УДК 631.316.22:631.313.6:631.314.1
DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-31-4-10

В. А. Ружьев, В. Б. Ловкис, Е. А. Криштанов, Ю. И. Смирнова, И. С. Дзибук

Ruzhyev V. A., Lovkis V. B., Krishtanov E. A., Smirnova Yu. I., Dzibuk I. S.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА С ОПТИМИЗИРОВАННЫМИ КОНСТРУКЦИОННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

MODES OF WORK OF COMBINED SOIL-PROCESSING UNIT WITH OPTIMIZED CONSTRUCTION PARAMETERS OF WORKING BODIES

Анализ технологических приемов обработки почвы и в целом агротехнологий возделывания продукции сельского хозяйства в растениеводстве, адаптированных и рекомендуемых производству, говорит о том, что в них энергоэффективные принципы достигаются путем экономии энергии при осуществлении механизированных полевых работ, рациональном использовании технических средств и технологических материалов, а в частности правильного выбранного режима производственной эксплуатации рабочих органов с учетом агротехнических требований и их конструктивных особенностей.

На основании проведенного исследования теоретически обоснованы режимы работы оптимизированных рабочих органов разработанной конструкции конкурентоспособного комбинированного почвообрабатывающего агрегата, позволяющего производить подготовку почвы под посев/посадку в сжатые агротехнические сроки за один проход, имея набор секций для дифференцированной по глубине предпосевной обработки почвы: глубокое чизельное рыхление с вовлечением в круговорот нижних слоев почвенного горизонта, дискование на глубину посева/посадки и уплотнение посевного ложа.

Отдельное внимание уделено запатентованным принципам снижения контактного взаимодействия почвы в зоне наибольшей интенсивности трения почвообрабатывающих сферических дисков, что позволяет уменьшить неравномерное изнашивание рабочих поверхностей детали путем снижения изнашивающей способности почвенного пласта.

Ключевые слова: комбинированный почвообрабатывающий агрегат, рабочие органы, режим работы.

Analysis of technological methods of soil cultivation and agrotechnology in general cultivation of agricultural products in crop production, adapted and recommended for production, shows that energy-efficient principles are achieved in them by saving energy in the implementation of mechanized field works, rational use of technical means and technological materials, and in particular the correct chosen mode of production operation of working bodies, taking into account agrotechnical requirements and their construction features.

In the article presented on the basis of the research, the operating modes of optimized working bodies of the developed design of a competitive combined soil-processing unit are theoretically substantiated, which makes it possible to prepare the soil for sowing / planting in compressed agrotechnical terms in one pass, having a set of sections for differentiated depth Preseeding tillage: deep chisel loosening with the involvement of the lower layers of the soil horizon in the circulation, disk-to-depth sowing / planting and sealing the sowing bed.

Special attention is paid to the patented principles of reducing the contact interaction of the soil in the zone of the greatest intensity of friction of the cultivating spherical discs, which makes it possible to reduce the non-uniform wear of the working surfaces of the part by reducing the inherent ability of the soil layer.

Key words: combined soil-cultivating unit, working elements, operating mode.

Ружьев Вячеслав Анатольевич –

кандидат технических наук, доцент, декан факультета технических систем, сервиса и энергетики, доцент кафедры технических систем в агробизнесе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин
Тел.: 8-911-260-96-02
E-mail: ruzhev_va@mail.ru

Ловкис Виктор Болеславович –

кандидат технических наук, доцент, декан агроинженерного факультета УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Беларусь
Тел.: +3 (75172) 670-672
E-mail: vlovkis@tut.by

Криштанов Егор Александрович –

кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, физики и инженерной графики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин

Ruzhyev Vyacheslav Anatol'evich –

Ph.D of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Technical Systems, Service and Energy, Associate Professor of Department Technical Systems in Agribusiness FSBEI HE «St. Petersburg State Agrarian University»
Saint-Petersburg, Pushkin
Tel.: 8-911-260-96-02
E-mail: ruzhev_va@mail.ru

