

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

В. Р. Петровец, С. В. Авсюкевич, Н. И. Дудко

# **ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ДИСКОВЫМИ СОШНИКАМИ С УСЕЧЕННО-КОНУСНЫМИ БОРОЗДООБРАЗОВАТЕЛЯМИ- УПЛОТНИТЕЛЯМИ**

*Монография*

Горки  
БГСХА  
2015

УДК [635.65: 631.33. 024.3]

**Петровец, В. Р.** Посев зерновых культур дисковыми сошниками с усечено-конусными бороздообразователями-уплотнителями / В. Р. Петровец, С. В. Авсюкевич, Н. И. Дудко. – Горки : БГСХА, 2015. – 217 с.: ил. – ISBN 978-985-467-578-7.

В монографии изложены вопросы повышения эффективности посева зерновых культур путем совершенствования двухдисковых сошников с конусными ребордами-бороздообразователями-уплотнителями.

Предназначена для специалистов сельского хозяйства, студентов, аспирантов и научных работников.

Табл. 24. Ил. 141. Библиогр.: 83 назв.

Печатается по решению Научно-технического совета  
УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия»  
Протокол № 2 от 20.01.2015 г.

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор,  
заместитель академика-секретаря отделения  
аграрных наук НАН Беларуси В. В. Азаренко;  
доктор технических наук, профессор,  
директор ГП «Институт энергетики  
НАН Беларуси» В. Н. Дашков

**ISBN 978-985-467-578-7**

© Петровец В. Р., Авсюкевич С. В.,  
Дудко Н. И., 2015

© УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», 2015

## ВВЕДЕНИЕ

Для решения проблемы самообеспечения Республики Беларусь основными видами продовольствия необходимо иметь ежегодные валовые сборы зерна в объеме 8...9 млн. тонн при низкой себестоимости продукции.

Увеличение производства зерна и кормов и на этой основе ускоренное развитие животноводства являются в настоящее время основными задачами сельского хозяйства Республики Беларусь.

Государственной программой устойчивого развития села на 2011–2015 гг. планируется реализовать ресурсосберегающие технологические процессы в земледелии, довести урожайность зерновых культур до 43 ц/га, а производство зерна в 2015 г. – до 12 млн.тонн [1].

Выполнение этой задачи возможно только при освоении ресурсо- и энергосберегающих технологий, разработке перспективных технологических средств, обеспечивающих их реализацию и совмещение технологических операций при возделывании сельскохозяйственных культур. Поэтому в настоящее время сельское хозяйство республики переходит на интенсивные технологии выращивания сельскохозяйственных культур.

Одним из путей увеличения производства зерна является повышение производительности и качества работы сельскохозяйственной техники, занятой на возделывании и уборке зерновых культур.

При возделывании зерновых важнейшее значение имеют основная и предпосевная обработка почвы и посев, отличительной особенностью которого при интенсивной технологии возделывания является образование технологической колеи . Это позволяет во время вегетации провести многократные подкормки растений минеральными удобрениями, внести ретарданты, обеспечить химическую защиту посевов от сорняков, болезней и вредителей.

Качество выполнения этих операций определяется выбором технологических средств для их выполнения, техническим состоянием, настройкой, регулировкой и проведением работ в оптимальные агротехнические сроки. При этом агрегаты должны быть взаимосвязаны по ширине захвата, производительности, ширине колеи, качеству работ, что обеспечивает своевременность и качество выполненных работ и в конечном счете решает судьбу урожая.

В общем комплексе технологических операций и приемов при возделывании зерновых очень важное значение имеет также посев. Научкой и практикой установлено, что урожай сельскохозяйственных культур на 25...30 % зависит от качества посева.

Основная цель посева заключается в обеспечении оптимальных условий прорастания семян и в дальнейшем развитии растений, которые в основном зависят от оптимального сочетания трех факторов: водного, воздушного и теплового. Известно, что наиболее благоприятное сочетание водного, воздушного и теплового факторов отмечается, когда семена равномерно распределены по площади поля на заданную (оптимальную) глубину. При этом они должны быть уложены на плотный слой почвы и прикрыты рыхлым слоем почвы мелкокомковатой структуры. Несоблюдение любого из этих требований ведет к снижению урожайности [2].

Одним из условий получения равных и дружных всходов необходимой густоты является соблюдение оптимальной технологии посева. Во-первых, это создание плотного ложа, обеспечивающего постоянный капиллярный приток влаги к посеянным семенам, а, следовательно, их быстрое набухание и дружное прорастание. Во-вторых, необходимо оптимальное размещение семян по глубине и равномерное распределение по площади, что обеспечивает им адекватный водный, тепловой и пищевой режимы, требующиеся для прорастания и формирования мощного узла кущения, вторичных корней. Именно в этот период закладываются основы будущей высокой урожайности, устойчивость к полеганию. Процесс сева, являясь важнейшим звеном в технологии возделывания зерновых, зависит, прежде всего, от конструкции рабочих органов, укладывающих семена в почву [29].

Урожай возделываемых культур напрямую зависит от равномерной глубины заделки семян. Сама же глубина заделки зависит от вида высеваемых культур, срока посева, влажности почвы и его механического состава [3] .

Неравномерность глубины заделки семян влечет за собой неравномерность всходов и недружное развитие, что в дальнейшем приводит к снижению урожайности [4].

Многолетний опыт земледелия в различных странах мира показывает, что потери растений на единице площади могут достигать 60 %, что связано, прежде всего, с качеством подготовки почвы и сева. Начальный период развития растений является самым критическим, они еще не имеют развитой корневой системы, поэтому наиболее чувствительны к различного рода стрессам и предъявляют чрезвычайно высо-

кие требования к качеству обработки почвы и формированию посевного слоя (семенного ложа) определенных параметров [4].

В посевных машинах важнейшим рабочим органом является сошник, который формирует бороздку, создает плотное ложе на глубине заделки семян для подтягивания к ним влаги. Семена должны быть равномерно закрыты мелкокомковатым слоем почвы для проникновения тепла, кислорода, влаги и ускоренного растворения минеральных удобрений для питания растений.

Сошник должен удовлетворять следующим требованиям: открывать бороздки одинаково заданной глубины; не выносить нижние слои почвы на поверхность во избежание потери влаги; уплотнять дно бороздок для восстановления капиллярности почвы; не нарушать равномерность потока семян. На существующих сеялках и посевных агрегатах в настоящее время применяются различные сошники, от правильного выбора и применения которых во многом зависит судьба урожая [2].

В настоящее время при конструировании посевных машин преимущество отдается дисковым сошникам, которые хорошо работают на любых типах почв. Это связано с тем, что в последние годы на современных зерноуборочных комбайнах имеются устройства для измельчения соломы и разбрасывания ее по поверхности полей. Последующая обработка почвы комбинированными агрегатами перемешивает измельченную солому с почвой и создает мульчированный слой, в том числе и на глубине заделки семян зерновых культур. Килевидные сошники при работе на мульчированной почве сгруживают пожнивные и растительные остатки перед собой, которые затем собираются между сошниками и нарушают технологический процесс заделки семян на заданную глубину.

Наиболее перспективными в настоящее время являются одно- и двухдисковые сошники, которые хорошо работают на различных типах почв, в том числе засоренных растительными и пожнивными остатками, а также при минимальной и нулевой обработках почвы [5].

Одно- и двухдисковые сошники хорошо заглубляются на мульчированных почвах, прорезают в ней бороздки на заданную глубину, не нарушая технологического процесса укладки семян.

Недостатками таких сошников являются высокая неравномерность распределения семян по глубине, захват семян вращающимися дисками с выбросом их за пределы бороздки и в верхние слои почвы, неравномерное осыпание бороздок, в связи с чем семена заделываются на разную глубину. Кроме того, у двухдисковых сошников высокая ме-

таллоемкость, а их диски имеют угол атаки от  $6^\circ$  до  $18^\circ$  (соответственно для широкорядного посева – 0,15 м и узкорядного – 0,075 м), что с увеличением скорости свыше 8 км/ч вызывает отброс почвы, забрасывание соседних рядков, повышенное тяговое сопротивление, а также высокую гребнистость после прохода сошников [5].

Этот недостаток двухдисковых сошников приводит к расстановке их, как правило, в два ряда с целью уменьшения влияния забрасывания почвы на соседние рядки и нарушения заданной глубины заделки семян. Однако с увеличением рабочей скорости машинно-тракторных агрегатов, например более 10 км/ч, происходит забрасывание соседних рядков семян и при двухрядном расположении дисковых сошников.

Именно поэтому существует острая необходимость в разработке новых рабочих органов для посева зерновых, которые позволят достичь поставленных задач за счет создания оптимальных условий с целью качественного прорастания семян.

Таким образом, разработка новых двухдисковых сошников, теоретическое и экспериментальное обоснование их рациональных параметров для работы на скоростных МТА с целью равномерного распределения и заделки семян, укладки их на уплотненное дно бороздки, уменьшение металлоемкости и тягового сопротивления являются актуальными задачами, решение которых позволит повысить урожайность зерновых культур.

В данном издании рассмотрены перспективные конструкции сошниковых групп, разработанные при непосредственном участии авторов.

Разработана техническая документация и изготовлены опытные образцы новых сошников, защищенных патентами.

Авторы надеются, что издание будет полезно для научных и инженерно-технических работников, а также для руководителей и специалистов сельскохозяйственного производства всех уровней, конструкторов сельскохозяйственной техники и студентов сельскохозяйственных вузов.

# **1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

## **1.1. Способы посева зерновых культур**

Получение высоких урожаев зерновых культур требует, помимо применения высокоурожайных сортов, проведения посева с высокими показателями качества, которые определяются, в первую очередь, равномерностью распределения семян по площади посева и глубине заделки.

Качество заделки семян по глубине – это один из основных факторов, влияющих на прорастание семян, развитие и кущение растений и в конечном итоге на урожай. В практике возделывания зерновых культур в Республике Беларусь наиболее широкое применение получил рядковый посев с шириной междурядий 15 см.

Разновидностью этого посева с целью улучшения равномерности распределения семян по площади являются узкорядный и ленточный посевы, а также разбросной высев. В экспериментальных исследованиях применялся однозерновой посев. Подача посевного материала и укладка семян в почву при применяемых способах посева также неодинаковые.

Рядовой посев зерновых культур – это основной способ посева во всех странах мира на протяжении уже более столетия. Укладка семян в почву при этом способе посева производится килевидными, полозовидными или дисковыми сошниками, а на легких почвах – в бороздки, формируемые кольцами кольчатых катков (рис. 1.1).

Подача посевного материала к сошнику проводится путем объемного дозирования.

Ленточный посев осуществляется путем укладки семян в почву лентами шириной 3...4 см в бороздки, образуемые дисковыми сошниками, а для лент шириной 7...12 см требуются лапчатые или отвальные сошники (рис. 1.2). У основания этих сошников должны быть прикреплены отражательные пластинки, обеспечивающие разброс семян в зону ленты. Подача семян к сошникам производится объемным дозированием.

Разбросной посев получают, если расстояние между сошниками уменьшают до ширины рядка, а также непосредственным разбрасыванием семян по поверхности почвы, подготовленной под посев, и последующим закрытием семян почвообрабатывающими агрегатами, например боронованием.

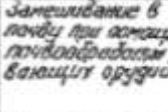
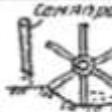
| Способы посева     | Техника укладки семян в почву                                                     |                                                                                   |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Рядовой посев      | Ползательными катковидными сошниками                                              | Вспашка борозды, распределение семян колебательными катками                       |
|                    |  |  |
| Ленточный посев    | Двухдисковый сошник                                                               | с пружин. катком                                                                  |
|                    |  |  |
| Ауфросной посев    | Ауфросной сошник                                                                  | Ситчатый сошник                                                                   |
|                    |  |  |
| Одно-зернов. посев | Замешивание в почву при помощи почвообрабатывающих орудий                         | Семяпробор                                                                        |
|                    |  |  |
| Одно-зернов. посев | Ручейковый высевающий аппарат, позволяющий сеять, коперируя контуры               |  |

Рис. 1.1. Способы посева и укладки семян зерновых культур в грунт

Однозерновой посев зерновых колосовых культур практического применения до сих пор не получил, несмотря на многочисленные опыты, по сравнению с такими культурами, как свекла, кукуруза, рапс, из-за требуемого большого количества семян на  $1 \text{ м}^2$  для однозернового посева, а также в связи с более высокими требованиями к дозированию высеваящих систем и заделывающим семена рабочим органам посевных машин. Ширина междурядий однозернового посева при современной густоте посева зерновых культур должна быть небольшой, порядка 2...4 см, поэтому к технологии посева предъявляются повышенные требования.



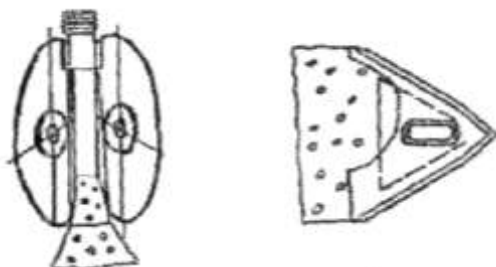


Рис. 1.2. Разбросной и ленточный посев  
с помощью дисковых и лапчатых сошников

В условиях Республики Беларусь для зерновых культур требуется средняя глубина заделки семян, в диапазоне от 2 до 5 см. Чем выше влажность почвы, тем меньше должна быть установлена на высевном агрегате средняя глубина заделки семян. Для получения высокой полевой всхожести семян должно быть по возможности меньшим стандартное отклонение глубины заделки семян относительно среднего значения глубины посева (рис. 1.3).

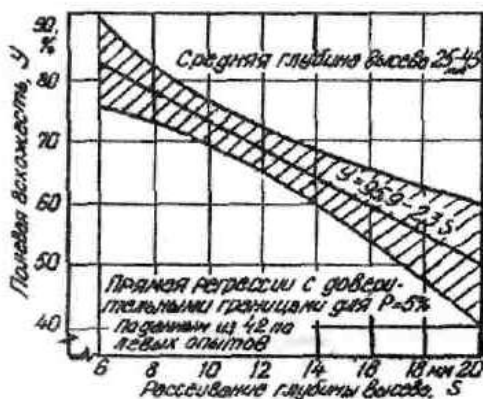


Рис. 1.3. Полевая всхожесть  
и рассеивание глубины посева

При малом рассеивании глубины заделки семян (порядка 0,6 см) полевая всхожесть достигает в среднем 80 %, если же отклонение составляет 1,8 см, то полевая всхожесть снижается до 54 %. Стан-

дартное отклонение от различных способов высева семян приведено в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Техника укладки семян в почву и рассеивание глубины высева заделывания семян, мм

| Способы посева                   | Техника укладки семян в почву                                                             | Рассеивание или стандартное отклонение глубины высева, мм |                   |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------|
|                                  |                                                                                           | Почва вспахана                                            | Почва не вспахана |
| Рядовой                          | Килевидные, полозовидные и дисковые сошники                                               | 6...11                                                    | 12...17           |
|                                  | В борозды, оставляемые кольцами кольчатых катков (только для песчаных почв)               | 6...11                                                    |                   |
| Ленточный, при ширине ленты 3 см | Семяпроводы в потоке почвы почвообрабатывающих орудий                                     | 12...17                                                   | 18...23           |
|                                  | Однорисковые сошники, установленные наклонно                                              | 6...11                                                    |                   |
|                                  | Лапчатые сошники, отвальные сошники, двухдисковые сошники                                 |                                                           |                   |
| Разбросной                       | Лапчатые сошники, отвальные сошники                                                       |                                                           |                   |
|                                  | Высев под полосы почвы, обрабатываемые плоской почвофрезой                                | 12...17                                                   | 7...12            |
|                                  | Замешивание в почву при помощи почвообрабатывающих орудий                                 | 15...20                                                   |                   |
| Однозерновой                     | Килевидный сошник с копирными карточками для прохода на заданной глубине и комкоудалитель | 4...9                                                     |                   |

Колесание глубины заделки семян для килевидных, полозовидных, дисковых и лапчатых сошников на хорошо выровненных почвах составляет от 0,6 до 1,1 см. Однозерновой посев дает лучшие результаты по глубине заделки семян с отклонением 0,4...0,9 см, а разбросной – самую большую неравномерность по глубине заделки со среднеквадратическим отклонением 1,5...2,0 см.

Распределение семян по площади поля имеет решающее значение для равномерного снабжения всех растений ростостимулирующими факторами: водой, освещенностью и питательными веществами.

Применяемые способы укладки семян в почву различаются распределением их по площади поля (рис. 1.4).

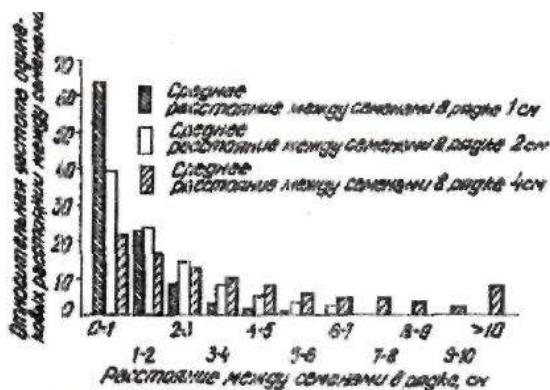


Рис. 1.4. Расстояние между семенами в ряду при рядовом посеве

Только однозерновой посев дает точную укладку каждого зерна при условии сбрасывания семян на одинаковые расстояния и на высоте в несколько сантиметров над бороздкой. Следовательно, если имеет место посев с равномерным размещением семян, укладку их в грунт можно проводить в вершины прямоугольников, квадратов или треугольников (рис. 1.5). Укладка семян в вершины квадратов или прямоугольников требует очень узких междурядий шириной 5...7 см при обычных нормах высева.



Рис. 1.5. Распределение семян по площади поля

При рядовом, ленточном и разбросном посеве объемное дозирование семян и наличие семяпроводов приводят к тому, что точное положение отдельных зерен в рядке или ленте неопределенно носит случайный характер распределения, т. е. экспоненциального распределения (рис. 1.5). Чем большим при определенном количестве зерен на единицу площади является среднее расстояние до ближайшего зерна, тем более равномерное распределение семян по площади.

На графике (рис. 1.6) показано среднее расстояние до ближайшего соседнего зерна для зерновых культур при густоте посева 400 семян на 1 м. В соответствии с графиком для рядового посева улучшить распределение семян по площади поля можно за счет сужения междурядий.

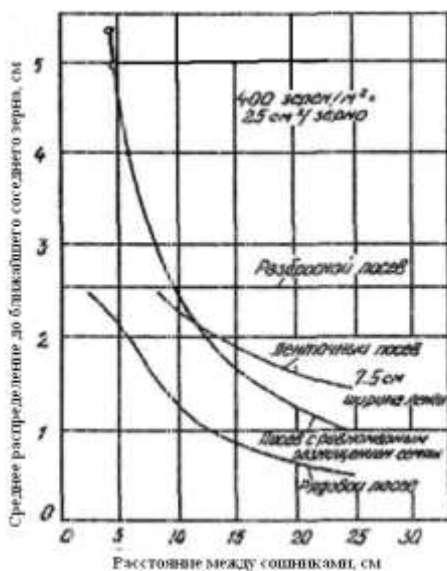


Рис. 1.6. Среднее расстояние до ближайшего соседнего зерна при различных способах посева

Ленточный посев по равномерности распределения семян по площади поля занимает среднее положение между рядовым посевом и разбросным. Влияние распределения семян по площади на урожайность зерновых культур для рядового, ленточного и разбросного посевов не имеет каких-либо существенных различий. При рядовом посеве на каждый сантиметр сужения междурядий в пределах от 20 до 10 см

урожайность повышается лишь на 0,7 % (рис. 1.7). Ленточный посев при сужении междурядий и применении лапчатых отвальных сошников дает повышение урожая на 3,9 %.

Распределение семян по площади влияет и на развитие сорняков. Чем равномернее семена распределены по площади, тем равномернее происходит затенение почвы, что задерживает развитие и рост сорняков.



Рис. 1.7. Распределение семян по площади и урожайность зерновых культур

В табл. 1.2 показана засоренность посевов в зависимости от способов посева. С улучшением распределения семян по площади снижается число сорных растений и сухая масса растений на 1 м<sup>2</sup>. В приведенных в табл. 1.2 опытных данных не проводилась борьба с сорняками при помощи гербицидов. Повышение урожайности зерновых культур может быть достигнуто путем улучшения посева и распределения семян по посевной площади.

Таблица 1.2. Засоренность в зависимости от техники посева для овса (по Коху и Хурле, 1978 г. с изменениями)

| Техника посева с шириной междурядий, см | Количество сорных растений на 1 м <sup>2</sup> | Сухая масса сорных растений на 1 м <sup>2</sup> , г |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Рядовой посев:                          |                                                |                                                     |
| 20                                      | 553                                            | 51                                                  |
| 15                                      | 389                                            | 37                                                  |
| 10                                      | 334                                            | 32                                                  |
| 5                                       | 344                                            | 29                                                  |
| Разбросной посев                        | 321                                            | 28                                                  |

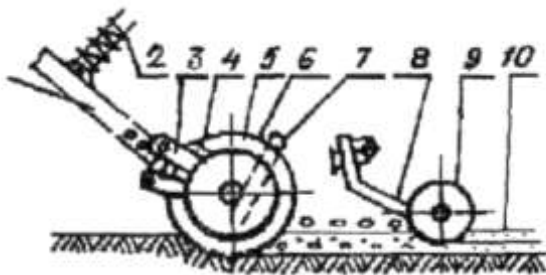
Определилась также необходимость разработки конструкции сошников для ленточного посева и комбинированных сошников, готовящих одновременно ложе для семян и удобрений. В чистом, тщательно подготовленном семенном ложе может быть проведен разбросной или рядовой посев с одновременным внесением минеральных удобрений под почвенную уплотненную прослойку.

## 1.2. Совершенствование способов посева зерновых культур

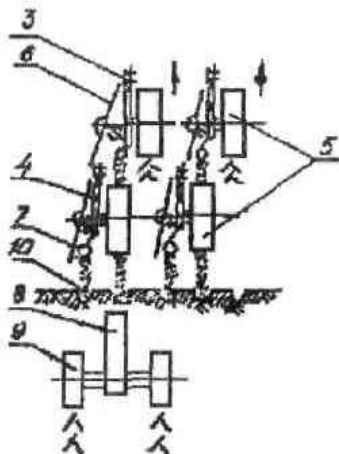
Согласно агротехническим требованиям семена при посеве должны укладываться (вдавливаться) в плотный слой почвы и прикрываться землей. Недостатком дисковых сошниковых групп является неравномерная глубина заделки семян (0...10 см), завышение нормы высева зерновых культур на 10...15 %, отсутствие уплотненного ложа для семян. Преимущества – способность работать на плохо окультуренных почвах и большой диапазон глубины хода и заделки семян. Килевидные и полозовидные сошники, обеспечивая создание плотного ложа почвы под семена и более равномерную глубину заделки, требуют высокого качества предпосевной подготовки почвы. Серийно выпускаемые сеялки семейства СЗ-3,6А с дисковыми сошниками не обеспечивают выполнения агротехнических требований по заделке 80 % высеваемых семян на требуемую глубину.

На опытной станции БСХА совместно с Кировоградским ПКИ разработана однодисковая сошниковая группа с опорно-прикатывающими каточками к серийной зернотуковой сеялке СЗ-3,6А (рис. 1.8, а,б).

Дисковый рабочий орган раскрывает бороздку, в которую укладываются семена, поступающие по семяпроводу 7. Затем семена 10, неравномерно распределенные в вертикальной плоскости, вдавливаются в почву на одинаковую глубину обрезиненным каточком, создавая одновременно и плотное ложе для них. Цепной загорточ сеялки закрывает семена рыхлым слоем почвы.



