

УДК 631.31

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СРЕДСТВ МАЛОЙ МЕХАНИЗАЦИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ (КРИВОЙ ХАРРИНГТОНА)**

Тарасенко Борис Фёдорович  
Д.т.н., профессор  
РИНЦ SPIN-код: 7415-7870  
email: [b.tarasenko@inbox.ru](mailto:b.tarasenko@inbox.ru)  
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия, ул. Калинина 13, 350044*

Цыбулевский Валерий Викторович  
К.т.н., доцент  
РИНЦ SPIN-код: 6256-1807,  
email: [valera-1913@mail.ru](mailto:valera-1913@mail.ru)  
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия, ул. Калинина 13, 350044*

Анжелос Нийомувуньи  
аспирант  
email: [angemuvunyi@gmail.com](mailto:angemuvunyi@gmail.com)  
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия, ул. Калинина 13, 350044*

Дробот Виктор Александрович  
К.т.н., доцент  
РИНЦ SPIN-код: 7889-3176  
email: [viktor.drobot.85@mail.ru](mailto:viktor.drobot.85@mail.ru)  
*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия, ул. Калинина 13, 350044*

Войнаш Сергей Александров  
Младший научный сотрудник  
РИНЦ SPIN-код: 9532-4604  
email: [sergey\\_voi@mail.ru](mailto:sergey_voi@mail.ru)  
*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Рубцовск, Россия*

В странах Африканского континента, в том числе и в Бурунди [1] уровень развития сельского хозяйства значительно отстает от стран Европы, Азии, Америки. Большинство производителей

UDC 631.31

4.3.1 Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

**COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF SMALL-SCALE MECHANIZATION TOOLS FOR TILLAGE USING THE FUNCTION DESIRABILITY (HARRINGTON CURVE)**

Tarasenko Boris Fedorovich  
Doctor of Technical Sciences, Professor  
RSCI SPIN code: 7415-7870  
email: [b.tarasenko@inbox.ru](mailto:b.tarasenko@inbox.ru)  
*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Kalinina, 13, Krasnodar, Russia, 350044*

Tsybulevsky Valery Viktorovich  
Cand.Tech.Sci., Associate Professor  
RSCI SPIN code: 6256-1807,  
email: [valera-1913@mail.ru](mailto:valera-1913@mail.ru)  
*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Kalinina, 13, Krasnodar, Russia, 350044*

Angelos Niyomuvunyi  
student  
email: [angemuvunyi@gmail.com](mailto:angemuvunyi@gmail.com)  
*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Kalinina, 13, Krasnodar, Russia, 350044*

Drobot Victor Aleksandrovich  
Cand.Tech.Sci., Associate Professor  
RSCI SPIN code: 7889-3176  
email: [viktor.drobot.85@mail.ru](mailto:viktor.drobot.85@mail.ru)  
*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Kalinina, 13, Krasnodar, Russia, 350044*

Voinash Sergey Aleksandrovich  
Junior Researcher  
RSCI SPIN code: 9532-4604  
email: [sergey\\_voi@mail.ru](mailto:sergey_voi@mail.ru)  
*Rubtsovsky Industrial Institute (branch) Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Rubtsovsk, Russia*

In the countries of the African continent, including Burundi [1], the level of agricultural development lags far behind the countries of Europe, Asia, and America. The majority of agricultural producers use

