

УДК 631.316.22:631.313.6:631.314.1

UDC 631.316.22:631.313.6:631.314.1

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 Technologies and means of mechanization of agriculture (technical sciences)

ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРА КОМБИНИРОВАННОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА

SUBSTANTIATION OF THE SIZE OF A COMBINED DEVICE FOR TILLAGE AND SOWING

Добринов Александр Владимирович
канд. техн. наук, доцент
SPIN-код: 8323-5320
a.v.dobrinov@yandex.ru

Dobrinov Aleksandr Vladimirovich
Cand.Techn.Sci., associate Professor
RSCI SPIN-code: 8323-5320
a.v.dobrinov@yandex.ru

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Санкт-Петербург, Россия

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM” (IEEP – branch of FSAC VIM), St. Petersburg, Russia

Ружьев Вячеслав Анатольевич
канд. техн. наук, доцент
SPIN-код: 8134-7231
ruzhev_va@mail.ru

Ruzhev Vyacheslav Anatolevich
Cand.Techn.Sci., associate Professor
RSCI SPIN-code: 8134-7231
ruzhev_va@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia

Кошчаева Ольга Викторовна
к.с.-х.н., доцент,
РИНЦ SPIN-код 6095-9367
okoshchaeva@mail.ru

Koshchaeva Olga Viktorovna
Cand.Agr.Sci., associate Professor,
RSCI SPIN-code 6095-9367
okoshchaeva@mail.ru

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Kuban state agrarian university named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Борулько Вячеслав Григорьевич
канд. техн. наук, доцент
SPIN-код: 9252-5835
vborulko@timacad.ru

Borulko Vyacheslav Grigorievich
Cand. Techn. Sci., Associate Professor
RSCI SPIN-code: 9252-5835
vborulko@timacad.ru

Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

В статье представлен методологический подход к рациональному выбору оптимальной рабочей ширины захвата на примере комбинированного почвообрабатывающе-посевного агрегата с помощью оригинального программного обеспечения. Для выбора оптимальной рабочей ширины захвата комбинированного агрегата исходными данными являются: марка (тип) трактора (энергетического средства), удельная стоимость машинно-тракторного агрегата в сопоставимых ценах, время производственной эксплуатации машинно-тракторного агрегата для выполнения технологической операции на заданной рабочей скорости с четким соблюдением агротехнических требований, как к самой технологической операции, так и,

The article presents a methodological approach to the rational selection of the optimal working width by the example of a combined tillage unit using original software. To select the optimal working width of a combined soil cultivating unit, the initial data are: make (type) of the tractor (power tool), unit cost of the machine and tractor unit in comparable prices, production time of the machine and tractor unit to perform the technological operation at a given operating speed with a clear compliance with agrotechnical requirements, both to the technological operation itself, and, directly, to the agricultural machine. As an example, we consider a combined semi-mounted modular tillage and sowing unit for grain crops and the MTZ-82.1 tractor. In this unit, the main working bodies are S-shaped spring teeth and

непосредственно, к сельскохозяйственной машине. В качестве примера рассмотрен комбинированный полунавесной модульный почвообрабатывающий посевной агрегат для зерновых культур и трактором МТЗ-82.1. В рассматриваемом агрегате основные рабочие органы S-образные пружинные стойки и катки. На основе выполненных аналитических изысканий процесса предпосевной (поверхностной) обработки почвы и применения теоретических методов моделирования разработаны математические зависимости для определения и дальнейшего анализа энерготехнологических параметров комбинированных почвообрабатывающе-посевных агрегатов с динамичными рабочими органами. Выполненные расчеты согласно разработанной методике позволяют выбрать оптимальную ширину захвата комбинированного агрегата для обработки почвы и посева

Ключевые слова: КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЙ АГРЕГАТ, РАБОЧАЯ ШИРИНА ЗАХВАТА, ОПТИМАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ

rollers. Based on the performed analytical studies of the pre-sowing (surface) tillage process and the application of theoretical modeling methods, mathematical dependencies have been developed to determine and further analyze the energy-technological parameters of combined tillage units with dynamic working bodies. The performed calculations according to the developed method allow us to choose the optimal working width of the combined soil cultivating unit

Keywords: COMBINED TILLAGE IMPLEMENT, WORKING WIDTH, OPTIMAL SIZES

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-159-008>

Введение.