а



б

Рис. 1.8. Технологический процесс работы однодисковой сошниковой группы: 1 – поводок; 2 – нажимная штанга; 3 – корпус сошника; 4 – регулятор глубины хода; 5 – опорно-прикатывающий каток; 6 – рабочий диск сошника; 7 – семянаправитель; 8 – пружинный поводок прикатывающего узла; 9 – прикатывающий каточек; 10 – семена

Каточки, перекатываясь по почве, не позволяют дисковому рабочему органу заглубляться более чем на заданную глубину и использовать сеялку на высеве семян, требующих мелкую (1...2 см) и более глубокую (5...7 см) заделку. Регулировка требуемой глубины сошников осуществляется в течение 8...10 мин (рис. 1.9). Разработанная сеялка прошла хозяйственную проверку в условиях Республики Беларусь и Латвии в 1987–1990 гг., а также государственные приемочные испытания на Белорусской, Прибалтийской и Центральной МИС и рекомендована для постановки на производство.

Применение разработанной сошниковой группы с прикатывающими каточками позволяет в 1,5...1,8 раза уменьшить разброс семян по глубине, повысить их полевую всхожесть и в связи с этим сократить на 10...15 % норму высевы семян зерновых культур.

Равномерное распределение семян по глубине и площади питания при посеве зерновых культур дисковыми сошниками может быть достигнуто при оборудовании их опорно-прикатывающими катками.

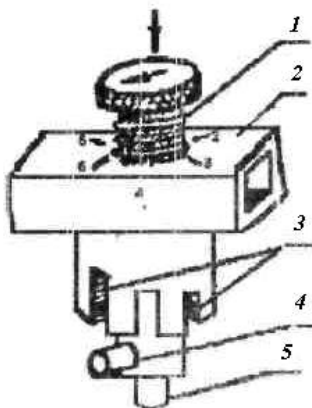


Рис. 1.9. Регулятор глубины сошника:  
2 – корпус сошника; 5 – стержень;  
4 – штифт; 3 – лаз; 1 – головка стержня

При повороте головки 1 на один паз заглубление изменяется на 2 см (рис. 1.9).

### **1.3. Агротехнические и технологические требования к посеву зерновых культур при интенсивной технологии возделывания**

В зависимости от имеющихся в хозяйстве технических средств применяют рядовой посев с междурядьями 12,5 и 15 см, а также узкорядный (6,25 и 7,5 см) с образованием технологической колеи.

При использовании сеялок С-6, С-6Т, СЗ-5,4 одновременно с посевом в рядки следует вносить гранулированный суперфосфат или аммофос в дозе до 50 кг/га. При использовании сеялок типа СПУ перед предпосевной обработкой почвы необходимо внести в почву недостающие микроэлементы, а также стартовую дозу фосфорных удобрений. Семена должны быть протравлены.

Посев должен быть проведен в оптимальные агротехнические сроки. В каждом хозяйстве сроки сева как озимых, так и яровых культур должны корректироваться в зависимости от погодных условий, влажности, состава почвы, высеваемой культуры. Следует учесть, что почти 20 % урожая теряется из-за нарушения сроков выполнения посевных работ.



При установлении нормы высева следует учитывать качество семян, оцениваемое хозяйственной годностью и полевой всхожестью, которые определяются в лабораторных условиях.

Сеялки должны обеспечивать высокую равномерность высева по ширине захвата, глубине заделки и ходу движения. Максимальное отклонение высева между отдельными высевальными аппаратами допускается в пределах  $\pm 4\%$ , всеми аппаратами –  $\pm 3\%$ . Повреждение семян высевальными аппаратами не должно превышать 1 % для зерновых и 2 % для зернобобовых.

Глубина заделки семян в подготовленную под посев почву зависит от влажности, механического состава почвы, сроков посева и высеваемой культуры. На тяжелых почвах семена высевают на глубину 2...3 см, на среднесуглинистых, супесчаных и торфяных – на 3... 4 см.

При запаздывании с посевом и пересыхании почвы глубину увеличивают на 1...2 см. Отклонение глубины заделки семян от заданной не должно превышать 15 %. Наличие незаделанных в почву семян не допускается. Отклонение ширины стыковых междурядий смежных проходов от основных не должно превышать 15 см.

Норма высева семян (4...6 млн. шт/га) зависит от сорта, типа почвы, климатических условий, состояния поля, степени и характера засоренности.

В условиях нашей республики по чистому и удобренному полю в начале оптимального срока сева зерновых культур достаточно высевать 4 млн. шт/га (200 кг/га) всхожих семян.

В условиях Дании нормы высева зерновых культур корректируются в зависимости от сроков сева, качества предпосевной обработки почвы, массы 1000 зерен (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Нормы высева семян зерновых культур в условиях Дании, кг/га

| Сроки сева    | Прохладный климат   |     |     | Умеренный климат    |     |     |
|---------------|---------------------|-----|-----|---------------------|-----|-----|
|               | Масса 1000 зерен, г |     |     | Масса 1000 зерен, г |     |     |
|               | 45                  | 50  | 55  | 45                  | 50  | 55  |
| До 1 сентября | 113                 | 125 | 138 | 88                  | 97  | 107 |
| 1...5         | 125                 | 139 | 153 | 100                 | 111 | 122 |
| 6...10        | 138                 | 153 | 168 | 113                 | 125 | 138 |
| 11...15       | 150                 | 167 | 183 | 125                 | 139 | 153 |
| 16...20       | 163                 | 181 | 199 | 138                 | 153 | 168 |
| 21...25       | 175                 | 194 | 214 | 150                 | 167 | 183 |

Поле перед посевом должно быть обработано на глубину заделки семян, не иметь свальных гребней и развальных борозд, скрытых глыб, крупных комков диаметром более 5,0 см, пожнивных остатков. Объемная масса почвы на глубине заделки семян должна составлять 1,1...1,25 г/см<sup>3</sup>.

Влажность подготовленной под посев почвы в слое 0...10 см не должна превышать 22 %. Поворотные полосы засевают сразу после посева основного поля.

При посеве должна строго соблюдаться прямолинейность рядков и образование технологической колеи для последующего ухода за посевами.

В условиях Могилевской и Витебской областей для получения высоких урожаев и снижения себестоимости зерновых и зернобобовых культур весьма важно выбрать оптимальную норму высева семян на гектар. В условиях нашей республики норма высева семян зерновых культур устанавливается в пределах 4...5 млн. шт/га (200...220 кг/га).

В условиях Республики Беларусь нормы высева зерновых культур под озимые корректируются не только с учетом массы 1000 зерен и качества предпосевной обработки почвы, но и сроков сева и изменяются весьма значительно. Создание уплотненного семенного ложа для семян зерновых и других культур способствует равномерной заделке их по всей глубине, позволяет подтягивать влагу для скорейшего набухания и прорастания, особенно при ее дефиците (рис. 1.10).

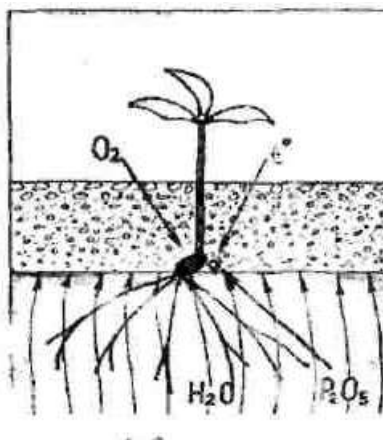


Рис. 1.10. Схема оптимальной заделки семян

Наилучшие условия для создания рыхлого верхнего слоя почвы и качественного ложа для семян, а также выровненности поверхности поля создают комбинированные агрегаты АКШ-3,6; АКШ-6; АКШ-7,2; АКШ-9; АПВ-4,5; АПУ-6,5; чизельные культиваторы КПМ-4; КЧД-6; КНЧ-4,2; КЧ-5,1 с прикатывающими приставками ПК-5,1 или ПКД-5,1, агрегируемые соответственно с тракторами классов 1,4; 2; 3.

Норму высева семян для получения оптимального количества растений на  $1 \text{ м}^2$  необходимо корректировать в зависимости от качества посевного материала, срока посева, температуры воздуха, сорта, получения оптимального количества растений на  $1 \text{ м}^2$ , качества подготовки почвы и др.

При некачественной предпосевной подготовке почвы, запаздывании со сроками посева необходимо дифференцированное увеличение норм высева семян с целью недопущения изреженности и снижения урожайности высеваемой культуры.

Поверхность засеянного поля должна быть ровной, без следов колес трактора, сцепки и сеялок.

Агротехнические требования предусматривают укладку семян зерновых культур в бороздки с уплотненным ложем и укрытых рыхлой мелкокомковатой почвой (рис. 1.11).

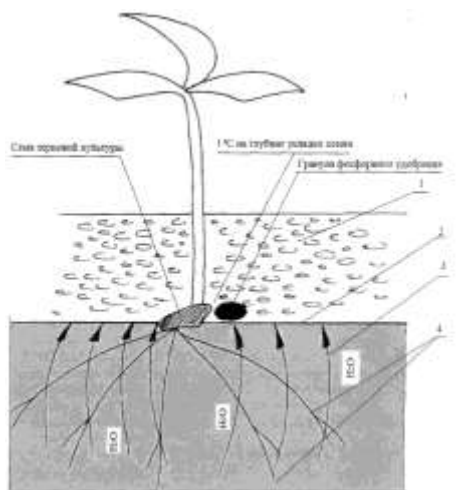


Рис. 1.11. Укладка семян на уплотненное ложе:

- 1 — мелкокомковатый слой почвы;
- 2 — уплотненный слой почвы для укладки семян;
- 3 — направление движения влаги;
- 4 — корневая система растений

Уплотненный слой (ложе) дерново-подзолистых почв Беларуси должен иметь согласно агротехническим требованиям плотность  $1,1...1,3 \text{ г/см}^3$ . В такой слой проникают корни растений, в нем хорошо развиты капилляры, а растения обеспечиваются влагой независимо от складывающихся после посева погодных условий. Верхний мульчирующий слой защищает плотное ложе от испарения влаги и иссушения, через него происходит воздухообмен и поступление тепла. При выполнении этого требования обеспечивается качественный сев. Дисковые сошники сеялок не должны проваливаться глубоко в почву, а также прорезать верхний мульчированный слой и укладывать семена на уплотненный слой в одном горизонте.

На легких почвах лучшие результаты достигаются, когда семена не просто укладываются на плотное ложе, а внедряются в него последующим прикатыванием. При этом улучшается контакт семян с почвой, ускоряется процесс их набухания и прорастания.

#### **1.4. Условия качественного посева зерновых культур при интенсивной технологии возделывания**

Наукой установлено и практикой подтверждено, что урожай сельскохозяйственных культур на 25 % зависит от качественной и своевременной обработки почвы и на 25 % – от качества посева.

Многочисленные проходы однооперационной техники приводят к уплотнению пахотных и подпахотных слоев почвы до  $1,47...1,69 \text{ г/см}^3$ , что близко к критической ( $1,6...1,7 \text{ г/см}^3$ ). Для устранения этого недостатка необходимо применять разуплотнение почвы или использовать комбинированные почвообрабатывающие машины и агрегаты.

Предприятиями Республики Беларусь созданы и выпускаются новые конструкции почвообрабатывающих машин и орудий и рабочих органов к ним на основе новейших достижений науки и практики в области сельхозмашиностроения. Применение их в хозяйствах позволяет повышать качество работ при обработке почвы, снижать расход топлива и затраты труда, увеличивать производительность, выполнять работы в оптимальные агросроки.

Под озимые зерновые культуры (рожь, пшеница, озимая тритикале) рекомендуется приведенная ниже последовательность выполнения технологических операций предпосевной подготовки почвы:

– лущение стерни за уборкой предшественников:

а) дисковыми лушильниками ЛДГ-5 на легких почвах, ЛДГ-10 – на средних и тяжелых;

б) дисковыми боровами БДТ-7, Л-113 или чизельными культиваторами КЧ-5,1; КЧ-5.1М с приставками ПК-5, ПКД-5,1; КПЧ-6; КПК-4; КПС-6М; КНЧ-4,2; АЧУ-2,8;

– вспашка через 10...15 дней после лущения и вслед за внесением минеральных и органических удобрений на глубину 20...22 см плугами с соответствующими приспособлениями ПВР-3,5 или ПВР-2,3; ПП-2,8; ПП-2 для разрушения глыб, уплотнения и выравнивания почвы. Заделку развальных борозд производят секциями тяжелой дисковой бороны;

– предпосевная обработка почвы: комбинированными агрегатами АКШ-3,6; АКШ-6; А1СШ-7,2; АКШ-9; АПУ-6,5; АПВ-4,5; АКП-3; АКП-4; АКП-6.

На засоренных полях и при повышенной влажности на глинистых почвах вместо комбинированных агрегатов типа АКШ следует применять агрегаты для предпосевной подготовки почвы КП-3; КПП-8,4; КНС-6,3; КСО-6; КГШ-5,6; КПС-6М; КСО-4; КНС-4; КПП-4; КПК-4 и др. Если после культивации почва остается чрезмерно вспушенной или глыбистой, то ее следует прикатать катками, установленными на комбинированных агрегатах АКШ, выглубив из почвы S-образные зубья.

Весной предпосевная обработка почвы под посев яровых культур (ячмень, овес, пшеница) начинается с раннего весеннего боронования или культивации на глубину до 8 см с целью закрытия влаги, а финишная обработка – комбинированными агрегатами типа АКШ. При отсутствии последних обработку можно проводить культиваторами типа КПС; КПП; КПК и др. На глинистых и сильно уплотненных почвах используют чизельные культиваторы КЧ-5,1; КЧ-6; КНЧ-4,2; КПК-4 с набором сменных рабочих органов на глубину до 30 см с целью разрушения плужной подошвы. Требованиям предпосевной обработки почвы под яровые культуры наиболее полно отвечает следующая схема: ранневесенняя культивация + предпосевная культивация с боронованием и прокатыванием комбинированными агрегатами типа АКШ с учетом состояния почвы и погоды.

Последнюю предпосевную обработку почвы необходимо проводить перед посевом без разрыва во времени, иначе проростки сорняков будут обгонять в развитии и росте культурные растения и угнетать их.

В Дании и других странах Западной Европы вспашка почвы совме-

щается с предпосевной обработкой за счет использования дополнительных приспособлений к оборотным плугам – кольчато-зубчатым каткам, роторным боронок и комбинированных агрегатов на базе вертикально-роторной бороны.

### **1.5. Образование технологической колеи при посеве**

Образование технологической колеи при интенсивной технологии возделывания зерновых культур производят для последующего ухода за посевом. Ширину полос в постоянной технологической колее принимают равной утроенной ширине междурядий: для сеялок СЗ-5,4 – 45 см, сеялок типа СПУ-6 и С-6 – 37,5 см.

При работе сеялки СПУ-6 (С-6) для образования технологической колеи при отсутствии на ней специального устройства наиболее целесообразно в хозяйствах установить в делительную головку две пробки в отверстия, соединенные пневмосемяпроводами с 7-м и 8-м сошниками с правой стороны сеялки. При этом ширина образуемой колеи будет равна 37,5 см (ширина междурядий 12,5 см). Агрегат должен двигаться челночным способом.

После поворота при движении по маркерному следу правым колесом трактора расстояние между центрами образуемой технологической колеи от двух смежных проходов составит 175 см. После двух проходов (третьего и четвертого) образуется еще одна такая же технологическая колея. Расстояние между центрами соседних образованных технологических колеи составит 12 м.

При такой схеме работы необходимо использовать опрыскиватели с шириной захвата 12 м (ОТМ-2-3) или настраивать другие опрыскиватели на такую же рабочую ширину захвата. При этом расстояние между центрами колес тракторов и опрыскивателя должно составлять 175 см. Ширина колес трактора при посеве при этом варианте не регламентируется.

При наличии в хозяйстве трех сеялок СПУ-6 (С-6) наиболее просто и надежно образовать технологическую колею путем постоянного перекрытия подачи семян в четыре сошника средней сеялки, идущих по следам колес трактора.

У пневматических сеялок СПУ-4, СПУ-3 технологическая колея образуется с помощью специальных насадок с управляемыми заслонками, которые закрывают подачу семян в идущие по следам колес трактора сошники через определенное количество проходов агрегата.

На участках неправильной конфигурации, имеющих западины, «блюдца», начало сева с образованием технологической колеи следует

начинать в месте, имеющем наибольшую прямолинейную длину гона с последующим засевом участка справа и слева.

## 1.6. Организация работы посевных агрегатов

Направление и способ посева следует выбирать с учетом характеристики полей (площади, длины гона, конфигурации, рельефа) и требований агротехники. Направление посева – поперек вспашки и последней предпосевной обработки или под углом к ней; на склонах – под углом к направлению склона или поперек его.

Способы движения посевных агрегатов: челночный – при работе одного, двух и трех агрегатов на полях с длиной гона более 200 м; гоновый – при работе многосеялочных агрегатов на полях прямоугольной формы больших размеров; перекрытием – на полях квадратной формы при гонах до 150 м, где можно разворачивать агрегат в пределах поля, и на очень узких участках – до 60...80 м. На этих полях также применяется диагонально-перекрестный способ. Ширину загона при движении агрегата гоновым способом выбирают по табл. 1.4.

Таблица 1.4. Рекомендуемая ширина загонов и поворотных полос при работе посевных агрегатов

| Марка сеялок | Ширина загонов при длине гонов, м |      | Ширина поворотных полос, м |                          |
|--------------|-----------------------------------|------|----------------------------|--------------------------|
|              | 500                               | 700  | при петлевом повороте      | при беспетлевом повороте |
| СПУ-6        | 72,0                              | 84,0 | 18,0                       | 12,0                     |
| С-6          | 72,0                              | 84,0 | 24,0                       | 18,0                     |
| СЗ-5,4       | 57,6                              | 72,0 | 14,4                       | 10,8                     |
| СПУ-3        | 60,0                              | 76,0 | 12,0                       | 8,0                      |
| СПУ-4        | 60,0                              | 76,0 | 12,0                       | 8,0                      |

Маркеры и слепоуказатели устанавливают на посевных агрегатах для того, чтобы на двух смежных проходах не было огрехов и пересечений по одному и тому же следу.

Маркер оставляет на поле линию-ориентир, по которой тракторист направляет правое колесо или гусеницу трактора при обратном проходе. Слепоуказатель – это брус с подвешенным по краям стержнем или цепочкой, на концах которых укреплен грузик, свободно скользящий по следу колеса от предыдущего прохода или по маркерной линии. При вождении по следу правым колесом или гусеницей правый маркер короче, а левый – длиннее на величину расстояния между серединами передних колес или краями гусениц трактора. Состав посевных агрегатов и вылет маркеров приведен в табл. 1.5.

Общую оценку состояния посевов должна делать комиссия, кото-

рая учитывает не только выполнение каждого технологического приема, но и значение его для формирования урожая (табл. 1.6). Если какое-либо требование агротехнически выполнено некачественно, то соответственно ставится прочерк в графе оценочного коэффициента, так как после посева во многих случаях невозможно исправить ошибку и переделать работу.

Т а б л и ц а 1.5. Состав посевных агрегатов и установка вылета маркера

| Трактор       | Число сеялок в агрегате | Ширина захвата, м | Ширина колеи трактора, мм | Вылет маркера, м |         | Передача трактора |
|---------------|-------------------------|-------------------|---------------------------|------------------|---------|-------------------|
|               |                         |                   |                           | левого           | правого |                   |
| «Беларус-800» | 1                       | 3,0               | 1800                      | 2,48             | 0,68    | VII               |
| «Беларус-800» | 1                       | 4,0               | 1800                      | 2,98             | 1,18    | VII               |
| «Беларус-820» | 1                       | 6,0               | 1800                      | 3,98             | 2,18    | VII               |

Таблица 1.6. Способы и оценка качества посева

| Показатели качества                                      | Контроль качества                         |                        |                | Оценка качества                                          |             |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------|----------------|----------------------------------------------------------|-------------|
|                                                          | Способ определения                        | Способ замера          | Кол-во замеров | Показатели, %                                            | Баллы       |
| Отклонение глубины заделки семян, мм                     | Путем вскрытия рядка на длине 20...30 см  | Две линейки, лопаточка | 3...4          | До $\pm 10$<br>От $\pm 10$ до $\pm 15$                   | 3<br>2      |
| Отклонение от заданной равномерности высева, %           | Изменение длины рабочей части катушек, мм | Шаблон                 | 2...3          | До $\pm 3$<br>От $\pm 3$ до $\pm 5$<br>Более $\pm 5$     | 3<br>1<br>0 |
| Отклонение стыковых междурядий от заданного значения, мм | Изменение в конце и середине участка      | Линейка                | 3...4          | До $\pm 50$<br>От $\pm 50$ до $\pm 60$<br>Более $\pm 60$ | 2<br>1<br>0 |
| Соблюдение междурядий по ширине агрегата                 | Замер расстояния между сошниками          | Линейка, трафарет      |                | Соблюдается<br>Не соблюдается                            | 2<br>0      |

Низкая общая сумма оценочных коэффициентов служит сигналом для более тщательного контроля за ходом посевных работ и принятия мер по устранению нарушений технологического процесса.

## 1.7. Обзор и анализ конструкций зернотуковых сеялок с комбинированными рабочими органами

Многими организациями – БГСХА [6], Азербайджанским НИИ земледелия [7], Саратовским СХИ и другими [8, 9, 10] – на основе рекомендаций по технологии припосевного локального внесения ос-



новой дозы минеральных удобрений разрабатываются и исследуются технические средства для совершенствования способов посева зерновых.

Кировоградским ПКИ (Украина) совместно с опытной станцией БГСХА на базе сеялки СЗ-3,6 разработана комбинированная сеялка СЗК-3,6, которая оснащена однодисковыми сошниками для заделки удобрений на глубину 10...14 см и сменными двухдисковыми или наральниковыми сошниками для заделки семян на глубину до 8 см.

Кафедрой сельскохозяйственных машин Полтавского СХИ предложена следующая модернизация сеялки СЗ-3,6 для припосевного внесения основной дозы удобрений: на дополнительной раме смонтировано шесть туковывсевающих аппаратов и двенадцать подкормочных ножей, жестко закрепленных в державках на S-образных пружинных стойках. При этом глубина заделки туков составляет 10...12 см, междурядья – 30 см, расстояние от посевных рядков – 6...7,5 см [11].

В СибНИИСХ (Российская Федерация) на базе сеялки СЗС-2,4 была изготовлена сеялка-культиватор с комбинированными сошниками, при испытании которой в течение двух лет наблюдалась прибавка урожая за счет локализации удобрений, равная 2,0...4,6 ц/га.

За рубежом комбинированные зернотуковые сеялки стали внедряться еще в середине 60-х годов прошлого столетия. В 1969 г. в Финляндии было продано 570 комбинированных сеялок и 3000 обычных, а в 1971 г. – 3000 и 1500 штук соответственно.

В настоящее время комбинированные сеялки широко применяются в Скандинавских странах, США, Англии, Австралии, странах Африки.

Комбинированные сеялки за один проход осуществляют посев, внесение минеральных удобрений и прикатывание засеянных рядков. Их конструкцией предусмотрено четырехрядное расположение рабочих органов, заделывающих семена и удобрения. Такая схема расстановки рабочих органов предусматривает размещение ленты удобрений через два рядка семян зерновых культур, так как туковый сошник установлен между каждой парой зерновых сошников.

На рис. 1.12 приведена классическая схема комбинированной сеялки, разработанной на основе рядовой сеялки, которая отличается наличием туковых бункеров большей вместимости (до 1500 кг высеваемого материала), отдельными сошниками для заделки удобрений, туковывсевающими аппаратами высокой производительности.

Кроме того, в связи с необходимостью загрузки большого количества удобрений заправочные бункера расположены не выше 110 см над уровнем земли для облегчения погрузочных работ.

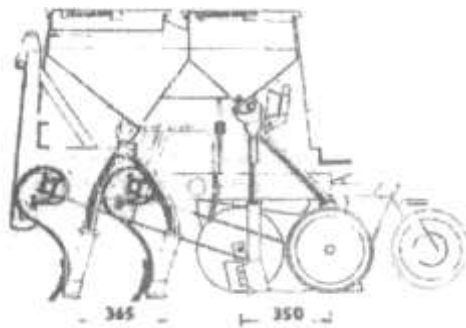


Рис. 1.12. Схема комбинированной сеялки

Комбинированные сеялки зарубежных фирм WARTSILA, JUNK-KARIOY, STEGSTED, TUME, YUKO имеют раму сварной конструкции, опирающуюся на опорно-приводные колеса, сверху расположен бункер для семян и удобрений, соответственно заднее и переднее отделения.

