



МАШИНА ЖАСАУ  
МАШИНОСТРОЕНИЕ  
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212\_2023\_2\_60  
МРНТИ 55.57.33

**М.В. Дудкин<sup>1</sup>, А.И. Ким<sup>2</sup>, В.С. Яковлев<sup>1</sup>, В.В. Роговский<sup>1</sup>, А.В. Вавилов<sup>1</sup>,  
Г.А. Гурьянов<sup>1</sup>, Т.Б. Курмангалиев<sup>1</sup>, М. Млынчак<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup>Университет Мирас, г. Шымкент, Казахстан

<sup>3</sup>Вроцлавский университет науки и технологии, г. Вроцлав, Польша

*E-mail: vas\_dud@mail.ru*

*E-mail: alinakim3107@mail.ru\**

*E-mail: vel1051@yandex.kz,*

*E-mail: gerat1302@mail.ru,*

*E-mail: avavilov@yandex.ru*

*E-mail: gguryanov@mail.ru*

*E-mail: nomad007@mail.ru*

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ПОСЕВНОЙ СЕКЦИИ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА КАЗАХСТАНА

## ҚАЗАҚСТАННЫҢ АГРОӨНЕРКӘСІПТІК КЕШЕНІ ЖАҒДАЙЫНДА ЖҰМЫС ІСТЕУ ҮШІН ЖАҢА АРАЛАС ЕГІС СЕКЦИЯСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫН НЕГІЗДЕУ ЖӘНЕ ӨЗІРЛЕУ

## JUSTIFICATION OF THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF A NEW COMBINED SEEDING SECTION FOR WORKING IN THE CONDITIONS OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF KAZAKHSTAN

***Аннотация.** В статье приведен научно-конструкторский подход к переоборудованию старой посевной техники, которой в большинстве своем оснащены крестьянские хозяйства Республики Казахстан, и дано описание новой посевной секции, изготовление которой доступно любому агротехническому предприятию РК. Приведен расчет основных узлов и сил сопротивления проникновению посевных дисков в почву. Дано обоснование расположения деталей посевной секции в ее общей схеме, приведены новые, ранее не применяемые детали плоскорезающих анкерных сошников. Все приведенные материалы направлены на обновление и совершенствование посевных агрегатов, применяемых в агрокомплексе РК, а также для обеспечения заданных параметров посева при изменении свойств почвы и на криволинейных участках посевной площади. Теоретически исследования опираются на известные зависимости и данные предшествующих опытов в области механики грунтов, в области колеобразования и прокладки борозд, а также на «классические» зависимости, с помощью которых можно рассчитать и установить требования и условия устойчивого хода посевных комплексов относительно вертикальной и горизонтальной плоскости работы, что значительно расширяет теорию посевных машин. Теоретические и конструкторские решения проверялись экспериментально и сопоставлялись с уже известными данными открытых научных и практических источников.*

***Ключевые слова:** центральный диск; левый (правый) посевной диск; пожнивные остатки; стрельчатая раздвоенная лапа; сопротивление почвы; семяпровод; сочлененная посевная рама.*

***Аңдатпа.** Мақалада негізінен Қазақстан Республикасының шаруа қожалықтары жарақтандырылған ескі*

егіс техникасын қайта жабдықтауға ғылыми-конструкторлық тәсіл келтірілген жаңа егіс секциясының сипаттамасы берілген, оны дайындау ҚР кез келген агротехникалық кәсіпорнына қолжетімді. Егіс секциясының бөлшектерін оның жалпы схемасында орналастырудың негіздемесі келтірілген, жалпақ кескіш анкерлік ашықштардың жаңа, бұрын қолданылмаған бөлшектері ұсынылған. Барлық келтірілген материалдар Қазақстан Республикасының агрокешенінде қолданылатын егіс агрегаттарын жаңартуға және жетілдіруге, сондай-ақ топырақ қасиеттерінің өзгеруі кезінде және егіс алаңының қисық сызықты учаскелерінде берілген егіс параметрлерін қамтамасыз етуге бағытталған. Теориялық тұрғыдан алғанда, зерттеулер топырақ механикасы саласындағы, ойықтардың пайда болуы мен төсеу саласындағы алдыңғы тәжірибелердің белгілі тәуелділіктері мен деректеріне, сондай-ақ «классикалық» тәуелділіктерге сүйенеді. Олардың көмегімен егу машиналарының теориясын едәуір кеңейтетін тік және көлденең жұмыс жазықтығына қатысты егу кешендерінің тұрақты жүрісінің талаптары мен шарттарын есептеуге және орнатуға болады. Теориялық және конструкторлық шешімдер эксперименттермен тексеріліп, ашық ғылыми және практикалық дереккөздердің бұрыннан белгілі деректерімен салыстырылды.

**Түйін сөздер:** орталық диск; сол жақ (оң жақ) тұқым дискісі; өсімдік қалдықтары; айыр табан; топырақ кедергісі; буындастырылған тұқым жақтауы.

**Abstract.** In the article a scientific and design approach to the re-equipment of old sowing equipment, which is mostly equipped with peasant farms of the Republic of Kazakhstan, is given, and a description is given of a new sowing section, the manufacture of which is available to any agrotechnical enterprise of the Republic of Kazakhstan. The calculation of the main nodes and forces of resistance to the penetration of seed discs into the soil is given. The rationale for the location of the details of the sowing section in its general scheme is given, new, previously not used details of flat-cutting anchor coulters are given. All the above materials are aimed at updating and improving the sowing units used in the agro-complex of the Republic of Kazakhstan, as well as to ensure the specified sowing parameters when changing soil properties and on curved sections of the sown area. Theoretically, the studies are based on known dependencies and data from previous experiments in the field of soil mechanics, in the field of rutting and laying furrows, as well as on "classical" dependencies, with the help of which it is possible to calculate and establish the requirements and conditions for the stable running of sowing complexes relative to the vertical and horizontal plane of work, which will greatly expand the theory of sowing machines. Theoretical and design solutions were tested by experiments and compared with already known data from open scientific and practical sources.

**Keywords:** central disk; left (right) seed disc; crop residues; lancet forked paw; soil resistance; vas deferens; articulated seeding frame.

**Введение.** Основным и ключевым направлением развития сельского хозяйства Республики Казахстан (РК) является растениеводство. Рост выращенных растениеводческих продуктов наблюдается в РК каждый год, их запасы, например муки и пшеницы, экспортируются Казахстаном в развитые страны мира.