сельскохозяйственной продукции используют в подавляющем большинстве ручной труд. Так обработка почвы до сих пор производится мотыгой. В какой-то степени это объясняется малыми формами хозяйствования. По данным ISTESBU на одно фермерское хозяйство приходится 0,3 – 0,5 га посевных площадей. Вторым фактором выступает рельеф местности. Использование тяжелой сельскохозяйственной техники возможно на равнине Имбо и в котловинах Кумосо на востоке страны. При этом практика поликультуры не способствует механизации сельского хозяйства. В этих условиях использование мотоблоков облегчит работу, так как вместо машин с пассивными плужными и дисковыми рабочими органами, более рационально применять ротационные механизмы, к которым могут быть отнесены фрезерные рабочие органы. При всех положительных качествах мотоблок имеет отрицательные стороны, к которым можно отнести вибрацию и значительные физические нагрузки на оператора. Отсутствует возможность дополнительных операций, например, внесения удобрений. Поэтому разработка почвообрабатывающих фрез, обеспечивающих снижение физической нагрузки и вибрации на руки оператора, оптимизация конструктивных и режимных параметров, расширение функциональных возможностей, весьма важные задачи. Из исследований Рамазановой Г.Г. [2], нам известна фреза «Барабанная», при работе которой процесс обработки делится на расклинивание пласта и образование почвенной стружки, ударное воздействие ножа фрезы на обрабатываемый пласт, крошение пласта рабочей поверхностью ножа. Также из исследований Андержановой Н.Н. [3] известны фреза «Саблевидная» (стандартная) и фреза «Гусиные лапки». Таким образом, для более полного сравнения экспериментальной фрезы [4] с широко используемыми (стандартной или «саблевидной»; сегментной или «Гусиные лапки»; барабанной) применим комплексную оценку с использованием функции желательности (кривой Харрингтона)

Ключевые слова: МОТОБЛОК, РИС, ОБРАБОТКА ПОЧВЫ, ФРЕЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ, ФРЕЗА СТАНДАРТНАЯ, ФРЕЗА ГУСИНЫЕ ЛАПКИ, ФРЕЗА БАРАБАННАЯ, ФУНКЦИЯ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-207-007>

manual labor in the overwhelming majority. So tillage is still done with a hoe. To some extent, this is due to the small forms of farming. According to ISTESBU data, 0.3 - 0.5 hectares of acreage are accounted for per farm. The second factor is the terrain's relief. The use of heavy agricultural machinery is possible on the Imbo plain and in the Kumoso basins in the east of the country. At the same time, the practice of multiculture does not contribute to the mechanization of agriculture. Under these conditions, the use of tillers will make work easier, since instead of machines with passive plow and disc working bodies, it is more rational to use rotary mechanisms, which can include milling working bodies. With all the positive qualities, the tillerblock has negative sides, which can include vibration and significant physical exertion on the operator. There is no possibility of additional operations, for example, fertilization. Therefore, the development of tillage milling cutters that reduce physical stress and vibration on the operator's hands, optimize design and operating parameters, and expand functionality are very important tasks. It is known from the research of Ramazanova G.G. [2], that the Drum milling cutter, in which the processing process is divided into wedging of the formation and the formation of soil chips, the impact of the cutter knife on the treated formation, and the crumbling of the formation by the working surface of the knife. Also, from the research of Anderzhanova N.N. [3], the Saber-shaped milling cutter (standard) and the Crow's Feet milling cutter are known. Thus, for a more complete comparison of the experimental milling cutter [4] with widely used ones (standard or "saber-shaped"; segmented or "Crow's feet"; drum), we apply a comprehensive assessment using the desirability function (Harrington curve)

Keywords: TILLERBLOCK, RICE, TILLAGE, EXPERIMENTAL MILLING CUTTER, STANDARD MILLING CUTTER, CROW'S FEET MILLING CUTTER, DRUM MILLING CUTTER, DESIRABILITY FUNCTION

**Введение.** В настоящее время политика многих африканских стран в сфере сельскохозяйственного производства нацелена на увеличение производственных мощностей, применения современных и производительных

<http://ej.kubagro.ru/2025/03/pdf/07.pdf>

машин и орудий путем увеличения инвестиций в аграрный сектор, привлечения научных разработок.

Объектом исследований является технологический процесс, методы (приёмы, режимы работы) основной обработки почвы при производстве риса.

Повышение качества обработки почвы путем получения мелкокомковатой структуры ее верхних слоев, срезания корней сорных растений глубоко в грунте до 6 см и снижение энергозатрат является актуальной задачей сегодняшнего дня.