Семенной бункер снабжен ворошителем. Туко- и семявысевающие аппараты крепятся к днищам бункеров и с помощью тукосемяпроводов соединяются с сошниками, подъем и опускание которых осуществляются при помощи гидроцилиндра (рис. 1.13).

Для посевных машин Скандинавских стран характерно расположение туковых наральниковых сошников на плоских пружинных S-образных стойках в первых двух рядах по ходу сеялки, что улучшает ее проходимость, способствует снижению тягового сопротивления. Рабочая поверхность туковых сошников улучшает условия заглубления, что целесообразно, учитывая более глубокое размещение удобрений относительно семян.

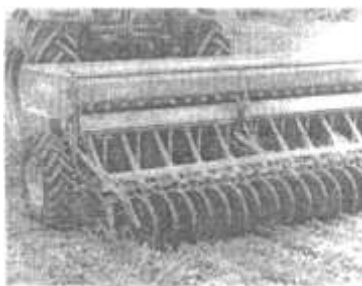
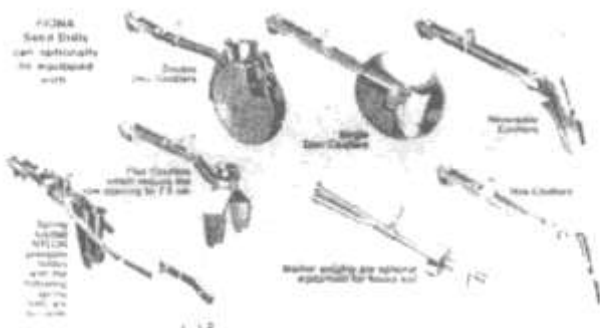


Рис. 1.13. Комбинированная сеялка фирмы TUME

На рис. 1.14 представлены двухдисковые, однодисковые, килевидные, двустручные и анкерные сошники, которыми фирма SCHEBY оснащает свои сеялки.



По данным фирм WARTSILA и SOKKERI, до 4,5 % прибавки урожая зерновых позволяет получить использование на сеялках TUME и WARTSILA крыльчатого сошника, который равномерно распределяет семена в ленту шириной 7,5 см.

Наральниковые сошники могут быть как с острым, так и с тупым углом вхождения в почву. Для сошников с острым углом вхождения в почву используется пружина или ножевые стойки.

Чтобы повысить качество посева в различных почвенно-климатических и погодных условиях, на комбинированных сеялках используются различные (двухдисковые, однодисковые, двухдисковые с реборами, анкерные, килевидные и др.) сошники для высева семян.

Локальное внесение удобрений возможно не только с использованием отдельных, но и комбинированных сошников [12, 13, 14].



Рис. 1.15. Наральниковые сошники для припосевого внесения основной дозы минеральных удобрений:

1 – S-образный сошник;  
2 – воронка-туконаправитель; 3 – наральник

Комбинированный сошник, разработанный ХИМЭСХ (Украина), предназначен для узкорядного посева с одновременным внесением минеральных удобрений и состоит из корпуса 1, двух дисков 2, раструба 3 для удобрений, раструба 4 для семян и двухканального распределителя семян, который расположен в пассивной зоне стрелчатой культиваторной лапы 6. Вертикальная пластина 7 крепится к оси рычага 8 и установлена над распределителем семян 5. Верхний конец рычага 8 соединен с боковинами защитного кожуха 9 посредством пружин 10 и снабжен грузом 11, фиксируемым болтом 12 (рис. 1.16). Данный сошник заделывает удобрения на 1,7...2 см ниже семян и посевные материалы на 6...7 мм смежного междурядья на 6...7 мм [69].

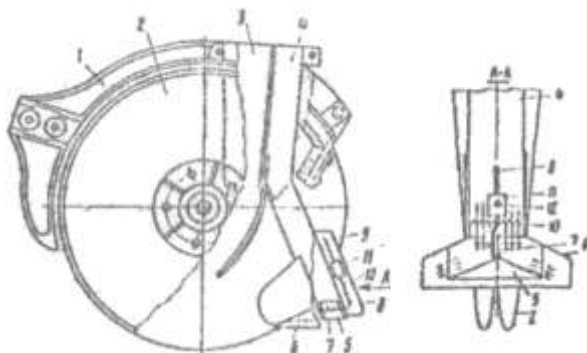


Рис. 1.16. Комбинированный сошник для узкорядного посева с одновременным внесением минеральных удобрений:  
 1 – корпус; 2 – диски; 3 – раструб – для удобрений; 4 – раструб для семян;  
 5 – разделитель семян; 6 – культиваторная лапа; 7 – пластина;  
 8 – ось рычага; 9 – защитный кожух; 10 – пружина; 11 – груз; 12 – болт

Два вида сошников, представленных на рис. 1.17, разработаны в БГСХА на кафедре сельскохозяйственных машин [13].

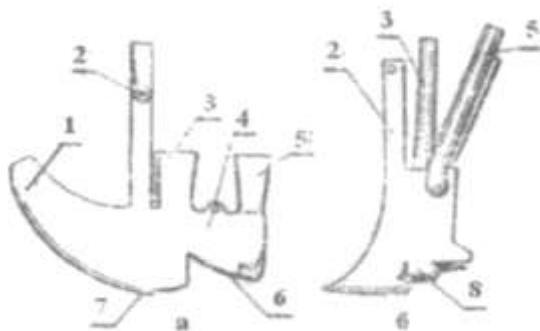


Рис. 1.17. Сошники: *а* – с тупым углом входа в почву;  
*б* – с острым углом входа в почву:  
 1 – наральник; 2 – стойка; 3 – тукопровод; 4 – корпус;  
 5 – семяпроводы; 6 – бороздообразователь семян;  
 7 – бороздообразователь туков; 8 – крылышки

Сошник с тупым углом входа в почву представляет собой ножевидный наральник в виде полоза с раструбами для удобрений и се-

мян. Сошник с острым углом вхождения в почву выполнен в виде долотообразной культиваторной лапы, работающей по принципу двугранного клина.

Е. П. Юрочка предложил установить отдельный туконаправитель и каточек для рядкового прикатывания на серийный узкорядный двухдисковый сошник. Туконаправитель устанавливается между дисками, несколько выдвинутым из них в своей нижней части (рис. 1.18). Работают модернизированные сошники следующим образом: при движении диска 3 открывают бороздки, на дно которых по туконаправителю 2 подаются удобрения и укладываются на максимальную глубину. Семена, проходя по семяпроводу и распределителю 5, располагаются по обе стороны от ленты удобрения в две строчки, образовавшиеся после прохода туконаправителя.

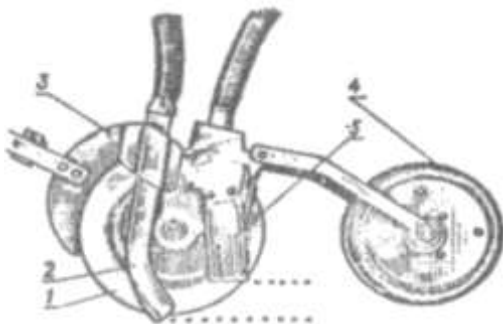


Рис. 1.18. Модернизированный узкорядный двухдисковый сошник: 1 – диск; 2 – туконаправитель; 3 – диск; 4 – прикатывающий каток; 5 – распределитель

Заделка семян происходит за счет самоосыпания почвы и в результате прикатывания катком 4.

Однодисковые комбинированные сошники фирмы США ALLIS-CHALMERS (сеялка модели 157) имеют с наружной стороны диска семянаправитель с двойным наконечником, позволяющим создать прослойку почвы по вертикали и горизонтали между семенами и удобрениями (рис. 1.19).

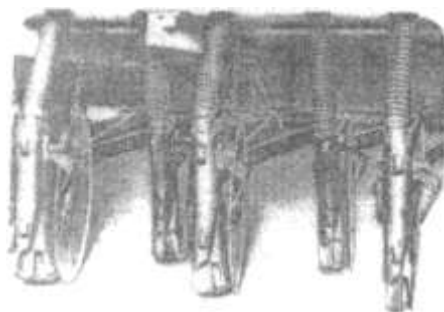


Рис. 1.19. Комбинированные сошники сеялки модели 157 (США)

Зернотуковая сеялка Scedmatic 2000 Новозеландской фирмы AITCHISON INDUSTRIES снабжена комбинированными сошниками оригинальной конструкции (рис.1.20). Сошник состоит из зубчатого диска, двух рыхлителей L-образных ножей и двух прикатывающих катков, установленных под углом друг к другу. Семена и удобрения располагаются в почве с прослойкой по горизонтали в 10 см.

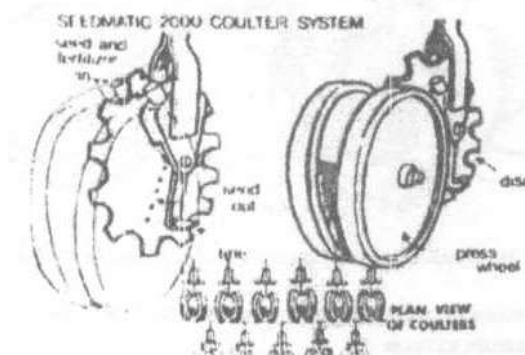


Рис. 1.20. Комбинированный сошник зернотуковой сеялки Seedmatic 2000 (Новая Зеландия)

Для сухих почв в Канаде (фирма VERSATILIA) и США (фирма TYE) выпускаются сеялки с анкерными сошниками, позволяющими укладывать семена и удобрения с разностью глубины до 11 см.

Канадская фирма SUTHERLAND STEEL FOUNDRY оснащает сеянки сошниками Clark, которые раздельно вносят семена и удобрения. Сошник представляет собой культиваторную лапу, на которой

крепятся туковый наконечник, спаренная семенная лопасть и двойной трубчатый держатель. Удобрения подаются к переднему наконечнику, а семена к задней лопасти, причем они разделяются на два потока и вносятся сдвоенными рядами с промежутком 15 см на глубину около 6 см. Удобрения заделываются на 3...5 см ниже, между рядами семян. Общий вес сошника составляет 9,2 кг, стоимость (на март 1998 г.) – 73 доллара.

## **1.8. Современные сеялки для посева зерновых культур**

В настоящее время хозяйства используют пневматические сеялки СПУ-6; СПУ-4; СПУ-3, С-6, С-6Т производства Республики Беларусь, выпускаемые на предприятиях ПО «Лидагропромаш» и «Брестский электромеханический завод». Кроме того, находят применение зернотуковые сеялки СЗ-5,4, выпускаемые заводами «Красная Звезда» (Украина), «Белинсксельмаш» (Россия) и др.

Опыт использования сеялок типа СПУ показал, что на глинистых и тяжелых суглинистых почвах и засоренных полях они не всегда в полной мере обеспечивают агротехнические требования заделки семян по глубине. В связи с этим сеялки типа СПУ выпускаются в настоящее время с килевидными (СПУ-6(4;3)) и дисковыми (СПУ-6Д(4;3Д)) сошниками.

В Республике Беларусь на предприятии ОАО «Брестский электромеханический завод» производятся комбинированные агрегаты АПП-3, АПП-4,5, АПП-6 к тракторам «Беларус-800/820», «Беларус-221», «Беларус-1522», которые совмещают предпосевную обработку почвы с посевом и обеспечивают высокий технологический и экономический эффект.

Сеялки типа СЗ-5,4, укомплектованные дисковыми сошниками, могут хорошо работать как на отвальных, так и на мульчированных агрофонах, а также при минимальной подготовке почвы к посеву. Однако они имеют большую металлоемкость, громоздкость, неравномерно заделывают семена по глубине, особенно по следам колес трактора, где разброс по глубине находится в пределах 0...10 см, и не обеспечивают уплотненное ложе для семян. При использовании килевидных и катковых сошников на хорошо выровненных почвах колебания составляют 0,6...1,1 см, они образуют уплотненное ложе для семян.

Зернотуковые сеялки типа СЗ-5,4 комплектуются разными сошниковыми группами (анкерными, килевидными, одно- и двухдисковыми, катковыми и др.) для различных почвенно-климатических зон. В зависимости от типа почв применяется та или другая сошниковая группа:



на легких окультуренных, песчаных и супесчаных – килевидные и анкерные; на средних, тяжелых глинистых – дисковые. Кроме этого разные типы почв требуют неодинаковой предпосевной обработки почвы. Наличие пожнивных, растительных остатков, а также камней влияет на качество подготовки почвы и не позволяет применять в любых условиях одну какую-либо сошниковую группу (табл. 1.7).

В БГСХА разработана однодисковая сошниковая группа с опорно-прикатывающими каточками к серийной зернотуковой сеялке СЗ-5,4, представленная на рис. 1.21, в которой устранены недостатки серийных сошников.

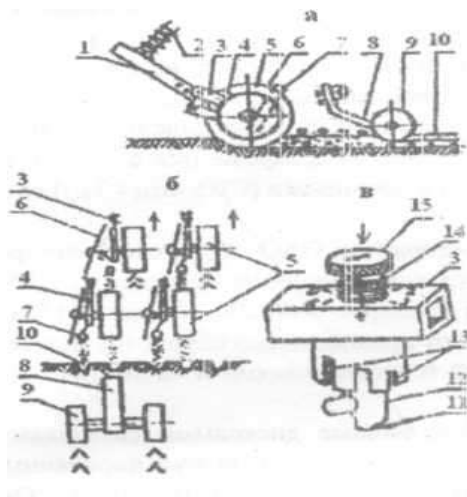


Рис. 1.21. Однодисковая сошниковая группа к сеялке СЗ-5,4: *а, б* – схема работы сошников; *в* – регулятор глубины: 1 – поводок; 2 – пружина; 3 – корпус сошника; 4 – регулятор; 5 – опорно-прикатывающий каточек; 6 – диск; 7 – направитель семян; 8 – пружинный поводок; 9 – прикатывающий каточек; 10 – семена; 11 – хвостовик; 12 – штифт; 13 – прорезь; 14 – пружина; 15 – головка-указатель

Наши исследования показали, что применение предлагаемой сошниковой группы (в сравнении с сеялками СЗ-5,4 -04) позволяет:  
заделывать на 15% больше высеваемых семян в сантиметровом слое заданной глубины;

повысить полевую всхожесть семян и в связи с этим сократить на 10... 15% норму высева зерновых культур;

уменьшить на 6% тяговое сопротивление сеялки.

Таблица 1.7. Техническая характеристика машин для посева зерновых, зернобобовых и травяных культур

| Показатели                                                           | Ед. изм. | Машины для посева зерновых, зернобобовых, трав и других культур |                        |                        |                        |                        |                        |                |                        |                        |                |
|----------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|------------------------|------------------------|----------------|
|                                                                      |          | СПУ-6<br>(6Д)                                                   | СПУ-4<br>(4Д)          | СПУ-3                  | С-6                    | СЗ-5,4                 | СПП-<br>3,6            | СПУ-<br>6ЛЦ    | СПУ-4Л                 | СПУ-3Л                 | MegaSeed       |
| Агрегатируется с тракторами класса                                   | кН       | 1,4;2                                                           | 1,4                    | 0,6                    | 1,4                    | 1,4                    | 1,4;2                  | 1,4;2          | 1,4                    | 1,4                    | 3;5            |
| Рабочая скорость                                                     | км/ч     | До 10                                                           | До 10                  | До 10                  | До 10                  | До 10                  | 7,6-10                 | До 10          | До 10                  | До 10                  | До 15          |
| Количество рядков                                                    | шт.      | 48                                                              | 32                     | 24                     | 48                     | 36                     | 24                     | 96             | 64                     | 48                     | 24;32;36;8     |
| Ширина захвата                                                       | м        | 6,0                                                             | 4,0                    | 3,0                    | 6,0                    | 5,4                    | 3,6                    | 6,0            | 4,0                    | 300                    | 3;4;5;6        |
| Производительность за 1 ч:<br>эксплуатационного<br>основного времени | га/ч     | 5,4...6,0<br>3,5...5,5                                          | 3,6...4,0<br>2,3...3,1 | 2,7...3,0<br>1,8...2,3 | 5,4...6,0<br>3,3...3,9 | 4,7...5,0<br>2,8...3,9 | 2,7...3,6<br>1,7...2,3 | 1,5...3,6<br>– | 2,0...4,0<br>1,0...2,6 | 1,5...3,0<br>0,8...2,0 | 3,0...8,0<br>– |
| Расход топлива                                                       | кг/га    | 3,2...5,1                                                       | 3,6...4,8              | 3,6...4,8              | 2,7...4,3              | 3,4...4,3              | 5,8...7,0              | 3,3...4,8      | 3,7...5,0              | 3,8...5,2              | 7,0...10,0     |
| Норма высева                                                         | кг/га    | 0,9...412                                                       | 0,9...412              | 0,9...412              | 0,9...412              | 15...400               | 3...350                | 1...400        | 1...400                | 1...400                | 1...400        |
| Емкость бункера                                                      | л        | 1000                                                            | 500                    | 500                    | 1000                   | 1000                   | 1000                   | 100            | 500                    | 500                    | 1500;1165      |
| Междурядье                                                           | см       | 12,5                                                            | 12,5                   | 12,5                   | 12,5                   | 15                     | 15                     | 6,25           | 6,25                   | 6,25                   | 12,5           |

Преимущества сеялок СГГУ-6, СПУ-4, СПУ-3 – универсальность, меньшая металлоемкость, тяговое сопротивление и расход топлива на 1 га посева, простота конструкции, лучшая маневренность агрегата. Однако они более требовательны к подготовке почвы под посев, техническому обслуживанию. Сеялка не имеет устройства для внесения одновременно с посевом стартовой дозы минеральных удобрений. Почва для посева должна быть хорошо подготовленной: выровненной, мягкой, без камней, древесных остатков, кусков дернины, остатков соломы и трав. Уклон поля не должен превышать 15 %.

Пневматические сеялки типа СПУ имеют один или два бункера 7 (рис. 1.22), дозатор 8, пневматическую систему, включающую вентилятор 1, гофрированный семянвоздухопровод 4 с распределительной головкой 5, семянпроводы 6, подающие семена к сошникам 11.

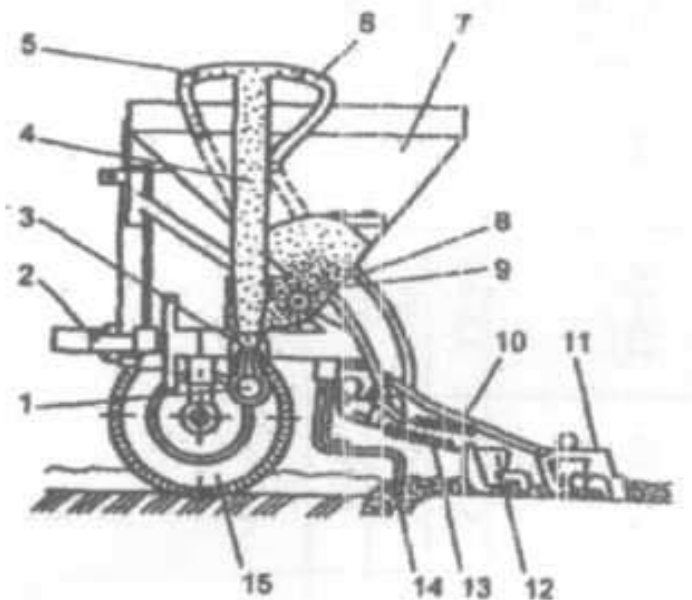


Рис. 1.22. Технологическая схема сеялки СПУ-6: 1 – вентилятор; 2 – рама; 3 – диффузор; 4 – вертикальный семянвоздухопровод; 5 – распределительная головка; 6 – отдельный семянвоздухопровод; 7 – бункер; 8 – катушка-дозатор; 9 – семена; 10 – семянправитель; 11 – сошник; 12 – клапан; 13 – регулировочная пружина; 14 – рыхлитель колеи колес; 15 – опорно-приводное колесо

Вентилятор подачи воздушного потока приводится в движение от ВОМ клиновидным ремнем. Привод дозирующего устройства осуществляется от колеса сеялки. Рекомендуемая рабочая скорость посевного агрегата – 2,2...3,0 м/с (8...11 км/ч).

Для создания безопасной работы трактора «Беларус-820» с сеялкой СПУ-6 используются специальные грузы для догрузки переднего моста трактора: 180 кг на одинарной рамке, 360 кг и 440 кг – на удлиненной рамке (табл.1.8).

Определение коэффициента устойчивости агрегата «Беларус-820»+ СПУ-6 проводилось при различной степени загрузки семенного бункера сеялки. Установлено, что по критерию устойчивости ( $K_y$ ) трактор «Беларус-820» с сеялкой СПУ-6, поднятой в транспортное положение при массе противовеса 440 кг, может агрегатироваться при максимальной загрузке бункера семенами массой 800 кг ( $K_y=0,21$  при допуском 0,20).

Таблица 1.8. Коэффициенты устойчивости трактора «Беларус-820» при работе с сеялкой СПУ-6

| Масса семян в бункере, кг | Масса сменных грузов на переднем мосту (без учета массы рамки), кг |                          |                             |                               |                          |                             |                               |                          |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|                           | 180                                                                |                          | 360                         |                               |                          | 440                         |                               |                          |
|                           | Нагрузка на передний мост, кг                                      | Коэф. устойчивости $K_y$ | Нагрузка на задний мост, кг | Нагрузка на передний мост, кг | Коэф. устойчивости $K_y$ | Нагрузка на задний мост, кг | Нагрузка на передний мост, кг | Коэф. устойчивости $K_y$ |
| Без семян                 | 980                                                                | 0,25                     | 4265                        | 1170                          | 0,3                      | 4145                        | 1370                          | 0,35                     |
| 200                       | 855                                                                | 0,22                     | 4560                        | 1075                          | 0,27                     | 4510                        | 1205                          | 0,31                     |
| 400                       | —                                                                  | —                        | 4865                        | 970                           | 0,24                     | 4850                        | 1065                          | 0,27                     |
| 600                       | —                                                                  | —                        | 5180                        | 855                           | 0,21                     | 5180                        | 935                           | 0,21                     |
| 800                       | —                                                                  | —                        | —                           | —                             | —                        | 5490                        | 825                           | 0,21                     |

При уменьшении массы противовеса (360 и 180 кг) нормативный коэффициент устойчивости достигается при максимальной массе семян в бункере соответственно 600 и 200 кг.

Максимальная длина катушки у сеялок типа СПУ составляет 110 мм. Задвижка перекрывает катушку, оставляя ее рабочую часть. Шкала на задвижке указывает длину рабочей части катушки. При малом высева катушка работает с рабочей длиной в пределах 25 мм. Для переключения нормального высева на малый необходимо выполнить три операции: уменьшить глубину желобков катушки, частоту ее вращения и скорость воздушного потока.

Для уменьшения глубины желобков катушки необходимо фиксатор

из крайнего левого положения повернуть на  $180^\circ$ , втулку переместить до упора влево и застопорить ее фиксатором в прорези вала катушки.

При нормальном высеве малая шестерня на приводном валу дозатора семян находится внутри большой. При таком положении шестерен можно высевать повышенные нормы в режиме малого высева. Для высева пониженных норм малую шестерню необходимо переместить влево и ввести ее в зацепление со свободной шестерней на валу катушки.

На выходе вентилятора имеется дроссельная заслонка. При нормальном высеве она должна быть полностью открыта (переключатель находится в положении А). В противном случае система забьется семенами. Для предотвращения выдувания легковесных семян из бороздок при малом высеве заслонку следует прикрыть (положение переключателя Z).