Для возделывания сельскохозяйственных культур в РК применяются различные технологии: традиционные, минимальные, «нулевые», интенсивные, комбинированные. Выбор той или иной аграрной технологии обуславливается уходом за возделываемой культурой, почвенно-климатическими условиями каждого региона, техническим оснащением хозяйства, возможностями в использовании современных удобрений и средств защиты растений. Улучшением указанных показателей можно значительно повысить урожайность [1-6].

Развитие сельскохозяйственного потенциала Казахстана поддерживается государством, которое уделяет большое внимание и заинтересованность в вопросах оснащения как крестьянских хозяйств, так и крупных аграрно-промышленных предприятий и объединений современной посевной и уборочной техникой, технологиями и оборудованием, что позволяет повысить качество конечной продукции аграрно-промышленного комплекса (АПК).

Изменения в технологии производства сельскохозяйственной продукции обуславливают спрос на инновационную качественную технику, способную реализовать передовые технологии в сельском хозяйстве.

Устойчивое производство растениеводческой продукции зависит прежде всего от применяемых технологий и мобильных сельскохозяйственных комплексов – основных

средств производства, которыми все чаще становятся посевные комплексы (далее – ПК), включающие в себя функции нескольких агрегатов.

Лидирующими фирмами в области производства и совершенствования посевного оборудования являются: John Deere и Great Plains (США), Bourgault и Massey Ferguson (Канада), «Красная Звезда» и «Агро-Союз» (Украина), Crucianelli (Аргентина), Kongskilde (Дания), «Horsch», «Amazonen-Werke» (Германия), Mashio и Gaspardo (Италия); «Noget Gougis» (Франция) и др. [7-12].

Учитывая многообразие всех эксплуатируемых в РК сельскохозяйственных посевных комплексов, машин и агрегатов, компоновку их рабочих органов или модулей можно считать секционной, моноблочной и раздельно-агрегатной.

Наибольшее внедрение в Казахстане нашли (и находят) различные посевные комплексы, используемые для почвообработки и высевания зернобобовых и зерновых семян и культур, с использованием «нулевого» или «минимального» способа подготовки почвы. Так, например, ТОО «ОХМК» (Опытное хозяйство масличных культур, ВКО) делает основную ставку именно на данный тип посевной техники.

Основными современными направлениями совершенствования ПК являются [1-7]: увеличение скоростей работы, увеличение вместимости бункеров; повышение точности дозирования высеваемых материалов и равномерности глубины их заделки в почву; возможность размещения туков в стороне и глубже семян; применение катков для индивидуального прикатывания рядков; применение дополнительных рабочих органов для выравнивания поверхности поля после посева; универсализация ПК как в плане количества культур, так и способов посева. Актуальными остаются: повышение производительности, снижение металлоемкости, повышение энергоэффективности, надежности и других эксплуатационных характеристик.

*Решаемые проблемы.* Проблемным вопросом для хозяйств ВКО (Восточно-Казахстанской области) и РК в целом является повышение ресурсной надежности посевных комплексов – повышение срока службы сошников, дисков и других элементов ПК. Так, например, ТОО «ОХМК», используя технику одного из ведущих зарубежных производителей – компании CRUCIANELLI (имеют значительное распространение в РК из-за невысокой и обоснованной стоимости), столкнулось с проблемой ускоренного износа сошников (практически в течение одного сезона) на сложных пахотных землях ВКО, что приводит к значительному увеличению производственных затрат. В некоторых случаях проблемой является сама конструкция и кинематика посевного аппарата, снижающего микропространство для роста семян. Еще одна проблема – отсутствие адаптации некоторых дисковых элементов сеялки к условиям земель ВКО (быстрая забиваемость и пр.). Данные примеры дают представление о том, что даже в современном оборудовании от известного производителя имеется значительный потенциал для модернизации, которая обеспечит лучшее функционирование ПК в реальных условиях казахстанского сельского хозяйства. Данные примеры не являются единственными, но в силу ограничений по объему данной статьи мы не приводим здесь другие локальные проблемные вопросы конструкций современных ПК, эксплуатируемых на территории РК.

Таким образом, ожидаемое совершенствование АПК РК невозможно без качественного обеспечения научной и технической оснащенности предприятий отрасли инновационными машинами и комплексами, способными соответствовать потребностям реального сектора. Поэтому научно-техническая проблема обеспечения эффективного и ресурсосберегающего функционирования мобильных и универсальных аграрных агрегатов в многообразии меняющихся условий ведения производства продукции растениеводства является для РК весьма актуальной.

Проблема в том, что средств на модернизацию всех предприятий отрасли не хватает, а многие крестьянские хозяйства РК зачастую не имеют больших свободных финансовых средств на покупку современного оборудования, обеспечивающего прогрессивные технологии растениеводства.

В данной статье приведен конструкторский и научный подход к решению этой проблемы.

Эффективным способом уменьшения затрат при посеве зерновых культур служит совмещение нескольких операций из технологии посева в течение одного рабочего прохода комплекса, таких как подготовка, подрезание и разуплотнение почвы, внесение основного удобрения ниже посеянных семян на определенную глубину, посев семян и другие. Для этого не обязательно закупать дорогостоящую зарубежную технику и оборудование, а достаточно модернизировать имеющееся старое оборудование или постараться сделать его самостоятельно. Ведь и большинство компаний, выпускающих посевные машины или их модули (секции), не тратят деньги на разработку своих «фирменных» узлов посевных машин, им дешевле купить готовые, качественные узлы других фирм, получивших хорошие рекомендации в работе. Примером этого является оснащение посевных комплексов John Deere, которые снабжены заимствованным классическим механическим приводом высевальных аппаратов и двухдисковыми сошниками, разработанными другими фирмами. Именно поэтому в данной статье предлагается конструкция посевной секции, которую при необходимости можно изготовить в любом крестьянском хозяйстве из доступных на рынке материалов и зарекомендовавших себя узлов и деталей, например разрезных дисков, имеющихся на складе или в продаже, а также приводится расчет сил сопротивления внедрению режущих дисков в почву.