Lovkis Victor Boleslavovich –

Ph.D of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of Agroengineering faculty EI «Belarusian State Agrarian Technical University»
Minsk, Belarus,
Tel.: +3(75172)670-672
E-mail: vlovkis@tut.by

Krishtanov Egor Alexandrovich –

Ph.D of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Applied Mechanics, Physics and Engineering Graphics FSBEI HE «St. Petersburg State Agrarian University»
Saint-Petersburg, Pushkin

Тел.: 8-921-750-98-37
E-mail: dekanazam@mail.ru

Смирнова Юлия Игоревна –
аспирант кафедры технических систем в агробизнесе
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
аграрный университет»
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин
Тел.: 8-921-34-34-939
E-mail: itsse@bk.ru

Дзибук Иван Станиславович –
аспирант кафедры технических систем в агробизнесе
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
аграрный университет»
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин
Тел.: 8-981-830-22-08
E-mail: 20baron10@list.ru

Тел.: 8-921-750-98-37
E-mail: dekanazam@mail.ru

Smirnova Yuliya Igorevna –
Post-graduate student of the Department Technical
Systems in Agribusiness
FSBEI HE «St. Petersburg State Agrarian University»
Saint-Petersburg, Pushkin
Tel.: 8-921-34-34-939
E-mail: itsse@bk.ru

Dzibuk Ivan Stanislavovich –
Post-graduate student of the Department Technical
Systems in Agribusiness
FSBEI HE «St. Petersburg State Agrarian University»
Saint-Petersburg, Pushkin
Tel.: 8-981-830-22-08
E-mail: 20baron10@list.ru

При комплектовании конкурентоспособных почвообрабатывающих агрегатов, применяемых для предпосевной обработки почвы в высокоинтенсивных технологиях производства сельскохозяйственных культур, обязательным условием машиноиспользования становится их настройка на заданные режимы работы.

Учитывая современное развитие агропромышленного производства и применение для подготовки почвы под посев преимущественно технических систем для дифференцированной обработки почвы, нами предложена модель комбинированного почвообрабатывающего агрегата с оптимизированными конструкционными параметрами рабочих органов (рис. 1) [1].

Одним из важных критериев применения конкурентоспособных комбинированных почвообрабатывающих агрегатов является каче-

ственное исполнение работ в рекомендуемые агротехнические сроки и с низкой себестоимостью.

Исследованиями [2, 3] установлено, что производственная эксплуатация комбинированных почвообрабатывающих агрегатов с заданными оптимальными режимами работы позволяет по максимуму загрузить энергонасыщенные тракторы, особенно на сложных участках, где применение широкозахватных и однооперационных машин затруднительно.

Спроектированный комбинированный почвообрабатывающий агрегат (рис. 1) в полной мере отвечает задаваемой технологической операции, учитывая эксплуатационные свойства и рабочих органов, и энергетического средства.

Режимы работы чизельных рыхлителей (первая условная секция на рис. 1) выбираются из двух принципиальных условий:

Рисунок 1 – Модель комбинированного почвообрабатывающего агрегата с оптимизированными конструкционными параметрами рабочих органов [1]

$$a < h_K; \quad (1.1)$$

$$a > h_K; \quad (1.2)$$

где a и h_K – заданная и критическая глубины обработки почвы соответственно, см.

Во-первых, глубина щели h , от которой получается зона деформации, ограниченная плоскостями, расположенными к линии nm под углом $\Theta/2$ (рис. 2, а), ненамного меньше заданной глубины обработки почвы a (рис. 2, в), так как скол почвенного пласта под углом скалывания ψ на-

чинается выше почвообрабатывающей поверхности рабочего органа. Принято считать [4, 5], что $a = h_K$.