Пневматическая универсальная сеялка С-6 (рис. 1.23) включает раму, спицу, опорно-приводное и опорное колесо, бункер 5, дозаторы 3 и 4, эжектор 7, вентилятор 8 с механизмом привода, семявоздухопроводы 6 и 10, распределитель потока семян 9, сошники 11 и загортачи 12, сетку 13 и ворошилку 14. При движении агрегата по полю материал из бункера вращающимися катушками дозатора высевающих агрегатов 3 и 4 подается в эжектор 7, подхватывается потоком воздуха, создаваемого вентилятором 8, и транспортируется по семяпроводам в распределитель 9, затем – в сошники 11 и дальше – на дно бороздок.

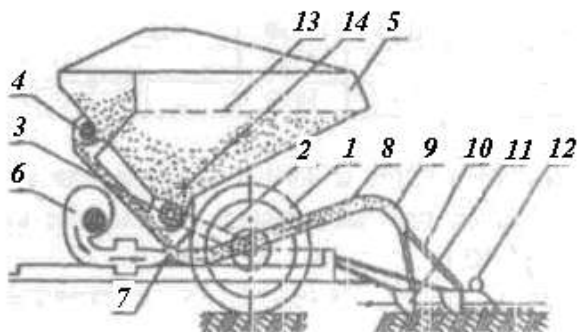


Рис. 1.24. Технологическая схема пневматической универсальной сеялки С-6: 1 – опорно-приводное колесо; 2 – цепная передача; 3, 4 – высевающие аппараты; 5 – бункер; 6, 10 – семявоздухопроводы; 7 – эжектор; 8 – вентилятор; 9 – распределитель; 11 – сошник; 12 – пружинный загортач; 13 – сетка; 14 – ворошилка

Привод дозаторов осуществляется от приводного колеса сеялки цепной передачей, а вентилятора – от ВОМ трактора. Вождение сеялки осуществляется по следам маркера, закрепленного на тракторе.

Рабочая ширина захвата – 6 м, производительность – 6 га/ч при рабочей скорости посевного агрегата 12 км/ч, обслуживает сеялку тракторист. Комбинированные сеялки MegaSeed (рис. 1.24) имеют различную рабочую ширину захвата – 3; 4; 4,5; 6 м.

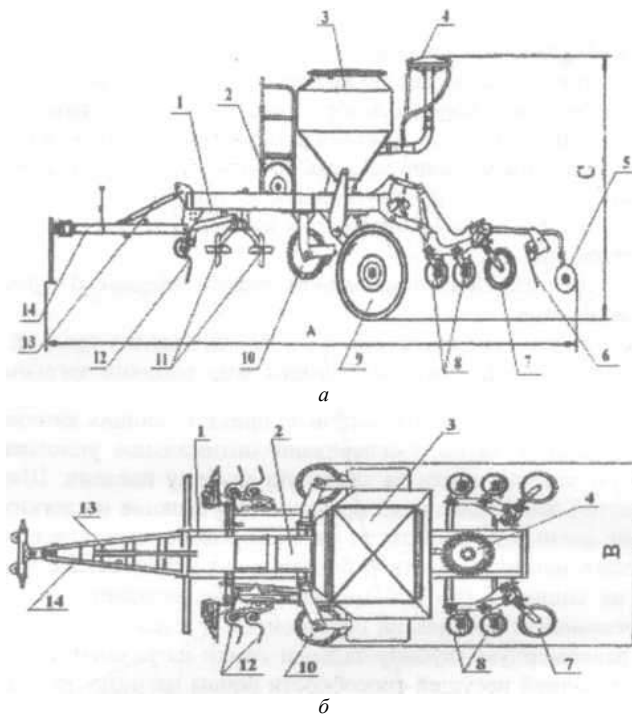


Рис. 1.24. Комбинированная сеялка MegaSeed:

*a* – вид сбоку; *б* – вид сверху;

1 – рама; 2 – вентилятор; 3 – бункер;

4 – распределительная головка;

5 – мульчирующий каток; 6 – пружинный загортач;

7 – прикатывающие катки; 8 – дисковые сошники;

9 – опорно-приводное колесо; 10 – зубчатый каток;

11 – диско-ножевая борона; 12 – рыхлители;

13 – талреп; 14 – прицепное устройство;

*A* – длина; *B* – ширина; *C* – высота сеялки

Межрядковое расстояние при посеве составляет 12,5 см. Сеялка может использоваться в зависимости от состава рабочих органов как для обычного посева по вспаханной почве, так и для мульчированного сева (бесплужная обработка почвы).

При этом посев производится в смесь из измельченных остатков растений и земли (поверхностная мульча), которая подготавливается благодаря предшествующей технологической обработке. На относительно легких почвах возможен процесс прямого посева «Direktsaat», т. е. без предварительной обработки почвы может производиться посев с использованием только рабочих органов комбинированной сеялки для мульчированного сева.

Сеялка MegaSeed в зависимости от имеющегося поверхностного слоя почвы может оснащаться по выбору: двухрядной диско-ножевой бороной; комбинацией борон с S-образными вибрационными зубьями, расположенными в два ряда; двухрядным зубчатым катком или двухрядными дисковыми мульчирующими рабочими органами для обработки почвы, которые комбинируются соответственно с зубчатым катком диаметром 660 мм, мульчирующим катком (640 мм) или обрезиненным катком (640 мм).

Рабочий процесс комбинированной сеялки MegaSeed протекает следующим образом.

В начале работы гидравлический рычаг управления сеялкой устанавливают в рабочее положение. Глубина хода рабочих органов в зависимости от высеваемой культуры и типа почвы устанавливается регулировочным механизмом относительно прикатывающих катков.

Прикатывающие катки отслеживают оптимальное уплотнение и равномерную заделку семян на заданную глубину посадки. Широкие гибкие эластичные шины предотвращают их утопание на легких почвах, а также налипание клеящихся почв. Вырезные дисковые сошники на шарикоподшипниках нарезают бороздки для посева семян, высокое давление на сошники (до 800 Н/сошник) обеспечивает устойчивую работу высевających органов на повышенной и высокой рабочих скоростях и равномерную глубину заделки семян на различных почвах. При недостаточной несущей способности почвы нагрузку на сошники во время работы можно снизить. Идущий сзади пружинный загортач, благодаря изменению угла атаки, позволяет работать на участках с высоким содержанием остатков растений, при этом не забываясь. Сеялка с диско-ножевыми боронами и мульчирующими дисками рекомендуется для работы с интенсивным заделыванием растительных остатков в почву.

Электронно-механический привод высевających катушек позволяет точно установить сеялку на заданную норму высева материала и благодаря специальному устройству исключает преждевременный высев семян до начала посева (при трогании с места).

В РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси» на базе комбинированного почвообрабатывающего агрегата АКШ-3,6 разработан почвообрабатывающе-посевной агрегат АПП-3,0 (рис. 1.25).

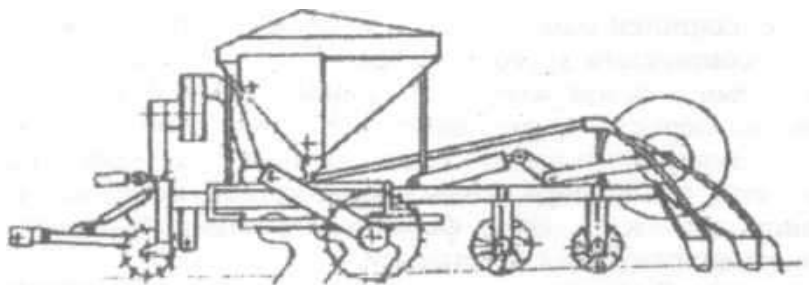


Рис. 1.25. Комбинированный почвообрабатывающе-посевной агрегат АПП-3,0 (АПП-4,5; АПП-6)

Агрегат предназначен для предпосевной обработки почвы и посева зерновых, зернобобовых, крестоцветных культур и трав. Комплектуется сменными рабочими органами для использования как в отвальных, так и безотвальных технологиях; агрегируется с тракторами «Беларус-820»; «Беларус-1005»; «Беларус-1025»; производительность за час основного времени – 2,31...2,7 га/ч; рабочая скорость – 3,0 км/ч; глубина обработки – до 5,8 см; норма высева семян – 400 кг/га; глубина заделки семян – 1...5 см; масса – 2200 кг.

За рубежом широко используются комбинированные агрегаты, одновременно выполняющие предварительную обработку почвы и посев зерновых культур с использованием тракторов на спаренных колесах, пневматических катков, различных рыхлящих и выравнивающих рабочих органов активного и пассивного действия.

Находят также применение и пахотно-посевные агрегаты на базе обычных и оборотных плугов.



### 1.9. Анализ исследования сошниковых групп комбинированных сеялок

Все комбинированные сеялки можно условно разделить на две группы. К первой относят те, на которых для заделки удобрений и семян установлены два различных типа сошников. Ко второй относятся сеялки с комбинированными сошниками, с помощью которых одновременно заделываются и семена, и удобрения.

Теоретические и практические исследования комбинированных сошников требуют индивидуального рассмотрения, однако за основу этих рабочих органов взяты известные модели, описанные в научной литературе.

Теоретическим вопросам изучения рабочего процесса сошников посвящены труды В. П. Горячкина, М. Н. Летошнева, А. Н. Карпенко, А. М. Семенова, Н. И. Пахаря и др.

Наиболее универсальными являются двухдисковые сошники, которые находили применение еще в конце XIX в. [71]. Основными преимуществами этих сошников являются небольшое тяговое сопротивление, а также обеспечение надежной проходимости на отвальных агрофонах.

Применяемые на отечественных и зарубежных сеялках анкерные и килевидные сошники имеют более простую конструкцию, меньшую массу, несложный ремонт по сравнению с двухдисковыми, но они не приспособлены для работы на влажных и засоренных растительными остатками почвах.

Некоторые преимущества перед двухдисковыми сошниками имеют однодисковые. Улучшается критерий равномерности глубины хода, уменьшается тяговое сопротивление и необходимое усилие заглубления.

Большинство комбинированных сеялок зарубежных стран оборудованы двумя типами сошников (для заделки семян и удобрений). Для туковых сошников обычно используется S-образная стойка с наконечником (рис. 1.26).

Острый угол вхождения в почву предопределяет низкие показатели устойчивости хода рабочего органа по глубине [13]. Имеющийся косяй срез по линии АВ способствует тому, что удобрения одновременно укладываются и заделываются.

Это приводит к частичному перемешиванию туков с почвой в ленте, ширина которой равна ширине сошника, на глубине от  $h_2$  до  $h_1$ .

Форма среза АВ, состояние почвы и удобрений, режим работы машины влияют на степень перемешивания. Чем меньше удобрения ударяются о стенки сошника, тем кучнее они укладываются в бороздки.

В результате степень перемешивания удобрений с почвой по длине рядка оказывается неодинаковой. Отрицательным моментом использования сошника с острым углом вхождения в почву является то, что он не уплотняет дно бороздки и поэтому ленты удобрений укладываются на почву различной плотности.

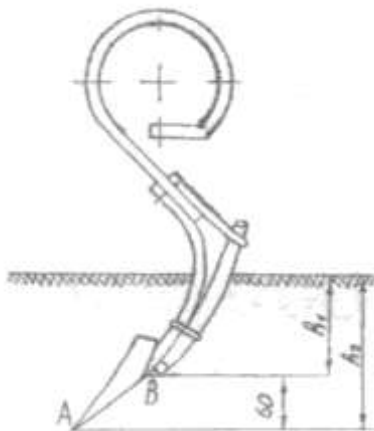


Рис. 1.26. Туковый сошник финской сеялки «Юкко»

Создаются неодинаковые условия для использования удобрений растениями на различных участках рядка, что вызывает пестроту при развитии посевов.

Одна из основных задач предпосевной обработки почвы – создание выровненного уплотненного ложа на глубине посева семян, что способствует подтягиванию влаги, обеспечивает контакт семян с влажными слоями почвы, создает хорошие условия для получения дружных и равномерных всходов.

Нарушения при создании уплотненного ложа ведут к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, так как создаются различные условия для укладки и прорастания семян, растения не выравнены в рядке, отстают в росте. Это может произойти при локальном внутривспашечном внесении основной дозы удобрений. При движении туковых сошников в почве образуется зона деформации, которая частично разрушает подготовленное плотное ложе для семян. На рис. 1.27

приведена схема деформации почвы и укладки туков при различных способах локального внесения удобрений.

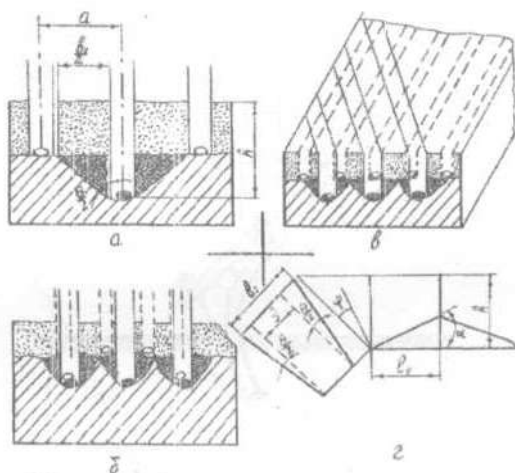


Рис. 1.27. Схема деформации почвы и укладки туков при различных способах локального внесения удобрений:

*а* – одновременно с посевом; *б* – допосевное внесение;

*в* – одновременно с культивацией почвы;

*г* – деформация почвы при проходе тукозаделывающих рабочих органов

Анализ схемы показывает, что при допосевном локальном внесении удобрений зерновые сошники, укладывающие семена в перпендикулярном или диагональном направлении по отношению к лентам удобрений, проходят как через зоны с уплотненным ложем, так и через разрыхленные участки, что приводит к отрицательным результатам.

При совмещении внесения удобрений с предпосевной глубокой культивацией последующие обработки уплотняют ложе по всей площади, но это не решает проблемы точного размещения рядков семян относительно рядков туков.

При внесении удобрений одновременно с посевом семена укладываются на уплотненное ложе, а удобрения – в каждое междурядье или через одно, если учитывается условие, рассмотренное Б. А. Нефедовым [16, 17].

Зона деформации почвы, образуемая различными тукозаделывающими рабочими органами, определяется тремя плоскостями, одна из

которых расположена под углом  $\varphi$  к перпендикуляру, проведенному через носок рабочего органа, а две другие – под углом  $\theta/2$  к вертикальным плоскостям, ограничивающим захват рабочего органа (см. рис. 1.27).

Тогда

$$b_3 = b + \frac{2h \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}{\cos \varphi + \alpha} \quad (1.1)$$

где  $b_3$  – ширина зоны деформации;

$b$  – ширина захвата рабочего органа;

$h$  – глубина внесения удобрений;

$\theta$ ,  $\varphi$ ,  $\alpha$  – углы скалывания почвы, трения почвы о металл и наклона груди лапы.

По данным финской фирмы WARTSILA, из условия распространения зоны деформации при воздействии на нее тукозаделывающих рабочих органов расстояние  $a$  между осями двух соседних сошников должно быть больше половины ширины зоны деформации:  $a > b_3/2$ . Угол скалывания почвы  $\theta/2$ , образуемый при проходе туковых сошников, составляет  $42...45^\circ$  при ширине захвата рабочих органов, превышающей 20 мм. Тогда ширина междурядья определяется как

$$M = h \cdot \operatorname{tg} \theta/2.$$

Анализ значений технологических агрономических параметров посева зерновых (глубина заделки 2...8 см, ширина междурядья 7.5...15 см) с одновременным локальным внесением минеральных удобрений (глубина внесения 8...15 см, ширина междурядья 15...30 см) показывает, что ширина захвата машин должна варьировать в широких пределах. Необходимость выбора ширины захвата сеялки с комбинированными сошниками в зависимости от агрономических параметров посева с внесением удобрения и тягового усилия трактора объясняется тем, что комбинированные рабочие органы, осуществляющие технологический процесс в соответствии с указанными параметрами, обуславливают тяговое сопротивление машин, на которое влияет глубина хода и число рабочих органов.

В общем виде тяговое сопротивление сеялки ( $P_{\text{маш}}$ ) с комбинированными сошниками складывается из сопротивления на ее перекатывание и перемещение в почве рабочих органов [81]:

$$P_{\text{маш}} = Q + mg \bar{f} + q_i \left( \frac{B_p}{K} + 1 \right), \quad (1.2)$$

где  $Q$ ,  $m$  – грузоподъемность и масса машины;

$f$  – коэффициент сопротивления перекачиванию;

$q_i$  – тяговое сопротивление комбинированного сошника;

$\frac{B_p}{K} + 1$  – число рабочих органов;

$B_p$  – ширина захвата машины;

$K$  – ширина междурядья.

Тяговое усилие трактора  $P_t$  на рабочей передаче должно быть на 10...15 % больше, чем рассчитанное по формуле сопротивление машины, т. е.  $P_{тр} = (0,85...0,9)P_{маш}$ .

Если при разработке исходных требований на машину задается  $B_p$  или  $Q$ , то из формулы (1,2) получим при  $Q = \text{const}$ :

$$B_p = \left( \frac{0,85...0,9 \bar{P}_{тр} - Q + mg \bar{f}}{q_i} - 1 \right) K. \quad (1.3)$$

Анализ формул показывает, что тяговое сопротивление и ширина захвата сеялки будет зависеть от ширины междурядья и, следовательно, от числа сошников, если одинаковыми будут масса и грузоподъемность.

Сопротивление сеялки с двумя различными типами сошников (для семян и удобрений) определяется по формуле

$$P_{маш} = Q + mg \bar{f} + q_1 \left( \frac{B_p}{K_2} + 1 \right) + q_2 \left( \frac{B_p}{K_2} + 1 \right), \quad (1.4)$$

где  $q_1$  и  $q_2$  – тяговые сопротивления темного и тукового сошников;

$K_1$  и  $K_2$  – ширина семенного и тукового междурядья.

При сравнении формул можно утверждать, что, применяя известные типы заделывающих рабочих органов, тяговое сопротивление сеялки с комбинированными сошниками будет меньше, чем сеялки с двумя видами сошников при условии равенства ширины захвата и грузоподъемности.

### 1.10. Результаты испытаний комбинированных зернотуковых сеялок

В 1982 г. на центральной МИС Российской Федерации проводились испытания зерновых комбинированных сеялок TUME, WARTSILA, JUKO и СЗК-3,6.

Анализ опытных данных позволяет сделать выводы, которые изложены ниже.

1. Лучшая равномерность глубины заделки семян отмечена у сеялок JUKO- 400 и WARTSILA, которая составляет 89 %. У СЗК-3,6 этот показатель равен 52 %. При повышении скорости движения агрегатов у сеялки TUME он практически не меняется, а у остальных сеялок выравнивается и находится в пределах 56...66 %. Кроме того, повышение скорости влечет за собой самовыглубление сошников, особенно это заметно у сеялки WARTSILA-400. Это можно объяснить тем, что данная сеялка имеет индивидуальную подвеску сошников со сравнительно нежесткой пружиной, что не допускается агротребованиями.

2. Неравномерность глубины внесения удобрений колеблется от 41,4 у сеялки WARTSILA до 10,4 % у сеялки TUME. Все перечисленные сеялки распределяют удобрения посередине каждого второго семенного междурядья, т. е. для СЗК-3,6 через 30 см, для финских сеялок через 25 см. Ширина лент удобрений у СЗК-3,6 составляет 20...25 мм, у финских – около 40 мм, ширина рядков семян – 20 мм у СЗК-3,6, 25 мм у JUKO и WARTSILA, 75 мм – у TUME.

Основные достоинства финских сеялок следующие:

1) отсутствие коррозии деталей высевających аппаратов (выполнены из пластмассы);

2) легкость и точность установки сеялок на заданную норму высева (наличие механизма для прокручивания высевających аппаратов без поднятия сеялки, откидывающиеся лотки под высевającими аппаратами);

3) быстрая и удобная очистка бункера от семян при переходе на посеве с одной культуры на другую (наличие съемных лотков под высевającими аппаратами);

4) возможность постоянного контроля установленной нормы высева, учета засеянной площади (установка счетчика);

5) облегчение труда при ручной загрузке семян и удобрений (небольшая высота сеялок в рабочем положении);

6) предварительная установка заданной глубины заделки семян (наличие шкалы в механизме регулировки);

7) большое количество передаточных чисел на привод вала зерновых аппаратов (установка трехступенчатого редуктора);

8) повышенная точность установки заданной нормы высева (перемещение катушек высевających аппаратов по всей длине производится одним рычагом).

Основными недостатками комбинированных сеялок являются следующие:

1) в условиях повышенной влажности сошники сеялок JUKO и

WARTSILA склонны к забиванию;

2) на полях с большим количеством пожнивных остатков неудовлетворительные результаты дает работа сошниковой группы;

3) отрицательное влияние на работу сошников (самовыглубление) оказывает увеличение твердости почвы или скорости движения агрегата;

4) недостаточное качество заделки семян обеспечивают загортачи финских сеялок.

Анализ рассматриваемой технологии посева зерновых культур показывает, что на урожайность оказывают влияние нормы высева семян и удобрений, глубина и равномерность их внесения в почву, конструктивное исполнение сеялки, т. е. ее материалоемкость и конструкция ходовой части. В то же время указанные параметры влияют на тяговое сопротивление сеялки. Кроме того, тяговое сопротивление зависит от размеров технологических емкостей для семян и удобрений, которые обусловлены нормой высева соответствующего материала. Эксплуатационные параметры посевного агрегата (рабочая скорость, ширина захвата, часовой расход топлива) ограничиваются тяговым сопротивлением сеялки. Производительность посевного агрегата зависит от рабочей скорости движения, ширины захвата, длины гона, размеров, заправочных емкостей, производительности загрузчиков. В результате экономическая эффективность определяется урожайностью возделываемой культуры, сменной производительностью агрегата, расходом топлива, материалоемкостью сеялки, затратами труда.

Для определения производительности ( $W_{см}$ ) используется следующая формула:

$$W_{см} = 0,1 B_p \cdot v_p \cdot T_{см} \cdot \tau_{см}, \quad (1.5)$$

где  $B_p$  – рабочая ширина захвата, м;

$v_p$  – рабочая скорость движения, км/ч;

$T_{см}$  – время смены, ч;

$\tau_{см}$  – коэффициент использования времени смены.

В этой формуле особый интерес для предлагаемой технологии представляет коэффициент использования времени смены ( $\tau_{см}$ ). В отличие от традиционного способа посева он будет уменьшаться, так как увеличивается время на загрузку бункеров семян и удобрений. Согласно рекомендациям [81] можно записать:

$$T_{зс} = t_1 + n\eta_1 \left( \frac{E_c \gamma_c}{Q_3^1} \right), \quad (1.6)$$

$$T_{3y} = t_1 + n\eta_2 \left( \frac{E_y \gamma_y}{K Q_3^2} \right), \quad (1.7)$$

где  $T_{3c}$  и  $T_{3v}$  – время загрузки сеялки семенами и удобрениями;

$t_1$  – подготовительное время загрузки (подъезд заправщика, маневр и т. д.);

$Q_3^1$  и  $Q_3^2$  – производительность загрузчика при погрузке семян и удобрений;

$n$  – количество сеялок в агрегате;

$\eta_1$  и  $\eta_2$  – коэффициенты использования объема бункеров;

$E_c$  и  $E_y$  – вместимости бункеров для семян и удобрений;

$K = \frac{E_y \cdot \gamma_y \cdot H_c}{E_c \cdot \gamma_c \cdot H_y}$  – соотношение площадей, засеваемых семенами и

удобрениями одной заправкой;

$H_c$  и  $H_y$  – нормы внесения семян и удобрений.

Подставив в выражение (1.7) соотношение площадей, заделываемых семенами и удобрениями одной заправкой, и приняв  $K = \frac{H_y}{H_c}$ ,

получим

$$T_{3y} = t_1 + n\eta_2 \left( \frac{K E_c \gamma_c}{Q_3^2} \right). \quad (1.8)$$

В практике норма высева семян зерновых культур изменяется незначительно, а доза локально вносимых туков может колебаться в широких пределах, в зависимости от агрохимического состояния почвы.

В результате анализа баланса времени смены обнаружено увеличение затрат времени на загрузку сеялки удобрениями и организационно-техническое обслуживание по сравнению с традиционными способами посева.

