



МАШИНА ЖАСАУ  
МАШИНОСТРОЕНИЕ  
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212\_2023\_3\_158  
MPHTI 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>**

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

E-mail: vas\_dud@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

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

E-mail: alinakim3107@mail.ru\*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ И ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВНЕДРЕНИЮ ДИСКОВ СОШНИКОВ ПОСЕВНОЙ СЕКЦИИ В ПОЧВУ

### ТОПЫРАҚҚА ЕГУ СЕКЦИЯСЫНЫҢ АШҚЫШТАРДЫҢ ДИСКІЛЕРІН ЕНГІЗУГЕ КҮШ ПЕН ТАРТУ КЕДЕРГІСІН АНЫҚТАУ

### DETERMINATION OF FORCES AND DRIVING RESISTANCE TO THE INTRODUCTION OF DISC SHEETS OF THE SEEDING SECTION INTO THE SOIL

**Аннотация.** Статья посвящена определению рациональных параметров опытной модели посевной секции зернотуковой сеялки, работа которой в заданном режиме зависит от возможного действия сил сопротивления, препятствующих как внедрению посевных дисков на определенную глубину в почву, так и перемещению ее по стерне с соблюдением технологии посева. Технология посева при этом подразумевает выполнение всех посевных операций: разрезание растительных остатков на почве, подрезку на глубине посева сорной растительности, высевание двух рядков семян, внесение ниже и между ними первичной дозы минеральных удобрений и завершающее прикатывание прорезанных дисками борозд за один проход сеялки.

В статье приведены результаты теоретических и эмпирических методов исследования, которые опираются на мировой опыт модернизации и интенсификации средств механизации высева зерновых с синхронным внесением удобрений в почву. Приведенные теоретические результаты основаны на апробированных и известных переменных механики грунтов, на методах формирования борозд, а также на правилах и зависимостях, позволяющих стабилизировать устойчивость хода модели посевной секции как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Отправная гипотеза проведенных исследований и их результатов – минимизация изменений как динамики, так и кинематики модели посевного агрегата, включая конструкцию и силовое обеспечение основных узлов, работа которых должна обеспечить увеличение производительности всего посевного комплекса, снижение общих эксплуатационных затрат при одновременном соблюдении технологии посева. Схематически показаны изменения в конструкции известной зернотуковой посевной секции, обеспечивающие технологию выполнения всех необходимых посевных операций за один проход модели секции. Приведенные аналитические

результаты подтверждены экспериментами и сопоставлены с данными независимых мировых научных источников, находящихся в открытом доступе.

**Ключевые слова:** радиус посевого диска; глубина посева; развитие угла атаки; наружная ширина конической борозды; усилие катка; семяпровод

**Аңдатпа.** Мақала астық сепкіштің егіс бөлімінің тәжірибелі моделінің ұтымды параметрлерін анықтауға арналған, оның жұмысы белгілі бір режимде топыраққа себу дискілерін белгілі бір тереңдікке енгізуге де, егу технологиясын сақтай отырып, оны егістік бойымен жылжытуға да кедергі келтіретін қарсылық күштерінің мүмкін әсеріне байланысты. Бұл ретте егу технологиясы топырақтағы өсімдік қалдықтарын кесу, арамшөптерді егу тереңдігінде кесу, екі қатар тұқым себу, минералды тыңайтқыштардың бастапқы мөлшерін төмен және олардың арасына себу және отырғызғыштың бір өтуінде дискілермен кесілген бороздаларды орауды аяқтау сияқты барлық егу операцияларын орындауды білдіреді.

Мақалада топыраққа тыңайтқыштарды синхронды енгізе отырып, дәнді дақылдарды егуді механикаландыру құралдарын жаңғырту мен қарқындатудың әлемдік тәжірибесіне сүйенетін зерттеудің теориялық және эмпирикалық әдістерінің нәтижелері келтірілген. Мақалада келтірілген теориялық нәтижелер топырақ механикасының сыналған және бұрын белгілі айнымалыларына, бороздаларды қалыптастыру әдістеріне, сондай-ақ тік және көлденең жазықтықта егу секциясы моделінің тұрақтылығын тұрақтандыруға мүмкіндік беретін ережелер мен тәуелділіктерге негізделген, оларды пайдалану өткізілетін іс-шараларды модернизациялау және қарқындалу жөніндегі іс-шаралардың ең төменгі өзіндік құнына әкелуі керек. Жүргізілген зерттеулер мен олардың нәтижелерінің бастапқы гипотезасы – егіс агрегаты моделінің динамикасы мен кинематикасындағы өзгерістерді азайту, оның жұмысы бүкіл егіс кешенінің өнімділігін арттыруды, негізгі тораптардың конструкциясы күшімен қамтамасыз етуді қоса алғанда егіс технологиясын сақтай отырып, жалпы пайдалану шығындарын азайтуды қамтамасыз етуі тиіс. Мақалада белгілі астық егу секциясының конструкциясындағы өзгерістер схемалық түрде көрсетілген, олардың орындалуы секция моделінің бір өтуінде барлық қажетті егу операцияларын орындау. Жоғарыда келтірілген аналитикалық нәтижелер эксперименттермен расталды және ашық қол жетімді тәуелсіз әлемдік ғылыми дереккөздердің белгілі деректерімен салыстырылды.

**Түйін сөздер:** себу дискісінің радиусы; себу тереңдігі; шабуыл бұрышының дамуы; конустық борозданың сыртқы ені; каток күші; дәнөткізгі.

**Abstract.** The article is devoted to the determination of the rational parameters of the experimental model of the sowing section of a grain fertilizer seeder, the operation of which in a given mode depends on the possible action of resistance forces that prevent both the penetration of seed discs to a certain depth into the soil and its movement along the stubble in compliance with the sowing technology. In this case, the sowing technology implies the performance of all sowing operations, such as cutting plant residues on the soil, cutting weeds at the sowing depth, sowing two rows of seeds, applying a primary dose of mineral fertilizers below and between them, and finally rolling the furrows cut by the discs in one pass of the seeder. The article presents the results of both theoretical and empirical methods of research, which are based on the world experience of modernization and intensification of means of mechanization of grain sowing with simultaneous application of fertilizers to the soil.

The theoretical results presented in the article are based on the proven and previously known variables of soil mechanics, on the methods of furrow formation, as well as on the rules and dependencies that make it possible to stabilize the stability of the sowing section model in both the vertical and horizontal planes, the use of which should lead to a minimum the cost of measures for the modernization and intensification of ongoing activities. The starting hypothesis of the studies and their results is the minimization of changes in both the dynamics and kinematics of the sowing unit model, including the design and power supply of the main units, the operation of which should increase the productivity of the entire sowing complex, reduce overall operating costs while maintaining sowing technology. The article schematically shows changes in the design of the well-known grain-fertilizer sowing section, the implementation of which will provide the technology for performing all the necessary sowing operations in one pass of the section model. The presented analytical results are confirmed by experiments and compared with the known data of independent world scientific sources that are in the public domain.

**Key words:** seed disc radius; sowing depth; development of the angle of attack; outer width of the conical furrow; roller force; vas deferens.

*Введение.* Слаженная работа всех составляющих и узлов любого посевого комплекса

позволяет не только своевременно завершить сев зерновых культур, но и выполнить все операции посевной технологии: обработку и рыхление почвы, прокладку борозд под первичные удобрения и туки, закладку удобрений на определенной глубине, посев зерна, необходимый по технологии уход за посевными площадями, сбор урожая.

Технология внесения посадочного зерна в почву является самой основной операцией посева. От ее соблюдения зависит и своевременный всход посаженной культуры, и обеспечение ее подкормки минеральными удобрениями.