Выбор целесообразной ширины захвата комбинированного агрегата для обработки почвы и посева – одна из первоочередных задач, которую необходимо привести к правильному решению в процессе проектирования сельскохозяйственной машины. Заданный объем технологических работ в сжатые агротехнические сроки может быть реализован либо широкозахватным агрегатом, либо большим числом транспортно-технологических машин, но с меньшей рабочей шириной захвата.

Практика показывает, что рационально выбирать комбинированный почвообрабатывающе-посевной агрегат с такой рабочей шириной захвата, которая выдавала максимально возможную производительность при оптимальной загрузке энергетического средства (трактора) [1, 2].

Однако есть мнения, которые говорят о способах производственной эксплуатации, когда не менее рациональным рассматривается вариант

использования трактора, работающего с недогрузкой, т.е. с комбинированным агрегатом с небольшой рабочей шириной захвата [3, 4].

Данные спорные высказывания, естественно, должны подтверждаться технико-экономическими расчетами, которые бы учли выполнение технологической операции комбинированным почвообрабатывающим агрегатом с «малой» рабочей шириной захвата при высоких удельных затратах на выплату заработной платы трактористам, обслуживающему персоналу, топливо и смазочные материалы, и пр., а с другой стороны – увеличение стоимости сельскохозяйственной машины из-за увеличения рабочей ширины захвата за счет увеличения ее металлоемкости, затрат на реновацию.

Условия, материалы, методы.

Изыскание оптимальной ширины захвата комбинированного агрегата для обработки почвы и посева путем расчетов всех составляющих эксплуатационных затрат довольно затруднительно. Рассмотрим возможность получения аналитической зависимости, позволяющей определить оптимальное решение.

В процессе отыскания решения, с одной стороны, рассматривается трактор, с другой – сельскохозяйственная машина (в нашем случае комбинированный агрегат). Чем больше ширина захвата агрегата (в определенных пределах), тем выше его часовая производительность, тем меньше денежных средств приходится на единицу выполненной работы. При определенной годовой загрузке трактора (в часах) увеличение часовой производительности приводит к уменьшению доли стоимости трактора, отнесенной на единицу работы [3].

Расходы на ремонт трактора и сельскохозяйственной машины в данном случае сочтем независимыми от рабочей ширины захвата агрегата. Дело в том, что при любой ширине захвата комбинированного

почвообрабатывающего агрегата отчисления на ремонты и технические уходы ведутся пропорционально выполненной работе.

Удельные эксплуатационные затраты представим по известной зависимости [5]:

$$И = \frac{n \cdot C_m \cdot \alpha \cdot \gamma}{100W_{сез}} + \frac{З + F + C_m}{W_ч} + \sum_{i=1}^n C_{пi}, \quad (1)$$

где $И$ – удельные эксплуатационные затраты (издержки), руб./га; n – количество машин в агрегате; C_m – балансовая стоимость машины, руб.; α – амортизационные отчисления (на реновацию) машины, %; $З$ – оплата труда обслуживающего персонала, руб./ч; F – стоимость топлива, руб./ч; C_m – затраты на амортизацию трактора, руб./ч; γ – удельный вес работы выполняемый машиной;

$\sum_{i=1}^6 C_{пi}$ – отчисления на страхование, ремонт, обслуживание техники, руб./га.

Суммарные прямые эксплуатационные затраты определим с учетом рекомендаций [6]:

$$\sum_{i=1}^6 C_{пi} = C_{от} + C_{сн} + C_{стр} + C_{рто} + C_{хр}, \quad (2)$$

где $C_{от}$ – оплата труда обслуживающего персонала, занятого на ремонтных работах техники и ее технического обслуживания, руб.; $C_{сн}$ – отчисления на социальные нужды, руб.; $C_{стр}$ – отчисления на страхование техники, руб.; $C_{рто}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб.; $C_{хр}$ – затраты на хранение машины, руб.; $W_{сез}$ – сезонный объем работы, га.

Произведем некоторые преобразования формулы (1):

$$C_m = \rho \cdot B_p, \quad (3)$$

где ρ – удельная стоимость машины, руб./м; B_p – ширина захвата машины (агрегата), м;

$$W_ч = 0,1B_p v_p \tau, \quad (4)$$

где $W_ч$ – часовая производительность агрегата, га /ч; v_p – рабочая скорость агрегата, км/ч; τ – коэффициент использования времени смены.