Во-вторых, при $a > h$, боковая зона рыхления распределяется до критической глубины h_K (рис. 2, г), так как ниже получается прорезь, глубина которой характеризуется резанием пласта без отделения стружки почвы (сектор блокированного резания) с боковых сторон чизельного рыхлителя:

$$h_0 = a > h_K. \quad (1.3)$$

Рисунок 2 – Процесс деформации почвы чизельным рыхлителем [4]:

a – участок поперечного сечения обработанного почвенного пласта на заданную глубину;
 $б$ – график зависимости бокового скалывания почвенного пласта от заданной глубины обработки почвы;
 $в$ – схема рыхления почвенного пласта при $a < h_K$; $г$ – схема рыхления почвенного пласта при $a > h_K$

В рассматриваемом секторе, т. е. за пределами критической глубины h_k , образуется уплотненный слой толщиной e (рис. 2, г). Слой образуется из-за больших реактивных нагрузок в зоне блокированного резания, под действием которых почвенный пласт уплотняется, сминается и задерживается на почворезущей рабочей поверхности чизельного рыхлителя.

При определенных условиях слой становится очень прочным, и тогда дальнейшее резание почвенного пласта производится им, а не рабочей поверхностью чизельного рыхлителя [4].

Угол скалывания ψ может быть определен по формуле В. П. Горячкина [5]:

$$\psi = 90^\circ - \frac{(\alpha + \varphi_1 + \varphi_2)}{2}, \quad (1.4)$$

где φ_1 – угол трения обрабатываемого почвенного пласта по материалу чизельного рыхлителя;

φ_2 – угол внутреннего трения почвы.

Ширина b_n деформированной полосы почвенного пласта в поперечном сечении при $a > h_k$ имеет зависимость не от заданной глубины обработки a , а от критических ее значений h_k , что можно представить в виде выражения (рис. 3):

$$b_n = b_0 + 2h_k \cdot \operatorname{tg}(0,5\Theta), \quad (1.5)$$

где b_0 – рабочая ширина захвата чизельного рыхлителя;

$\Theta = \delta = 2\varphi_2$ – угол между сечениями, ограничивающими деформацию почвенного пласта с боковых сторон.

Так, зона распределения деформируемого почвенного пласта (зона деформации) в направлении продольного перемещения зависит от заданной глубины обработки a , а также от конструктивного угла установки рыхлителя к горизонту α и угла трения φ . Ширина разрыхленной полосы b' по схеме 3 будет равна [4, 5]:

$$b'_n = b_0 + 2 \cdot mn_1 \cdot \operatorname{tg}(0,5\delta) \cdot [\cos(\alpha + \varphi)]^{0,5},$$

но так как $mn_1 = h_k \cdot [\cos(\alpha + \varphi)]^{0,5}$, то

$$b'_n = b_0 + 2h_k \cdot \operatorname{tg}(0,5\delta) \cdot [\cos(\alpha + \varphi)]^{0,5}. \quad (1.6)$$

Из представленного равенства (1.6) можно сделать вывод, что с увеличением конструктивного угла α и угла, зависящего от физико-механических свойств обрабатываемого участка φ , ширина полосы деформированного почвенного пласта возрастает. Ширина полосы также возрастает с увеличением параметров критической глубины h_k и углов деформации почвенного пласта $0,5\delta = 0,5\Theta = \varphi_2$.

Рисунок 3 – Схема распределения деформируемого почвенного пласта при работе чизельного рыхлителя в двух направлениях [4, 5]:

a – продольном; b – поперечном

Глубина h_k , в свою очередь, зависит от данных параметров, но, в основном, от значений b_0 . При обработке почвы, когда $a > 40$ см и $b_0 \geq 50$ мм, значение критической глубины достигает максимального и остается постоянной, т. е. $h_k = h_{k \max} = \text{const}$ при увеличении значения b_0 . При конструктивных значениях с уменьшением b_0 ($b_0 < 50$ мм) критическая глубина h_k резко снижается. Поэтому, чтобы увеличить значение h_k , ширина захвата рабочего органа должна быть $b_0 \geq 50$ мм. Следовательно, обрабатывать почву чизельным рыхлителем рекомендуется на глубину $a \approx h_k$.

Предложенные методы нанесения износостойких покрытий на дисковые рабочие органы [6, 7, 8] изменяют их традиционный режим работы (рис. 4), составляющих вторую условную секцию комбинированного почвообрабатывающего агрегата, представленного на рисунке 1.