Мировые производители сельскохозяйственной техники наладили серьезный рынок посевных комплексов, оборудованных различными видами сошников, семяпроводов, стабилизаторов заглубления и ровного хода сошников, устройств поддержания глубины заглубления сошников, посадки зерновых и внесения удобрений и т.д., позволяющих значительно повысить производительность зерновых комплексов и итоговую урожайность. Такие высокотехнологичные фирмы есть по всему миру, например: Great Plains и John Deere (США), Bourgault (Канада), Crucianelli (Аргентина), «Агро-Союз» и «Красная Звезда» (Украина), Gaspardo (Италия), «Amazonen-Werke» (Германия), «Noget Gougis» (Франция) и многие другие [1-8]. Но самое интересное, что передовая техника, показавшая наилучшие производственные результаты в одной стране, при традиционных погодных и почвенных условиях других стран оказывается совсем неэффективной и экономически невыгодной.

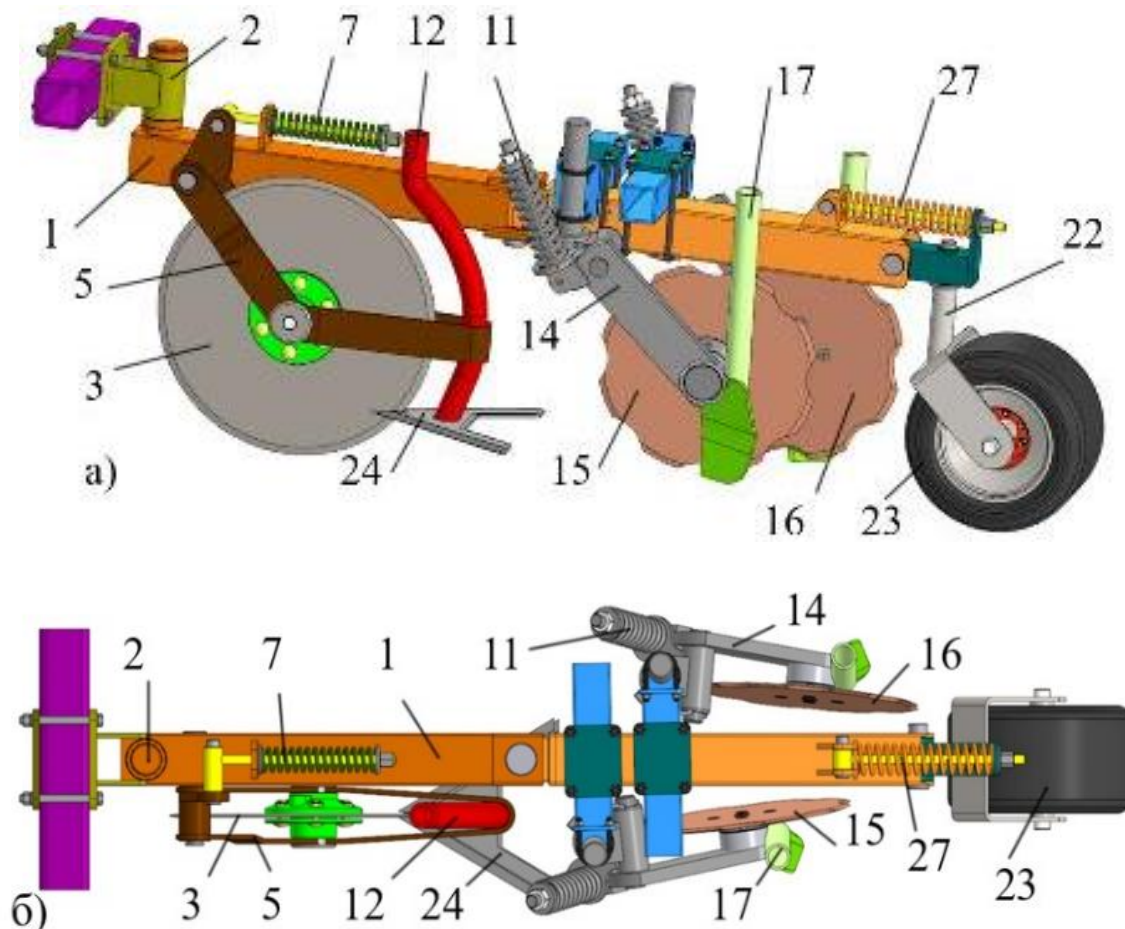
На примере республики Казахстан можно сказать, что условия посевной компании Северного Казахстана, а именно почвенно-климатические условия вкупе с местными агротехническими требованиями к технологиям производства зерна, сильно отличаются от условий Южного Казахстана. Например, в Северном Казахстане не рекомендуют к применению посевные комплексы, оборудованные только дисковыми или наральниковыми сошниками, требующими более тщательно подготовленную почву, так как в Северном Казахстане почва подвержена ветровой эрозии и не удовлетворяет технологическим условиям применения дисковых сошников [9]. Бракуют северяне и чисто лаповые сошники за высокую неравномерность закладки семян в почву. Негативные моменты применения той или иной техники случаются во всех регионах РК.

Учитывая и положительные, и отрицательные стороны наиболее распространенных узлов разнообразных посевных комплексов, ВКТУ им. Д. Серикбаева совместно с ТОО ОХМК разработали конструкцию посевной секции, в которой сделана попытка искоренить наиболее отрицательные параметры посевных комплексов, используемых на территории РК. Конструкция не делает революцию в посевной технике, но отличается некоторыми оригинальными узлами и компоновкой, которые оказывают свое воздействие и вносят некоторые особенности в технологический процесс посева.

До выбора компоновки сеялки был проведен патентный поиск на глубину до 50 лет, анализ которого вместе с современной тематической литературой показал, что дисковые сошники и сопутствующие им устройства для посева с переменным эффектом применяются в мире больше и чаще остальных типов, особенно в последние десятилетия.

Поэтому было принято решение применить их как основные сошники, но совместить с одним плоскорезущим лаповым сошником для выполнения стандартных и необходимых технологически операций посева: прорезание стерни (почвы и растительных остатков) с внедрением сошника на определенную глубину, придание следу переднего сошника формы борозды под первичные удобрения или семена, подрезание растительных сорняков (плоскорезущей лапой) на определенной глубине слева и справа от переднего диска, рыхление почвы на глубине семенных лож с последующим образованием их на заданной глубине с обоих боков переднего диска и размещение в них семян, уплотнение всех трех

борозд, выполненных передним и посевными дисками, одним уплотняющим катком [2 - 6, 9]. Схема новой посевной секции представлена на рис. 1.

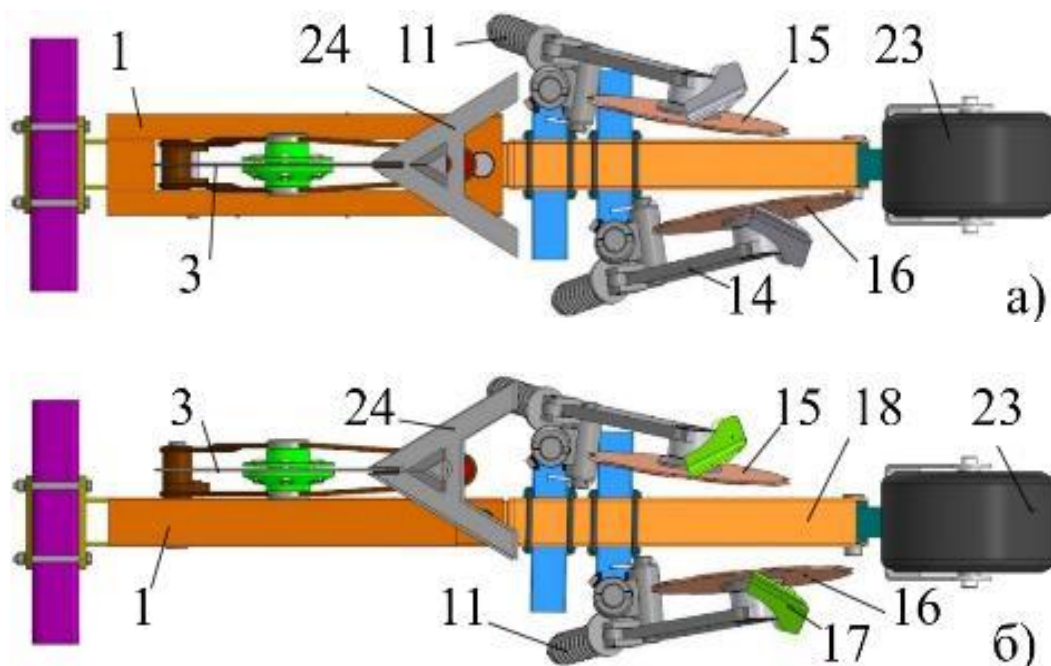


**Рисунок 1.** Схема общего вида посевной секции (без внешних семя- и тукопроводов), с расположением переднего диска и плоскорежущей лапы слева от несущей рамы:

*a* – вид сбоку; *б* – вид сверху

*Реконструкция комбинированной посевной секции.* В данной работе рассматривается комбинированная посевная секция, совмещающая дисковые и плоскорежущие лаповые сошники для одновременного внесения семян и удобрений. Отличительной чертой посевной секции стала ее компактность, достигаемая за счет укороченной несущей сочлененной рамы, на которой максимально близко смонтированы передний диск и плоскорежущая лапа, что стало возможным благодаря конструкции режущей части стрелчатой лапы и стойки ее крепления к коромыслу, соединяющему передний диск и плоскорежущую стрелчатую лапу в единый разносошниковый узел.

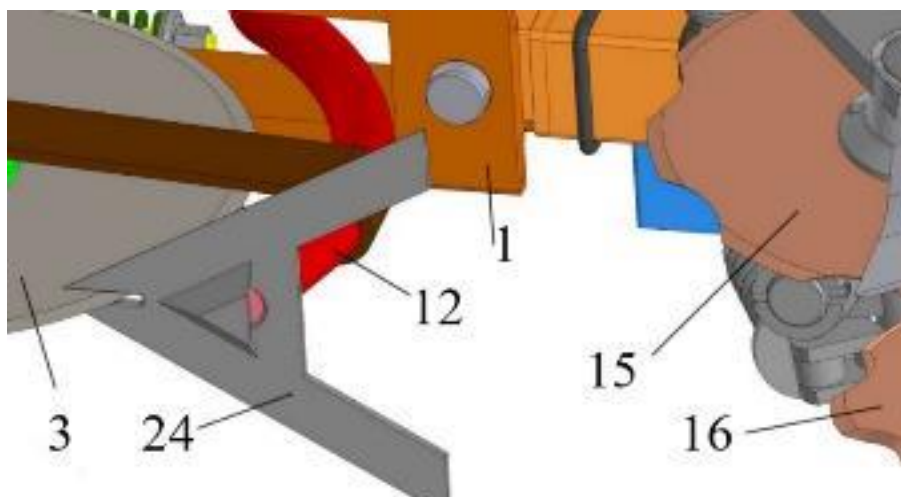
В зависимости от технологии посева передний диск и плоскорежущая лапа могут крепиться к раме посередине, в плоскости продольной оси несущей рамы, с левого или правого бока рамы, с монтажным уступом (рис. 2).



**Рисунок 2.** Схемы крепления переднего диска (вид снизу) к несущей раме посевной секции

Крепление переднего диска 3 по продольной оси несущей рамы 1 благоприятнее сказывается на симметричном распределении по узлам конструкции сил сопротивления перемещению дисков посевной секции, но влечет за собой усложнение конструкции передней части сочлененной несущей рамы 1, так как требуется расширить саму раму и сделать в ней сквозной проем для переднего диска 3 и стойки 12 стрелчатой лапы 24. Боковое расположение переднего диска 3 переоборудования не требует и рама может быть выполнена из простого трубоквadrата.

Посевные диски 15 и 16, собранные с подвеской 14 и семяпроводами 17 в единый узел, наравне с передним диском 3 и плоскорежущей лапой 24 являются наиболее важными элементами комбинированной секции посевного комплекса. Плоскорежущая лапа 24 имеет раздвоенный по оси нос, каждая половинка которого имеет собственное заострение, а в прорезь между ними свободно входит передний диск 3. При таком монтаже не надо отдельно очищать передний диск 3 от налипших остатков растительного слоя и почвы, так как прорезь раздвоенной стрелчатой лапы 24 максимально приближена к боковым сторонам переднего диска 3 и в случае налипания на диск 3 грязных остатков своими гранями просто срежет и счистит их с поверхности переднего диска (рис. 3).



**Рисунок 3.** Монтаж плоскорежущей стрелчатой лапы с раздвоенным острием относительно переднего диска

Прорезь между раздвоенным острием стрелчатой лапы 24 одновременно позволяет ей «наехать» на передний диск 3 до конца прорези, что позволяет сократить общую длину несущей рамы 1 посевной секции и, за счет этого, ее металлоемкость.

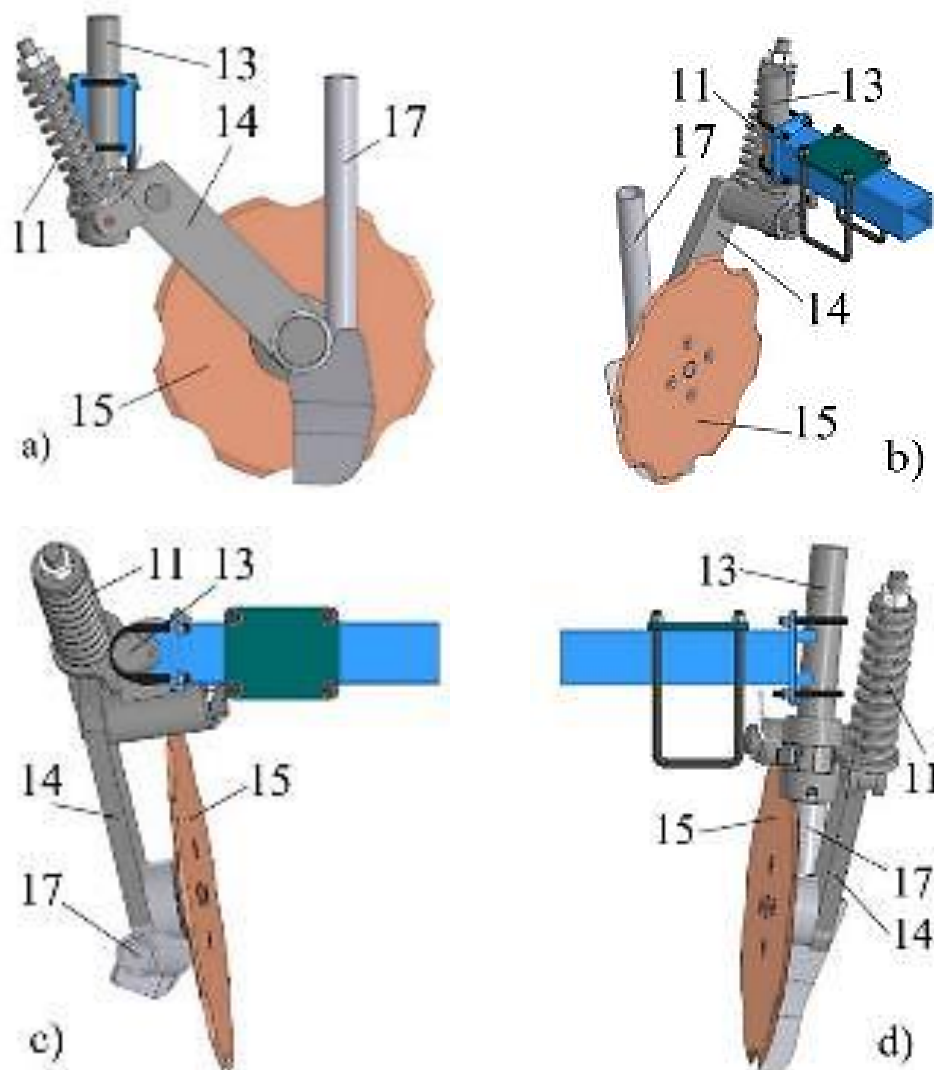
Закрепленная на общей с передним диском консоли 5 монтажная стойка 12 стреловидной лапы 24 выполнена полой и используется как тукопровод. Передний диск 3 при встрече с камнем или другим препятствием отклоняется назад и под действием регулируемой пружины 7 возвращается в прежнее положение.