Тогда выражение (1) можно представить в следующем виде:

$$И = \frac{B_p \cdot \alpha \cdot \gamma}{100W_{ces}} + \frac{3 + F + C_m}{0,1B_p v_p \tau} + \sum_{i=1}^n C_{mi}, \quad (5)$$

Для определения оптимального (рационального) значения B_p необходимо взять первую производную от $И$ по B_p и приравнять ее к нулевому значению. Далее, после преобразований, получаем выражение для определения оптимальной ширины захвата машины (агрегата) [7]:

$$B_{opt}^2 = \frac{10 \cdot 100W_{ces} \cdot (3 + F + C_m)}{v_p \tau \sum_{i=1}^n \rho \cdot \alpha}, \quad (6)$$

$$B_{opt} = \sqrt{\frac{10 \cdot 100W_{ces} \cdot (3 + F + C_m)}{v_p \tau \sum_{i=1}^n \rho \cdot \alpha}}. \quad (7)$$

Используя в качестве целевой функции удельные приведенные затраты, выражение (7) примет вид:

$$B_{opt} = \sqrt{\frac{10 \cdot 100W_{ces} \cdot (3 + F + C_m'')}{v_p \tau \sum_{i=1}^n \rho \cdot (\alpha + E_n)}}. \quad (8)$$

Здесь:

$$C_m'' = C_m + \frac{C_{\delta} \cdot E_n}{100 \cdot T_2}, \quad (9)$$

где C_{δ} – балансовая стоимость трактора, руб.; E_n – коэффициент окупаемости капитальных вложений; T_2 – нормативная годовая загрузка трактора, ч.

Результаты и обсуждение.

Полученные выражения позволяют сделать ряд первых выводов.

1. Экономически оптимальная рабочая ширина захвата комбинированного агрегата B_{opt} увеличивается с увеличением

годового объема работ, с повышением затрат на оплату труда, стоимости трактора, топлива.

2. Этот же параметр с заданной маркой (типом) трактора (энергетического средства) может быть снижен за счет увеличения рабочей скорости агрегата v_p , коэффициента использования времени смены τ , а также стоимостных значений самого комбинированного почвообрабатывающего агрегата – ρ .
3. Изменение значений $W_{сез}$, v_p , τ , ρ в n раз при прочих равных условиях приводит к изменению оптимального значения B_{opt} в \sqrt{n} раз.

Ограничения по рассмотренному алгоритму.

Для дальнейших изысканий, при выводе зависимостей необходимо принять следующие допущения:

1. Имеется наличие вполне определенная, при заданных агротехнических требованиях, рациональная (оптимальная) рабочая скорость выполнения технологической операции, при этом производственная эксплуатация комбинированного почвообрабатывающего агрегата с переменной рабочей шириной захвата ведется на этой скорости.

2. С увеличением $W_{сез}$ увеличивается значение B_{opt} , однако это увеличение следует рассматривать лишь в пределах энергетических возможностей тягового средства.

Известно, что существует соотношение между шириной захвата агрегата, рабочей скоростью и крюковой мощностью (тяговым усилием) трактора [8, 9, 10]:

$$N_{kp} = \frac{B_p \cdot K_o \cdot v_p}{270 \cdot \eta_m^{\max}}, \quad (10)$$

где N_{kp} – тяговое усилие (крюковая мощность) трактора, л.с.; K_o – удельное сопротивление машины, кг/м; η_m^{max} – коэффициент нагрузки трактора (степень использования тягового усилия), %.

Отсюда возможная ширина захвата агрегата (по энергетическим возможностям):

$$B_p^N = \frac{270N_{kp} \cdot \eta_m^{max}}{v_p \cdot K_o}. \quad (11)$$

Определив, таким образом, значение B_p^N , при отыскании B_{opt} необходимо выполнить условие:

$$B_{opt} \leq B_p^N.$$

При прочих равных условиях с изменением B_p изменяется значение τ – характер изменения значения τ в зависимости от B_p .