Данный вопрос имеет большую актуальность при возделывании риса в Бурунди, что и подвигло нас провести комплексную оценку машин средств малой механизации для обработки почвы. Эту оценку выполним с использованием функции желательности (кривой Харрингтона) [5],

**Цель исследования:** провести комплексную оценку работы фрез и принять решение о выборе лучшего варианта.

Задачи исследований:

1. Определить численные значения показателей подсистем.
2. Определить обобщенные показатели комплексной оценки  $i$ -ых фрез.

### **Материалы и методы**

Комплексную оценку машин средств малой механизации для обработки почвы выполним с использованием функции желательности (кривой Харрингтона) [5], которая включает систему показателей, имеющих следующие подсистемы.

1. Эксплуатационная подсистема – производительность  $W$ , га/ч.
2. Общетехническая подсистема показателей – металлоёмкость (вес фрезы)  $G$ , кг.
3. Расход топлива  $G_t$ , кг/га.

4. Подсистема агротехнических показателей – степень крошения почвы или размеры комков почвы  $K$ , мм.

5. Экономическая подсистема показателей – цена фрезы по средней стоимости стали  $U$ , руб.

На рисунке 1 представлены испытываемые фрезы

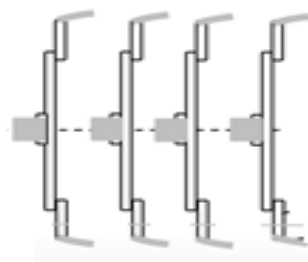
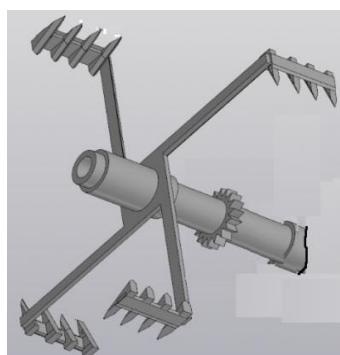


Рисунок 1 – Фрезы для малогабаритной повообрабатывающей техники  
 а – экспериментальная; б – саблевидная (стандартная); в – сегментная (гусиные лапки);  
 г – барабанная

В таблице 1 приведены численные значения показателей подсистем.

Таблица 1 – Показатели подсистем

Фрезы факторы	Экспериментальная	Стандартная	Сегментная	Барабанная	к-коэффициент весоности
W- производительность, га/ч;	0,49	0,47	0,48	0,46	0,25
G- вес фрезы, кг	8,4	8,7	10,2	9	0,11
G <sub>t</sub> -расход топлива, кг/га	11,9	10,7	10,9	11,9	0,25
K-размеры комков почвы, мм	20	60	45	50	0,25
U--цена фрезы, руб	1738,8	1800,9	2111,4	1863	0,14

Для комплексной оценки фрез к мотоблокам для основной обработки почв используем метод анализа и синтеза сравниваемых конструкций фрез, а также функцию желательности Харрингтона [6] (Рис.2) модернизированную нами применительно к поставленной задаче.