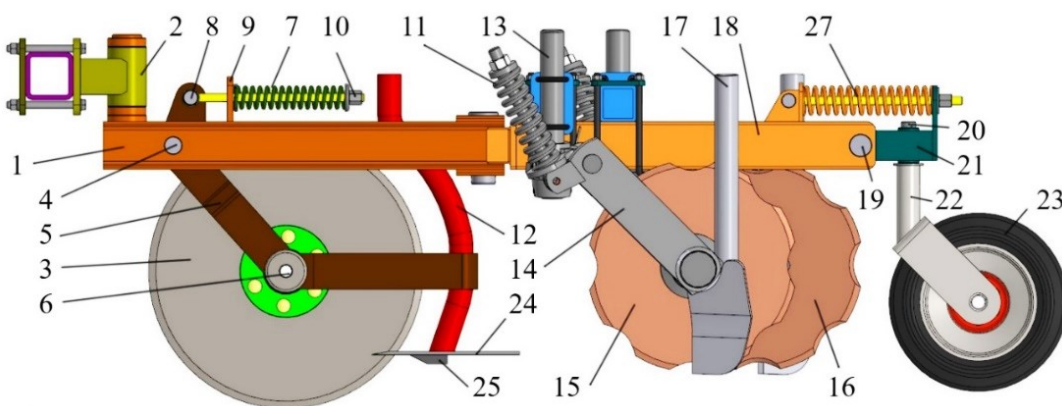
*Устройство, модернизация и работа дисковой посевной секции.* В данной работе предложена дисковая посевная секция, предназначенная для посева зерновых культур с одновременным внесением основного удобрения (рис. 1).

Нумерация основных узлов и деталей посевной секции в статье сквозная, с одинаковым обозначением соответствующих деталей на всех рисунках и схемах.

Рассмотрим компоновку предлагаемой посевной секции (рис. 1).

Несущая рама 1 сделана из трубоквadrата и выполнена сочлененной с поворотной частью 18. Спереди рамы смонтировано шарнирно закрепленное дышло 2, сзади – подпружиненная вставка 21 со стойкой 22 уплотняющего катка 23. Шарниры 2 и 20 свободно-вращающиеся, поэтому вместе с осью сочленения рам 1 и 18 позволяют посевной секции принять при возможных поворотах базовой техники такое положение, при котором жестко приложенные изгибающие напряжения будут сведены к минимуму, а сама секция выполнит поворот более плавно, без скачков, что сократит возможность ее поломки. Основными деталями посевной секции являются центральный режущий диск 3, сходящиеся под углом  $100^\circ$  посевные диски 15 и 16, стойки 14 которых смонтированы в кронштейнах 13, соединенных регулируемой тягой с удерживающей пружиной 11. За посевными дисками 15 и 16 расположены семяпроводы и плоскорежущая лапа 24, полая стойка 12 которой одновременно является продолжением внешнего тукопровода (не показан). Лапа 24 своей стойкой 12 жестко соединена с коромыслом 5, на котором смонтирована ось 6 центрального диска 3. Положение диска 3 относительно несущей рамы 1 и глубина его погружения в почву регулируется двумя пружинами 7. При наезде диска 3 на неделимое препятствие или очень плотную почву, он стремится отойти назад-вверх, но действие пружин 7 удерживает его в заданном положении, позволяя перекатиться по препятствию. При подъеме диска 3 вверх, вместе с ним на коромысле 5 поднимается плоскорежущая лапа 24, тем самым избегая встречи с неделимым препятствием, что спасает ее от поло-

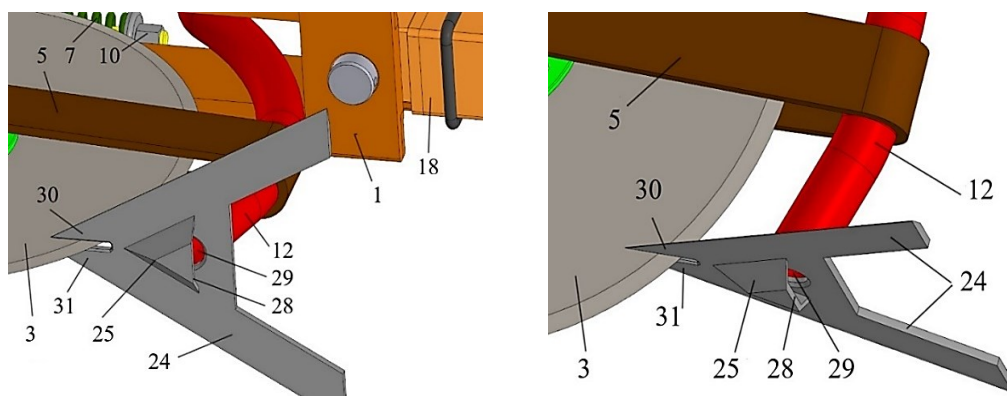
МОК.



**Рисунок 1** – Новая посевная секция с дисковыми сошниками и плоскорежущей стрелчатой лапой с раздвоенным острием

Плоскорежущая стрелчатая лапа 24 выполнена с разделенным на 2 части острием (рис. 2). В заточенную прорезь между остриями 30 и 31 на 5...7 см режущей кромкой входит плоскость центрального режущего диска 3. По бокам диска остается небольшой неконтролируемый зазор, а глубина проникновения диска 3 в лапу 24 ограничивается коромыслом 5. Диск 3 теперь при движении имеет возможность за счет охвата своей режущей части прорезью острия лапы 24 очищаться от налипшей почвы и растительных остатков, которые будут очищаться лапой 24. Вместе с этим прорезь в острие лапы 24 позволяет максимально приблизить саму лапу 24 к оси диска 3, что позволяет укоротить общую длину посевной секции и, тем самым, уменьшить ее габариты и металлоемкость.

Центральный дисковый нож 3 рыхлит почву и при посеве работает вместе со всеми комплектующими лапы 24. Диск 3 прорезает почву и растительные остатки, оставляя после себя борозду, а через отверстие 29 тукопровода 12 идущей следом лапы 24 туки укладываются на дно борозды. Глубина укладки туков регулируется глубиной прорезания почвы режущим диском 3.

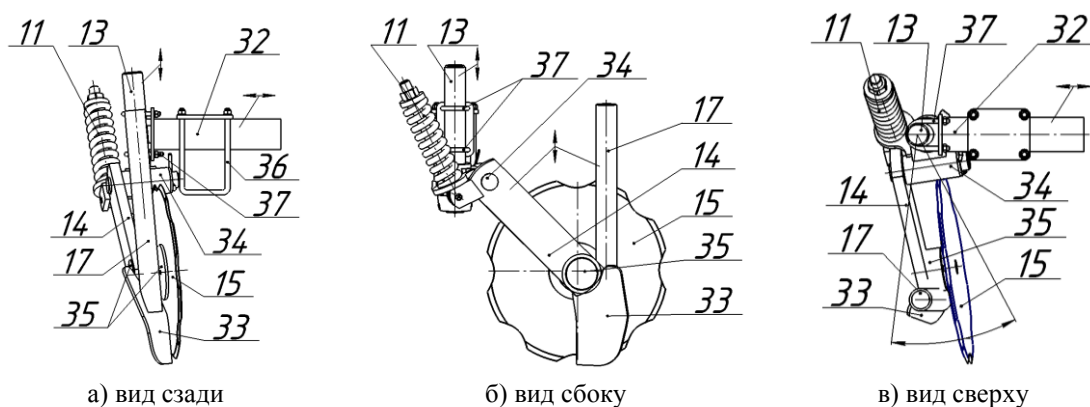


**Рисунок 2.** Плоскорежущая стрелчатая лапа с раздвоенным острием

Лапа 24 в своей плоскости подрезает корневища сорняковой растительности и рыхлит почву, что облегчает ее разрезание повернутыми на 100° навстречу движения посевными

дисками 15 и 16, с одновременным посевом 2-х рядков семян через семяпроводы 17, расположенные по сторонам борозды с туками. Высота (глубина) посева семян находится примерно на одном уровне с плоскостью лапы и выше глубины укладки туков. На 1 борозду с туками приходится 2 рядка семян.