Левый 15 и правый 16 посевные диски названы так согласно своему монтажу на несущей раме 1: левый – слева от несущей рамы по ходу движения посевной секции, правый – справа. Каждый из дисков имеет индивидуальное крепление к несущей раме, на которой они смонтированы с технологическим уступом и подпружинены (рис. 4).

Сам монтаж достаточно простой и осуществим в условиях любого агротехнического хозяйства. Посевные диски 15 и 16 смонтированы с доступным регулированием и изменением угла положения диска в вертикальной плоскости по направлению движения, а расстояние между осями посевных дисков равно принятой ширине междурядья и перекрывается шириной придавливающего катка 23 [6, 8, 9]. На стойке крепления посевных дисков смонтированы семяпроводы, аккуратно высевающие зерно в след диска, согласно технологии.

Посевная секция имеет 3 свободно вращающихся в горизонтальной плоскости шарнира на штыревой опоре: шарнир крепления к базовой машине или посевному комплексу, шарнир сочленения несущей рамы и шарнир крепления прикатывающего катка. Независимое вращение штыревых шарниров позволяет посевной секции плавно, без скачков, искривляться в местах установки шарниров при повороте секции сеялки. Диски при таком повороте не работают на излом и работают без рывков, что позволяет намного увеличить их жизненный цикл без серьезных поломок [6].





**Рисунок 4.** Монтаж и устройство посевных режущих дисков и тукосемяпроводов на несущей раме посевной секции: а) вид снаружи; б) вид изнутри; в) вид сверху, со стороны семяпроводов; д) вид сверху, со стороны тукопровода; 15 – режущий диск; 14 – стойка крепления диска; 11 – пружина; 17 – полая стойка семяпровода; 13 – кронштейн крепления к балке несущей рамы

Все вышеперечисленные конструктивные решения были проверены экспериментально в полевых условиях. В процессе изготовления опытного образца были выдержаны основные изменения относительно стандартных конструкций посевных сеялок разных коммерческих марок: расстояние от осей посевных и центрального дисков до оси поворота секции и прикатывающего катка, полученные методом «проб и ошибок» места монтажа семяпроводов и тукопровода. Был изготовлен экспериментальный опытный образец модели дисковой посевной секции для последующей полевой проверки (рис. 5).



**Рисунок 5.** Опытный экспериментальный образец модели дисковой посевной секции при его полевой проверке

*Особенности конструкции и параметров новой посевной секции.* Как было сказано выше, передний диск 3 может быть смонтирован на несущей раме 1 как вдоль ее продольной оси, так и сбоку, слева или справа (рис. 2 и 6). Посевные диски 15 и 16 смонтированы с крепежным по обе стороны от несущей рамы 1 и имеют возможность отклонения от вертикальной оси на какой-либо угол. Расстояние между посевными дисками 15 и 16 является равным расстоянию междурядья высеваемой культуры [6, 8, 9].

Анкерная стрельчатая плоскорезущая лапа 24, монтируемая в паре с центральным диском 3, работает на глубине посева зерна и может отклоняться вместе с ним вверх при встрече с камнем или другим неделимым препятствием. Острие лапы 24 разрезано на 2 части и имеет раздвоенную впадину-прорезь, которой до определенных границ «наезжает» на плоскость переднего диска 3, что позволяет уменьшить расстояние между их вертикальными осями и максимально укоротить общую длину, а следовательно, и металлоемкость всей опытной секции [6, 10-14].

Изменению подвергся и прикатывающий каток 23, расположенный в хвостовой части сеялки (рис. 1). Штыревой шарнир крепления стойки катка подпружинен 27 относительно задней сочлененной части несущей рамы 1, что позволяет катку 23 при встрече с препятствием, которое, возможно, уже обошел передний диск 3 вместе с плоскорезущей лапой 24, независимо отклоняться от горизонтали, не увлекая за собой всю посевную секцию, которая в этот момент продолжает работать в технологически заданном режиме. Прикатывающий каток 23 (один на оба посевных диска) выполнен шире стандартных аналогичных катков, причем его ширина позволяет одновременно прикатывать борозды от всех трех дисков посевной секции (п. 3, 15, 16) и валик между ними, а горизонтальная степень свободы для поворота катка дает ему возможность «подруливать» при повороте посевного комплекса или на криволинейных участках засеваемого поля.

Схема действия сил на детали и основные узлы модели опытной посевной секции в горизонтальной плоскости для обоих вариантов монтажа переднего диска дана на рис. 6.

Подробное описание устройства новой посевной секции было сделано раньше [6], поэтому рассмотрим отличительные особенности монтажа переднего диска слева от несущей рамы и влияние его на возникающие при этом силы сопротивления движению.

Для обеспечения устойчивого хода модели посевной секции относительно горизонтальной плоскости ранее была определена зависимость равенства моментов действующих на ее рабочие органы сил [6, 8, 9, 15-17]:



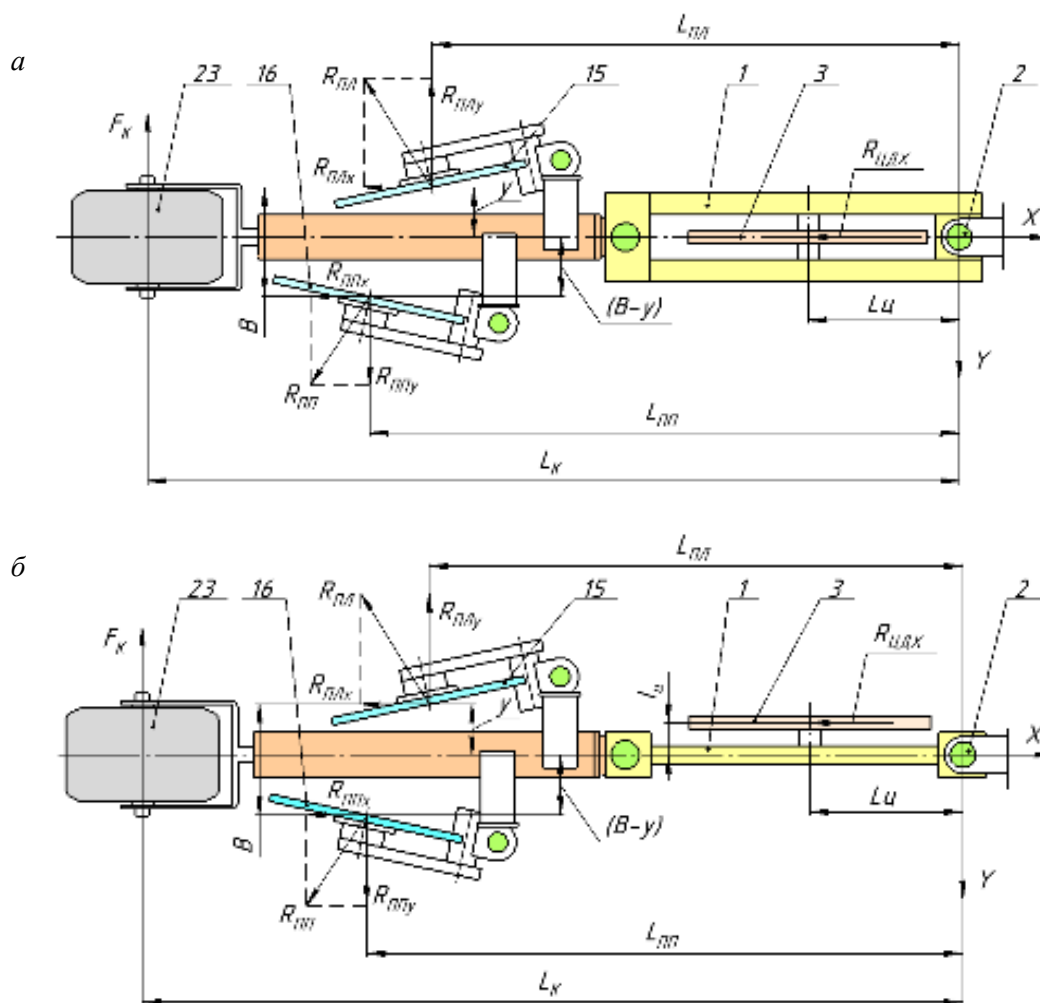
$$F_k \cdot L_k + R_{плу} \cdot L_{пл} + R_{ппх}(B - Y) = R_{цдх} \cdot l_{ц} + R_{плх} \cdot Y + R_{ппу} \cdot L_{пп}, \quad (1)$$