Неоднородный контакт обрабатываемого пласта почвы с рабочей поверхностью выступов наплавленного слоя и основным металлом (рис. 4, поз. 2) почвообрабатывающего сферического диска [9] способствует формированию в контактом слое как растягивающих, так и сжимающих напряжений (поз. 3 и 4 соответственно), которые и изменяют степень закрепленности абразивных частичек почвенного пласта.

Со стороны тыльной рабочей поверхности наплавленного слоя сферического диска образуются застойные зоны почвенного пласта (рис. 4, поз. 5), в которых скорость частиц почвы уменьшается до нулевого значения, и уже трение абразивных частиц происходит с поверхностью застойной зоны почвы. За пределами зон застоя частички контактного слоя почвенного пласта во взрыхленном состоянии осуществляют смешанные движения, которые

включают вращение, скольжение и перекатывание абразивных частиц, при этом снижается трение почвенных абразивных частиц с почвообрабатывающей поверхностью сферического диска [10].

При этом основным фактором технологического воздействия, который способствует снижению плотности разрыхляемого слоя почвы в зоне контакта, является образование прямого динамического краткосрочного (0,1–0,3 сек) удара, возникающего в результате взаимодействия с прерывистой поверхностью наплавленного слоя в процессе перемещения рабочей поверхности дискового рабочего органа [1].

При эксплуатации почвообрабатывающего агрегата со скоростями в пределах 3,0–4,0 м/с в области производимой работы секции из сферических дисков будет происходить интенсивное рыхление отрезанного почвенного пласта, а также его перемешивание с измельчаемыми остатками растительной массы. Результатом такой работы становится эффект воздушного переноса почвенного пласта в междисковое пространство, а по заданной глубине обрабатываемого участка получается мелкоагрегатный слой из почвенных комков размером 20–25 мм, соответствующий агротехническим требованиям, предъявляемым как к технологической операции, так и к выполняющим ее рабочим органам [1].

При движении катка (третья условная секция почвообрабатывающего агрегата) прикатывающие кольца за счет весовой нагрузки на пласт измельчают комки почвы, и на поверхности обрабатываемого участка образуется мульчированный рыхлый слой, который уменьшает испарение почвенной влаги.

Рисунок 4 – Схема преобразования упругой деформации активного слоя почвы при взаимодействии с почвообрабатывающим сферическим диском [10]:

V_n – скорость поступательного перемещения почвообрабатывающего сферического диска [7, 8, 9]; $h_{сл}$ – толщина активного слоя обрабатываемого пласта почвы; t – шаг выступа (наплавки) износостойкого покрытия; 1 – поперечное сечение наплавленного валика (выступа); 2 – рабочая поверхность основного металла почвообрабатывающего сферического диска; 3 и 4 – переходные зоны сжимающих и растягивающих напряжений; 5 – застойные зоны почвы в области снижения контактного давления

Кольцо катка осуществляет принудительное движение по поверхности обрабатываемого участка, при этом почва сминается на глубину h (рис. 5).

Реактивная сила R_{π} почвенного пласта, действующая на каток по всей поверхности контакта с почвой (дуга KED), описывается выражением

$$R_{\pi} = A[0,125 a^3 \ln(\sqrt{a+d_{\text{СК}}} + \sqrt{d_{\text{СК}}}) - 0,0625 a^3 \ln a - 0,042 \sqrt{d_{\text{СК}}} \sqrt{a+d_{\text{СК}}} (3a^2 - 2a d_{\text{СК}} - 8d_{\text{СК}}^2)], \quad (1.7)$$

где $A = \frac{0,94 q (\operatorname{tg} \varphi + 1)}{\cos \delta \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi};$

$$a = (r_{\text{к}} - r_{\text{СК}}) \operatorname{tg} \varphi;$$

φ – угол трения почвы о кольцо, град;

q – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³;

δ – угол приложения реактивной силы почвенного пласта, град;

$r_{\text{к}}$ – радиус кольца катка, м;

$d_{\text{СК}} = 2r_{\text{СК}}$ – диаметр сечения кольца катка, м.