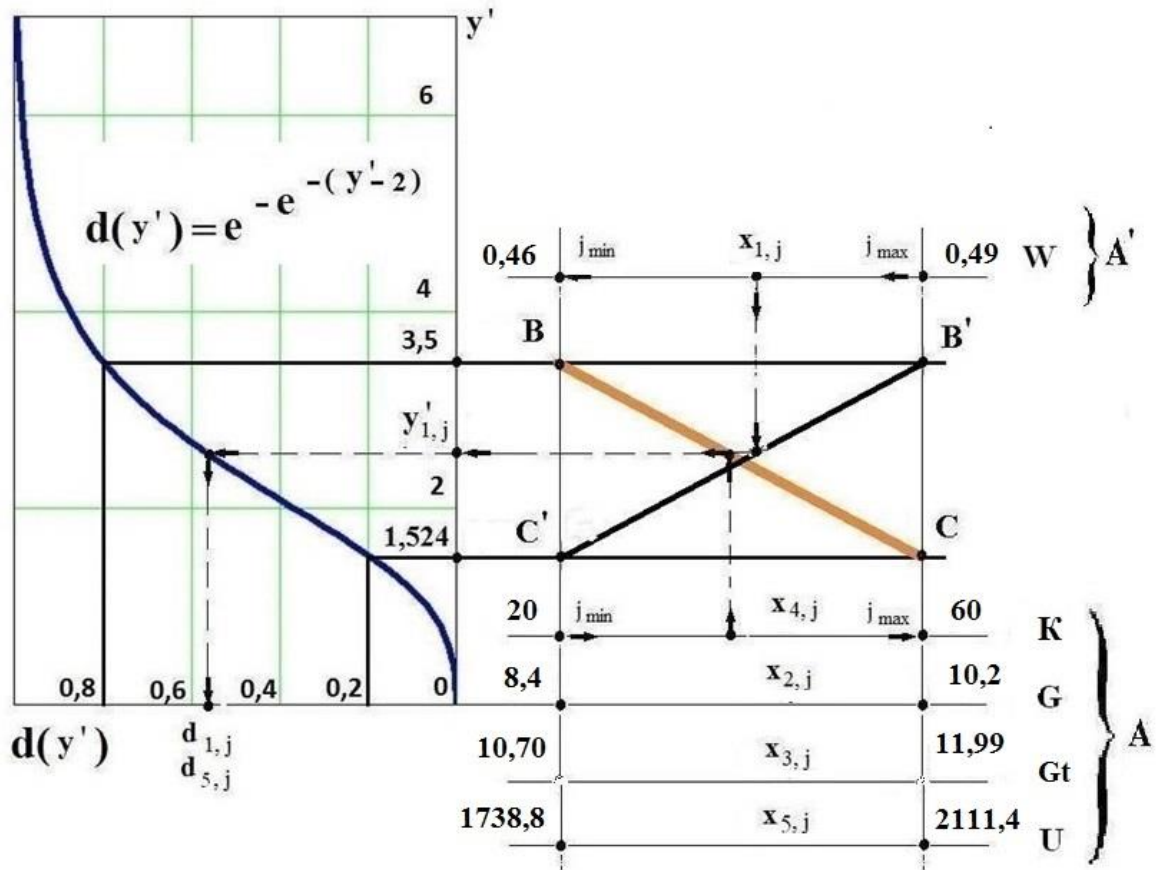


Рисунок 2 – Модернизированная функция Харрингтона

A – прямые шкалы желательности (K, G, G<sub>t</sub>, U); A' – обратные шкалы желательности (W); BC, B'C' – полученные графическим построением прямые для проектирования значений показателей шкал A и A' на кривую Харрингтона

Продолжение прямых из точек 3,5 и 1,524 вправо с продолжением прямых, ограничивающих длину оценочных шкал A и A' формирует на их пересечение точки B' и C', соединив которые, получили прямую B'C' для перевода значений j-ых оценочных показателей шкал A в безразмерные на шкалу y' и далее на шкалу желательности d(y'). При этом прямая BC используется для перевода значений прямых шкал (K – размеры комков почвы, мм; G – вес фрезы, кг; G<sub>t</sub> – расход топлива, кг/га; U – цена фрезы, руб). Прямая B'C' используется для перевода значений обратных шкал A' (производительность W, га/ч). Значение показателей обратной шкалы A' изменяются от максимального до минимального значений. Это связано с ха-

рактором изменения функции желательности  $d(y')$ , значение которой возрастает при увеличении значений  $y'$  от 1,524 до 3,5.

Перевод измеренных значений  $j$ -ых оценочных показателей со шкал  $A$  и  $A'$  на безразмерную шкалу окончательных показателей на безразмерную шкалу  $y'$  выполняется по выведенным нами зависимостям:

$$y'_1 = \frac{1,976 \cdot x_1 + 1,524(a_{1max} - a_{1min}) - 1,976 \cdot a_{1min}}{a_{1max} - a_{1min}} = 65,867 \cdot x_1 - 28,775 \quad (1)$$

$$y'_2 = \frac{-1,976 \cdot x_2 + 3,5(a_{2max} - a_{2min}) + 1,976 \cdot a_{2min}}{a_{2max} - a_{2min}} = -1,098 \cdot x_2 + 12,721 \quad (2)$$