В качестве примера рассмотрим условный комбинированный полунавесной модульный агрегат для обработки почвы и посева зерновых культур при агрегатировании трактором МТЗ-82.1 ($N = 60$ кВт), оснащенный S-образными пружинными стойками, катками, выравнивателями, рыхлителями колеи трактора, рассчитаем его параметры и определим удельное тяговое сопротивление, оптимальную ширину захвата. Исходные данные для расчета используем в разработанной программе EXCEL 2019.

Ширину захвата комбинированного почвообрабатывающего посевного агрегата определяем по формуле [11]:

$$B_p = \frac{(P_v - P_a)}{K_p + K_k + K_b + K_z + K_c + 0,01i(g_t + g_c)}, \quad (12)$$

где P_v – сила тяги, кН; P_a – сопротивление подъему, кН;

$$P_a = 0,01i \cdot G_t, \quad (13)$$

где G_t – масса трактора, кН; i – уклон, %; K_p, K_k, K_b, K_z, K_c – удельное тяговое сопротивление соответственно рыхлителей колеи трактора, катков,

выравнивателей, S-образных пружинных зубьев, сошников сеялки, кН/м;
 g_b, g_c – масса комбинированного агрегата и сеялки, на 1 м ширины захвата, кН.

В рассматриваемом агрегате основные рабочие органы S-образные пружинные стойки и катки. При расчетах принимаем средние значения удельных тяговых сопротивлений дополнительных рабочих органов K_k, K_b [12], ширину захвата агрегата – равной ширине захвата сеялки, т.е. $B_p = 3,6$ м.

После преобразований формулы (12) допустимое максимальное тяговое удельное сопротивление S-образных пружинных стоек K_s описывается следующей зависимостью:

$$K_s = \frac{(P_v - 0,01iG_t)\eta}{B_p} - [K_p + K_k + K_b + K_s + K_c + 0,01i(g_t + g_c)] - \frac{G_v \cdot f[1 + 2/3(1 - \cos \alpha_H)] + 0,001n \cdot V \cdot \rho_3 \left(\frac{v_p^2}{r} \sin \beta + g \sin \beta \right)}{B_k}, \quad (14)$$

где η – коэффициент загрузки трактора; G_k – масса катков, кН; B_v – рабочая ширина катков, м; f – коэффициент сопротивления перекачиванию катков; n – количество рабочих частей катков одновременно поднимающих почву; V – объем почвы поднимаемой одной рабочей частью катка, м³; ρ_3 – плотность почвы, кг/м³; r – радиус катка, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; α_H – угол наклона равнодействующей силы реакции почвы по катку, град.; β – угол между радиусами рабочих частей катка, град.

На основе разработанного алгоритма решение задачи было выполнено на системе EXCEL 2019.