где:  $R_{цдх}$  – курсовое сопротивление переднему диску;

$F_k$  – поперечная к направлению перемещения модели секции сила сцепления прикатывающего катка с почвой;

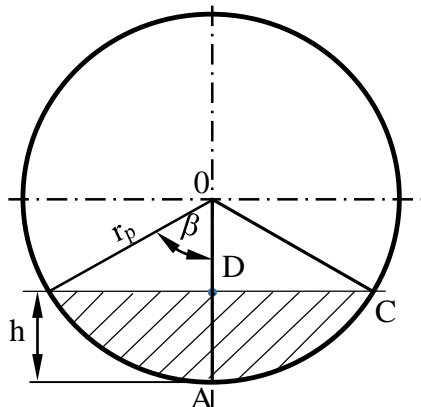
$R_{ппу}$  и  $R_{ппх}$  – действующие в направлении, соответственно, осей  $Y$  и  $X$  силы сопротивления перемещению правого посевого диска;

$R_{плу}$  и  $R_{плх}$  – действующие в направлении, соответственно, осей  $Y$  и  $X$  силы сопротивления перемещению левого посевого диска.



**Рисунок 6.** Кинематические схемы (*а* – с центральным расположением переднего диска; *б* – с монтажом переднего диска слева от продольной оси несущей рамы) опытной посевной секции (вид сверху) и приложенные к ее элементам силы:  $L_{ц}$ ,  $l_{ц}$  – расстояние между осью поворота сочлененной рамы посевной секции, и, соответственно, осью вращения центрального диска и удалением его от оси симметрии рамы;  $B$  – ширина междурядья;  $L_{пл}$ ,  $L_{пп}$ ,  $L_{к}$  – расстояние от оси штыревого шарнира крепления рамы до точки приложения сил, соответственно, к катку, левому и правому посежным дискам: 1 – несущая сочлененная рама; 2 – штыревидный шарнир секции; 3 – диск передний; 15, 16 – левый и правый посежные диски; 23 – прикатывающий каток

Для решения уравнения равенства моментов (1) были установлены размеры входящих в него сил и, соответственно, плечи приложения (рис. 7).

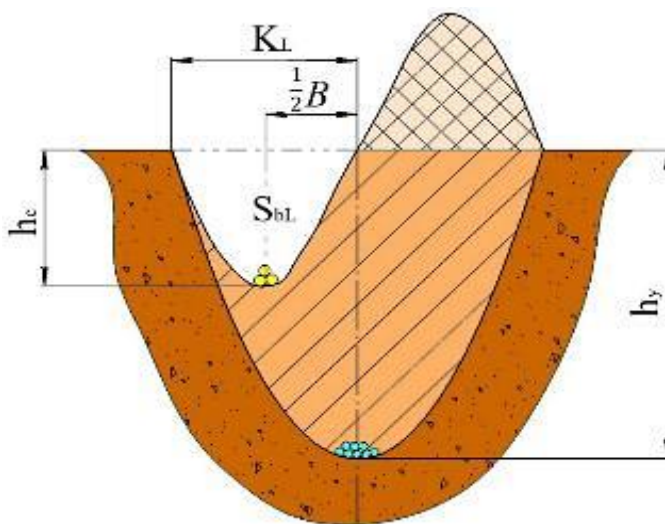


**Рисунок 7.** Схема расклада сил, приложенных в вертикальной плоскости к посевным дискам при их контакте с почвой

*Определение сил, действующих на посевные диски.* С целью образования борозды под семена левый 15 и правый 16 посевные диски, установлены под острыми углами к направлению движения.

Для определения наиболее критических сечений в зоне действия сил сопротивления расположим передний диск 3 не симметрично продольной оси несущей рамы 1, а асимметрично, например, слева от нее, перед левым посевным диском 15 (рис. 2, б и 6, б).

Совместим на рис. 8 вариант и схему контакта с почвой и формирования борозды одного из посевных дисков (оговоренного выше, левого), предварительно установив по одну сторону и перед ним передний режущий диск и стрелчатую лапу [6].



**Рисунок 8.** Схема сформированной борозды и уложенных туков и семян после прохода переднего и левого посевного дисков:  $K_л$  – ширина борозды под семена в наружной части;  $S_{бл}$  – условная площадь поперечного разреза борозды;  $1/2B$  – половина ширины междурядья;  $h_c$ ,  $h_y$  – глубина укладки семян и удобрений

Контакт любого из посевных дисков с почвой при их установке под углом по ходу движения аналогичен контакту и работе плужного отвала [6, 17-20].

Примем за основу допущение, что посевной диск идет вслед за разуплотняющим и смещающим в сторону почву передним диском. Рассчитаем препятствующие перемещению посевных дисков силы сопротивления как произведение проекции (рис. 7) площади сегмента KDCA на ограниченную плоскость  $uOz$  и удельного сопротивления сдвигу  $K_y$ , [6, 8, 9]:

$$R_{плх} = S_{KDCA} \cdot K_y \cdot \sin\tau_{л}, \quad (2)$$

где:  $K_y$  – противодействие удельному сопротивлению почвы,  $kH/m^2$ ;

$S_{KDCA}$  – площадь сегмента KDCA,  $m^2$ .

Рассмотрим произведение  $S_{KDCA} \cdot K_y$  как равнодействующую в горизонтальной плоскости  $xOy$  силу, приложенную к левому посевному диску.

Площадь поперечного сечения образовавшейся ложбины проложенной бороздки найдем используя посевную глубину  $h_c$  и радиус диска  $r_{п}$ . Для этого найдем площадь отсеченного почвой сегмента посевного диска (левого) и соответствующий ему угол атаки.

Разность сектора КОСА и треугольника ДОС будет равна искомой площади сектора сегмента KDCA (рис. 7):

$$S_{KDCA} = S_{КОСА} - S_{КОС}.$$

Площадь сектора КОСА равна:  $S_{КОСА} = \frac{2\beta}{360} \cdot \pi r_{п}^2$ .

