

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА

Б. К. КАЛИЕВ, Е. Б. БОЛАТ, Н. А. КАМЫШЕВА

*Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова,
г. Костанай, Казахстан, 110007*

С. В. ЕПИФАНОВА, Д. Б. РАХИМОВА

*Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынова,
г. Костанай, Казахстан, 110000, e-mail: kaliyevb@mail.ru*

(Поступила в редакцию 06.04.2023)

Основная доля энергозатрат при возделывании сельскохозяйственных культур приходится на механическую обработку почвы, которая уплотняется при неоднократном воздействии колес сельхозтехники. Разрыхление верхнего плотного слоя почвы следует проводить таким образом, чтобы это не привело к интенсивной потере влаги из плодородного слоя. В районах возделывания с недостаточным естественным увлажнением необходима рациональная система обработки почвы. Эффективным методом разуплотнения почв является послеуборочное щелевание, которое отмечается значительным тяговым сопротивлением при обработке почвы стандартными машинами по традиционному методу. Основная идея состоит в том, что почву необходимо обрабатывать в определённый агротехнический период, когда коэффициент скольжения почвы позволяет применить активный рабочий орган, то есть после уборки урожая и до момента пока верхний слой влажный и не затвердел под действием низких температур. Авторами предлагается ротационный щелеватель при движении которого почвообрабатывающие рабочие органы, иглы, совершают сложную траекторию движения и вращаясь вокруг своей продольной оси, проколами разуплотняют почву на глубину 20...25 см, разрушая плужную подошву, оставляя на поверхности почвы S-образные щели. Разработана математическая модель движения иглы, учитывающая глубину и длину щели, коэффициент скольжения почвы, а так же длину иглы и углы атаки. Проведённые теоретические расчёты показывают, что в результате работы щелевателя на поле формируется сеть разуплотняющих почву щелей, которая способствует накоплению влаги при таянии снега, и обладают минимальной площадью зеркала воды во избежание интенсивного испарения и стока.

Ключевые слова: *почва, влага, щелеватель, рабочий орган, ротационные машины, технологический процесс, регулировка.*

The main share of energy consumption in the cultivation of agricultural crops falls on mechanical tillage of the soil, which is compacted under repeated impact of the wheels of agricultural machinery. The loosening of the upper dense soil layer should be carried out in such a way that it does not lead to an intensive loss of moisture from the fertile layer. In areas of cultivation with insufficient natural moisture, a rational tillage system is necessary. An effective method of soil deconsolidation is post-harvest slotting, which is marked by significant traction resistance when tilling the soil with standard machines according to the traditional method. The basic idea is that the soil must be cultivated during a certain agrotechnical period when the coefficient of slip of the soil allows the use of an active working body, that is, after harvesting and until the top layer is wet and has not hardened under the action of low temperatures. The authors propose a rotary slotter during the movement of which the soil-cultivating working bodies, needles, make a complex trajectory of movement and, rotating around their longitudinal axis, loosen the soil with punctures to a depth of 20–25 cm, destroying the plow pan, leaving S-shaped slots on the soil surface. A mathematical model of the movement of the needle has been developed, taking into account the depth and length of the gap, the slip coefficient of the soil, as well as the length of the needle and angles of attack. The carried out theoretical calculations show that as a result of the work of the slitter on the field, a network of crevices decompacting the soil is formed, which contributes to the accumulation of moisture when snow melts, and have a minimum area of the water mirror to avoid intense evaporation and runoff.

Key words: *soil, moisture, slotter, working body, rotary machines, technological process, adjustments.*

Введение

Обработка почвы – одна из фундаментальных практик ведения сельского хозяйства и является одним из эффективных агротехнических приемов сохранения почвенной влаги в предпосевной период [1, 2]. Дефицит влаги является основным фактором [3], оказывающим влияние на интенсивность развития, роста и повышения продуктивности возделываемой продукции. Таким образом, актуальным является поиск новых влагосберегающих приёмов обработки почвы.

Известно, что в условиях постоянного воздействия степных ветров, традиционные методы обработки почвы (вспашка, минимальная обработка с применением безотвальных орудий) приводят к тому, что 40–70 % выпадающих осадков теряется за счет испарения, стока воды и сноса снега [4].