Рассмотрим устройство и работу посевной секции на примере левого посевного диска и его семяпровода, показанных в блоке на рис. 3.



**Рисунок 3.** Конструкция левого посевного блока: 11 – пружинная подвеска рычага; 13 – стойка; 14 – рычаг; 15 – посевной диск; 17 – тукосемяпровод; 32 – балка поперечная; 33 – щиток; 34 – ось рычага; 35 – подшипниковая опора; 36 и 37 – хомут

Конструкция левого посевного блока состоит из поперечной балки 32, которая крепится к центральной продольной балке с помощью прямоугольных хомутов 36. В торец поперечной балки 32 с помощью дугообразных хомутов 37 закреплена стойка 13, которая имеет предварительный наклон в поперечной плоскости в  $50^\circ$  по ходу движения.

В нижней части стойки 13 через ось 34 и пружинную подвеску 11 закреплен рычаг 14. На нижнем рычаге 14 через подшипниковую опору 35 установлен посевной диск 15. Кроме этого на корпусе подшипниковой опоры 35 жестко закреплен тукосемяпровод 17. В нижней части тукосемяпровода 17 установлен щиток 33. Сила прижатия посевного диска к почве регулируется с помощью изменения жесткости пружины подвески 11.

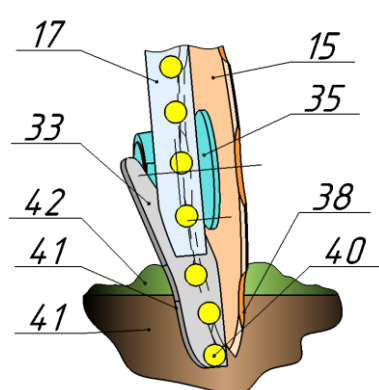
Щиток 33 установлен по отношению к посевному диску 15 под острым углом с небольшим зазором и заточен, что позволяет очищать посевной нож от налипших частиц почвы. Тукосемяпровод 17 расположен за щитком 33 и посевным диском (рис. 3, а). В процессе посева посевной диск 15 врезается в посевную площадь и формирует посевную бороздку, а щиток 33 отодвигает часть взрыхленной части почвы вместе со срезанными корневищами сорной растительности в левую сторону.

В результате совместного действия посевного диска и щитка окончательно формируется посевная канавка (бороздка), в которую по тукосемяпроводу 17 подаются семена. Форма поперечного сечения посевной канавки может изменяться в зависимости от поворота посевного колеса 15 вокруг стойки 13 (рис. 4).

Рассматриваемый вариант конструкции позволяет настроить посевной блок к конкретным посевным условиям в виде ширины и формы посевных рядков:

- изменять вылет всего посевного блока относительно центральной балки в поперечном направлении;
- изменять высоту установки посевного блока относительно центральной балки;
- осуществлять поворот посевного диска 15 в вертикальной плоскости вокруг стойки

13, формируя необходимую посевную канавку.



- 15 – посевной диск;
- 17 – тукосемяпровод;
- 33 – щиток;
- 35 – подшипниковая опора;
- 38 – плоскость посевной канавки, сформированная посевным диском;
- 39 – плоскость посевной канавки, сформированная щитком;
- 40 – семена;
- 41 – почва;
- 42 – почва с корневищами сорной растительности

**Рисунок 4.** Поперечное сечение посевной канавки и поступление семян

На рис. 3 в виде стрелок приведены варианты возможных движений деталей и узлов посевного блока.

Конструкция правого посевного блока аналогична левому посевному блоку.

*Обоснование преимуществ предлагаемой посевной модульной секции.* Преимущества предлагаемой к реализации на практике конструкции модульной посевной дисковой секции состоят в том, что в процессе посева ею разуплотняется самый малый слой почвы, подрезанный слой почвы не переворачивается, а смещается косоустановленными посевными дисками 15 и 16 к прорезанному следу диска 3, а затем прикатывается и вдавливаются на прежнее место уплотняющим катком 23. Рядок основного удобрения, уложенного на требуемой глубине и на расчетном расстоянии от рядков семян, питает на протяжении всего вегетационного периода два рядка семян, расположенных справа и слева от прорезанной диском 3 борозды с уложенными в нее удобрениями.

Все это создает условия для повышения технической обеспеченности и эффективности производства зерновых культур.

*Обеспечение стабилизации хода дисковой посевной секции в горизонтальной плоскости.* Выполнение задачи одновременного совмещения ряда посевных операций в одном рабочем органе было выполнено, и теперь конструктивно-технологическая схема посевной секции имеет многофункциональное назначение, а именно: разрезает пожнивные (растительные) остатки на поверхности почвы, подрезает сорную растительность, высевает два рядка семян зерновых, вносит между ними и немного ниже основную дозу минеральных удобрений и прикатывает прорезанные дисками борозды.

Для исключения поломки рамы посевной секции и заклинивания режущих дисков при криволинейном движении посевного агрегата были разработаны узлы крепления стоек режущих дисков к раме, обеспечивающие плавный поворот секции в горизонтальной плоскости относительно вертикальной оси и устойчивое движение всей посевной секции.