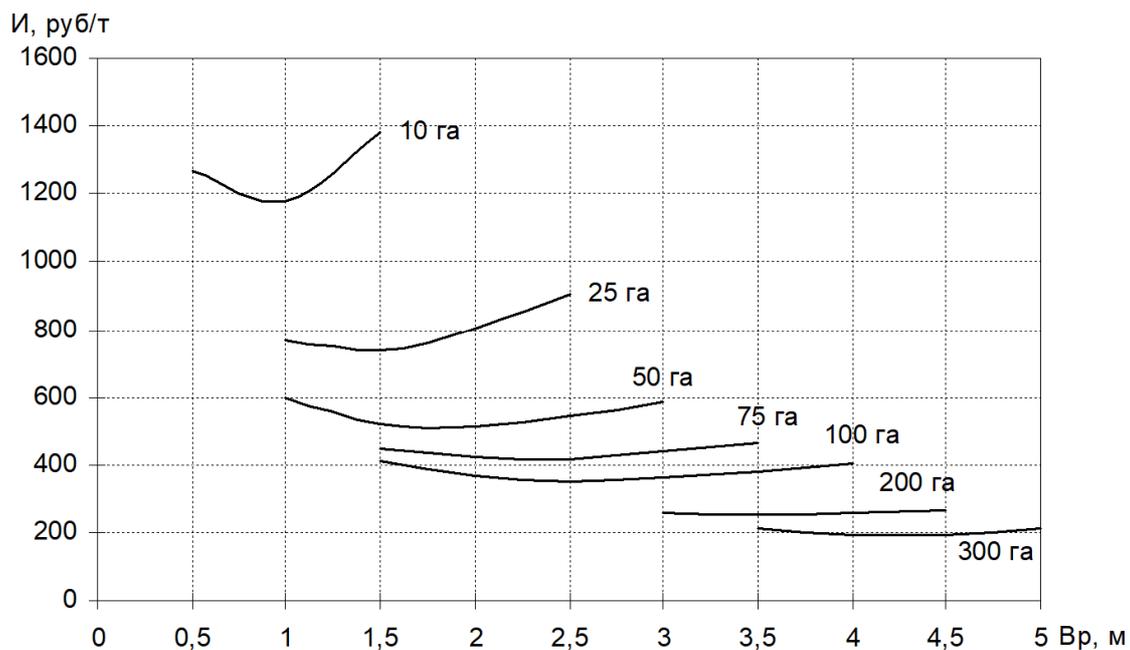


Рисунок – Изменение оптимальной ширины захвата агрегата B_p в зависимости от объема работ и удельных приведенных затрат

Выводы.

Выполненные расчеты согласно разработанной методике, результаты которых представлены на рисунке позволяют выбрать оптимальную ширину захвата агрегата в зависимости от произведённого объема возможных работ и удельных приведенных затрат на их выполнение.

Таким образом, решение предложенной задачи позволит аналитически формализовать зависимость между параметрами агрегатов, с одной стороны, и величиной затрат на единицу выполненной работы – с другой. Установление аналитических зависимостей между основными конструктивными параметрами, показателями условий использования машин и технико-экономическими показателями агрегатов позволяет подойти к решению вопроса о выборе оптимальных параметров с.-х. машин при их проектировании.

Библиографический список

1. Ожегов Н.М., Ружьев В.А., Криштанов Е.А., Дзибук И.С. Конкурентоспособная модель комбинированного почвообрабатывающего агрегата // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – №1 (29). – С. 18-22.
2. Патент на полезную модель RU 130473 U1 Российская Федерация, МПК А01В 49/02 Комбинированный почвообрабатывающий агрегат / Джабборов Нозим Исмоилович (RU), Добринов Александр Владимирович (RU), Лобанов Анатолий Владимирович (RU), Федькин Денис Сергеевич (RU), Евсеева Светлана Петровна (RU); заявитель и патентообладатель: Государственное научное учреждение Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии); № заявки 2013104360/13; опублик. 27.07.2013.
3. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Ахмадов Б.Р. Разработка энергоэффективных сельскохозяйственных агрегатов с учетом их динамических характеристик // Кишоварз. – 2014. – №2. – С. 38-40.
4. Лебедев А.Т. Ресурсосберегающие направления повышения надежности и эффективности технологических процессов в АПК: монография. – Ставрополь: Ставропольский ГАУ, 2012. – 376 с.
5. Добринов А.В. Оценка влияния производственных факторов на стоимость кормов из трав в условиях Северо-Запада России // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2002. – №73. – С. 153-157.
6. Завора В.А. Основы теоретического обоснования оптимальной ширины захвата мобильных агрегатов растениеводства // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – №5(127). – С. 141-144.
7. Бердышев В.Е., Ерошенко Л.И., Новиков М.А., Ружьев В.А., Смелик В.А., Теплинский И.З. Сельскохозяйственные машины. Технологические расчеты в примерах и задачах: учебное пособие. – 2-е изд. / под ред. М.А. Новикова. – СПб.: Проспект Науки, 2018. – 208 с.
8. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Семенова Г.А. Определение энерготехнологических параметров динамичных почвообрабатывающих агрегатов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – №4(49). – С. 252-259.
9. Джабборов Н.И., Эвиев В.А., Добринов А.В., Джабборов П.Н. Оптимизация ширины захвата МТА на стадии проектирования // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – №10. – С. 30-31.
10. Саклаков В.Д., Сергеев М.П. Техничко-экономическое обоснование выбора средств механизации. – М.: Колос, 1973.
11. Крауялис А. Обоснование параметров комбинированного почвообрабатывающего посевного агрегата для тракторов мощностью 60 кВт. // Математическое моделирование сельскохозяйственных объектов – основа проектирования технологий и машин XXI века: материалы международной научной конференции. – Минск: УП «БелНИИМСХ», 2001. – С. 53-56.
12. Ружьев В.А., Ловкис В.Б., Криштанов Е.А., Смирнова Ю.И., Дзибук И.С. Режимы работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата с оптимизированными конструкционными параметрами рабочих органов // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – №3 (31). – С. 4-10.