С целью получения стабильного урожая сельскохозяйственных культур в районах возделывания с недостаточным естественным увлажнением необходима рациональная система обработки почвы, для оптимизации которой в последние годы стали активно использоваться приемы глубокого рыхления [5, 6].

Поверхностный слой почвы периодически уплотняется колёсами сельхозтехники, что приводит к разрушению структуры почвы, ухудшается её аэрация, водопроницаемость снижается в 4–6 раз –

влага практически не впитывается, а стекает в сторону, вследствие чего снижение урожайности может достигнуть 30 %.

Влага, образующаяся после таяния снега, плохо впитывается в необработанный поверхностный слой из-за его чрезмерной уплотнённости [7, 8]. Эффективным методом разуплотнения почв является послеуборочное щелевание, проводимое до выпадения зимних осадков. Однако щелевание характеризуется значительным тяговым сопротивлением, которое можно снизить путём применения ротационного рабочего органа.

Цель исследования – Обоснование конструктивных параметров ротационного рабочего органа.

Задачи исследований:

1. Разработка математической модели работы ротационного рабочего органа.
2. Обоснование конструктивно-режимных параметров ротационного рабочего органа.

Основная часть

Нами предлагается ротационный щелеватель, при работе которого почвообрабатывающие рабочие органы вращаясь вокруг своей продольной оси разуплотняют почву иглами на глубину 20–25 см [9, 10].

Технологический процесс, осуществляемый такими ротационными рабочими органами [11] увеличивает водопроницаемость почвы [12], обеспечивает накопление влаги на глубине залегания корневых систем растений, усиливает мобилизацию органического вещества, улучшает физические свойства почвы. Разрабатываемый ротационный щелеватель имеет опорные колёса 3 и состоит из двух штанг с изменяемыми в горизонтальной плоскости углами атаки α (рис. 1). Каждая штанга имеет вал 4 с двумя жёстко закреплёнными на ней почвообрабатывающими рабочими органами 2, при этом расстояние между ними – 75 см. Валы опираются на подшипники 5 и приводятся во вращение от ВОМ 6 трактора через редуктор 1. Опорные колёса 3 служат для транспортировки щелераза и регулировки глубины обработки. Ротационный рабочий орган имеет горизонтальную ось вращения, плоскость его вращения отклонена поступательного движения на угол атаки α , иглы перемещаются в почве на глубину h [13].

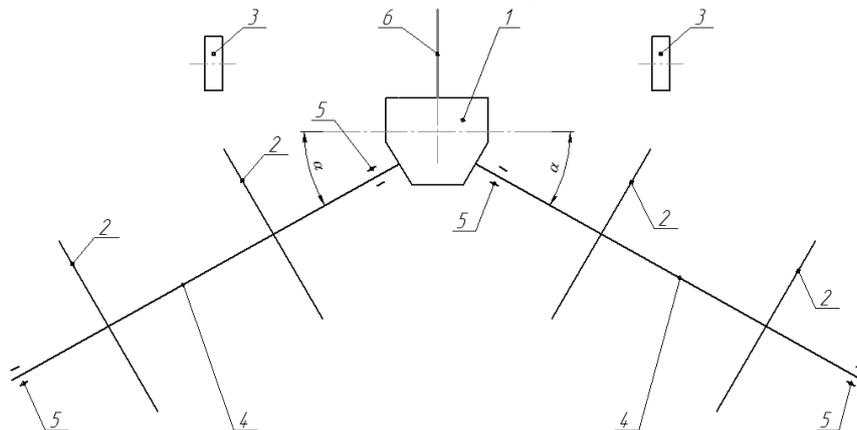


Рис. 1. Принципиальная схема щелевателя:

- 1 – редуктор; 2 – почвообрабатывающий рабочий орган; 3 – опорные колеса; 4 – валы; 5 – подшипники; 6 – вал отбора мощности трактора

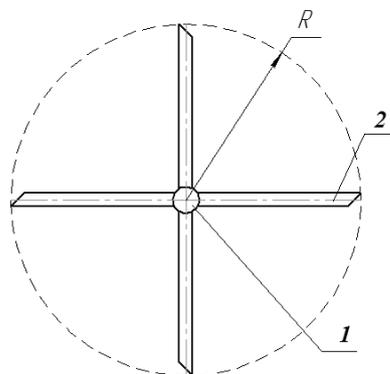


Рис. 2. Принципиальная схема почвообрабатывающего рабочего органа:
1 – ступица; 2 – игла