Для финских сеялок TUME, WARTSILA, JUKO коэффициент использования времени смены  $\tau_{cm}$  составил соответственно 0,57, 0,51, 0,53, а для СЗК-3,6 – 0,48.



### 1.11. Уплотнение почвы при заделке семян зерновых культур

В соответствии с требованиями агротехники сева зерновых культур семена должны высеваться на плотное ложе ( $1,2...1,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ), вдавливаясь в дно бороздки и закрываться рыхлым слоем.

Для создания заданной плотности почвы сошниковыми группами нами предложены схемы расстановки опорно-прикатывающих каточков таким образом, чтобы прикатывание осуществлялось по рядкам или лентам высеваемых семян с одновременной фиксацией глубины хода рабочего органа.

Теоретический анализ работы катков с точки зрения изучения влияния их на плотность почвы является чрезвычайно сложным. Разными авторами предлагаются самые различные зависимости между напряжениями и деформациями почв.

В основе теории смятия почв рабочими органами почвообрабатывающих машин лежит диаграмма смятия почвы штампом. Наиболее распространенной зависимостью между давлением  $P$  на штамп и осадкой  $h$  штампа является линейная зависимость.

Линейная зависимость выгодно отличается от других тем, что математические расчеты, основанные на ней, сравнительно просты и доводятся до аналитического решения. Недостатком ее является то, что она справедлива лишь при малых деформациях.

В связи с тем, что опорно-прикатывающие каточки сравнительно легки, не производят сильного давления на почву и не приводят к образованию глубоких бороздок, будем далее пользоваться именно линейной связью между давлением и деформацией.

Рассмотрим вертикальный столбик почвы с площадью поперечного сечения в  $1 \text{ см}^2$  (рис. 1.28).

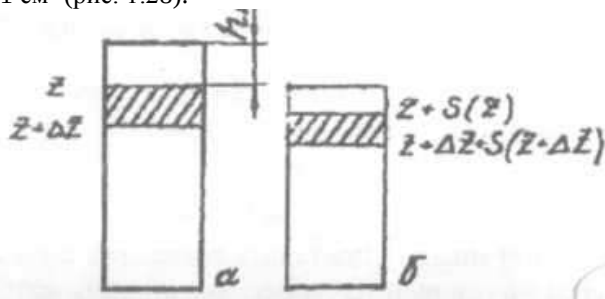


Рис. 1.28. К расчету плотности почвы  
после прохода опорно-прикатывающего каточка:  
а – столбик почвы до прохода каточка;  
б – столбик почвы после прохода каточка

Тогда масса почвы между сечениями  $Z$  и  $Z + \Delta Z$  по вертикали будет  $\Delta m = \rho_0 \Delta t$ , где  $\rho_0$  – объемная масса почвы до прохода каточка.

После прохода каточка сечение  $Z$  переместится в  $Z + S(z)$ , а сечение  $Z + \Delta Z$  – в  $Z + \Delta Z + S(Z + \Delta Z)$ .

Здесь  $S(z)$  – величина смещения (деформации) пропорциональна напряжению. Из закона сохранения массы  $\rho_0 \Delta Z = \rho_z (\Delta Z + \Delta S)$  с учетом пропорциональности величины  $S(z)$  напряжению получаем

$$\rho_z = \frac{\rho_0}{1 - \frac{h_k l_0 B_k}{l_0 B_k + h_k Z} \frac{Z + B + l_0}{B_k + Z}}, \quad (1.9)$$

где  $l_0$  – длина дуги сопряжения катка с почвой;

$B_k$  – ширина катка;

$h_k$  – глубина колеи.

Формула получена с использованием известной зависимости напряжения от глубины хода опорно-прикатывающего катка.

Графически эта зависимость изображена на рис. 1.28.

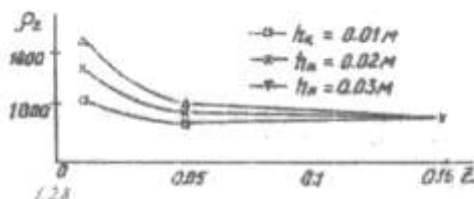


Рис. 1.29. Зависимость плотности почвы от глубины после прохождения прикатывающего каточка

( $D_k = 0,2$  м;  $B_k = 0,1$  м;  $\rho_k = 0,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>)

Наибольший интерес для агротехники представляет плотность в верхнем слое почвы (по дну бороздки), т. е. при  $Z = 0$ :

$$\rho_{\text{дн}} = \frac{\rho_0 l_0 B_k}{l_0 B_k - h_k B_k + B_k}. \quad (1.10)$$

По формуле (1.10) можно определить плотность почвы после прохода каточка через начальную плотность  $\rho_{00}$ , ширину каточка  $B_k$ , глубину колеи  $h_k$  и длину дуги  $l_0$ . Казалось бы, что в нее обязаны входить нагрузка и характеристика деформируемости почвы. Эти величины и входят в формулу, только не явно, а через глубину колеи. Именно она комплексно характеризует нагрузку и сжимаемость почвы. Выражение для глубины колеи  $h_k$  известно из литературных источников.

В реальных условиях  $\rho_0$  варьирует. Для каждого  $\rho_0$  невозможно изменять значения конструктивных параметров  $D_k$  и  $B_k$ . Поэтому желательно выбрать такие значения  $E_k$  и  $D_k$ , при которых  $\rho_{p0}$  будет близко к заданному при разных значениях  $\rho_{p0}$ .

Тогда получим:

$$\rho_0 = \frac{\rho_0}{1 - \frac{1}{D_k} \sqrt[3]{\frac{3GD_k}{2kB_k} \left( 1 + \frac{1}{B} \sqrt{\frac{3GD_k}{2kB_k}} \right)}}. \quad (1.11)$$

Формула (1.11) непосредственно выражает плотность (после прохода каточка) через конструктивные параметры  $D_k = 2R$ ,  $B_k$  – через нагрузку  $G$  и коэффициент объемного смятия  $K$ .

Заметим, что приближенная замена дуги на хорду имеет погрешность, которая растёт вместе с  $h_k$ .

При  $h_k = 0$  формула точная, при  $h_k = 0,5$  ошибка составляет 5 %, и только в предельном случае  $h_k = R$  ошибка будет составлять 10 %.

Агротехнические требования к каточку сводятся к созданию определенной плотности почвы на глубине заделки семян. Таким образом  $\rho_{(0)}$  задается, а  $\rho_0$  известно. Используя уравнение (1.11), можно выразить диаметр каточка через остальные величины.

Задавая отношение  $\frac{\rho_0}{\rho_{(0)}}$ , можно рассчитать диаметр каточка для

различных значений его ширины  $B_k$ , усилия  $G$ , а также отношения

$$A = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_{(0)}}.$$

На рис. 1.30 приведены графики зависимости  $D_k$  и  $B_k$  от заданной нагрузки  $G$  и отношения  $A = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_{(0)}}$ .

Из графиков видно, что наиболее рациональными параметрами каточка, обеспечивающими агротехнически необходимую плотность почвы при имеющейся нагрузке  $G$  и отношении  $A = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_{(0)}}$ , являются

следующие:  $B_k = 0,10 \dots 0,12$  м;  $D_k = 0,15 \dots 0,20$  м.

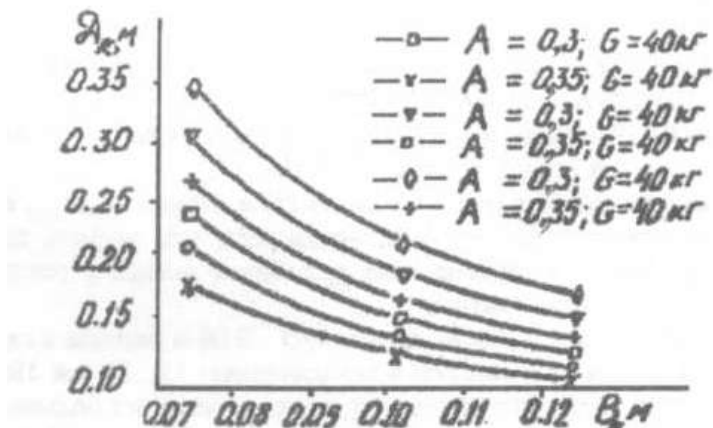


Рис. 1.29. Подбор конструктивных параметров  $D_k$  и  $B_k$  прикатывающего каточка при изменении нагрузки  $G$  и отношения  $A$

Для проверки поисковых исследований, теоретических предпосылок был проведен четырехфакторный эксперимент по насыщенному плану Рехтшафнера с целью изучения влияния скорости  $v$ , глубины хода дисков  $H$ , диаметра рабочих дисков  $D_9$  и расстояния в точке их схождения  $a$  на ширину ленты  $B$ , глубину заделки  $t_{зс}$ , полевую всхожесть  $P_v$  с прикатыванием или без прикатывания по ленте высеянных семян.

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены двухдисковые сошники трех типоразмеров по дискам (0,30; 0,35; 0,40 м), распределительные пластины из различного материала (сталь, плотная резина, комбинированные), с каточками и без них.

Для анализа эффективности влияния прикатывания по ленте высеянных семян и создания агротехнически рекомендуемого уплотненного слоя почвы на глубине их заделки при различных значениях конструктивных и технологических параметров дисков и каточков были получены функции отклика для глубины заделки семян с прикатыванием  $t_{(зс)сп}$  и без  $t_{(зс)бп}$ , полевой всхожести семян  $P_{(в)сп}$  и  $P_{(в)бп}$ , ширины ленты  $B_{сп}$  и  $B_{бп}$ .

$$t_{\text{сн}} = -0,0188 + 1,55h_g - 6,38h_g^2 - 0,0037VD_g - 6,3h_g a; \quad (1.12)$$

$$t_{\text{бп}} = -0,0051 + 1,135h_g - 6,47h_g^2 - 0,003VD_g - 7,81h_g a; \quad (1.13)$$

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{сн}} = & -368,6 - 3989,5h_g + 4787,9D_g - 2171,0a - 3,2V^2 + \\ & + 1947,1h_g^2 - 6854,6D_g^2 + 1703938a^2 + 77,1Vh_g + 40,3VD_g; \end{aligned} \quad (1.14)$$

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{бп}} = & -378,3 - 29,7V - 3280,6h_g + 4914,6D_g - 2516,4a + \\ & + 13511,1h_g^2 - 7094,6D_g^2 + 16194,0a^2 + 111,0Vh_g + 64,9VD_g + \\ & + 188,9Va; \end{aligned} \quad (1.15)$$

$$\begin{aligned} B_{\text{сн}} = & -0,16 + 1,07D_g - 0,0007V^2 + 3,04h_g^2 - 1,12D_g^2 - 18,56a^2 - \\ & - 0,0027Vh_g - 0,036Va - 1,012h_g D_g - 3,99h_g a + 2,75D_g a; \end{aligned} \quad (1.16)$$

$$\begin{aligned} B_{\text{бп}} = & 0,019 - 0,0064V + 0,278D_g + 0,0015V^2 + 1,86h_g^2 - 27,86a^2 - \\ & - 0,786h_g D_g - 1,5h_g a + 2,78D_g a. \end{aligned} \quad (1.17)$$

Анализ уравнений регрессии (1.14–1.16) и данных  $\Pi_{(в)}$   $t_{(зс)}$  графиков, представленных на рис 1.31, показывает, что глубина заделки семян  $t_{(зс)сн}$  ближе к глубине хода  $h_g$  рабочих дисков у сошника с опорно-прикатывающим катком.

При глубине хода рабочих дисков, равного 0,05...0,06 м, разница в глубине заделки семян с прикатыванием и без составляет 15...20 мм. Полевая всхожесть семян с прикатыванием по ленте также имеет большие значения для агротехнически рекомендуемой в условиях Республики Беларусь (0,02...0,04 м).



Рис. 1.31. Графики зависимости глубины заделки  $t_{з.с}$  и полевой всхожести семян  $P_v$ , с прикатыванием и без прикатывания от глубины хода  $h_d$  рабочих дисков сошника для ленточного высева зерновых культур.

Таким образом, по результатам поисковых, теоретических, экспериментальных исследований, а также исходя из компоновочных решений двухдискового сошника с распределительной пластиной для ленточного высева зерновых культур рекомендуются следующие его технологические и конструктивные параметры:  $v = 2,5 \dots 3,0$  м/с; глубина заделки семян  $h_c = 0,02 \dots 0,04$  м; плотность почвы  $\rho_{(0)} = 1,2 \dots 1,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; ширина ленты семян  $B = 0,06 \dots 0,09$  м; длина верхней и нижней пластин распределителя  $L_{в.пл} = 0,17$  м,  $L_{н.пл} = 0,17 \dots 0,20$  м; диаметр дисков  $D_d = 0,35$  м; диаметр опорно-прикатывающего катка  $D_k = 0,20$  м; ширина опорно-прикатывающего катка  $B_k = 0,10$  м; расстояние между центрами сошника и опорно-прикатывающего катка  $l_{м.ц} = 0,30 \dots 0,35$  м; расстояние в точке схождения дисков  $a = 0,01$  м.

В условиях Республики Беларусь для зерновых культур требуется средняя глубина заделки семян в диапазоне от 2 до 5 см. Чем выше влажность почвы, тем меньше должна быть установлена на высеваящем агрегате средняя глубина заделки семян. Для получения высокой полевой всхожести семян должно быть по возможности меньшим стандартное отклонение глубины заделывания семян относительно среднего значения глубины высева (рис. 1.32).

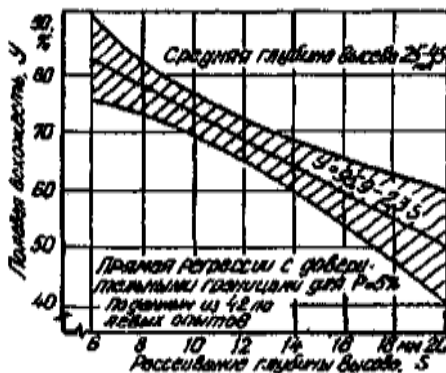


Рис. 1.32. Полевая всхожесть и рассеивание глубины высева

### 1.12. Анализ и исследование основных типов современных сошников для посева зерновых культур

Основная цель посева заключается в обеспечении оптимальных условий прорастания семян и в дальнейшем развития растений, которые в основном зависят от оптимального сочетания трех факторов: водного, воздушного и теплового. Известно, что лучшее сочетание водного, воздушного и теплового факторов отмечается, когда семена равномерно распределены по площади поля на заданную (оптимальную) глубину. При этом они должны быть уложены на плотный слой почвы и прикрыты рыхлым слоем почвы мелкокомковатой структуры. Несоблюдение любого из этих требований ведет к снижению урожайности [28].

Сошник должен удовлетворять следующим требованиям: открывать бороздки одинаково заданной глубины; не выносить нижние слои почвы на поверхность во избежание потери влаги; уплотнять дно бороздок для восстановления капиллярности почвы; не нарушать равномерность потока семян. На существующих сеялках и посевных агрегатах в настоящее время применяются различные сошники, от правильного выбора и применения которых во многом зависит судьба урожая [28].

На сегодняшний день производители сельскохозяйственных машин предлагают целый ряд сошников различного типа, из которого можно выделить шесть основных видов: долотовидный, килевидный, анкерный, двухдисковый, однодисковый и анкерно-дисковый.

Долотовидные сошники (рис. 1.33) рыхлят даже сухую, твердую

почву и справляются с толстыми мульчирующими слоями. Кроме посева не производится никакой другой обработки почвы. Сошник выполнен подобно лапе культиватора и работает при помощи своего нижнего зацепления на установленной глубине. Техника позволяет использовать высокие рабочие скорости и является хорошей альтернативой для больших площадей.

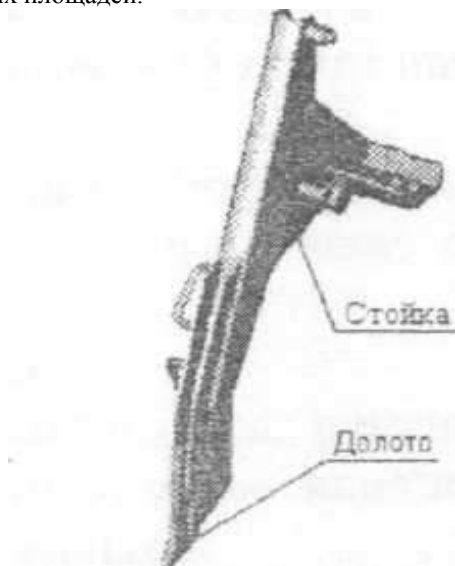


Рис. 1.33 Долотовидный сошник

На первый взгляд, такие сошники имеют лишь положительные стороны: очень хорошую пригодность для посева по мульче, высокую производительность, возможность прямого посева и простую конструкцию. Но у них существует и ряд недостатков: при посеве по мульче необходима предварительная обработка культиватором, при использовании машин с рамной конструкцией поверхность поля должна быть хорошо выровнена.

Обычно анкерные сошники (рис. 1.34) при влажных условиях сглаживают основание посевной бороздки, а иногда и ее стенки, что негативно влияет на развитие корневой системы проростка, особенно при высыхании почвы и образовании корки. Разрывное действие сошника сопровождается образованием вдоль посевной бороздки полосок, рыхлой почвы, которую используют для заделки семян. Характер и коли-



чество рыхлой почвы зависят от влажности и скорости движения. Часто на тяжелых глинистых почвах невозможно получить рыхлую субстанцию для закрытия посевной бороздки. Иногда за несколько часов сухой погоды края посевной бороздки становятся ломкими и осыпаются вниз под действием загортачей, обеспечивающих заделку семян. Качество покрытия высеванных семян рыхлой почвой после прохождения анкерного сошника целиком зависит от времени, что очень неудобно.



Рис. 1.34. Анкерный сошник

Проблемой при использовании анкерных сошников является их быстрая изнашиваемость. В течение срока службы они постоянно видоизменяются, что затрудняет анализ зависимости формы посевной бороздки от формы сошника.

Сошники этого типа удобны тем, что качество их работы меньше зависит от скорости движения и они не затягивают в посевную бороздку растительные остатки. Это является плюсом для прохождения сеялки, но минусом с точки зрения создания микроклимата.

Главным недостатком анкерных сошников является высокий уровень износа и слабая способность к управлению растительными остатками.

При выборе посевных машин возникает вопрос: «Какой сошник предпочесть?»

Тенденции и предпочтения говорят сегодня сами за себя: анкерные сошники выходят из моды, а долотовидные используются только при определенных условиях. Все больше аграриев предпочитают приобре-

тать сеялки с одно- или двухдисковыми сошниками. На сегодняшний день около 85 % всех посевных агрегатов производители сельхозмашин поставляют с вышеуказанными рабочими органами. Связано это с тем, что важным пунктом для производителей является предложение рынку разнообразного оборудования. При этом не имеет особого значения, применяет ли хозяйство безотвальную обработку почв или же предпочитает вспашку плугом. Производители сельхозмашин хотят быстро и эффективно реагировать на предпочтения и спрос потребителей на посевную технику.

На территории Республики Беларусь используются пневматические универсальные сеялки типа СПУ-3; СПУ-4; СПУ-6 и их модификации с килевидными и дисковыми сошниками. Они предназначены для посева практически всех зерновых, зернобобовых, травяных культур и льна.

На территории Российской Федерации и Украины выпускаются различные механические зерновые сеялки: СЗ-3,6; СЗТ-3,6; СРН-3,6; СЛТ-3,6; СЗП-3,6; СЗ - 3,6А; СЗ-3,6А-01-07; СЗ - 5,4,01-07, на которых устанавливаются однострочные однодисковые и одно- и двухстрочные двухдисковые сошники.

Двухдисковый сошник (рис. 1.35) предназначен для посева зерновых культур на черноземах, суглинистых и других почвах, близких к ним по своим физико-механическим свойствам.

Конструкция сошника позволяет уложить семена с туками на заданную глубину посева. Глубина заделки семян составляет 30...80 мм.

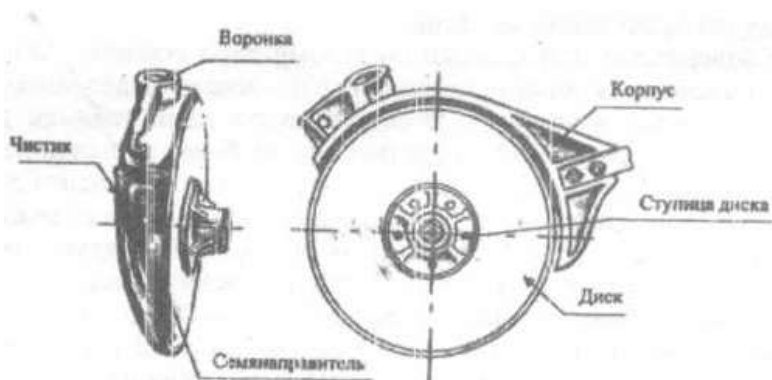


Рис. 1.35. Двухдисковый сошник с углом атаки дисков  $9^\circ$

Недостатком этих двухдисковых сошников является высокая неравномерность заделки семян по глубине. На это могут влиять следующие причины захват семян вращающимися дисками с выбросом их за пределы сошника в верхние слои почвы; захват семян почвой, отбрасываемой сошниками; осыпание бороздки, в результате чего семена, отраженные от дна борозды, попадают в более верхние слои почвы; сошник не обеспечивает достаточного уплотнения дна борозды и имеет высокую металлоемкость; диски сошников имеют угол атаки  $9^\circ$ , что вызывает с увеличением скорости движения отброс почвы, повышенное тяговое сопротивление, а также высокую гребнистость поверхности почвы.

Двухдисковый сошник (рис. 1.36) предназначен для узкорядного посева зерновых (ширина междурядий 75 мм). Глубина заделки семян – 30...80 мм. Этот сошник более равномерно распределяет семена по площади поля.

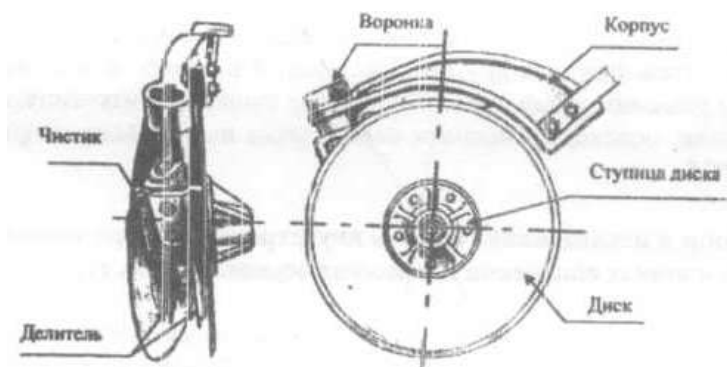


Рис. 1.36. Двухдисковый сошник с углом атаки дисков  $18^\circ$

Выпускаются также широкополосные сошники, производящие заделку семян полосой 75 см. Этими сошниками комплектуются сеялки СЗ-3,6А-04; СЗ-5,4-04.

Недостатком узкорядных и широкополосных дисковых сошников является наличие угла атаки, что приводит к повышенному отбросу почвы и увеличению тягового сопротивления. Кроме того, наличие корпуса, выполненного из чугуна, значительно увеличивает их массу.

В Республике Беларусь разработаны однодисковые сошники нового поколения, защищенные патентами на изобретения.

Так, в ОАО «Брестский электромеханический завод» создан оригинальный сошник (патент ВУ 3512 U2007.04.30) с вырезным диском, который способен при высеве семян зерновых, зернобобовых, трав и других сельскохозяйственных культур, аналогичных им по размерам, норме высева и глубине заделки, независимо от физико-механических и (или) технологических свойств почв, обеспечивать по всей длине борозды одинаковую глубину с равномерно уплотненным дном (рис. 1.37).