Из треугольника ДОС найдем угол  $\beta$  (рис. 7):

$$\frac{r_{п} - h_c}{r_{п}} = \sin\beta \Rightarrow \beta = \arcsin\left(1 - \frac{h_c}{r_{п}}\right). \quad (3)$$

Получим площадь  $\Delta КОС$ :

$$S_{КОС} = (r_{п} - h_c)DC = (r_{п} - h_c) \cdot r_{п} \cos\beta = (r_{п} - h_c) \cdot r_{п} \cos\arcsin\left(1 - \frac{h_c}{r_{п}}\right).$$

Искомая площадь заглубленного в почву сегмента KDCA будет [6, 8, 9]:

$$S_{KDCA} = \frac{2\arcsin\left(1 - \frac{h_c}{r_{п}}\right)\pi r_{п}^2}{360} - (r_{п} - h_c) \cdot r_{п} \cdot \cos\arcsin\left(1 - \frac{h_c}{r_{п}}\right). \quad (4)$$

Площадь поперечного сечения проложенной бороздки примет вид вертикальной проекции найденной площади сегмента на плоскость  $uOz$  из-за того, что посевной диск установлен по ходу перемещения секции под углом  $\tau$  (рис. 9) [6]:

$$S_{\delta л} = S_{KDCA} \cdot \sin\tau_{л}. \quad (5)$$

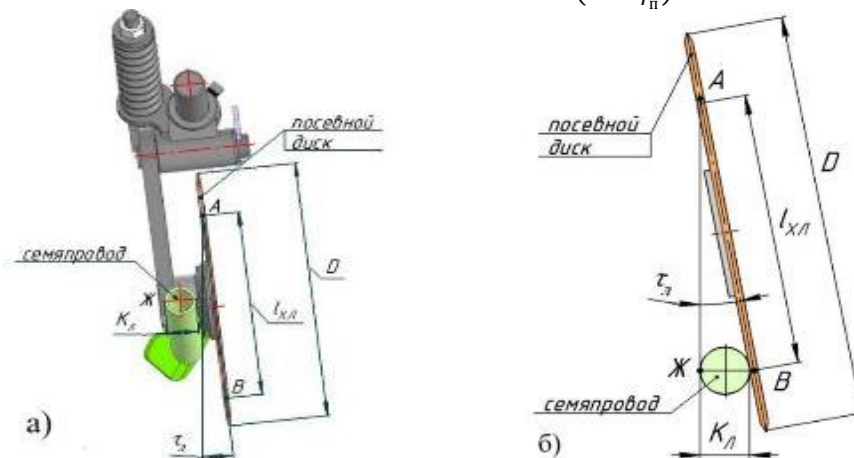
Для того, чтобы семена укладывались в ровный рядок по ширине борозды и обеспечивалась их заделка на технологическую глубину, концы семяпроводов, смонтированных строго в унисон посевных дисков, поместим в наружную часть борозды, для чего выполним ее шириной, превышающей размер выпускной части семяпровода Кл.

Приняв минимальный размер наружной ширины борозды, найдем угол атаки левого посевного диска  $\tau_{л}$  (рис. 9):

$$\frac{K_{л}}{l_{хл}} = \sin\tau_{л} \Rightarrow \tau_{л} = \arcsin\frac{K_{л}}{l_{хл}}.$$

Величина хорды  $l_{хл}$  находится из (рис. 9):

$$l_{хл} = 2r \cos\beta = 2r \operatorname{cosarc} \sin\left(1 - \frac{h_c}{r_n}\right). \quad (6)$$



**Рисунок 9.** Монтажная (а) и расчетная (б) схемы левого посевного диска и соответствующего ему семяпровода (вид сверху):  $l_{хл}$  – длина хорды контакта почвы с диском;  $D$  – диаметр левого диска;  $\tau_l$  – угол атаки левого посевного диска;  $K_l$  – рабочая ширина выпускающей части семяпровода левого посевного диска

Подставив (6), найдем угол атаки  $\tau_l$  левого посевного диска:

$$\tau_l = \arcsin \frac{K_l}{2r_n \operatorname{cosarc} \sin\left(1 - \frac{h_c}{r_n}\right)}. \quad (7)$$

Выходит, что поворот левого посевного диска на угол атаки, обеспечивающий прокладку борозды под засеваемые семена, зависит от его радиуса  $r$  и заданной глубины посева.

Поворот  $\tau_n$  для правого диска находится из (1) с учетом поперечной устойчивости всей конструкции секции в вертикальной плоскости, которая может быть нарушена сменой угла  $\tau_n$  атаки диска и соответствующим изменением приложенных сил в горизонтальной и вертикальной плоскостях при сохранении ширины междурядья  $B$ .

Тогда с учетом (4) и (5) зависимость (8) будет выглядеть:

$$R_{плх} = \left[ \frac{2 \arcsin\left(1 - \frac{h_c}{r_n}\right) \pi r_n^2}{360} - (r_n - h_c) \cdot r_n \cdot \operatorname{cosarc} \sin \cdot \left(1 - \frac{h_c}{r_n}\right) \right] \cdot \sin \arcsin \frac{K_l}{2r_n \operatorname{cosarc} \sin\left(1 - \frac{h_c}{r_n}\right)} \cdot K_y, \quad (8)$$

$$R_{плу} = \left[ \frac{2 \arcsin\left(1 - \frac{h_c}{r_n}\right) \pi r_n^2}{360} - (r_n - h_c) \cdot r_n \cdot \arccos \cdot \left(1 - \frac{h_c}{r_n}\right) \right] \cdot \arccos \frac{K_l}{2r_n \operatorname{cosarc} \sin\left(1 - \frac{h_c}{r_n}\right)} \cdot K_y. \quad (9)$$

Вертикальный компонент силы  $R_{плз}$  рассчитаем основываясь на допущении о равнодействии прохождения вертикальной  $R_{плз}$  и горизонтальной силы  $R_{плх}$  через ось вращения диска, или, проще говоря, требуется определить угол  $\gamma_{пл}$  отклонения равнодействующей силы от вертикали, как по (6) [6, 8, 9, 17-20]:

$$\gamma_{пл} = \arcsin \sqrt{\frac{h_c}{r_n}} \quad (10)$$

$$\Rightarrow R_{плз} = \frac{R_{плх}}{tg\gamma_{пл}} = \frac{R_{плх}}{tg\arcsin\sqrt{\frac{h_c}{r_n}}}. \quad (11)$$

Для левого диска получены все 3 составляющие равнодействующей силы.

С помощью угла атаки  $\tau_n$  получим аналогичные составляющие равнодействующей силы для правого диска.

$R_{ппх}$  по оси  $OX$  найдем по аналогии с (2) и (8), а  $R_{ппу}$  по оси  $Oy$  по аналогии с (7):

$$R_{ппх} = \left[ \frac{2\arcsin\left(1 - \frac{h_c}{r_n}\right) \cdot \pi r_n^2}{360} - (r_n - h_c)r_n \cdot \cos\arcsin\left(1 - \frac{h_c}{r_n}\right) \right] \cdot K_y \sin\tau_n$$

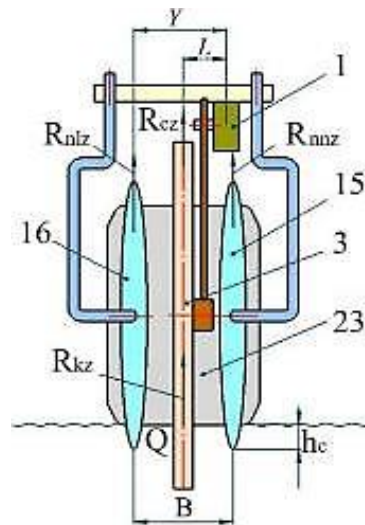
$$R_{ппу} = \left[ \frac{2\arcsin\left(1 - \frac{h_c}{r_n}\right) \cdot \pi r_n^2}{360} - (r_n - h_c)r_n \cdot \cos\arcsin\left(1 - \frac{h_c}{r_n}\right) \right] \cdot K_y \cos\tau_n$$

Вертикальную составляющую силы для правого диска найдем по аналогии с (11):

$$R_{ппз} = \frac{R_{плх}}{tg\gamma_n} = \frac{R_{ппх}}{tg\arcsin\sqrt{\frac{h_c}{r_n}}}, \quad (12)$$

где  $\gamma_n$  – угол отклонения проходящей через центр вращения правого диска равнодействующей от вертикали.

*Устойчивость хода модели посевной секции зернотуковой сеялки в поперечной плоскости.* Конструктивной особенностью предложенной посевной секции является ее асимметричная установка переднего диска на одну из сторон несущей балки по ходу ее перемещения. Схема действующих по  $uOz$  сил дана на рис. 10 [6].