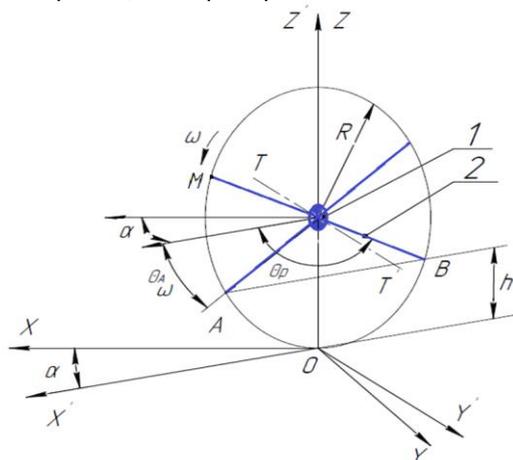


Рис. 3. Расчетная схема ротационного рабочего органа

Количество игл, установленных на одном почвообрабатывающем рабочем органе, может быть различным – 4 до 6 и более. Внешняя поверхность иглы (рис. 2), обращенная в сторону направления движения, выполнена с заточкой в форме лезвия. Изменением положения рамы щелевателя относительно поверхности поля регулируется глубина обработки в пределах 20...25 см. Желательно размещать ось штанги как можно ближе к поверхности почвы с целью уменьшения расстояния между соседними щелями.

В случае, когда на одном почвообрабатывающем рабочем органе закреплены 4 иглы и ось штанги находится вблизи поверхности поля, в контакте с почвой всегда находится 2 иглы. Точка M – это крайняя точка, острие иглы (рис. 3). В зависимости от угла атаки α на поверхности почвы формируется ряд щелей, чем меньше угол атаки, тем больше боковой интервал. Для описания траектории движения иглы можно использовать математическую модель основанной на системе уравнений [13]:

$$\begin{cases} X = \theta \cdot R / (i \cdot \cos \alpha) + R \cdot \cos \theta \cdot \cos \alpha \\ Y = R \cdot \cos \theta \cdot \sin \alpha \\ Z = R \cdot (1 - \sin \theta) \end{cases} \quad (1)$$

где X, Y, Z – координаты рассматриваемой точки M иглы в неподвижной прямоугольной системе координат $OXYZ$; R – радиус вращения иглы; θ – угол поворота радиуса от горизонтальной плоскости; i – коэффициент, характеризующей проскальзывание иглы относительно дна щели.

Во время перемещения щелереза закреплённый на валу штанги почвообрабатывающий рабочий орган в подвижной системе координат $O'X'Y'Z'$, совершает относительно вращательное движение в плоскости $X'OZ'$ с угловой скоростью ω относительно оси $T-T'$, при этом угол между осями OX' и OX равен углу атаки α . Кривая AOB описывает траекторию движения иглы в почве. Позиция иглы в момент контакта с почвой описывается расположением радиус-вектора $O'A$, заданного углом θ_A . По схеме рис. 3 угол θ_A и θ_B определяется:

$$\theta_A = \arcsin(1 - h/R) \quad (2)$$

$$\theta_B = \pi - \theta_A. \quad (3)$$

где h – глубина обработки, см; R – внешний радиус вращения иглы, см.

В точке A игла входит в почву на глубину h (рис. 3). Точка B – точка выхода иглы из почвы. Отрезок $AB = l$ и представляет длину образуемой щели. Для определения её длины воспользуемся математическим решением.

Длина щели между точками входа и выхода иглы из почвы выражается формулой [14]:

$$AB = l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (4)$$

По известным координатам найдем длину щели (табл. 1–3).

Результаты расчетов по формуле (4) выполнены для глубины $h=22$ см, который является оптимальным параметром [13]. Все результаты (4) занесены в (табл. 1–3).

На рис. 4–11 представлены зависимости траекторий движения точки иглы ротационного рабочего органа от угла атаки α и коэффициента скольжения i .