Конструкция посевной секции позволяет также обеспечить необходимые условия работоспособности: заданное и регулируемое заглубление дисков и плоскорежущей стрелчатой лапы, исключение забивания «узких мест» почвой и растительными остатками. Рыхление почвы и образование борозд под основное удобрение и семена в новой посевной секции осуществляется дисками, минеральные удобрения размещены между рядков семян и ниже их уровня, почва над семенами уплотняется, от одного рядка удоб-

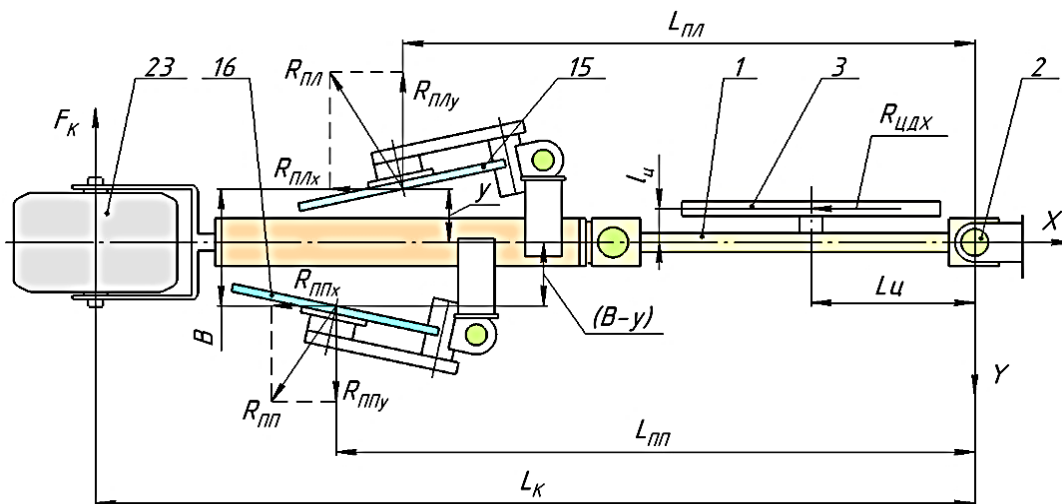


рений питание получают два рядка семян, пространство между посевными дисками не забивается, так как тукопровод расположен вплотную к центральному режущему диску, на нем отсутствует «борода» растительных остатков, за счет симметричного расположения режущих дисков исключено синусоидальное блуждание посевной секции в горизонтальной плоскости, уплотняющий каток полностью перекрывает все три борозды, прорезанные дисками и выполняет функцию по уплотнению почвы, углы атаки посевных дисков имеют возможность регулирования, прочностные характеристики конструкции опытных образцов посевной секции достаточны для обеспечения надежности и противодействия фактическим нагрузкам.

В процессе первых натуральных экспериментов с предлагаемой посевной секцией такие конструктивные параметры опытного образца, как отрезок между осями центрального режущего диска и поворота всей модульной секции, продольное смещение крепления посевных блоков с посевными дисками 15 и 16, степень подпружинивания уплотняющего катка 23, положение мест монтажа на рамах 1 и 18 тукопровода 12 и семяпроводов 17, определялись методом «проб и ошибок», то есть эти параметры при работе в различных полевых условиях неоднократно уточнялись на практике и работоспособность посевной секции каждый раз проверялась в реальных полевых условиях.

*Обоснование конструктивных параметров новой посевной секции.* После утверждения конструкции модели опытного промышленного образца предлагаемой посевной секции к натурным испытаниям центральный диск 3 был расположен не по центру продольной оси несущей рамы 1, а слева от нее, посевные диски 15 и 16 закреплены по обе стороны рамы 1 и отстояли один от другого на расстоянии междурядья под острыми регулируемыми углами к направлению движения (рис. 5).

Плоскорезущая стрельчатая лапа 24, работающая на глубине посева в фарватере с центральным диском 3, совмещена со стойкой-тукопроводом 12, поэтому силы сопротивления почвы, действующие на лапу, не будут влиять на устойчивость хода посевной секции (с целью упрощения аналитической модели принято допущение, что они не будут учтены).



**Рисунок 5.** Кинематическая схема посевной секции (вид сверху) и силы, приложенные к ее элементам:  $B$  – ширина междурядья;  $L_{ц}$ ,  $l_{ц}$  – расстояние от оси поворота несущей рамы соответственно до оси вращения центрального диска и удаления его от оси симметрии рамы;  $L_{пл}$ ,  $L_{пл}$ ,  $L_{к}$  – расстояние от оси поворота несущей рамы соответственно до точки приложения сил к левому,



правому посевному диску и катку: 1 – несущая рама; 2 – ось поворота секции; 3 – диск центральный; 15 – левый полевой диск; 16 – правый полевой диск; 23 – каток

*Расчет и условие устойчивости предлагаемой полевой секции.* При расчете условий устойчивости секции общее отдаление осей полевых дисков 15 и 16 от краев несущей рамы 1 должно соответствовать ширине междурядья для зерновых культур.

Равенство моментов сил, действующих на элементы конструкции полевой секции, определяет устойчивость ее перемещения в горизонтальной плоскости [1, 3, 7, 9, 12]:

$$R_{плу} \cdot L_{пл} + F_k \cdot L_k + R_{ппх}(B - Y) = R_{цдх} \cdot l_{ц} + R_{ппу} \cdot L_{пп} + R_{плх} \cdot Y, \quad (1)$$

где  $F_k$  – сила поперечно направленного к движению полевой секции сцепления уплотняющего катка 23 с почвой;

$R_{ппх}$  и  $R_{ппу}$  – усилия сопротивления перемещению правого диска 16 по осям X и Y;

$R_{плх}$  и  $R_{плу}$  – усилия сопротивления перемещению левого диска 15 по осям X и Y;

$R_{цдх}$  – прямое курсовое сопротивление почвы центральному диску 3.

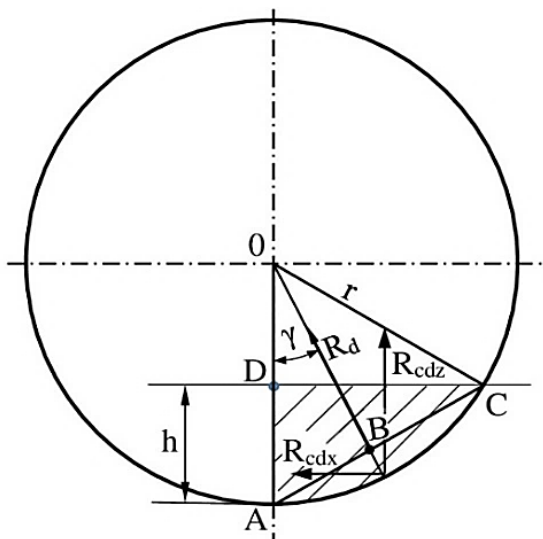
Уравнение моментов (1) можно решить, предварительно получив значения плеч приложения указанных сил.

Ввиду ограничения объема, в данной статье рассмотрим только силы, действующие на центральный диск. В последующих статьях проведем полный силовой анализ для решения уравнения (1).

*Определение сил, действующих на центральный диск.* Анализ рабочего процесса опытной модели дисковой модульной секции полевой секции поясняет действие значительных нагрузок на центральный режущий диск, в частности на его ось. Рассмотрим их подробнее.