**Рисунок 10.** Распределение сил (вид спереди) на модели посевной секции в поперечном направлении: 1 – сочлененная рама; 3 – передний диск; 15, 16 – левый и правый посевные диски; 23 – прикатывающий каток

Уравнение моментов сил точки  $Q$ , действующих по поверхности  $uOz$ :

$$R_{плз}Y = R_{ппз}(B - Y) + R_{цдз}L. \quad (13)$$

Приложенная к правому диску сила  $R_{\text{ппз}}$ , зависит от угла вертикального наклона (атаки)  $\tau_{\text{п}}$ , поэтому (13) выглядит функцией 2-х переменных: угла вертикального наклона правого диска  $\tau_{\text{п}}$  и значения  $Y$ , показывающего удаление диска от продольной линии несущей сочлененной рамы.

Чтобы найти  $\tau_{\text{п}}$  и  $Y$ , решим систему 2-х уравнений, содержащих (1) и (13):

$$\begin{cases} F_k L_k + R_{\text{пплу}} L_{\text{пл}} + R_{\text{ппх}}(B - Y) - R_{\text{цдх}} l_{\text{ц}} - R_{\text{плх}} Y - R_{\text{ппу}} l_{\text{пп}} = 0 \\ R_{\text{плз}} Y + R_{\text{ппз}}(B - Y) - R_{\text{цдз}} L = 0 \end{cases}, \quad (14)$$

где  $l_{\text{пл}}$ ,  $l_{\text{пп}}$  – расстояние от центра левого и, соответственно, правого посевных дисков до точки симметрии сочлененной рамы.

В (1) неизвестна природа силы трибологии катка и почвы  $F_k$ , приложенная поперек хода модели секции:

$$F_k = P_k \cdot \mu \quad (15)$$

где  $P_k$  – сила принуждения прикатывающего катка к уплотнению почвы,  $H$ ;

$\mu$  – коэффициент сцепления почвы с прикатывающим катком.

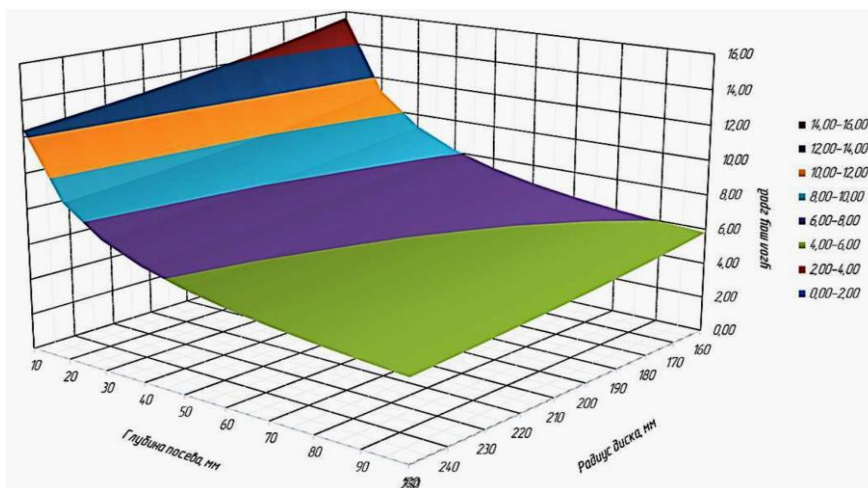
$$Y = \frac{R_{\text{ппз}} B + R_{\text{цдз}} L}{R_{\text{плз}} + R_{\text{ппз}}}, \quad (16)$$

$$F_k L_k + R_{\text{пплу}} L_{\text{пл}} + R_{\text{ппх}} B - (R_{\text{ппх}} + R_{\text{плх}}) \cdot \frac{R_{\text{ппз}} B + R_{\text{цдз}} L}{R_{\text{плз}} + R_{\text{ппз}}} - R_{\text{цдх}} l_{\text{ц}} - R_{\text{ппу}} l_{\text{пп}} = 0. \quad (17)$$

Значение (17) при изменении  $\tau_{\text{п}}$ , позволяет найти силы, приложенные к обоим дискам в сечении  $xOy$  [6, 8, 9].

Для работы посевной секции угол атаки левого посевного диска считается постоянным (7) (рис. 11) при значениях: ширина выпускающей части семяпровода  $K_{\text{л}} = 0,05$  м; глубина посева  $h_c = 0,07$  м; радиус левого и правого диска одинаков  $r_{\text{п}} = 0,2$  м;  $\gamma = 5,7$  (табл. 1).

Графическое подтверждение зависимости, изображенное на рис. 11, выполнено в программе Microsoft Excel по данным табл. 1. Такие же таблицы данных найдены и собраны для всех представленных ниже графиков, но из-за ограничения объема статьи они не приводятся.



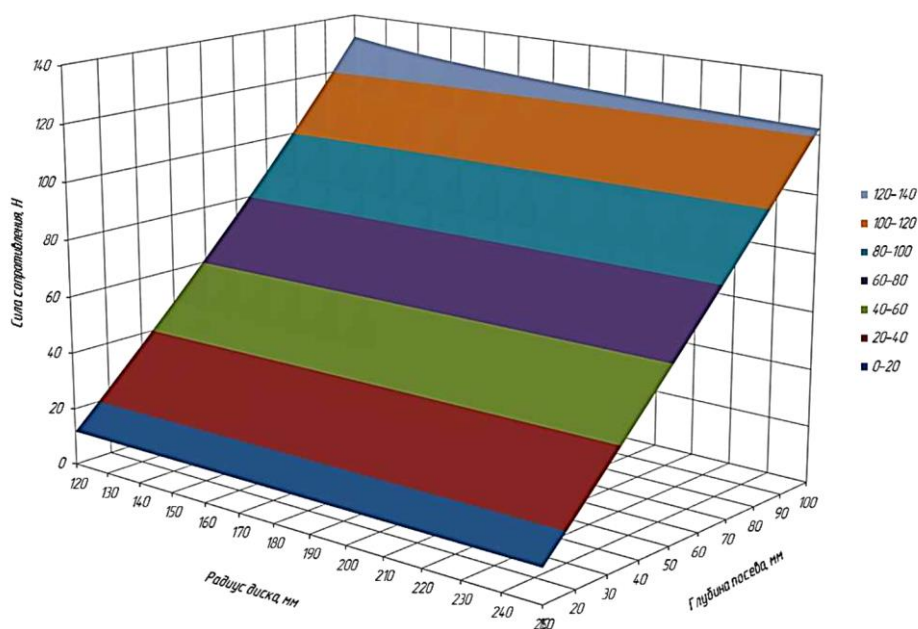
**Рисунок 11.** Влияние радиуса диска и глубины посева на отклонение угла атаки левого диска (при наружной ширине борозды в 0,05 м)