Таблица 1. Параметры глубины и длины щели при коэффициенте скольжения почвы 0,8

№	Угол атаки щелевателя – α , град	Длина иглы – R, см			
		35	40	45	50
1	5		40,15		40,63
2	10		43,57		44,73
3	15		48,96		51,06
4	20		56,00		59,25

Таблица 2. Параметры глубины и длины щели при коэффициенте скольжения почвы 1,0

№	Угол атаки щелевателя – α , град	Длина иглы – R, см			
		35	40	45	50
1	5	19,74	18,57	17,71	17,08
2	10	23,48	22,99	22,73	22,72
3	15	28,89	29,10	29,48	30,05
4	20	35,44	36,33	37,35	38,41

Таблица 3. Параметры глубины и длины щели при коэффициенте скольжения почвы 1,2

№	Угол атаки щелевателя – α , град	Длина иглы – R, см			
		35	40	45	50
1	5	5,0	9,2	5,0	9,2
2	10	10,0	13,5	10,0	13,5
3	15	15,0	18,8	15,0	18,8
4	20	20,0	24,7	20,0	24,7

Из анализа теоретических расчетов по формулам (1) и (4) приведённых в таблицах 1–3, можно сделать следующие выводы – на длину щели влияет коэффициент скольжения и длина иглы рабочего органа. Наиболее короткая щель образуется при коэффициенте скольжения $i=1,2$. На рисунках 4–7 приведены траектории перемещения точки М иглы при разных длинах игл – 30, 40 и 50 см. Рисунки 4–7 – это вид сверху (плоскость XOY) и рисунки 8–11 – это вид сбоку (плоскость XOZ) на траектории движения точки М. В результате работы щелереза на поверхности почвы образуются прерывистые S-образные щели, расположенные под углом к направлению движения при разных углах атаки $\alpha=5, 10, 15, 20^\circ$ (рис. 4–7).

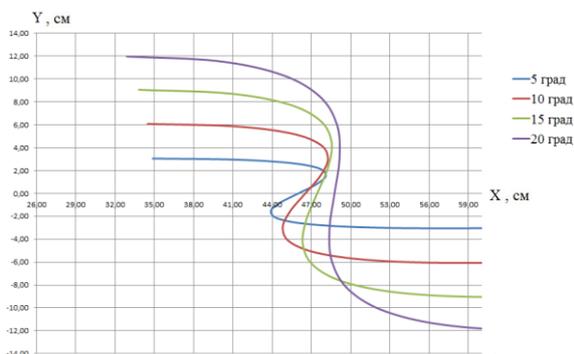


Рис. 4. Траектория перемещения точки иглы в плоскости XOY. Коэффициент скольжения $i = 1,2$; $R = 35$ см;

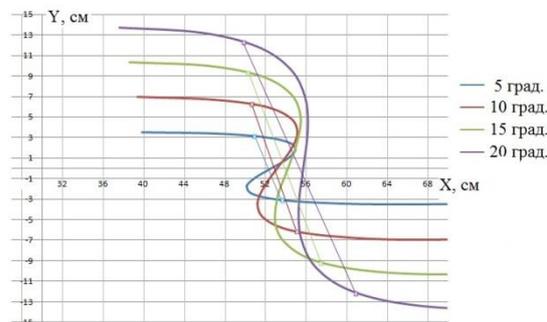


Рис. 5. Траектория перемещения точки иглы в плоскости XOY. Коэффициент скольжения $i = 1,2$; $R = 40$ см;

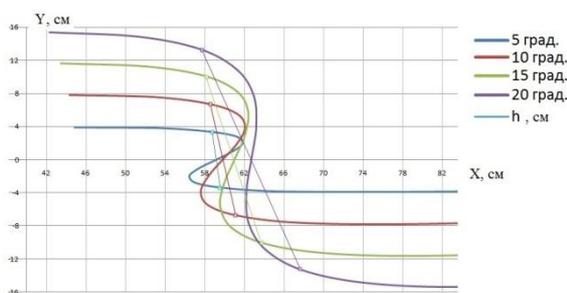


Рис. 6. Траектория перемещения точки иглы в плоскости XOY. Коэффициент скольжения $i = 1,2$; $R = 45$ см;

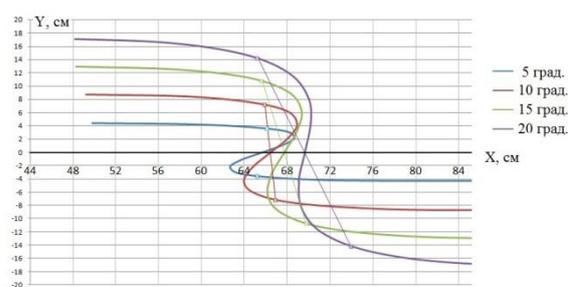


Рис. 7. Траектория перемещения точки иглы в плоскости XOY. Коэффициент скольжения $i = 1,2$; $R = 50$ см;

Далее на рисунках 8–11 приведены траектории движения точки М иглы на глубине – 22 см при разных углах атаки $\alpha=5, 10, 15, 20^\circ$.