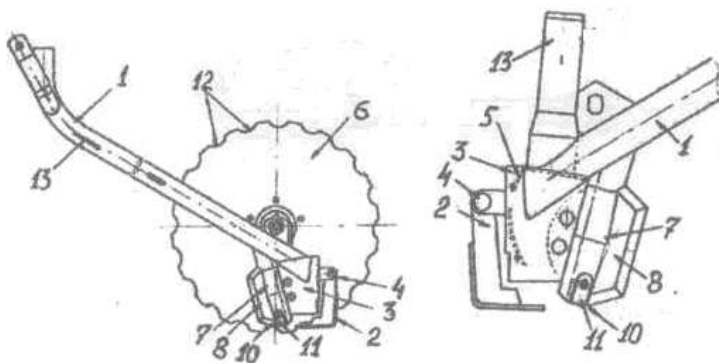


Рис. 1.37. Однодисковый сошник с вырезным диском: 1 – семяпровод; 2 – клапан; 3 – корпус; 4 – шарнирное соединение; 5 – отражатель; 6 – диск; 7 – нож; 8 – передняя кромка ножа трапециевидальной формы; 9 – продольная угловая выемка ножа; 10 – рабочая кромка ножа; 11 – защитная пластина на рабочей кромке ножа; 12 – выемки радиальной формы; 13 – труба-воздуховод

При этом сошник обеспечивает рядовой высев семян в уплотненном ложе и имеет большую долговечность [30]. Однако результатов испытаний этого сошника на Белорусской МИС с положительным решением не имеется.

В РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» создан оригинальный однодисковый сошник (патент ВУ 74 U), который формирует стабильную по глубине, с плотным дном бороздку и обеспечивает компактную укладку на ее дно посевного материала на почвах с различными физико-механическими и технологическими свойствами (рис. 1.38).

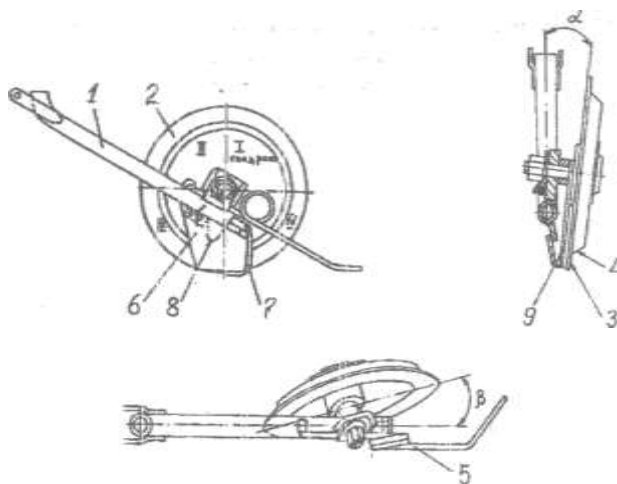


Рис. 1.38. Однодисковый сошник тарельчатой формы:  
 1 – крепежная труба; 2 – тарельчатый диск;  
 3 – плоская поверхность диска; 4 – опорная поверхность диска;  
 5 – загортач; 6 – киль; 7 – клапан;  
 8 – выходное отверстие семянаправителя; 9 – направляющая пластина

Испытания этих сошников на Белорусской МИС в сравнении с килевидными сошниками показали более высокое качество заделки семян в почву и как результат более высокую полевую всхожесть. Так, на минеральных почвах полевая всхожесть при посеве однодисковыми сошниками составила 86 %, килевидными – 85,3 %, на торфяных почвах – 85,2 и 84,7 % соответственно [31].

В УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» создано сошниково-заделывающее устройство (патент ВУ 890 У), позволяющее качественно заполнять бороздку с уложенными на ее дно семенами почвой и отводить без сгруживания лишнюю почву в межгребневое пространство. Однако результатов лабораторных, а также полевых испытаний этого сошника на Белорусской МИС не приведено. Известен комбинированный двухстрочный сошник (рис. 1.39), который работает следующим образом.

При движении сеялки (не показано) посредством прикрепленной к ней тяги 6 и кронштейна 5 перемещается сошник. Наральники 3 пассивного действия, установленные параллельно направлению движения, формируют уплотненную бороздку. При этом расположенный между ними делитель, выполненный в виде плоского диска 4, установ-

ленного параллельно направлению движения и нижней своей точкой находящегося ниже наральников 3, совершает вращательно-поступательное движение. Это позволяет при встрече с крупными комками и растительными остатками разрушать их за счет разрезания без сдвига в сторону [32].

Сошник состоит из установленных параллельно направлению движения двух дисков 1, 2, бороздо-образующая часть которых имеет параболический профиль, делителя 3, заблокированных трубчатых семя-направителей 4, 5, передняя часть которых имеет кривизну по окружности дисков 1 и 2, загорточка 6, клапана 7. Сошник работает следующим образом. При движении сеялки диски 1, 2 в результате поступательно-вращательного движения впрессовывают своей бороздообразующей частью две посевные бороздки с уплотненным дном. Одновременно семена по семяпроводу (не показан) подаются в делитель 3, где они разделяются на два потока и направляются в заблокированные трубчатые сошники 4, 5 и далее – в бороздки. Забивание сошников предотвращается клапаном 7, который в этих случаях закрывает выходные отверстия сошников [33]. Недостатком этого сошника является то, что он не полностью удовлетворяет требованиям агротехники, особенно в условиях безотвальной обработки почвы, так как бороздки, формируемые за счет выдавливания почвы дисками, на которые при работе действует постоянное усилие вдавливания их в почву и которые на полях, засоренных камнями и пожнивными растительными остатками, плохо заглубляются, ухудшая равномерность укладки семян по глубине.

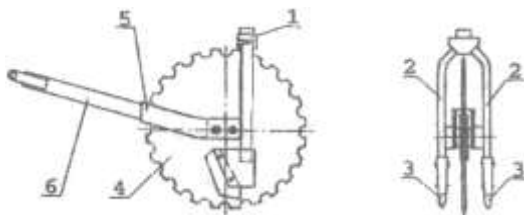


Рис.1.39. Комбинированный двухстрочный сошник:  
1 – воронка; 2 – распределительные каналы; 3 – наральник;  
4 – диск; 5 – кронштейн; 6 – тяга

Известен двухдисковый двухстрочный сошник, схема устройства которого приведена на рис.1.40.

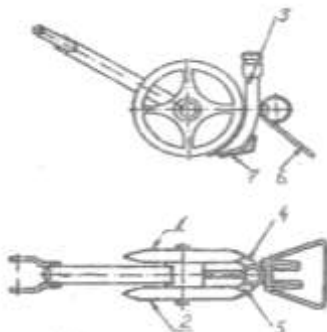


Рис. 1.40. Двухдисковый двухстрочный сошник:  
1, 2 – диски; 3 – делитель; 4, 5 – семянаправители;  
6 – загортач; 7 – клапан

Дисковыми сошниками серии 00 сеялок Great Plains (рис. 1.41) комплектуются механические и пневматические сеялки для посева по обработанной почве.

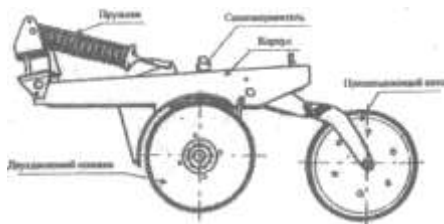


Рис. 1.41. Дисковый сошник серии 00 сеялок Great Plains

Давление сошников на грунт регулируется от 410 до 820 Н. Прикатывающий каток  $75 \times 330$  мм с центральным ребром предназначен для сбора влаги в рядке, облегчения прорастания семян и рекомендуется для различных условий посева. Дисковый сошник серии 10 Great Plains (рис. 1.42) предназначен для механических и пневматических стерневых сеялок. Давление на грунт дискового ножа составляет 2050 Н, дискового сошника – от 450 до 640 Н. Такими дисковыми ножами комплектуются только стерневые модели сеялок. Ширина волны составляет 16 мм, диаметр – 432 или 457 мм. Волны дискового ножа (рис. 1.42), врезаются в почву перпендикулярно, разрыхляют обрабатываемый слой и измельчают остатки растений. Этот сошник имеет

сложную конструкцию, повышенные металлоемкость и тяговое сопротивление.

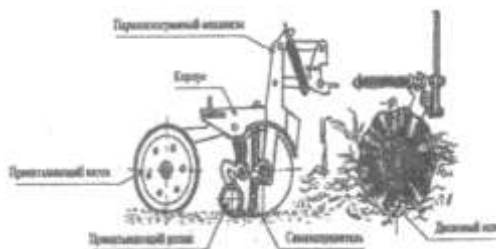


Рис. 1.42. Дисковый сошник серии 10 сеялок Great Plains

Сошники с прикатывающим каточком «Сид-Лок» (рис. 1.43) оснащаются семяпроводом, который открывается непосредственно на семенное ложе. За счет этого достигается точная глубина заделки и предотвращается повреждение и разброс семян.

Использование сошников с прикатывающим каточком «Сид-Лок» повышает точность распределения и заделки семян, улучшает контакт семян с почвой.

Известна также серия сеялок Salford MP – универсальные механические стерневые дисковые сеялки. Их можно укомплектовать дополнительным оборудованием, которое позволяет раздельно вносить удобрения и высевать мелкосеменные или технические культуры.

Средняя производительность 11-метровой сеялки Salford MP-200 составляет 230 га/сут. Сошники размещаются на раме в два ряда с шагом 17,5 см. Расстановка рабочих органов и междурядье могут быть изменены при заказе на заводе или самим пользователем путем переделки или исключения сошника из работы.

Конструкция сеялки обеспечивает точную дозировку, распределение и заделку семян. Сеялка копирует неровности поля каждым дисковым сошником (ход сошника 260 мм) и сеялочными конструкциями, которые могут отклоняться относительно друг друга вверх и вниз.

К сеялкам Salford MP выпускается две модели сошников, которые отличаются друг от друга конструкцией и назначением (рис. 1.44).



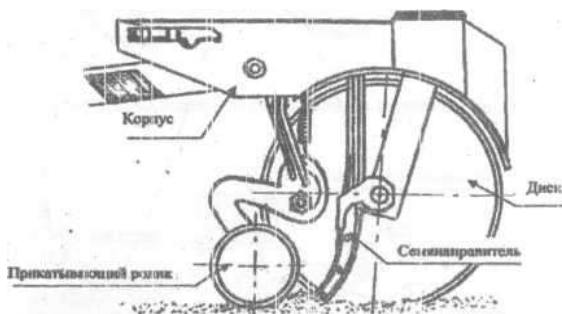


Рис. 1.43. Работа дискового сошника с прикатывающим коточком «Сид-Лок»

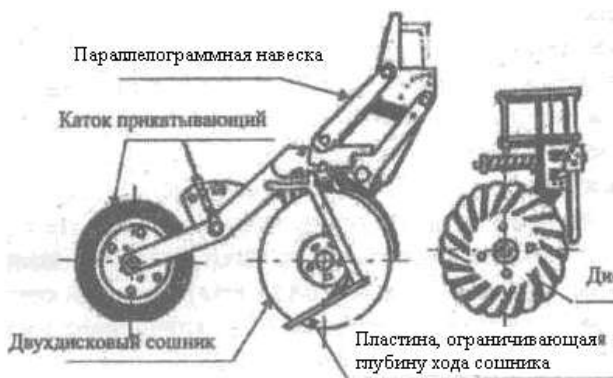


Рис. 1.44. Дисковый сошник сеялки Salford MP

Дисковые сошники сеялки Salford MP в комбинации с дисковым ножом предназначены для посева по стерне с одновременным внесением стартовой дозы удобрений и их заделкой на одной глубине с семенами. Глубина заделки регулируется положением обрезиненного прикатывающего катка.

Сеялка может производить прямой посев без предварительной подготовки с одновременной вертикальной обработкой почвы. Расположенные перед сошником дисковые ножи прорезают пожнивные остатки и, образуя щель, культивируют почву, разрушают уплотнения в зоне развития корневой системы, предотвращают попадание измельченной соломы в щель на семенное ложе, устраняют боковые уплотнения борозды. В результате корневая система развивается верти-

кально вниз, и ей доступна влага и питательные вещества нижних слоев почвы.

Сеялки «Terrasem» компании Петтингер имеют короткую конструкцию, отличаются высокой маневренностью и оснащаются почвоуплотнителем на колесном ходу. Универсальные машины могут использоваться как для сева по мульче, так и для традиционного сева. Сеялки «Terrasem» моделей С6 (С8) производят обработку почвы, уплотнение ее и посев на ширине захвата соответственно 6 и 8 м. Наряду с точной укладкой посевного материала с помощью параллелограммной подвески двухдисковых сошников с последующими глубинными направляющими роликами, машина хорошо адаптируется к особенностям почвы, отличается централизованной настройкой давления сошников в диапазоне 500...1300 Н на сошник.

На раме сеялки устанавливают двухдисковые сошники (рис. 1.45). Для укладки семян на одинаковой глубине все сошники управляются нажимным роликом. Регулирование глубины осуществляется централизованно. Настройка давления на сошники в диапазоне от 500 до 1300 Н осуществляется гидравлически. Размещение высеваящих узлов и механизмов на резиновых элементах обеспечивает оптимальную подвижность и не требует технического обслуживания. Выгнутые наружу зубчатые дисковые сошниковые элементы оснащены идущими за ними прикатывающими катками с прорезиненной поверхностью. Каждый элемент имеет параллелограммную подвеску для копирования поверхности почвы. Расположенный под углом дисковый сошник отодвигает растительные остатки в сторону и не вдавливают их в землю. Это обеспечивает хорошее качество посева.

На сеялках фирмы SULKY также устанавливают дисковые сошники (рис. 1.46), например, CULT1DISC II сеялок MAX1DRILL. Диски диаметром 415 мм имеют вырезы под углом 4°. Это обеспечивает компромисс между проникающей способностью и возможностью удалять солому из борозды и сохранять высокую производительность в сложных условиях.

Индивидуальное давление на диск до 800 Н гарантирует ровную поверхность для обеспечения точной глубины заделки семян (далее при необходимости и без задних уплотняющих колес). Все высеваящие элементы имеют равную длину, что обеспечивает одинаковую глубину заделки во время работы на всей ширине сеялки и удерживает антиблокировочный клиренс 680 мм между рядами.

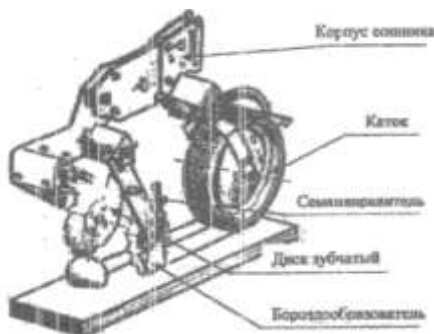


Рис. 1.45. Двухдисковый сошник с прикатывающим катком сеялок компании «Петтингер»



Рис. 1.46. Дисковый сошник CULTIDISC II сеялок MAX1DRILL

Бороздные колеса Farmflex (500 мм диаметр, 21,0 мм ширина) с зубчатыми дисками (рис. 1.47) обеспечивают работу на постоянной глубине при неоднородных почвах даже на повышенной рабочей скорости. Между зубчатыми дисками установлен дерносор. Использование этих сошников обеспечивает равномерное формирование посевной бороздки, создает предпосылки для спокойного хода сошника и соответственно для точной глубины заделки. Поэтому возможна более высокая скорость движения сеялки независимо от типа и состояния почвы, а также от скорости движения.

Сошники RoTeC (рис. 1.48) в серийном исполнении имеют ограничивающие глубину хода чистящих дисков, которые позволяют производить установку глубины заделки семян без применения инструментов. Давление сошников на почву достигает 350 Н. Они не забиваются даже при большом количестве соломы и остатков растений.

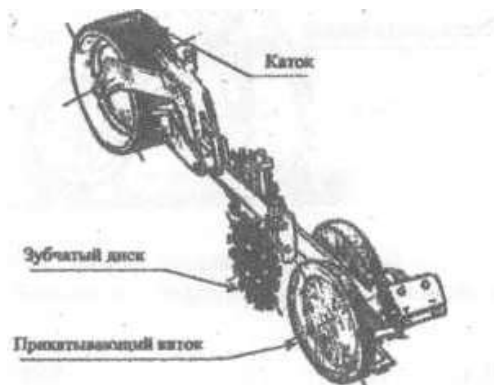


Рис. 1.47. Дисковые сошники в сочетании с бороздными колесами FARMFLEX и прикатывающим колесом сеялок EASYDRILL

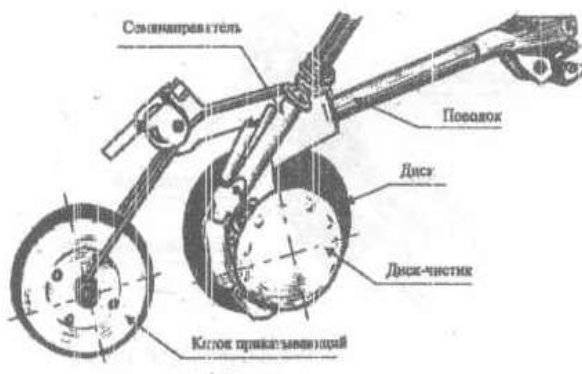


Рис. 1.48. Дисковый сошник RoTeC в сочетании с прикатывающим роликом

Эластичный пластиковый диск предотвращает налипание почвы на высеваящий диск, придает форму посевной бороздке и точно регулирует глубину заделки семян. При слишком большой глубине заделки семян диск для ограничения глубины хода снимается за один прием.

Сошник RoTeC с прикатывающим роликом имеет более спокойный ход, чем сошник с параллелограммной подвеской и жестко закрепленным задним роликом. Фирма LEMKEN на зерновых сеялках также устанавливает дисковые сошники (рис.1.49).

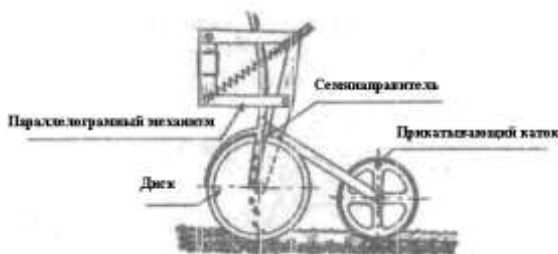


Рис. 1.49. Двухдисковый сошник фирмы LEMKEN с направляющим роликом глубины с резиновой шиной

Двухдисковый сошник с направляющим роликом глубины, имеющим резиновую шину, даже при меняющейся почве и высоких скоростях движения точно укладывает посевной материал на одинаковой глубине. Вдавливание семян прижимным роликом обеспечивает условия для оптимального подвода воды, равномерного формирования корневой системы и ведет к быстрому развитию растений. Однодисковые сошники этой фирмы имеют высококачественный выпуклый полый диск диаметром 325 мм, который может воспринимать давление до 200 Н на сошник. Благодаря выпуклой форме диск обладает эффектом самоочистки, что позволяет на легких почвах не устанавливать дополнительный скребок [80].

По ходу сева двухдисковые сошники отчасти способствуют созданию микросреды вокруг высеваемых семян. Положительное влияние двухдисковых сошников состоит в том, что они производят посев без блокирования за счет растительных остатков. Конструкция сравнительно простая и легкая в обслуживании. Наибольшие недостатки: высокое проникающее усилие; зависимость от состояния почвы, тенденция затягивания растительных остатков внутрь бороздки, что мешает осуществлению контакта семян и почвы на сухих грунтах, а во влажных почвах, приводящих к образованию жирowych кислот, отрицательно влияет на развитие семян.

По данным полевых агрономических опытов, двухдисковые сошники по сравнению с килевидными снижают урожайность на 2...3 ц/га. При их применении требуется довсходовое и послеवсходовое прикатывание почвы, что повышает равномерность заделки семян и улучшает их контакт с почвой. Такого типа сошники наиболее пригодны для посева по мульче.

Однодисково-анкерный сошник (рис. 1.50) сочетает достоинства и дисковых, и анкерных сошников, так как бороздку образуют совместным действием кия и диска, установленного под углом атаки

к направлению движения. Благодаря такому устройству, как и у килевидного сошника, качественно образуется бороздка и равномерно укладываются семена по глубине, при этом предотвращается сгруживание и забивание его почвой. При работе он создает U-образный профиль посевной бороздки.

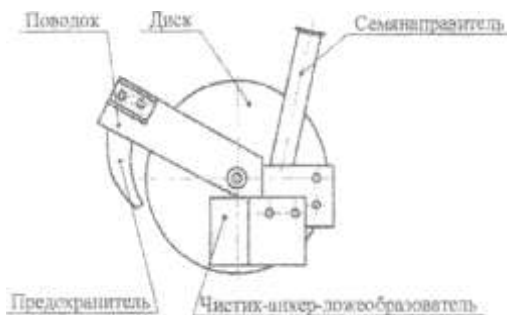


Рис. 1.50. Однодисково-анкерный сошник

Для более наглядного представления об эффективности анализируемых сошников необходимо произвести оценку качества их работы по бороздообразованию [42]. Оценка велась по результатам наблюдений за видимым перемещением частиц почвы и по величине деформации почвы после прохода сошника [43, 44].

Анализ полученных данных, представленных на рис. 1.51, показывает, что у долотовидного сошника наибольшее значение суммарных высот ординат  $H$  (до 20 мм), это свидетельствует о нерациональной конструкции сошника. Что касается остальных сравниваемых сошников, то профили образуемых ими посевных борозд схожи, а это свидетельствует об их взаимозаменяемости.

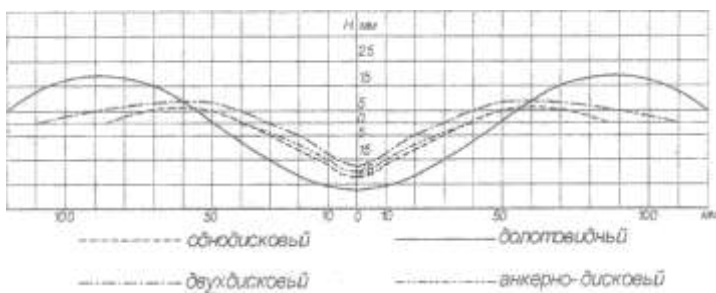


Рис. 1.51. Профили посевных борозд сравниваемых сошников

Самым эффективным сошником из четырех типов является анкерно-дисковый, который практически не создает гребней, хотя на различных типах экспериментальные данные будут отличаться от представленных.

Сошники RoTeC в серийном исполнении имеют ограничивающие глубину хода и чистящие диски, которые позволяют производить установку глубины заделки семян без применения инструментов. Давление сошника на почву достигает 35 кг. Они не забиваются даже при большом количестве соломы и остатков растений.

Эластичный пластиковый диск предотвращает налипание почвы на высевной диск, придает форму посевной бороздке и точно регулирует глубину заделки семян.

При слишком большой глубине заделки семян диск для ограничения глубины хода снимается за один прием (рис. 1.52).

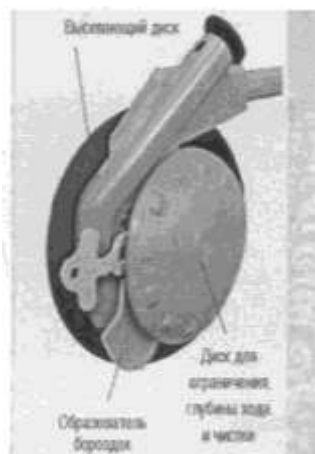


Рис. 1.52. Дисковый сошник RoTeC  
фирмы AMAZONE

Сошник RoTeC с прикатывающим роликом имеет более спокойный ход, чем сошник с параллелограммной подвеской и жестко закрепленным задним роликом.

Новый разработанный прикатывающий каточек для сошника RoTeC AMAZONE работает целенаправленно в посевной бороздке и прижимает семена ко дну бороздки (1.53).



Рис. 1.53. Дискový сошник RoTeC  
в сочетании с прикатывающим каточком

Диск, формирующий бороздку, имеет угол атаки, что приводит к забрасыванию почвой соседних рядков, при работе на повышенных скоростях. Фирма LEMKEN на зерновых сеялках также устанавливает двухдисковые сошники (рис. 1.54).

Двухстрочный двухдисковый сошник с ограничивающим глубину прикатывающим каточком, имеющим резиновую шину, даже при изменяющейся почве и высоких скоростях движения точно укладывает посевной материал на одинаковой глубине. Вдавливание семян прижимным каточком обеспечивает условия для оптимального подвода воды, равномерного формирования корневой системы и ведет к быстрому развитию растений.