Отсюда, R_{π} зависит и от физико-механических свойств почвы, и от конструктивных параметров катка.

Для получения максимального эффекта от использования катка достаточно правильно подобрать диаметр его прикатывающих колец. Тогда кольца эффективно подминают под себя почвенные комки и раздавливают их [11].

Минимальный диаметр кольца, м, катка:

$$d_{\min} = \frac{2[h + r_{\text{КП max}}(1 + \cos(\varphi_1 + \varphi_2))]}{1 - \cos(\varphi_1 + \varphi_2)}, \quad (1.8)$$

где $r_{\text{КП max}}$ – радиус наибольшего комка почвы, м;

φ_1 – угол трения кольца о комок почвы, град;

φ_2 – угол трения почвенного комка о почву, град.

Разработанный комбинированный почвообрабатывающий агрегат оптимизированными конструктивными параметрами рабочих органов и выбранными режимами их работы обеспечивают качественную предпосевную обработку почвы: глубокое рыхление с вовлечением в круговорот нижних слоев почвенного горизонта, дискование на глубину посева и уплотнение посевного ложа.

Рисунок 5 – Схематичное прямолинейное движение кольца прикатывающего катка по поверхности обрабатываемого участка [11]

Литература

1. Конкурентоспособная модель комбинированного почвообрабатывающего агрегата / Н. М. Ожегов, В. А. Ружьев, Е. А. Криштанов, И. С. Дзибук // Вестник АПК Ставрополя. 2018. № 1 (29). С. 18–22.
2. Основы повышения эффективности технологических процессов и технических средств обработки почвы : монография / Н. И. Джабборов, А. В. Добринов, В. А. Эвиев, Д. С. Федькин. СПб. ; Элиста : Изд-во Калм. ун-та, 2016. 168 с.
3. Methods and means of monitoring and controlling of the operation mode of adapter

References

1. Competitive model of a combined soil-cultivating unit / N. M. Ozhegov, V. A. Ruzhyev, E. A. Krishtanov, I. S. Dzhibuk // Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2018. № 1 (29). P. 18–22.
2. Fundamentals of improving the efficiency of technological processes and technical means of soil cultivation: monograph / N. I. Jabborov, A. V. Dobrinov, V. A. Eviev, D. S. Fedkin. St. Petersburg ; Elista : Publishing house of Kalmyk University, 2016. 168 p.
3. Methods and means of monitoring and controlling of the operation mode of adapter