Рабочая зона центрального режущего диска – это плоская режущая грань и боковые стенки, принудительно внедренные в почву в виде условных сегментов, на передней части которых формируется сила сопротивления движению режущего диска.

Как отмечалось выше, при внедрении плоского режущего диска в почву на его режущую грань и боковые стенки начинают действовать силы сопротивления, препятствующие движению и распределенные по всей площади поверхности, находящейся в почве части диска, пропорциональной левому и правому полусегментам ADC окружности радиусом  $r$  (рис. 6).



**Рисунок 6.** Определение сил сопротивления внедрению центрального режущего диска в почву, действующих в направлении вертикальной плоскости

Суммарная сила сопротивления движению приложена в средней части дуги окружности в точке В, а ее вектор  $R_{ц}$  проходит через ось вращения, находящуюся в точке О.

Расчет и определение составляющей сил сопротивления, препятствующих внедрению центрального режущего диска в почву, действующей в направлении горизонтальной плоскости и одновременно являющейся равнодействующей силы  $R_{ц}$  [12-17]:

$$\frac{R_{цдх}}{R_{цдз}} = tg\gamma,$$

$$\Rightarrow R_{цдх} = R_{цдз} \cdot tg\gamma, \quad (2)$$

$$R_{цдз} = f(h \cdot v_p), \quad (3)$$

где  $R_{цдз}$  – составляющая сил сопротивления, препятствующих режущему диску в направлении вертикальной плоскости, устанавливаемая экспериментально;

$h$  – заданная диску глубина внедрения в разрабатываемую почву;

$v_p$  – рабочая скорость режущего диска, внедренного в почву на рабочую глубину.

Угол  $\gamma$  из (2) находим из условия подобия треугольников АОВ и DCA, так как они образованы взаимно перпендикулярными сторонами. Сторона AC перпендикулярна АВ и АО соответственно DC, следовательно, углы АОВ и DCA равны между собой и равны углу  $\gamma$ . Сторону AC найдем из треугольника ADC:

$$\frac{h}{AC} = \sin\gamma; \Rightarrow AC = \frac{h}{\sin\gamma},$$

сторону АВ из треугольника АОВ:

$$AB = \frac{h}{2\sin\gamma}. \quad (4)$$

Отсюда следует, что значение катета АВ можно представить как отношение

$$\frac{AB}{r} = \sin\gamma \Rightarrow AB = r \cdot \sin\gamma. \quad (5)$$

$$\text{Из (4), (5) } AB = \frac{h}{2\sin\gamma} = r \cdot \sin\gamma \Rightarrow h = 2r \cdot \sin^2\gamma \Rightarrow \sin^2\gamma = \frac{h}{2r} \Rightarrow \sin\gamma = \sqrt{\frac{h}{2r}}.$$

Находим угол  $\gamma$ :

$$\gamma = \arcsin \sqrt{\frac{h}{2r}}. \quad (6)$$

Зная угол между вертикалью и равнодействующим вектором сил сопротивления  $R_{ц}$ , легко определить значение горизонтальной составляющей сопротивления режущему диску [7, 18-20]:

$$R_{цдх} = R_{цдз} \cdot tg \arcsin \sqrt{\frac{h}{2r}},$$

$$R_{цдх} = f(h; v_p) tg \arcsin \sqrt{\frac{h}{2r}}. \quad (7)$$

Сила сопротивления движению режущего диска, как показывает анализ выражения

(7), зависит от рабочей глубины внедрения диска в почву  $h$ , радиуса его окружности  $r$ , текущих физико-механических свойств почвы и скорости перемещения  $v_p$  агромашины.

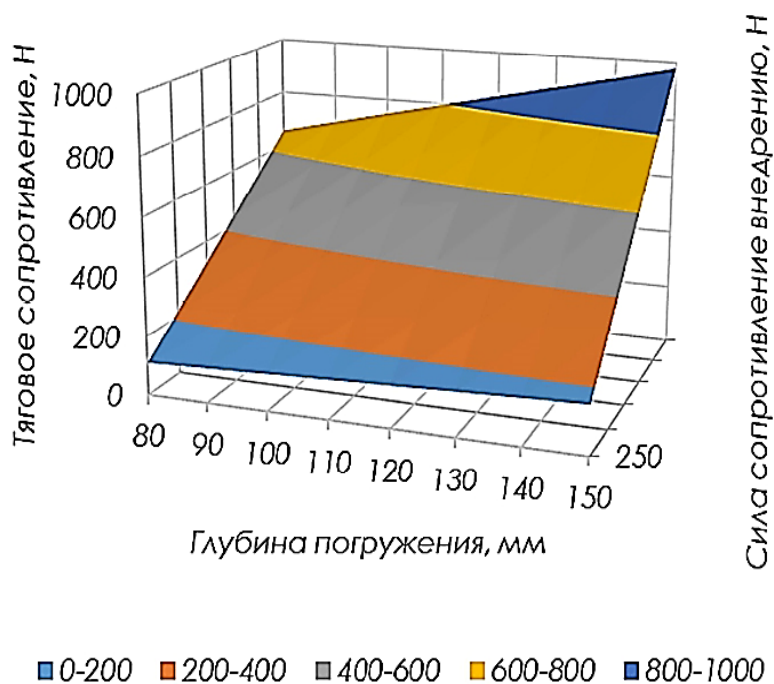
Центральный режущий дисковый нож разрезает почву на установленную глубину, формирует бороздку под удобрения и разуплотняет почву, помогая тем самым работающим после него посевным блокам, состоящим из семяпроводов и косоустановленных посевных дисков, выстраивать семенные борозды.

Борозды формируются за счет разрезания и последующего сдвига почвы по бокам следа от плоскорезущего ножа стрелчатой лапы 24. После укладки рядка высевываемых семян в борозды подпружиненный уплотняющий каток своим уплотняющим усилием принудительно перемещает образовавшийся гребень разрыхленной почвы назад в борозды.

Центральный режущий плоский диск предполагается устанавливать посередине продольной оси и несущей рамы 1 посевной модульной секции (рис. 1), тогда действие всех сил на режущий диск будет распределено равномерно и симметрично, но также возможен монтаж режущего диска с одной из сторон несущей рамы 1.

На силы, действующие на режущий диск, также влияют твердость и влажность почвы, глубина внедрения диска в почву, трибологические показатели взаимодействия диска и почвы, удельное сопротивление разрабатываемой сеялкой почвы сдвигу, геометрические параметры режущего диска, такие, например, как толщина и форма диска, угол заточки его режущей грани, радиус режущего диска и др.