Рис. 1.54. Двухстрочный двухдисковый сошник  
фирмы LEMKEN с ограничивающим глубину каточком



Недостатком этих двухдисковых сошников является высокая неравномерность заделки семян по глубине.

На это могут влиять следующие причины:

- захват семян вращающимися дисками с выбросом их за пределы сошника в верхние слои почвы; захват семян почвой, отбрасываемой сошниками;

- осыпание бороздки, в результате чего семена, отраженные от дна борозды, попадают в более верхние слои почвы;

- сошник не обеспечивает достаточного уплотнения дна борозды и имеет высокую металлоемкость; диски сошников имеют угол атаки  $9^\circ$ , что вызывает с увеличением скорости движения отброс почвы, повышенное тяговое сопротивление, а также высокую гребнистость поверхности почвы.

Недостатком узкорядных и широкополосных дисковых сошников является наличие угла атаки, равного  $18^\circ$ , что приводит к повышенному отбросу почвы и увеличению тягового сопротивления. Кроме того, наличие корпуса, выполненного из чугуна, значительно увеличивает массу сошника. В Республике Беларусь разработаны однодисковые сошники нового поколения, защищенные патентами на изобретения.

При испытании экспериментальной катковой сеялки, разработанной в БелНИИМСХ (г. Минск), были получены следующие результаты (табл. 1.9).

**Т а б л и ц а 1.9. Динамика всходов и полевая всхожесть ячменя сорта Фаворит в зависимости от типа сошников**

| Тип сошников | Норма высева<br>всхожих<br>семян, шт/м <sup>2</sup> | Количество взошедших семян по датам<br>мая |    |    |    |    |    |    |    | Итого |
|--------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|-------|
|              |                                                     | 3                                          | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |       |
| Дисковый     | 380                                                 | 0                                          | 0  | 0  | 85 | 13 | 26 | 89 | 89 | 289   |
| Катковый     | 380                                                 | 15                                         | 25 | 31 | 31 | 31 | —  | —  | —  | 315   |

При использовании катковой сеялки наблюдались более ранние и дружные всходы, чем при использовании дисковой, причем полевая всхожесть при посеве катковой сеялкой оказалась выше по сравнению с дисковой.

Получены также данные по равномерности распределения семян по всей глубине при использовании сошников различных конструкций (табл. 1.10).

**Т а б л и ц а 1.10. Распределение семян ярового ячменя по глубине, полевая всхожесть и урожайность в зависимости от конструкции сошника и подготовки поля**

| Глубина заделки семян, см | Относительное количество семян, % от взошедших |                                        |                                           |                                                |                 |
|---------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------|
|                           | Дисковый сошник                                | Дисковый сошник + прикатывание до сева | Дисковый сошник + прикатывание после сева | Дисковый сошник + прикатывание до и после сева | Катковый сошник |
| 1                         | 0                                              | 0                                      | 0                                         | 0                                              | 0               |
| 2                         | 0                                              | 0                                      | 0                                         | 0                                              | 8,3             |
| 3                         | 1,2                                            | 3,6                                    | 0                                         | 2,4                                            | 46,7            |
| 4                         | 3,6                                            | 16,7                                   | 2,4                                       | 14,3                                           | 41,7            |
| 5                         | 4,8                                            | 26,2                                   | 16,7                                      | 27,4                                           | 3,6             |
| 6                         | 32,1                                           | 33,3                                   | 23,8                                      | 32,1                                           | 0               |
| 7                         | 38,1                                           | 19                                     | 36,9                                      | 23,8                                           | 0               |
| 8                         | 20,1                                           | 1,2                                    | 20,2                                      | 0                                              | 0               |
| 9                         | 0                                              | 0                                      | 0                                         | 0                                              | 0               |
| Полевая всхожесть, %      | 55                                             | 69                                     | 74,9                                      | 75,7                                           | 77,1            |
| Урожайность, ц/га         | 41,9                                           | 42,4                                   | 42,6                                      | 43,4                                           | 48,6            |

Из данных, приведенных в табл. 1.10. видно, что наиболее равномерную заделку семян в почву по глубине обеспечивают катковые сошники. При их применении почти все семена разместились на относительно небольшом интервале глубин (3...4 см). При использовании посева наблюдался разброс основной массы семян на относительно большом интервале (4...8 см). Неравномерность заделки семян приводит к снижению полевой всхожести и урожайности.

Применение совместно операций прикатывания до и после посева не привело к значительному повышению урожайности по сравнению с обычным посевом дисковым сошником. Урожайность повысилась с 41,9 до 43,4 ц/га. В то же время применение каткового сошника обеспечило прирост урожайности с 41,9 до 48,6 ц/га. При этом затраты на проведение операций посева были меньше, так как отсутствуют дополнительные операции прикатывания.

Детальный обзор и выполненный анализ одно- и двухстрочных сошников зерновых сеялок отечественных и зарубежных фирм показал, что лучшее решение по качеству посева зерновых еще не найдено. Среднее давление на сошники зерновых сеялок, выпускаемых за рубежом, колеблется в пределах 200...130Н.

### 1.13. Сошниковые группы с опорно-прикатывающими катками

Для определения эффективности работы дисковых сошников с опорно-прикатывающими катками в сравнении с серийно выпускаемыми проведены полевые исследования. Для идентичных условий работы все сошники по очереди устанавливались на серийную зернотуюковую сеялку СЗ-5,3: двухдисковый узкорядный сошник сеялки СЗ-5,4; двухдисковый рядовой сошник, однодисковый сошник с опорно-прикатывающим катком, рядовой катковый сошник, анкерный сошник, двухдисковый сошник для ленточного посева и двухдисковый сошник для ленточного посева с прикатывающим каточком. Полевые исследования проводились на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах опытного поля «Тушково» БГСХА. Основное внимание в процессе исследований уделялось определению влияния сошников на равномерность заделки семян по глубине, распределению их по площади поля и на урожайность зерновых культур.

Анализ гистограмм за три года опытов показывает, что распределение семян по глубине близко к нормальному закону для всех сошниковых групп, а наибольшее число семян, высеянных сошниками сеялок СЗ-5,4 и экспериментальными сошниками для ленточного сева без прикатывания, расположилось в слое почвы 10...40 мм.

Наиболее компактно по глубине заделывались семена, высеянные сошниками сеялки СЗ-5,4, но глубина их заделки была меньше установочной глубины. Большинство семян расположилось в слое 1...20 мм, в этом слое также находилось большинство семян, высеянных анкерными сошниками. Наибольшее количество семян, высеянных сошниковой группой сеялки СЗ-5,4, расположились ниже установленной глубины, т. е. в слое 30...40 мм.

У сошниковых групп сеялок СЗ-5,4 и экспериментальной для ленточного сева зерновых культур распределение семян по глубине наименее соответствовало нормальному закону, причем основная масса семян (около 50...60 %) заделывалась на установленной глубине в слое 20...30 мм.

Проверка соответствия распределения семян по глубине нормальному закону показала, что он более четко выражен у сошников без опорно-прикатывающих катков.

Исходя из статистической характеристики работы сошников, следует сделать вывод, что для условий посева по фону с предварительным внутривспашечным внесением основной дозы минеральных удоб-

рений обеспечить стабильную заделку семян по глубине можно при использовании сошников с опорно-прикатывающими каточками.

#### **1.14. Распределение семян в почве дисковыми сошниками с прикатывающими катками**

Получение высокой урожайности зерновых культур требует высокой полевой всхожести и равномерного развития каждого растения. Поэтому одной из задач посева является довольно точное распределение семян по площади питания и глубине их заделки.

Многочисленными исследованиями установлено, что чем равномернее семена распределены по площади, тем равномернее происходит затенение почвы, что, в свою очередь, оказывает отрицательное влияние на рост и развитие сорной растительности. По данным многочисленных опытов исследователей Германии (В. Коха, К. Хурле и др.), засоренность посевов при уменьшении ширины междурядий (до разбросного сева) снижалась до 40 %. При рассеивании глубины заделки семян до 6 мм достигается полевая всхожесть 80 %, а при 18 мм – снижается до 54 %, что приводит в конечном итоге к снижению урожайности зерновых культур.

Нами были проведены поисковые трехлетние двухфакторные мелкоделяночные ( $S = 1 \text{ м}^2$ ) опыты с шестикратной повторностью с целью изучения влияния способов сева зерновых (более равномерное их распределение по площади): рядового ( $B_p = 0,01 \text{ м}$ ), ленточного ( $B_{\text{л}} = 0,075 \text{ м}$ ) и разбросного ( $B_{\text{раз}} = 0,15 \text{ м}$ ), а также норм высева семян ( $U = 2,4$  и  $6$  млн. шт/га) на урожайность зерновых культур (озимая рожь, ячмень).

По результатам опытов с ячменем получена функция отклика урожайности ячменя:

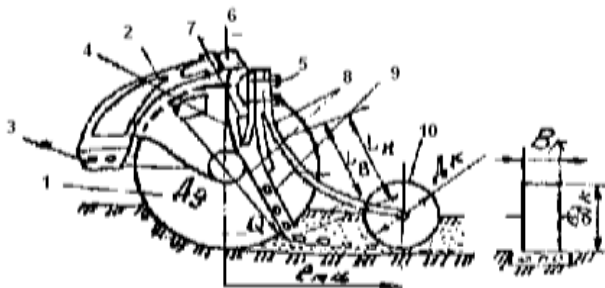
$$U_{\text{яч}} = -62,8 + 0,76U + 492,6 B_{\text{раз}} - 0,0005U^2 - 3571,4B_p^2 + 1,29UB_{\text{л}},$$

где  $U_{\text{яч}}$  – урожайность ячменя, ц/га.

Анализ квадратичной зависимости показывает, что ширина ленты в совокупности с нормой высева семян оказывают существенное влияние на урожай ячменя в заданных границах исследований. Так, при любом постоянном значении  $B$  урожайность ячменя возрастает с увеличением нормы высева. Установлено также, что максимальная его урожайность соответствует ширине ленты ( $B = 0,07 \dots 0,08 \text{ м}$ ).

В технологиях возделывания зерновых культур, особенно при допосевном локальном внесении основной дозы минеральных удобрений, эти показатели должны иметь не только более конкретные значения, но и гарантированно соблюдаться рабочими органами.

В зерновых сепках типа СЗ-3,6А семена поступают в семяпрово-  
ды, а затем – на распределительную пластину двухдискового сошника  
(рис. 1.55), расположенную под углом к горизонту, и скатываются по  
ней на дно раскрываемой бороздки.



Прежде всего мы изучали вопрос о характере закона распределения семян поперек ленты, влияния на него технологических и конструктивных параметров сошника.

Горизонтальные и вертикальные колебания двухдискового сошника с распределительной пластиной (в дальнейшем рассматриваем только распределительную пластину) можно рассматривать как случайный процесс, состоящий из толчков (импульсов), происходящих в случайные моменты времени и имеющих случайную величину и направление.

Относительно вибрации сделаем следующие допущения: представим вибрацию как систему импульсов случайной величины и направлений, происходящих через равные промежутки времени  $t$ .

Пусть ось  $OX$  направлена по центру пластины, а  $OY$  – поперек ее. Движение семени описывается обычными уравнениями движения точки по наклонной плоскости. С целью изучения распределения семян поперек ленты рассматривалась только составляющая случайной скорости по оси  $Y$ .  $v_{yc}$  – случайная величина, распределенная равномерно на отрезке  $v_{yc \max} \leq v_{yc} \leq v_{yc \min}$ .

Изучая на основании заданных допущений вероятностное распределение координаты  $Y_c$  движущегося семени, можно предположить:

- если пластина не имеет боковых стенок, то при достаточно большом числе импульсов вибрации распределение семян поперек ленты стремится к нормальному закону. На рис. 1.56 приведено распределение семян в моменты времени  $t$ ,  $2t$ ,  $3t$ ;

- если пластина имеет боковые стенки, то распределение по ширине отличается от нормального закона, приближаясь к равномерному. При условии, если вертикальные стенки параллельны и расстояние между ними равно  $2v_{\max} t$ , то распределение в ленте будет приближенно равномерным.

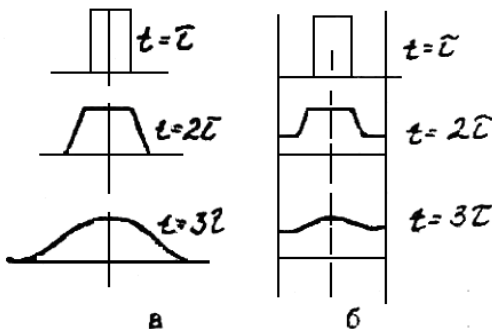


Рис. 1.56. Распределение семян в ленте двухдисковым сошником с распределителем семян: *a* – без боковых стенок; *б* – с боковыми стенками

В реальных условиях роль боковых стенок выполняют края бороздки, открываемой двухдисковым сошником. В поисковых исследованиях установлено, что чем больше диаметр дисков (при постоянном угле атаки), тем больше ширина раскрываемой бороздки, а соответственно – ширина ленты высеваемых семян. По результатам этих же исследований получена гистограмма распределения семян по ширине ленты (рис. 1.57).

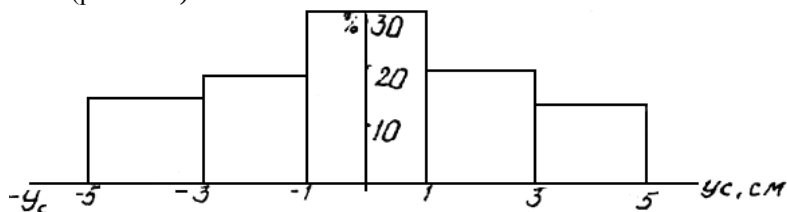


Рис. 1.57. Гистограмма распределения семян при ленточном их высеве

Результатами поисковых исследований установлено, что распределение семян по ширине ленты (при высеве их экспериментальным двухдисковым сошником с распределительной пластиной) близко к нормальному закону.

### 1.15. Структурно-морфологическая классификация сошников и их технологических параметров

Сошник можно рассматривать как систему, состоящую из совокупности отдельных конструктивных и технологических признаков, тесно связанных между собой. Например, форма рабочего органа, угол входа в почву, конструкция семяпровода и его сечения, форма уплотнительного элемента, конструкция реборды, процесс высева, технологические операции, выполняемые им, угол атаки, скоростной режим, давление на сошник, форма бороздки и др.

В табл. 1.10 приведена матрица общей структурно-морфологической классификации сошников по двенадцати конструктивным (1...12) и шести (13...18) технологическим признакам, всего по восемнадцати смысловым делителям. Признаки и свойства сошников в матрице расположены соответственно по вертикали и горизонтали и рассматриваются во взаимодействии, т. е. сошники одного класса многими признаками и свойствами связаны с сошниками другого класса. Во время анализа по предлагаемой классификации изучается двухдисковый сошник, который заканчивается цифровым кодированием. Внача-

ле выбирается сошник, относящийся к одному из классов по первому смысловому делителю. После этого рассматривается форма сошника (двухдисковый, дисково-анкерный и т. д.). Классификация используется для выбора рациональной конструкции рабочего органа. В табл. 1.11 приведено несколько форм конструкций сошников, однако их может быть и значительно больше.

Дальнейший анализ двухдисковых сошников проводится последовательным рассмотрением отдельных свойств по всем смысловым делителям сверху вниз. Исходным пунктом решения задач синтеза сошников, на наш взгляд, могут быть операции, выполняемые ими, затем рассматриваются технологические, конструктивные признаки в обратной последовательности.

Предлагаемая классификация позволяет применять цифровое кодирование всего многообразия признаков и свойств двухдисковых сошников, применять ПЭВМ для поиска, хранения и переработки информации по ним.

Если обозначить горизонтальные строчки  $P_i$ , а вертикальные колонки –  $m_j$ , причем номер строчки  $i$  может принимать значения от 1 до  $n$  (где  $n$  – количество строчек в матрице), а  $j$  изменяется от 1 до  $k$  (где  $k$  – количество вертикальных колонок в матрице). Тогда матрицу можно записать следующим образом:

$$\left. \begin{array}{l} P_1(m_1, m_2, \dots, m_{k1}) \\ P_2(m_1, m_2, \dots, m_{k2}) \\ P_3(m_1, m_2, \dots, m_{kn}) \end{array} \right\}, \quad (1.18)$$

где  $k_1, \dots, k_n$  – обозначение последней колонки по каждому из смысловых делителей.

Содержание предлагаемой классификации представляется системой определителей.

$$|P_1 m_j| |P_2 m_j| \dots |P_n m_j| \cdot \quad (1.19)$$

Они записаны в порядке расположения смысловых делителей. Номер смыслового делителя соответствует месту определителя, поэтому записывают только числа, соответствующие номеру вертикальной колонки. Пустые клетки матрицы составляют резерв для расширения классификации. Нулевые горизонтальная и вертикальная колонки предназначены для новых свойств, которых нет в данной матрице. Определитель в таком случае будет иметь вид  $/Pnm0/$ .



Таблица. Классификация двухдисковых сошников для посева (зерновых) травяных, льна и других культур

| Признаки       | ↓Анализ<br>Синтез↑ | Смысловой делитель                          | Свойства сошников и составляющих их элементов |                            |                                      |                            |                            |                                  |                                   |                                    |                      |                         |  |
|----------------|--------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------------|--|
|                |                    |                                             | 1                                             | 2                          | 3                                    | 4                          | 5                          |                                  | 6                                 | 7                                  | 8                    | 9                       |  |
| 0              |                    | Резерв                                      |                                               |                            |                                      |                            |                            |                                  |                                   |                                    |                      |                         |  |
| 1              | 2                  | 3                                           | 4                                             | 5                          | 6                                    | 7                          | 8                          | 9                                | 10                                | 11                                 |                      |                         |  |
| Конструктивные | 1                  | Класс сошников                              | Рядовой посев                                 | Ленточный посев            | Широкополосный посев                 | Рядовой однострочный посев | Рядовой двухстрочный посев | Подпочвенный разбросной посев    | Пунктирный посев                  |                                    | Рядовой 4-х строчный |                         |  |
|                | 2                  | Конструкция сошника                         | Двухдисковый с плоскими дисками               | Двухдисково-анкерный       | Двухдисковый с разновеликими дисками | Катковый                   | трехдисковый               | Двухдисковый с ребордами         | Двухдисково-комбинированный       | Двухдисково-сферический            | Однодисковый         | Однодисковый с ебордами |  |
|                | 3                  | Угол вхождения в почву (угол атаки и крена) | Острый                                        | Прямой                     | Тупой                                | нулевой                    |                            | минимальный (1-5°)               | Средний (5-9°)                    |                                    |                      |                         |  |
|                | 4                  | Характер работы сошника                     | Пассивный                                     | Пассивно-вибрационный      | Ротационный                          | Вибрационный               |                            | Роторный с механическим приводом | Роторный с электрическим приводом | Роторный с гидравлическим приводом |                      |                         |  |
|                | 5                  | Корпус                                      | Чугунный                                      | Стальной                   | Пластмассовый                        |                            |                            | Комбинированный                  | Металлический                     |                                    |                      |                         |  |
|                | 6                  | Сечение семяпровода                         | Эллипсо-видное                                | Прямоугольное              | Круглое                              | Квадратное                 |                            | Комбинированное                  | Треугольное                       | трапециевидная                     |                      |                         |  |
|                | 7                  | Установка семяпровода                       | Прямостоящий                                  | Под наклоном               | Концентрично реборде                 | За ребордой                |                            | Рядом с диском                   | За дисками                        | Между дисками                      |                      |                         |  |
|                | 8                  | Конструкция реборды                         | Цилиндрическая                                | Плавающая                  | Усеченно-конусная                    | Катковая                   |                            | В виде лыжи                      | Комбинированная                   | Усеченно-трапециевидная            |                      |                         |  |
|                | 9                  | Форма уплотнительного элемента              | Треугольная                                   | Прямоугольная              | Круглая                              | Трапециевидная             |                            | Эллипсовидная                    | Коническая                        | Усеченная коническая               |                      |                         |  |
|                | 10                 | Подвеска сошника                            | Жесткая                                       | Упругая с плоской пружиной | Упругая с винтовой пружиной          | Упругая с двойной пружиной |                            | Комбинированная                  | Рессорная                         |                                    |                      |                         |  |

Окончание табл.

| 1               | 2  | 3                               | 4                      | 5                      | 6                                    | 7                                      | 8                      | 9                          | 10                                | 11                    |
|-----------------|----|---------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Технологические | 11 | Конструкция загорточей          | П-образный             | Пружинный              | Катковый                             | Цепной                                 | Дисковый               | Дисково-сферический        |                                   |                       |
|                 | 12 | Форма чистиков                  | треугольная            | Усеченно-эллипсоведная | Плоская                              | Фигурная                               | В виде клапана         | Комбинированная            | цилиндрическая                    |                       |
|                 | 13 | Процесс высева материала        | Под давлением          | Свободное падение      | Пневматический с малой концентрацией | Пневматический с высокой концентрацией | Гидротранспортирование |                            |                                   |                       |
|                 | 14 | Операции, выполняемые сошниками | Мелкосемянные культуры | Посев травяных культур | Посев зерновых культур               | Посев льна                             | Посев крупяных культур | Посев зернобобовых культур | Внесение стартовой дозы удобрений | Комбинированный посев |
|                 | 15 | Угол атаки дисков, град         | нулевой                | 1°                     | 3 °                                  | 5 °                                    | 9 °                    | 12°                        | 15 °                              | 18 °                  |
|                 | 16 | Скоростной режим, м/с           | 2,0                    | 3,0                    | 4,0                                  | 5,0                                    | 6,0                    | 7,0                        | 8,0                               | 8,0                   |
|                 | 17 | Давление на сошник, Н           | 100                    | 200                    | 400                                  | 600                                    | 800                    | 1000                       | 1200                              | 1400                  |
|                 | 18 | Форма бороздки                  | V-образная             | Треугольная            | Прямоугольная                        | Эллипсо-видная                         | Трапещи-видная         | Конусная                   | Эллипсо-видная                    | U-образная            |

Все содержание информации по какому-либо сошнику записывается из  $n$  цифр десятичной системы, где  $n$ -число выделенных смысловых делителей в матрице. В составленной нами таблице восемнадцать смысловых делителей. Шифр в данном случае будет состоять из восемнадцати цифр. Цифры, относящиеся к свойствам одного смыслового делителя, должны отделяться точкой. Например, информация о сошнике для рядового двухстрочного посева зерновых культур следующая: 1.5.3.3.2.3.3.4.7.3.1.1.1.2.1.4.1.6. Это означает, что рассматривается двухдисковый сошник для двухстрочного рядового посева. (1) двухдисковый с ребордой (5), с тупым углом вхождения в почву (3), ротационный (3), с металлическим корпусом (2), семянаправитель круглой формы (3), который установлен концентрично реборде (3), реборда каткового типа (4). Форма уплотняющего элемента сошника для создания в почве комбинированного ложа определенной плотности (7), подвеска сошника упругая с винтовой пружиной (3), загортачи пружинные (1), чистик пружинный плоский (1). Высев зерновых культур осуществляется свободным падением (1), сошник может высевать одновременно два материала, например, зерновых культур и стартовую дозу фосфорных удобрений (2). Установка дисков произведена под нулевым углом (1), скоростной режим составляет 4 м/с (4), давление пружины на сошник 200 Н (1), форма бороздки полуэллипсовидная (6). Данная классификация сошников является более общей, чем классификация других авторов. Предлагаемая классификация способствует более глубокому решению задач синтеза, анализа сошников, изучения, прогнозирования, поиска, хранения и переработки информации с применением современных компьютеров.

### **1.16. Обзор вариантов оптимального посева**

Сошники, используемые в традиционной технологии, создают различные профили посевной бороздки. Обычно используются сошники с двумя вариантами профиля посевной бороздки: V- и U-образная щель (рис. 1.58).

В настоящее время большинство импортных почвообрабатывающе-посевных агрегатов оборудовано рабочими органами для описанного способа сева. При этом в зависимости от назначения по условиям применения (тип почвы, агрофон, система обработки почвы, рельеф и др.) можно выделить четыре различных варианта посева.