- for soil surface consolidation / A. B. Kalinin, V. A. Ruzhyev, Yu. I. Smirnova, I. Z. Tep-linsky // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2018. № 10 (5S). P. 1258–1268.
4. Кленин Н. И., Киселев С. Н., Левшин А. Г. Сельскохозяйственные машины. М. : КолосС, 2008. 816 с.
  5. Сельскохозяйственные машины. Технологические расчеты в примерах и задачах : учеб. пособие / В. Е. Бердышев, Л. И. Ерошенко, М. А. Новиков, В. А. Ружьев, В. А. Смелик, И. З. Теплинский ; под ред. М. А. Новикова. 2-е изд. СПб. : Проспект Науки, 2018. 208 с.
  6. Упрочнение рабочей поверхности сферических дисков путем нанесения армирующих покрытий / Н. М. Ожегов, В. А. Ружьев, О. С. Кузьмин, Н. П. Григорьев, С. В. Шмагин // Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. «Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика» (Санкт-Петербург, 14–15 апреля 2016 г.). СПб., 2016. С. 80–84.
  7. Пат. 174406 Российская Федерация, МПК A01B7/00, A01B15/16, A01B 23/06. Почвообрабатывающий сферический диск / Н. М. Ожегов, С. А. Соловьев, Д. Б. Слинко, В. А. Ружьев ; заявитель и патентообладатель Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. № 2017110844 ; заявл. 31.03.2017 ; опубл. 12.10.2017, Бюл. № 29.
  8. Пат. 177818 Российская Федерация, МПК A01B 23/06, A01B 15/16. Почвообрабатывающий сферический диск / Д. Б. Слинко, А. С. Дорохов, Н. М. Ожегов, В. А. Денисов, В. А. Ружьев, М. Ю. Фузеева ; патентообладатель Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. № 2017119223 ; заявл. 02.06.2017 ; опубл. 13.03.2018, Бюл. № 8.
  9. Пат. 172891 Российская Федерация, A01B 15/16, A01B 23/06, B23K 9/04, C23C. Почвообрабатывающий сферический диск / Н. М. Ожегов, В. А. Ружьев, О. С. Кузьмин, Н. П. Григорьев ; заявитель и патентообладатель Ожегов Николай Михайлович, Ружьев Вячеслав Анатольевич. № 2016137210 ; заявл. 16.09.16 ; опубл. 28.07.17, Бюл. № 22.
  10. Ожегов Н. М., Ружьев В. А., Капошко Д. А. Методы устойчивого самозатачивания почворезущих поверхностей деталей // Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург – Пушкин, 25–26 января 2018 г.) / СПбГАУ. СПб., 2018. С. 371–377.
  11. Зыкин Е. С. Способ посева пропашных культур с разработкой катка-гребнеобразователя : дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2007. 181 с.
  - for soil surface consolidation / A. B. Kalinin, V. A. Ruzhyev, Yu. I. Smirnova, I. Z. Tep-linsky // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2018. № 10 (5S). P. 1258–1268.
  4. Klenin N. I., Kiselev S. N., Levshin A. G. Agricultural machines. M. : KolosS, 2008. 816 p.
  5. Agricultural machines. Technological calculations in examples and tasks : Textbook / V. E. Berdyshev, L. I. Eroshenko, M. A. Novikov, V. A. Ruzhyev, V. A. Smilik, I. Z. Tep-linsky ; under the editorship M. A. Novikov. 2nd edition. SPb. : Prospect of Science, 2018. 208 p.
  6. Hardening of the working surface of spherical disks by applying reinforcing coatings / N. M. Ozhegov, V. A. Ruzhyev, O. S. Kuzmin, N. P. Grigoriev, S. V. Shmagin // Collection of scientific works on the materials of the International scientific-practical conference «Technologies of hardening, coating and repair: theory and practice» (St. Petersburg, 14–15 April, 2016). SPb., 2016. P. 80–84.
  7. Patent 174406 Russian Federation, IPC A01B7/00, A01B15/16, A01B 23/06. Soil-imaginary spherical disc / N. M. Ozhegov, S. A. Soloviev, D. B. Slinko, V. A. Ruzhyev; applicant and patent holder Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM. № 2017110844 ; claimed 03.31.2017 ; published 12.10.2017, Bul. № 29.
  8. Patent 177818 Russian Federation, IPC A01B 23/06, A01B 15/16. Soil-shaped spherical disk / D. B. Slinko, A. S. Dorokhov, N. M. Ozhegov, V. A. Denisov, V. A. Ruzhyev, M. Yu. Fuseeva; patent holder Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM. № 2017119223 ; claimed 06.02.2017 ; published 13.03.2018, Bul. № 8.
  9. Patent 172891 Russian Federation, A01B 15/16, A01B 23/06, B23K 9/04, C23C. Soil-processing spherical disk / N. M. Ozhegov, V. A. Ruzhyev, O. S. Kuzmin, N. P. Grigoriev ; applicant and patent holder Ozhegov Nikolai Mikhailovich, Ruzhyev Vyacheslav Anatolievich. № 2016137210 ; claimed 16.09.16 ; published 28.07.17, Bul. № 22.
  10. Ozhegov N. M., Ruzhyev V. A., Kaposhko D. A. Methods of sustainable self-sharpening of the soil surfaces of parts // Collection of scientific works on the materials of the International scientific-practical conference (St. Petersburg – Pushkin, 25–26 January, 2018) / SPbGAU. SPb., 2018. P. 371–377.
  11. Zykin E. S. Method of sowing of tilled crops with the development of a ridge-comber : dissertation of candidate of technical Sciences. Penza, 2007. 181 p.