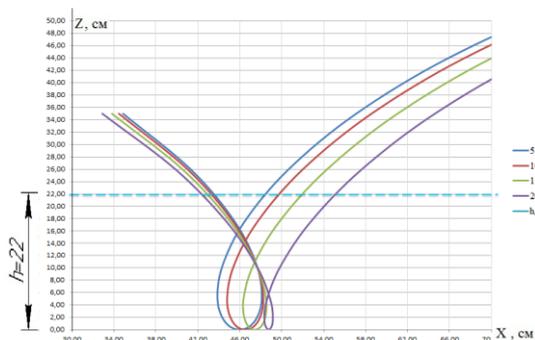


Рис. 8. Траектория перемещения точки иглы в плоскости XOZ. Коэффициент скольжения $i = 1,2$; $R = 35$ см;

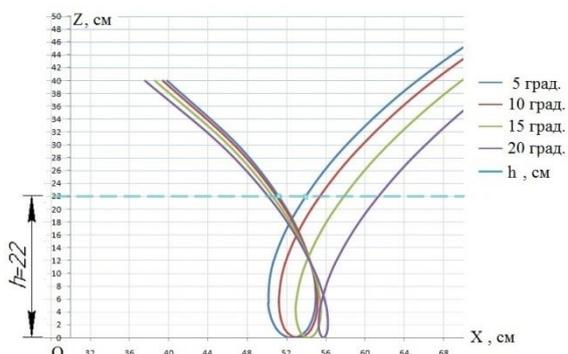


Рис. 9. Траектория перемещения точки иглы в плоскости XOZ. Коэффициент скольжения $i = 1,2$; $R = 40$ см;

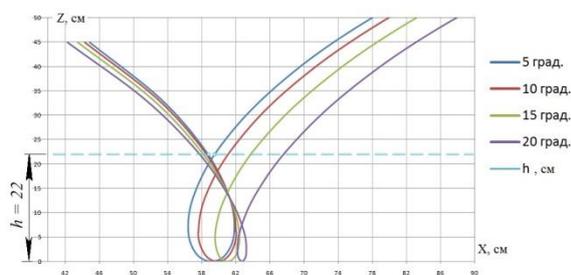


Рис. 10. Траектория перемещения точки иглы в плоскости XOZ . Коэффициент скольжения $i = 1,2$; $R = 45$ см;

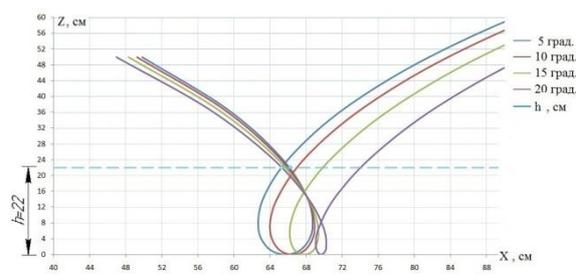


Рис. 11. Траектория перемещения точки иглы в плоскости XOZ . Коэффициент скольжения $i = 1,2$; $R = 50$ см;

Кривые демонстрируют увеличение длины траектории и ширины захвата b щелевателя по мере роста угла атаки α . Повышение коэффициента скольжения i также влечёт увеличение длины траектории, но ширина захвата щелевателя остаётся прежней. Увеличение длины иглы от 35 до 50 см приводит к уменьшению длины траектории щели до 20 % при углах атаки $\beta = 5-10^\circ$. В интервале углов атаки $15-20^\circ$ наблюдается увеличение длины щели до 11 %. При всех значениях длины иглы с увеличением угла атаки наблюдается увеличение длины образуемой щели от 14 до 54 %.