$$y'_3 = \frac{-1,976 \cdot x_3 + 3,5(a_{3max} - a_{3min}) + 1,976 \cdot a_{3min}}{a_{3max} - a_{3min}} = -1,532 \cdot x_3 + 19,890 \quad (3)$$

$$y'_4 = \frac{-1,976 \cdot x_4 + 3,5(a_{4max} - a_{4min}) + 1,976 \cdot a_{4min}}{a_{4max} - a_{4min}} = -0,049 \cdot x_4 + 4,488 \quad (4)$$

$$y'_5 = \frac{-1,976 \cdot x_5 + 3,5(a_{5max} - a_{5min}) + 1,976 \cdot a_{5min}}{a_{5max} - a_{5min}} = -0,0063 \cdot x_5 + 14,871 \quad (5)$$

где, зависимость 1 – характеризует  $A'$  (W), а зависимости 2-5 соответственно  $A$  (K, G, G<sub>t</sub>, U);  $y'_1, y'_2, y'_3, y'_4, y'_5$ , – безразмерные значения оценочных  $j$ -ых показателей, соответственно, производительности, металлоемкости, расхода топлива, крошения и цены;  $a_{max(min)}^j$  – максимальное и минимальное значения показателей шкал  $A$  и  $A'$  безразмерные значения  $y'$  каждого оценочного -го показателя по каждой  $i$ -ой фрезе.

Согласно функции Харрингтона рассчитывают желательности

$$d_{ji} = e^{-e(y'_{ji}-2)} \quad (6)$$

где  $d_{ji}$  – желательность  $j$ -го оценочного показателя по каждой  $i$ -ой фрезе;  $e$  – число Непера;  $y'_{ji}$  – безразмерное значение  $j$ -го оценочного показателя по каждой  $i$ -ой фрезе; 2 – смещение кривой Харрингтона вправо на 2 единицы безразмерного значения  $y'$ .

Последний обобщенный критерий комплексной оценки  $i$ -ой фрезы  $D_i$  определяется также по функции Харрингтона учитывая весомость  $j$ -го оценочного показателя в долях от единицы.

$$D_i = \sqrt[n]{\prod_1^n d_i^{k_j}} \quad (7)$$

где  $D_i$  – обобщенный критерий комплексной оценки  $i$ -ой фрезы;  $n$  – количество сравниваемых фрез;  $k_j$  – весомость  $j$ -го оценочного показателя в долях от единицы.

Наибольшее значение  $D_i$  определяет выбор решения по  $i$ -ой фрезе.

Получив значение  $D_i$  по каждой  $i$ -ой фрезе можно принять решение о выборе лучшего варианта. Для анализа результатов мы вычисляем  $D_i$  с коэффициентами весомости оценочных показателей и без них. Согласно полученным данным расчётов по предлагаемому методу можно принимать решение о лучшем варианте сеялки. Предварительно округлим значения показателей  $D_i$  до второго знака после запятой (табл. 2).

Таблица 2 – Обобщенные показатели комплексной оценки  $i$ -ых фрез

Номер $i$ -ой машины	Наименования сравниваемых $i$ -ых машин	Обобщенные оценочные показатели	
		без учета коэф-фициентов весомости, $D_i$	с учетом коэф-фициентов весомости, $D_i^k$
1	Экспериментальная	0,632	0,902
2	Стандартная «саблевидная»	0,518	0,862
3	Сегментная «гусиные лапки»	0,389	0,856
4	Барабанная	0,363	0,793

Согласно обобщенному показателю комплексной оценки четырех фрез (табл. 2) без учёта коэффициента весомости частных оценочных по-



казателей  $j$  наибольшее значение  $D_i = 0,632$  имеет место для экспериментальной фрезы, а наименьшее сегментной «гусиные лапки» ( $D_i = 0,389$ ) и барабанной ( $D_i = 0,363$ ). У стандартной «саблевидной фрезы  $D_i = 0,518$ . Разница в значениях оценочных показателей  $D_i$  между лучшей экспериментальной и двумя худшими сегментной и барабанной составляет 0,27 и 0,24 единицы, или 42,8 и 38,1 %, что имеет существенное значение для принятия решения.