Корректировка сил сопротивления перемещению центрального режущего диска по оси  $Ox$  определяется по (2) и (7), а его графическое изображение, представленное на рис. 7, выполнено в программе Microsoft Excel по данным табл. 1 и показывает, что силы сопротивления проникновению плоского режущего диска 1 в разрабатываемую почву влияют на требуемую силу тяги гораздо больше, чем внедрение диска на заданную глубину.



**Рисунок 7.** Графическое изображение влияния глубины внедрения и сил сопротивления врезания в почву центрального режущего диска на общее тяговое сопротивление

перемещению посевной секции

**Таблица 1.** Изменение тягового сопротивления центрального диска от глубины погружения и силы сопротивления внедрению ( $Z_{цд} = 0,25$  м)

Сила сопротивления внедрению центрального диска, Н	Глубина погружения центрального диска, мм							
	80	90	100	110	120	130	140	150
250	109,109	117,130	125	132,771	140,488	148,187	155,902	163,663
500	218,218	234,261	250	265,543	280,976	296,374	311,805	327,327
750	327,327	351,391	375	398,314	421,4636	444,562	467,707	490,990
1000	436,436	468,521	500	531,085	561,952	592,749	623,610	654,654
1250	545,545	585,652	625	663,856	702,439	740,936	779,512	818,317
1500	654,654	702,782	750	796,628	842,927	889,123	935,414	981,981

Тяговое сопротивление при изменении глубины рыхления (внедрения) диска с 0,08 м до 0,15 м возрастает на 55 Н, а при варьировании сил сопротивления внедрению диска от 250 Н до 1500 Н общее тяговое сопротивление увеличивается уже на 818 Н, что значительно больше и является следствием разных по протяженности проекций внедренных в почву дуг окружности режущего диска на соответствующие оси. Так, на тяговое сопротивление центрального режущего диска влияет длина проекции дуги окружности на вертикальную ( $Oz$ ) ось, а на силу сопротивления внедрению диска в почву влияет гораздо большая (рис. 6) проекция дуги на горизонтальную ( $Ox$ ) ось.

#### *Заключение*

1. Разработана конструкция и опытная модель комбинированной дисковой модульной зернотуковой посевной секции, совмещающая в своем рабочем процессе 4 обязательных по технологии посева операции в одном проходе агрегата: прокладка борозды ниже зоны посева семян, внесение в эту борозду основного удобрения, рыхление почвы и посев по бокам на уровне междювкового расстояния и выше первой борозды 2-х рядков семян, уплотнение разрезанной и взрыхленной почвы над бороздами с удобрением и семенами.

2. Полевые испытания рассматриваемой модели дисковой модульной секции посевного комплекса дали возможность определить экспериментальную зависимость сил сопротивления от усилия и глубины внедрения плоского режущего диска в почву. Экспериментально доказано, что при погружении режущего диска на глубину, равную его половине, значение силы сопротивления склонно к изменению по линейной зависимости (например, для режущего диска посевной секции диаметром 50 см при глубине его внедрения в почву твердостью  $43,1 \text{ Н/см}^3$  на 7 см и скорости перемещения 3,3 м/с сила сопротивления внедрению режущего диска в почву достигла 485 Н).

3. Экспериментально доказан линейный характер сил сопротивления внедрению режущего диска диаметром 0,5 м на глубину от 0,05 до 0,10 м разрабатываемой почвы. Для почвы твердостью  $43,1 \text{ Н/см}^2$  при внедрении режущего диска на глубину 0,07 м силы сопротивления достигли 485 Н.

4. Экспериментально-теоретическими исследованиями определены рациональные значения дисковой модульной секции с параметрами: угол атаки (поворота) посевных дисков радиусом 0,20 м –  $5,7^\circ$ ; расстояние до посевных дисков по оси от центра несущей балки до места их крепления: правого – 1,27 м, левого – 0,87 м, центрального – 0,37 м; радиус режущего диска – 0,25 м; радиус уплотняющего катка – 0,23 м; отдаление оси

уплотняющего катка от оси поворота секции – 1,86 м; минимальное усилие принудительного прижатия уплотняющего катка – 428 Н.

*Благодарности.* Исследования и разработка данного технического решения финансируются Комитетом науки Министерства науки и высшего образования РК (грант AP14869252 «Разработка конструкции универсального посевного комплекса с повышенной производительностью для эксплуатации в условиях агропромышленного производства Республики Казахстан» по договору 217/30-22-24 от 18.11.2022 г.).

#### Список литературы

1. М.В. Дудкин, А.В. Вавилов, А.И. Ким, Г.А. Гурьянов, М. Млынчак. Анализ тенденций развития посевных комплексов, их основных узлов и агрегатов // Вестник ВКТУ имени Д. Серикбаева. – Усть-Каменогорск: ВКТУ, 2022. – № 4. – С. 75-85.
2. A.I. Kim, M.V. Doudkin, V.V. Rogovsky, Ye.L. Doudkina, M. Mlynczak. Review and analysis of existing designs of seeding machines // Vestnik VKTU named after D. Serikbayev. – Ust-Kamenogorsk: EKTU, 2022. – № 4. – P. 130-139.
3. M. Aduov, S. Nukusheva, E. Kaspakov, K. Isenov, K. Volodya and T. Tulegenov. Seed drills with combined coulters in No-till technology in soil and climate zone conditions of Kazakhstan // Acta agriculturae scandinavica, Section B: Soil & Plant Science. – 2020. – VOL. 70, No. 6. – P. 525-531. – <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1784994>.
4. Nanka A., Morozov I., Morozov V., Krekot M., Poliakov A., Kiralhaz, I., Lohvynenko M., Ryndiaiev V., Dyakonov S., Stashkiv M. (2021). Substantiation of the presence and parameters of seed guides in the openers, which increase the quality of sowing and yield // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 4 (1 (112)). – P. 61–75. – doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239304>.
5. И. Морозов, В. Морозов. Особенность технологического процесса двухдискового сошника и определение его параметров // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2015. – Vol.17, No.7. – P. 53-56.
6. D. Karayel. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean // Soil & Tillage Research. – 104 (2009). – P. 121–125
7. А.Л. Жилияков. Обоснование параметров дисковой посевной секции зернотуковой сеялки: дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж: ФГБ ОУВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I». – Воронеж, 2020. – 113 с.
8. Аббасов З.М. и др. Теоретический анализ высева гранулированных минеральных удобрений // Аграрная наука. – 2010. – № 6. – С.27-30.
9. Жазыкбаева Ж. М. Пути совершенствования конструкций зерновых сеялок для посева по стерне // Современные тенденции техн. наук: материалы II Междунар. науч. конф. (г. Уфа, май 2013 г.). – Уфа: Лето, 2013. – С. 39-41. – <https://moluch.ru/conf/tech/archive/74/3786>.
10. Механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства // В.А. Воробьев, В.В. Калинин и др./ Под редакцией В.А. Воробьева. – М.: Колос, 2004. – 560 с.
11. Механизация, автоматизация и электрификация сельскохозяйственного производства [Электронный учебник]: уч.-метод. пособие / сост. М. М. Мезенцев. – РИО ГАГУ, 2010. – 191 с.
12. М.Х. Токушев. Обоснование параметров распределительного устройства удобрения с центральным дозированием: дис. ... канд. техн. наук. – Нур-Султан: Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, 2019. – 120 с.
13. Организация и технология механизированных работ в растениеводстве: учеб. пособие / Гусаков Ф.А. и др. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 416 с.
14. С.С. Калашников. Разработка и обоснование параметров рассеивателя семян дискового сошника для посева зерновых культур: дис. ... канд. техн. наук. – Улан-Удэ: ФГБ ОУВО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.П. Филиппова», 2018. – 164 с.
15. Е.С. Белякова. Обоснование параметров и режимов работы сошника для мелкосеменных культур: дис. ... канд. техн. наук. – Тверь: ФГБ ОУВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», 2021. – 184 с.
16. Руденко В. Н., Кулаев Е. В., Руденко Н. Е. Механизация растениеводства. АГРУС, 2014. – С. 237.
17. Механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства / В.А. Воробьев, В.В. Калинин и др.; Под редакцией В.А. Воробьева. – М.: Колос, 2004. – 560 с.
18. Сельскохозяйственная техника и технологии / Под редакцией И.А. Спасина. – М.: Колос, 2006. – 682 с.
19. Комплекс машин для ресурсосберегающей противозасушливой технологии производства продукции