References

1. Ozhegov N.M., Ruzh'ev V.A., Krishtanov E.A., Dzibuk I.S. Konkurentosposobnaja model' kombinirovannogo pochvoobrabatyvajushhego agregata // Vestnik APK Stavropol'ja. – 2018. – №1 (29). – S. 18-22.
2. Patent na poleznuju model' RU 130473 U1 Rossijskaja Federacija, MPK A01V 49/02 Kombinirovannyj pochvoobrabatyvajushhij agregat / Dzhaborov Nozim Ismoilovich (RU), Dobrinov Aleksandr Vladimirovich (RU), Lobanov Anatolij Vladimirovich (RU), Fed'kin Denis Sergeevich (RU), Evseeva Svetlana Petrovna (RU); zajavitel' i patentoobladatel': Gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie Severo-Zapadnyj nauchno-issledovatel'skij institut mehanizacii i jelektrifikacii sel'skogo hozjajstva Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk (GNU SZNIIMJeSH Rossel'hozakademii); № zajavki 2013104360/13; opubl. 27.07.2013.
3. Dzhaborov N.I., Dobrinov A.V., Ahmadov B.R. Razrabotka jenergojeffektivnyh sel'skohozjajstvennyh agregatov s uchetom ih dinamicheskikh harakteristik // Kishovarz. – 2014. – №2. – S. 38-40.
4. Lebedev A.T. Resursosberegajushhie napravlenija povysenija nadezhnosti i jeffektivnosti tehnologicheskikh processov v APK: monografija. – Stavropol': Stavropol'skij GAU, 2012. – 376 s.
5. Dobrinov A.V. Ocenka vlijanija proizvodstvennyh faktorov na stoimost' kormov iz trav v uslovijah Severo-Zapada Rossii // Tehnologii i tehnicheckie sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. – 2002. – №73. – S. 153-157.
6. Zavora V.A. Osnovy teoreticheskogo obosnovanija optimal'noj shiriny zahvata mobil'nyh agregatov rastenievodstva // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – №5(127). – S. 141-144.
7. Berdyshev V.E., Eroshenko L.I., Novikov M.A., Ruzh'ev V.A., Smelik V.A., Teplinskij I.Z. Sel'skohozjajstvennye mashiny. Tehnologicheskie raschety v primerah i zadachah: uchebnoe posobie. – 2-e izd. / pod red. M.A. Novikova. – SPb.: Prospekt Nauki, 2018. – 208 s.
8. Dzhaborov N.I., Dobrinov A.V., Semenova G.A. Opreделение jenergotehnologicheskikh parametrov dinamichnyh pochvoobrabatyvajushhijh agregatov // Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – №4(49). – S. 252-259.
9. Dzhaborov N.I., Jeviev V.A., Dobrinov A.V., Dzhaborov P.N. Optimizacija shiriny zahvata MTA na stadii proektirovanija // Traktory i sel'skohozjajstvennye mashiny. – 2008. – №10. – S. 30-31.
10. Saklakov V.D., Sergeev M.P. Tehniko-jekonomicheskoe obosnovanie vybora sredstv mehanizacii. – M.: Kolos, 1973.
11. Kraujalis A. Obosnovanie parametrov kombinirovannogo pochvoobrabatyvajushhego posevnogo agregata dlja traktorov moshhnost'ju 60 kVt. // Matematicheskoe modelirovanie sel'skohozjajstvennyh ob#ektov – osnova proektirovanija tehnologij i mashin HHI veka: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. – Minsk: UP «BelNIIMSH», 2001. – S. 53-56.
12. Ruzh'ev V.A., Lovkis V.B., Krishtanov E.A., Smirnova Ju.I., Dzibuk I.S. Rezhimy raboty kombinirovannogo pochvoobrabatyvajushhego agregata s optimizirovannymi konstrukcionnymi parametrami rabochih organov // Vestnik APK Stavropol'ja. – 2018. – №3 (31). – S. 4-10.