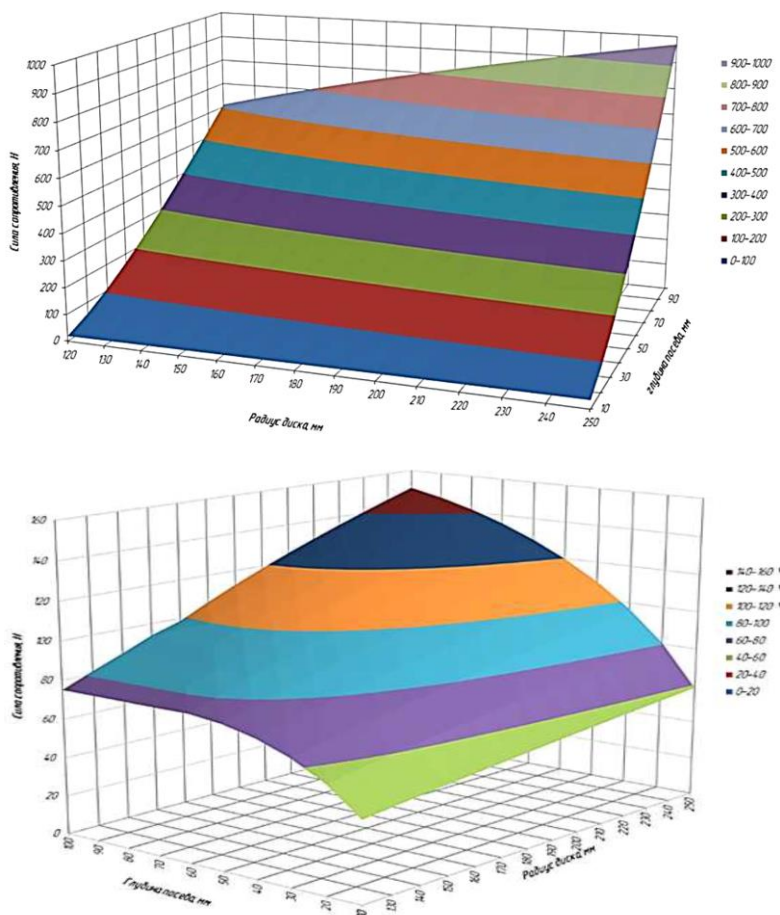
**Таблица 1.** Влияние радиуса посевного (левого) диска и глубины посева на развитие угла атаки (при наружной ширине конической борозды 0,05 м)

Радиус посевного (левого) диска, мм	Глубина посева, мм									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
160	15,63	11,17	9,25	8,15	7,42	6,90	6,51	6,21	5,98	5,80
170	15,14	10,81	8,95	7,87	7,16	6,65	6,26	5,97	5,74	5,56
180	14,69	10,48	8,67	7,62	6,92	6,42	6,04	5,75	5,52	5,34
190	14,28	10,18	8,42	7,39	6,71	6,21	5,84	5,56	5,33	5,14
200	13,90	9,91	8,19	7,19	6,52	6,04	5,67	5,39	5,15	4,97
210	13,55	9,65	7,97	6,99	6,33	5,86	5,50	5,22	4,99	4,81
220	13,22	9,42	7,77	6,81	6,17	5,70	5,35	5,07	4,85	4,67
230	13,92	9,20	7,59	6,65	6,01	5,56	5,21	4,94	4,72	4,53
240	12,64	9,00	7,42	6,49	5,87	5,42	5,08	4,81	4,59	4,41
250	12,37	8,81	7,26	6,35	5,74	5,30	4,96	4,69	4,48	4,30

По зависимостям (8), (9), (11) определяются значения сил, приложенных к левому диску по  $O_x$ ,  $O_y$ ,  $O_z$ , графики этих сил даны на рис. 12 и 13. Если удельное сопротивление почвы сдвигу не более или равно  $35 \text{ кН/м}^2$ , глубина посева  $h_c = 0,07 \text{ м}$ , радиус диска  $r_n = 0,2 \text{ м}$ , то  $R_{плх} = 85 \text{ Н}$ ,  $R_{плz} = 116 \text{ Н}$ ,  $R_{плy} = 510 \text{ Н}$ .



**Рисунок 12.** Зависимость тягового сопротивления левого посевного диска по оси  $O_x$  от его радиуса и глубины внедрения самого диска в почву, Н



**Рисунок 13.** Зависимость силы сопротивления левого посевного диска по оси Oy (а) и Oz (б) от его радиуса и глубины внедрения самого диска в почву, Н

Из приведенного материала визуально видно, что наибольшего значения составляющая искомой по осям равнодействующей силы достигает по оси Oy и действует в поперечном направлении по ходу перемещения секции с наибольшей проекцией на xOz.

#### *Заключение*

1. Преимущества конструкции модели новой модульной секции посевного комплекса выражены в очень малом разуплотнении почвенного слоя стерни: подрезанный почвенный слой стерни практически не оборачивается и прикатывается на место уплотняющим катком.

2. Подтверждено, что расположенные под углом  $6...10^\circ$  по ходу перемещения посевные диски, диаметром 0,5 м, с достаточной точностью формируют борозду на технологически заданной глубине с минимальными отклонениями, например: при технологической глубине 0,07 м (7 см) среднее отклонение составило 0,001 м (1 мм), при среднеквадратическом отклонении – 0,0026 м.

3. Установлено, что ширину (0,05 м) наружной части борозды под семена можно выполнить диском с радиусом 0,25 м и его углом атаки  $5,6^\circ$ . Варьирование углом атаки (отклонением от вертикали) от  $5,6^\circ$  до  $20^\circ$  при глубине посева 0,07 м позволяет снизить поперечные силы сопротивления лишь на 29 Н, что сильно затрудняет горизонтальную стабилизацию хода модели посевной секции за счет варьирования углов атаки дисков.

4. Сила принудительного прижатия прикатывающего катка, способствующая курсовой стабилизации посевной секции по горизонтали и вертикали, при глубине посева 0,07 м колеблется от 70 до 428 Н.

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»).

#### 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. – Усть-Каменогорск, 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 // Вестник ВКТУ. – Усть-Каменогорск, 2022. – № 4. – P. 130-139.
3. M. Aduov, S. Nukusheva, E. Kaspaqov, 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)), 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. М.В. Дудкин, А.И. Ким, В.С. Яковлев, В.В. Роговский, А.В. Вавилов, Г.А. Гурьянов, Т.Б. Курмангалиев. Обоснование конструкции и разработка новой комбинированной посевной секции для работы в условия агропромышленного комплекса Казахстана // Вестник ВКТУ. – Усть-Каменогорск, 2023. – № 3. – 15 с.
7. D. Karayel. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. Soil & Tillage Research 104 (2009) 121–125
8. А.Л. Жиляков. Обоснование параметров дисковой посевной секции зернотуковой сеялки: дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж: ФГБ ОУВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2020. – 113 с.
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 ред. 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 ред. В.А. Воробьева. – М.: Колос, 2004. – 560 с.
18. 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.

19. Сельскохозяйственная техника и технологии / Под ред. И.А. Спасина. – М.: Колос, 2006. – 682 с.
20. 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. – Ust'-Kamenogorsk, 2022. – № 4. – С. 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» №4, 2022. – Ust'-Kamenogorsk, 2022. – 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, 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)), 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. 53-56.
6. M.V. Dudkin, A.I. Kim, V.S. YAKovlev, V.V. Rogovskij, A.V. Vavilov, G.A. Gur'yanov, T.B. Kurmangaliev. Obosnovanie konstrukcii i razrabotka novej kombinirovannoj posevnoj sekcii dlya raboty v usloviya agropromyshlennogo kompleksa Kazahstana. «Vestnik VKTU» № 3, 2023. – Ust'-Kamenogorsk, 2023. – 15 s.
7. D. Karayel. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. Soil & Tillage Research 104 (2009). – 121-125.
8. A.L. ZHilyakov. Obosnovanie parametrov diskovoj posevnoj sekcii zernotukovoj seyalki. Diss. kand. tekhn.nauk, Voronezh: FGB OUVO «Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni imperatora Petra I». – Voronezh, 2020. – 113 s.
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]: uchebno-metodicheskoe posobie / sost. M. M. Mezencev. – RIO GAGU, 2010. - 191 s.
12. M.H. Tokushev. Obosnovanie parametrov raspredelitel'nogo ustrojstva udobritelya s central'nym dozirovaniem. Diss. kand. tekhn.nauk, Nur-Sultan: Kazahskij agrotekhnicheskij universitet im. S. Seifullina, 2019. – Nur-Sultan, 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. Diss. 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. Diss. kand. tekhn.nauk, Tver': FGB OUVO «Tverskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya». – Tver', 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. 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.
19. Sel'skohozyajstvennaya tekhnika i tekhnologii / Pod redakciej I.A. Spasina. – M.: Kolos, 2006. – 682 s.
20. Kompleks mashin dlya resursosberegayushchej protivozasushlivoj tekhnologii proizvodstva produkcii rastenievodstva // A.I.Belyaev i dr. – Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2010. – № 9. – С. 52-55.