растениеводства / А.И.Беляев и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 9. – С. 52-55.

## References

1. M.V. Dudkin, A.V. Vavilov, A.I. Kim, G.A. Gur'yanov, M. Mlynchak. Analiz tendencij razvitiya posevnyh kompleksov, ih osnovnyh uzlov i agregatov // Vestnik VKTU im. D. Serikbayeva. – Ust'-Kamenogorsk: VKTU, 2022. – № 4. – S. 75-85.
2. A.I. Kim, M.V. Doudkin, V.V. Rogovsky, Ye.L. Doudkina, M. Mlynchak. Review and analysis of existing designs of seeding machines // Vestnik VKTU named after D. Serikbayev. – Ust'-Kamenogorsk: EKTU, 2022. – № 4. – P. 130-139.
3. M. Aduov, S. Nukusheva, E. Kaspakov, K. Isenov, K. Volodya and T. Tulegenov. Seed drills with combined coulters in No-till technology in soil and climate zone conditions of Kazakhstan. Acta agriculturae scandinavica, Section B: Soil & Plant Science. – 2020. – VOL. 70, NO. 6. – P. 525-531. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1784994>.
4. Nanka, A., Morozov, I., Morozov, V., Krekot, M., Poliakov, A., Kiralhazi, I., Lohvynenko, M., Ryndiaiev, V., Dyakonov, S., Stashkiv, M. (2021). Substantiation of the presence and parameters of seed guides in the openers, which increase the quality of sowing and yield. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (1 (112)). – P. 61-75. – doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239304>.
5. I. Morozov, V. Morozov. Osobennost' tekhnologicheskogo processa dvuhdiskovogo soshnika i opredelenie ego parametrov // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2015. – Vol.17. – No.7. – P. 53-56.
6. D. Karayel. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean // Soil & Tillage Research. – 104 (2009). – 121-125.
7. A.L. Zhilyakov. Obosnovanie parametrov diskovoj posevnoj sekcii zernotukovoj seyalki: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Voronezh: FGB OUVO «Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni imperatora Petra I», 2020. – 113 s.
8. Abbasov Z.M. i dr. Teoreticheskij analiz vyseva granulirovannyh mineral'nyh udobrenij // Agrarnaya nauka. – 2010. – № 6. – S. 27-30.
9. Zhazykbaeva ZH. M. Puti sovershenstvovaniya konstrukcij zernovyh seyalok dlya poseva po sterne // Sovremennye tendencii tekhn. nauk: materialy II Mezhdunar. nauch. konf. (g. Ufa, maj 2013 g.). – Ufa: Leto, 2013. – S. 39-41. – <https://moluch.ru/conf/tech/archive/74/3786>.
10. Mekhanizaciya i avtomatizaciya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva. // V.A. Vorob'yov, V.V. Kalinnikov i dr.; Pod redakciej V.A. Vorob'yova. – M.: Kolos, 2004. – 560 s.
11. Mekhanizaciya, avtomatizaciya i elektrifikaciya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva [Elektronnyj uchebnyk]: uch.-metod. posobie / sost. M. M. Mezencev. – RIO GAGU, 2010. – 191 s.
12. M.H. Tokushev. Obosnovanie parametrov raspredelitel'nogo ustrojstva udobritelya s central'nym dozirovaniem: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Nur-Sultan: Kazahskij agrotekhnicheskij universitet im. S. Seifullina, 2019. – 120 s.
13. Organizaciya i tekhnologiya mekhanizirovannyh rabot v rastenievodstve: ucheb. posobie // Gusakov F.A. i dr. – 3-e izd., ster. – M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2007. – 416 s.
14. S.S. Kalashnikov. Razrabotka i obosnovanie parametrov rasseivatelya semyan diskovogo soshnika dlya poseva zernovyh kul'tur: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Ulan-Ude: FGB OUVO «Buryatskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya im. V.R. Filippova», 2018. – 164 s.
15. E.S. Belyakova. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty soshnika dlya melkosemennyh kul'tur: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Tver': FGB OUVO «Tverskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya», 2021. – 184 s.
16. Rudenko V.N., Kulaev E.V., Rudenko N.E. Mekhanizaciya rastenievodstva. AGRUS, 2014. – S. 237.
17. Mekhanizaciya i avtomatizaciya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva / V.A. Vorob'yov, V.V. Kalinnikov i dr.; Pod redakciej V.A. Vorob'yova. – M.: Kolos, 2004. – 560 s.
18. Sel'skohozyajstvennaya tekhnika i tekhnologii / Pod redakciej I.A. Spasina. – M.: Kolos, 2006. – 682 s.
19. Kompleks mashin dlya resursosberegayushchej protivozasushlivoj tekhnologii proizvodstva produkcii rastenievodstva / A.I.Belyaev i dr. // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2010. – № 9. – S. 52-55.