### Обсуждение и заключения

1. Задачи, поставленные для обеспечения цели исследований выполнены.
2. Комплексная оценка обработки почвы с использованием функции желательности (кривой Харрингтона) показала значительное преимущество экспериментальной фрезы перед сегментной, барабанной и стандартной.
3. Несмотря на то, что затраты топлива при работе с экспериментальной фрезой выше на 1,33 л/га, преимущество достигается за счет повышения качества крошения почвы.

### Список использованных источников

1. Константинова О.В. Экономическое взаимодействие Российской Федерации и Республики Бурунди: состояние и перспективы / О.В. Константинова // Научн. статья по специальности «Экономика и бизнес». – Вестник университета, 2016. – №4.
2. Рамазанова Г. Г. Параметры и режимы работы фрезы для предпосадочной обработки почвы под картофель: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Г. Г. Рамазанова // – М.: РГАЗУ, 2016. –17с.
3. Андержанова Н. Н. Обоснование конструкции и параметров малогабаритных почвообрабатывающих орудий к мотоблоку: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Н. Н. Андержанова // Йошкар-Ола : ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», 2022. – 20 с.
4. Патент РФ №215678 МПК А01В 39/00, СПК А01В 39/00 Агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди / Б.Ф. Тарасенко, А. Нийомувуньи: ФГБОУ ВО "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина".- опубл. 21.12.2022, Бюл. № 36
5. Тарасенко Б.Ф. Формирование ресурсосберегающих комплексов агрегатов для обработки почвы на основе имитационного моделирования в условиях степной зоны

северного Кавказа: дис. докт. техн. наук: 05.20.01 / Б.Ф. Тарасенко // Краснодар, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет», 2015. – 370 с.

6. Маслов Г.Г. Функция Харрингтона в исследованиях сельскохозяйственной техники / Г. Г. Маслов, Е. И. Трубилин, В. В. Цыбулевский, Н. Б. Василенко // Таврический вестник аграрной науки, 2022. – № 3(31). – С. 116-124.

### References

1. Konstantinova O.V. Jekonomicheskoe vzaimodejstvie Rossijskoj Federacii i Respubliki Burundi: sostojanie i perspektivy / O.V. Konstantinova // Nauchn. stat'ja po special'nosti «Jekonomika i biznes». – Vestnik universiteta, 2016. – №4.

2. Ramazanova G. G. Parametry i rezhimy raboty frezy dlja predposadochnoj obra-botki pochvy pod kartofel': dis. ... kand. teh. nauk: 05.20.01 / G. G. Ramazanova // – M.: RGAZU, 2016. –17s.

3. Anderzhanova N. N. Obosnovanie konstrukcii i parametrov malogabaritnyh pochvoobrabatyvajushhih orudij k motobloku: dis. ... kand. teh. nauk: 05.20.01 / N. N. Anderzhanova // Joshkar-Ola : FGBOU VO «Kazanskij gosudarstvennyj agrarnyj univerversitet», 2022. – 20 s.

4. Patent RF №215678 MPK A01B 39/00, SPK A01B 39/00 Agregat dlja podgotov-ki pochvy pod posadku risa v Burundi / B.F. Tarasenko, A. Nijomuvun'i: FGBOU VO "Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni I.T. Trubilina".- opubl. 21.12.2022, Bjul. № 36

5. Tarasenko B.F. Formirovanie resursosberegajushhih kompleksov agregatov dlja obrabotki pochvy na osnove imitacionnogo modelirovanija v uslovijah stepnoj zony severnogo Kavkaza: dis. dokt. teh. nauk: 05.20.01 / B.F. Tarasenko // Краснодар, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет», 2015. – 370 с.

6. Maslov G.G. Funkcija Harringtona v issledovanijah sel'skohozjajstvennoj teh-niki / G. G. Maslov, E. I. Trubilin, V. V. Cybulevskij, N. B. Vasilenko // Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki, 2022. – № 3(31). – S. 116-124.