Существенно влияет на длину щели коэффициент скольжения i . При $i = 1,2$ длина щели изменяется в пределах 7–37 см. Уменьшение i до 0,8 длина щели увеличивается в 2–5,7 раза.

Заключение

Проведённые теоретические расчёты показывают, что в результате работы щелевателя на поле формируется сеть разуплотняющих почву щелей на расстоянии друг от друга 75 см. Щели длиной 40–60 см и глубиной 20–25 см, способствуют накоплению влаги при таянии снега, и обладают минимальной площадью зеркала воды во избежание интенсивного испарения и стока.

Теоретическим путем определены рациональные параметры: угол атаки $\alpha=5^\circ$, коэффициент скольжения $i=1,2$, длина иглы 35–45 см, метод обработки – активный.

Данный агротехнический прием позволяет не только накопить, но и сохранить почвенную влагу за счет наличия на поверхности поля растительных остатков, предотвратить возникновение водной эрозии и повысить урожайность сельскохозяйственных культур на 25–30 % [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Meryem Kuzucu, and Funda Dökmen. «The Effects of Tillage on Soil Water Content in Dry Areas» Agriculture and Agricultural Science Procedia, – vol. 4, – 2015. – p. 126–132. DOI: 10.1016/j.aaspro.2015.03.015.
2. Нугманов, А. Б. Проведение весенних полевых работ в системе сберегающего и органического земледелия в 2017 году: рекомендация / А. Б. Нугманов – Заречное: Костанайский НИИСХ. – 2017. – 55 с.
3. Chennafi Houria, and Saci A. «The performances of Durum Wheat Yield (Triticum Durum Desf.) Under Tillage Effect in Semi-Arid Environment» Energy Procedia, vol. 18, – 2012. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.05.102.
4. Бутенко, С. Ю. Влияние способов почвообработки на влагосбережение / С. Ю. Бутенко // Эпоха науки. – 2015. – № 4. – С. 48.
5. Иншаков, С. В. Рабочий орган глубокого рыхления для предпосевной обработки почвы / С. В. Иншаков, И. А. Бородин // Аграрный вестник Приморья. – 2020. – № 3(19). – С. 39–44.
6. Разработка технологии и почвообрабатывающего орудия для условий сухого земледелия / В. М. Бойков, С. В. Старцев, А. В. Павлов, Е. С. Нестеров // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2022. – № 12. – С. 5-9. DOI: 10.26160/2309-8864-2022-12-5-9.
7. Обоснование рациональных конструктивных параметров щелевателя для осенней обработки стерневых фонов к тракторам тягового класса 8 / Ю. В. Полищук [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – Т. 87. – №1. – С. 49-55. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-1-49-55.
8. Piotr Bozek, Jaroslaw Janus, Jaroslaw Taszakowski, and Agnieszka Glowacka. «Determining Consistency of Tillage Direction with Soil Erosion Protection Requirements as The Element of Decision-Making Process in Planning and Applying Land Consolidation» IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 44, – 2016. DOI: 10.1088/1755-1315/44/4/042024.
9. Гайфуллин, Г. З. Рабочие органы для мелкой осенней обработки почвы / Г. З. Гайфуллин, М. А. Амантаев, Г. Б. Абдугалиева // 3i: Intellect, Idea, Innovation - интеллект, идея, инновация. – 2017. – № 2–1. – С. 112–117.
10. Сангинов, С. Р. Влияние глубины основной обработки почв и применения навоза на микробиологическую активность староорошаемых почв / С. Р. Сангинов, Н. С. Сангова // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук. – 2020. – № 1(208). – С. 67–72.
11. Определение качества обработки почвы игольчатой бороной / М. М. Ковалев [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – Т. 83. – №10. – С. 11-13. DOI: 10.17816/0321-4443-66190.
12. Бледных, В. В. Экономичная глубина основной обработки почвы / В. В. Бледных, П. Г. Свечников // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – Т. 81. – №10. – С. 34–35. DOI: 10.17816/0321-4443-65534.
13. Калиев, Б. К. Определение параметров следа ротационного щелевателя с прямыми иглами / Б. К. Калиев // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сборник статей по материалам XLI студенческой международной научно-практической конференции, Новосибирск, 26 апреля 2016 года. – С. 306–306.
14. Выгодский, М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. – Москва: Астрель: АСТ, 2008. – 991 с. ISBN 978-5-17-012238-7.