevich. – Stavropol', 2006. – 173 s. – EDN NNVGRT. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16077219>.
10. Rezul'taty polevyh ispytanij razravnivayushchego ustrojstva v agregate dlya utilizacii nezernovoj chasti urozhaya v kacheste udobreniya / I. YU. Bogdanchikov, A. N. Bachurin, M. A. Esenin, A. I. Martyshov // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2021. – T. 13. – № 3. – С. 93-99. – DOI 10.36508/RSATU.2021.14.95.013. – EDN YXDAWB.