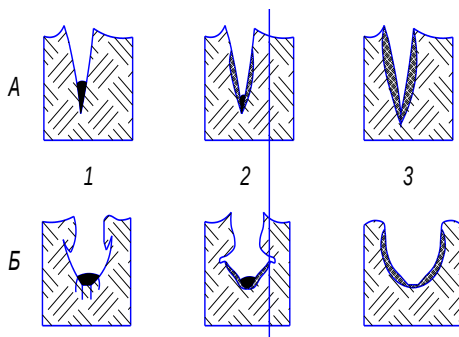


Рис. 1.58. Профили посевных борозд в суглинистых почвах:  
А – V-образные, Б – U-образные; при влажности почвы:  
1 – 15 %; 2 – 20 %; 3 – 27 %

**Первый вариант** посева осуществляется комбинированными сошниками (рис. 1.59, а) фирмы Horsch (Германия), Sulku (Франция), Pottinger (Австрия), Kverneland (Норвегия). Технологический процесс работы (рис. 1.59, б) включает следующие операции: укладка семян в бороздки, раскрытые сошниками; прикатывание бороздок с семенами, обрезиненными каточками, ширина обода которых несколько больше ширины дна бороздки, благодаря чему семена полностью закрываются обжатой почвой; закрытие прикатанных бороздок рыхлой почвой пружинными боронками (загортачами за сошниками).

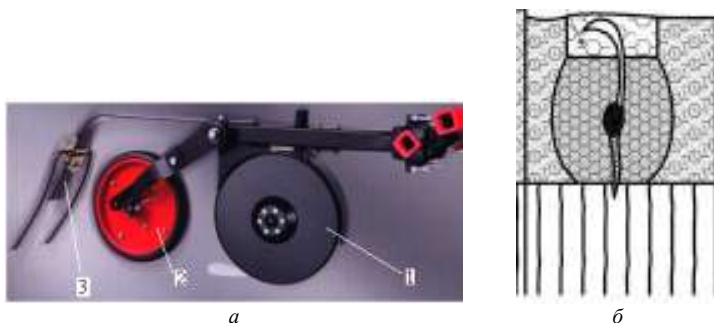


Рис. 1.59. Комбинированный сошник для первого варианта посева:  
а – состав рабочих органов, б – технологический процесс;  
1 – двухдисковый сошник; 2 – прикатывающий обрезиненный каток;  
3 – загортач

Достоинства варианта: хорошие контакт семян с почвой и обеспеченность влагой; полосовое прикатывание посевного слоя по сравнению со сплошным прикатыванием обеспечивает лучший воздухообмен почвы; заполненные рыхлой почвой бороздки замедляют процесс испарения влаги из уплотненного слоя почвы с семенами. Основной недостаток варианта: посев производится на неуплотненное ложе и при увеличении скорости движения агрегата происходит отброс почвы в сторону, для нормальной работы необходимо использование дополнительных операций по подготовке ложа.

**Второй вариант** посева осуществляется комбинированными сошниками (рис. 1.60, *а*), фирм Rabe (Германия), Pottinger (Австрия), Tume (Норвегия), Kongskilde (Дания), Vaderstad (Швеция). Технологический процесс (рис. 1.60, *б*) второго варианта близок первому, отличается от него лишь тем, что семена, уложенные в раскрытые сошниками бороздки, прикатываются ленточно, одним широким катком или колесом на две бороздки. Достоинства варианта: те же, что и первого.

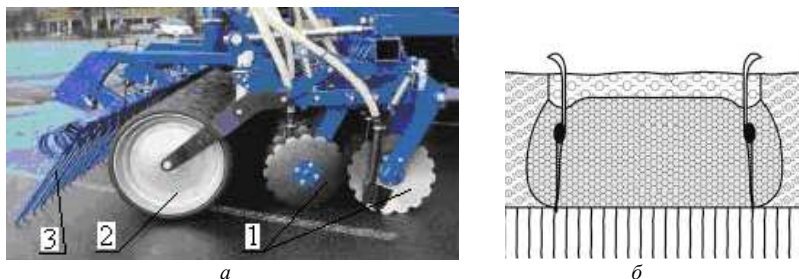


Рис. 1.60. Комбинированный сошник для второго варианта посева:

*а* – состав рабочих органов; *б* – технологический процесс;

1 – однодисковые сферические сошники, 2 – широкий прикатывающий каток; 3 – загорточ

Недостатки варианта: малый объем неприкатанной почвы может быть недостаточным для нормальных воздухообмена и жизнедеятельности произрастающих растений во влажный период и особенно на средних и тяжелых суглинистых и глинистых почвах.

**Третий вариант** подготовки семенного ложа осуществляется комбинированным сошником немецкой фирмы Amazone (рис. 1.60, *а*). Технологический процесс работы (рис. 1.61, *б*) включает: выpressовывание клинчатых бороздок, укладку семян в бороздки сошниками, за-

крытие бороздок с семенами рыхлой почвой с помощью загортачей типа «ласточкин хвост».

Достоинства варианта: предварительно выпрессованные бороздки повышают устойчивость хода сошников и равномерность укладки семян по глубине; заполненные рыхлой почвой бороздки замедляют процесс испарения влаги из уплотненного слоя почвы.

Недостаток варианта: неприкатанные семена в бороздках имеют невысокий контакт с почвой, что может снижать интенсивность их произрастания в сухую погоду, особенно на легких почвах.

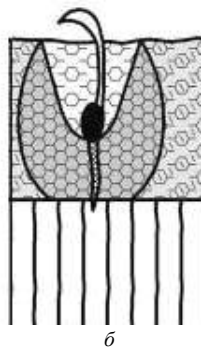
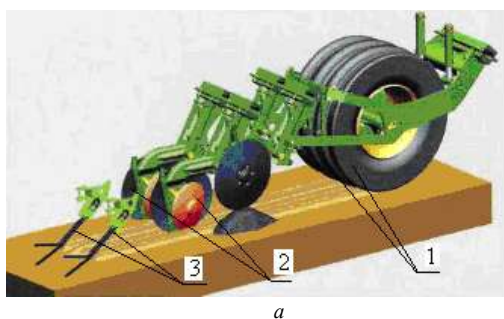


Рис. 1.61. Комбинированный сошник для третьего варианта посева:  
*а* – состав рабочих органов; *б* – технологический процесс;  
1 – выпрессовывающие катки, 2 – однодисковые сферические сошники;  
3 – загортачи типа «ласточкин хвост»

**Четвертый вариант** посева осуществляется комбинированными сошниками фирмы Lemken (Германия) и входящих в состав АПП-6А, АПП-6П, освоенных на производстве в ОАО «Лидагропроммаш». Технологический процесс работы (рис. 1.62, *б*) подобен третьему варианту, включает выпрессовывание клинчатых бороздок, укладку семян в бороздки сошниками, прикатывание бороздок с семенами обрезиненными каточками, закрытие при необходимости прикатанных бороздок рыхлой почвой (с помощью загортачей).

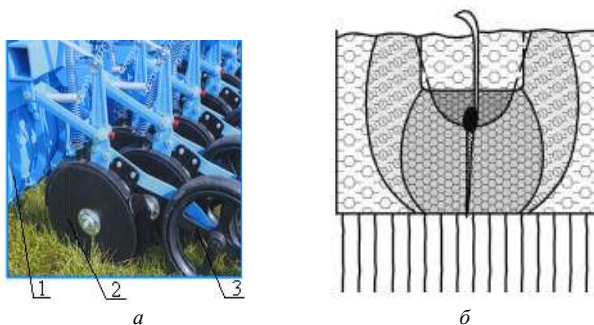


Рис. 1.62. Комбинированный сошник для четвертого варианта посева:  
*а* – состав рабочих органов; *б* – технологический процесс;  
 1 – выпрессовывающий железный каток; 2 – двухдисковый сошник;  
 3 – прикапывающий каток

Достоинства варианта: имеет все достоинства третьего варианта и устраняет его недостаток – прикапывание бороздок с семенами повышает их равномерность заделки по глубине, создает хороший контакт семян с почвой, что обеспечивает более дружные их всходы в любую послепосевную погоду.

### 1.17. Агротехнические аспекты функционирования сошниковых групп

В процессе жизненного цикла (от всходов до созревания семян) растения проходят несколько фаз роста и развития. Для нормального прохождения этих фаз все культуры предъявляют определенные требования к факторам среды.

Начальной фазой является прорастание семян. Для этого в посевном слое почвы обязательно наличие трех факторов: воды, тепла и кислорода. Кроме физических режимов существенны и химические факторы. Так, прорастанию семени предшествует его набухание. Поглощение при этом влаги – сложный биохимический процесс, в результате которого в зерне усиливается деятельность ферментов, которые, в свою очередь, переводят сложные органические соединения (крахмал, некоторые белки, жиры и другие вещества) в формы, доступные для питания начинающего роста зародыша.

В дальнейшем растение своей корневой системой поглощает питательные вещества из тех слоев почвы, которые являются доступными

для нее. Поэтому становится понятным, что качественно высеять семена в теплые, влажные и кислородосодержащие слои почвы – это только половина задачи, обеспечивающая будущему растению оптимальный физический режим. Вторая, и не менее важная задача, состоит в том, чтобы обеспечить растение питательными веществами. А это достигается только совокупным оптимальным размещением семян и удобрений.

Таким образом, качественная заделка семян и удобрений при посеве является важнейшей задачей, успешное решение которой обеспечивает оптимальные условия в начальных фазах вегетации растений и тем самым закладывает основу будущего урожая возделываемой культуры. Тепло, свет, воздух, вода, микроорганизмы, другие физические и химические факторы каждый в своем диапазоне создают многомерное пространство условий роста и развития растений. Численные значения этих условий в оптимальных диапазонах для каждой конкретной культуры сформулированы агрономической наукой.

Опыт ведения механизированного сельского хозяйства показал, что контролировать или регулировать технологические процессы машин по непосредственным показателям (свет, вода, воздух и т. д.), регламентированным агрономической наукой, не представляется возможным. В этой связи общепринятой во всем мире является разработка агротехнических требований, которые, будучи косвенными показателями качества технологических операций машин, являются по сути инженерным и экономико-математическим отражением условий внешней среды для развития растений.

Одна из важнейших задач при разработке агротехнических требований состоит в определении оптимальных и допустимых сочетаний пределов условий роста, развития растений и функционирования рабочих органов машин. Как показывает практика, диапазон показателей работы машин не всегда достаточно точно «накладывается» на оптимальные пределы условий для растений.

Отсюда следует важный вывод: в системе «растение – машина» по каждой технологической операции необходимо стремиться к наиболее приемлемому сочетанию допустимых условий. Такой подход получил в практике название компромиссного оптимума.

Условиями внешней среды для растений в начальные периоды развития являются, прежде всего, почвенные условия. Косвенные показатели этих условий определены физико-механическими и технологическими свойствами почвы, к которым, в частности, относятся степень крошения, удельное сопротивление при обработке. По отношению к



рабочим органам машин важное значение имеют величины коэффициента трения пары «поверхность – почва», упругость, пластичность, липкость почвы. Технологические трудности здесь состоят в том, что упомянутые свойства почвы претерпевают изменчивость в зависимости от ее состояния, и в частности, от влажности.

Увеличение абсолютной влажности почвы до 25...27 % повышает способность семян к прорастанию и обеспечивает большую доступность питательных веществ. С другой стороны, при увеличении влажности почвы повышаются значения показателей трения и липкости, которые с технологической точки зрения играют отрицательную роль.

Математическая обработка результатов экспериментальных исследований по определению технологических свойств почв, проведенных авторами данной работы совместно со специалистами Кировоградского НПО «Почвопосевмаш», показала, что в реальном размахе влажности почвы ее фрикционные свойства достаточно точно могут быть описаны квадратным трехчленом:

$$f = aw^2 + bw + c, \quad (1.20)$$

где  $f$  – коэффициент трения почвы о рабочую поверхность;

$w$  – абсолютная влажность почвы, %.

При этом коэффициент при квадратичном члене так же, как и свободный член, для всех почв является величиной отрицательной. Так, для суглинистой и песчаной почв средней степной части Украины уравнения соответственно имеют следующий вид:

$$f_1 = -0,0012w^2 + 0,0675w - 0,2749; \quad (1.21, a)$$

$$f_2 = -0,0011w^2 + 0,0671w - 0,4308, \quad (1.21, б)$$

а для супесчаной почвы восточной зоны Беларуси

$$f_3 = -0,0011w^2 + 0,673w - 0,3415. \quad (1.21, в)$$

Подстановка в правые части уравнений (1.21, а, 1.21, б, 1.21, в) абсолютных влажностей в диапазоне 20...40 % позволила установить, что по мере увеличения влажности до определенного предела коэффициент трения возрастает, а далее убывает. Это объясняется тем, что при дальнейшем увеличении в почве содержания влаги последняя играет роль смазки.

Следует отметить, что согласно приведенным уравнениям максимальное значение коэффициента трения песчаной почвы приходится на  $w_1 = 30,5$  %, супесчаной почвы – на  $w_2 = 29,3$  %, суглинистой – на  $w_3 = 28,1$  %.

Таким образом, агрономические требования растений и технологические возможности почвообрабатывающих рабочих органов входят в противоречие соответственно по условиям внешней среды и функцио-

нирования. Поэтому при совершенствовании технологий и разработке новых рабочих органов для заделки семян и удобрений следует учитывать, что все технологические операции сошников могут выполняться в узком диапазоне технологических условий: между нижней границей агрономических возможностей растений и верхней границей технологических возможностей поверхностей рабочих органов.

Анализ биологических потребностей растений с учетом опыта практической агрономии показывает, что полноценное семя способно быстро прорасти и обеспечить основу мощного растения, если в процессе посева и в начальные периоды вегетации оно (а впоследствии его корневая система) локально получит все необходимые физические и химические факторы развития. Многообразие этих факторов может быть сформулировано в форме интегральных требований, определяющих критерии качества технологических операций почвообрабатывающих рабочих органов, и в частности, сошников для заделки семян и удобрений.

Комплексный подход к процессу возделывания сельскохозяйственных культур в подсистеме «почва – растение» позволил разработать схемы технологических операций заделывающих рабочих органов по биологическим и агротехническим критериям с разбивкой по трем периодам: до посева, в процессе посева и после посева (табл. 1.12).

Отдельно следует остановиться на обеспечении растений питательными веществами, поскольку от этого в конечном счете зависит продуктивность и урожайность культуры.

Качественная укладка и заделка семян являются необходимым, но не достаточным условием обеспечения растений питательными веществами. Последнее может быть достигнуто при условии качественного и своевременного размещения в почве удобрений.

Т а б л и ц а. 1.12. **Схема технологических операций подготовки почвы**

| Период    | Операция                                                                    | Биологические потребности                         | Агротехнические требования                                                     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | 2                                                                           | 3                                                 | 4                                                                              |
| До посева | Предпосевная подготовка почвы:<br>рыхление<br><br>уплотнение (прикатывание) | Аэрация<br><br>Формирование влагосодержащего слоя | Состав почвенных агрегатов по размерам, %<br>Плотность почвы (отдельных слоев) |

| 1               | 2                                                                                                                                                                                                                  | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Во время посева | <p>Посев: подготовка почвы в зоне сошника для укладки семян и удобрений: уплотнение</p> <p>рыхление</p> <p>отвод комков</p> <p>Образование борозды, укладка семян и удобрений</p> <p>Заделка семян и удобрений</p> | <p>Влажное дно борозды для семени</p> <p>Способствование проникновению тепла</p> <p>Проникновение будущих корней в почвенные структуры</p> <p>Влага, тепло, воздух, невысыхающий слой почвы, питательные вещества</p> <p>Длительное (20...30 дней) локальное сохранение сформированных физических и химических режимов</p> | <p>Твердость семенного ложа</p> <p>Крошение почвы на комки по размерам</p> <p>Обеспечение структурности почвы</p> <p>Укладка семян и удобрений на плотное влажное дно борозды</p> <p>Углубление (вдавливание) семян в дно борозды: укрывка семян и удобрений влажной почвой, засыпка борозды рыхлой почвой; уплотнение почвы, создание мульчированного слоя; засыпка борозды с образованием гребня; частичное уплотнение</p> |
| После посева    | <p>Послепосевное выравнивание почвы</p> <p>Послепосевное уплотнение (прикатывание) почвы</p> <p>Сплошное рыхление почвы</p>                                                                                        | <p>Выравнивание потенциальных возможностей в удовлетворении потребностей каждого растения в физических и химических факторах жизнедеятельности</p> <p>Подтягивание почвенной влаги к посевному слою почвы</p> <p>Последующее влагоудержание</p>                                                                            | <p>Применение нивелирующих приспособлений</p> <p>Применение прикатывающих катков</p> <p>Рабочие органы для сплошного рыхления почвы (поверхностное)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Исследования, проведенные в последние годы, свидетельствуют о том, что весьма эффективным является ленточное допосевное или припосевное внесение основной дозы минеральных удобрений. При этом основные критерии качества заделки удобрений состоят в следующем:

- заделка во влажную почву для обеспечения растворения в воде питательных веществ;
- оптимальное размещение относительно корневой системы будущих растений, что достигается почвенной прослойкой между семенами и удобрениями в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- создание оптимальной плотности почвы в зоне заделки туков для обеспечения инфильтрационного пропитывания тех слоев, где размещена корневая система;
- формирование оптимальной ширины ленты удобрений для обеспечения биологически обоснованной площади питания растений;
- равномерное распределение с регламентированными числовыми характеристиками законов распределения туков по ширине ленты удобрений и глубине ее залегания;
- создание уплотненного слоя почвы над лентой минеральных удобрений;
- создание над уплотненным слоем почвы рыхлого мульчированного слоя.

Перечисленные критерии качества укладки и заделки минеральных удобрений являются, с одной стороны, фрагментом карты технологических операций, выполняемых туковыми сошниками почвообрабатывающих и посевных машин, а с другой, определяют технические параметры бороздообразующих и боковых поверхностей сошников, а также опорных элементов, к которым относятся пятки и уплотнители. Данные критерии являются исходными данными для разработки дополнительных элементов и устройств, таких, как отражатели, рыхлители, выравниватели.

Таким образом, технические параметры зерновых и туковых сошников, а также их отдельных элементов определены агротехническими требованиями, которые, в свою очередь, являются инженерным и экономико-математическим представлением биологических потребностей растений.

Многообразие этих потребностей и различие в почвенно-климатических условиях зон возделывания культуры приводит к необходимости разработки новых и совершенствования существующих технологий внесения удобрений и посева, а также создания новых рабочих органов или их элементов для реализации этих технологий.

## 1.18. Технологические образования бороздок и распределение семян двухдисковыми сошниками с углами атаки

На рис. 1.63 приведены схемы бороздообразования шести двухдисковых сошников с различными углами атаки дисков. Тенденция создания посевных машин направлена на повышение их производительности и сокращения сроков посева зерновых и других сельскохозяйственных культур.

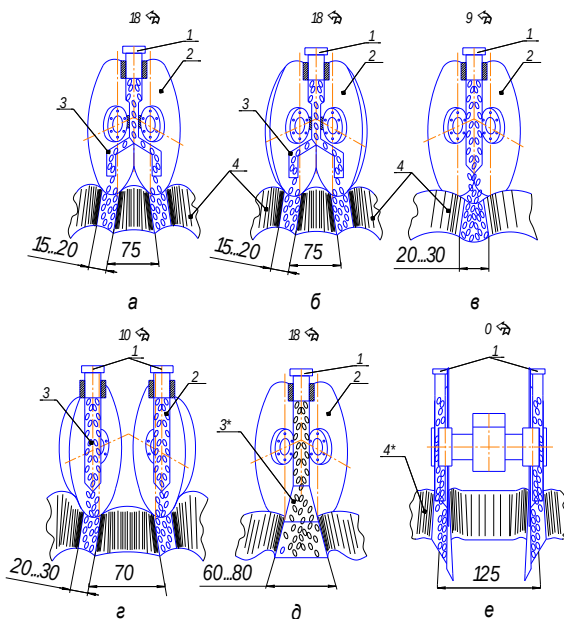


Рис. 1.63. Схемы образования бороздок и распределения семян двухдисковыми сошниками:

- а* – двухдисковый узкорядный сошник с междурядьем 75 мм с углом атаки 18°;  
*б* – двухдисковый узкорядный сошник с коническими дисками с междурядьем 75 мм и углом атаки 18°; *в* – двухдисковый узкорядный сошник с коническими дисками с междурядьем 75 мм и углом атаки 18°; *г* – двухдисковый сошник овощной сеялки СО-4,2 с ограничительными ребрами с междурядьем 70 мм и углом атаки 10°; *д* – двухдисковый широкополосный сошник с междурядьем 150 мм, шириной полосы рассева семян 60...80 мм и углом атаки 18°; *е* – двухдисковый сошник (макетный образец) с междурядьем 125 мм и углом атаки дисков 0°;  
 1 – семянаправитель; 2 – плоские диски двухдисковых сошников; 3 – делитель семян;  
 3\* – обрезиненный распределитель семян; 4 – почва, отбрасываемая двухдисковыми сошниками; 4\* – гребень почвы, образованный макетным образцом двухдискового сошника с нулевым углом атаки дисков

Производительность посевного агрегата зависит от ширины захвата и скорости движения. Увеличение ширины захвата посевных машин для хозяйств нашей республики практически исчерпано 6...8 метрами. В северо-восточной части республики, Могилевской и Витебской областей, наиболее оптимальны шестиметровые посевные агрегаты. В настоящее время агротехническими требованиями для посевных машин рекомендуемая скорость их движения установлена в размере 2,5...3 м/с (до 10 км/ч). Такая скорость рекомендуется из-за конструкций дисковых сошников, которые хорошо работают на любых типах почв, в том числе мульчированных. Однако существующие двухдисковые сошники имеют определенный угол атаки дисков для наилучшего формирования бороздок и распределения в них семян, например, зерновых культур (см. рис. 1.63).

Эти углы атаки дисков находятся в пределах 9...18° для осуществления широкорядных и узкорядных посевов, как правило, 15 или 7,5 см. В настоящее время в республике используются импортные и отечественные посевные машины с двухдисковыми сошниками для посева зерновых культур с междурядьем 12,5 см и уменьшенным углом атаки дисков. Это осуществляется с целью уменьшения отброса почвы в сторону от дисков сошников и забрасывания ею соседних рядков семян. Огромным резервом увеличения производительности посевных машин и сокращения сроков посева является скорость. Однако с повышением скорости увеличивается отброс почвы с забрасыванием ею соседних рядков, что приводит к нарушению глубины заделки семян зерновых культур. Двухдисковые сошники имеют и другие существенные недостатки.

Известные двухдисковые сошники с плоскими дисками с углами атаки 9° и 18° для узкорядного и широкорядного посева семян имеют следующие недостатки:

- разрушают уплотненный слой почвы для семян, образованный различными конструкциями катков в составе комбинированных почвообрабатывающих и почвообрабатывающе-посевных агрегатов;
- расстановка на сеялках и почвообрабатывающе-посевных агрегатах осуществляется, как правило, в два ряда, что значительно увеличивает их длину;
- ухудшают равномерность заделки семян по глубине за счет наличия углов атаки дисков и забрасывания почвой соседних рядков;
- не образуют уплотненного ложа для семян;
- увеличивают тяговое сопротивление посевных агрегатов за счет перемещения и отбрасывания в сторону значительной массы почвы;

- имеют повышенную металлоемкость;
- для образования уплотненного ложа для семян требуют установки на двухдисковые сошники дополнительных приспособлений с опорно-прикатывающими катками;
- не осуществляют качественно технологический процесс посева семян на высоких скоростях, более 3 м/с.

На рис. 1.63, *а* [4] приведена технологическая схема бороздообразования двухдисковым сошником для ускоряющего посева семян зерновых культур с междурядьем 75 мм и углом атаки дисков  $18^\circ$ . На рис. 1.63, *б* [5] представлен двухдисковый сошник А. А. Точицкого с коническими дисками. С помощью конических дисков уплотняется дно бороздки, на которую укладываются семена. На рис. 1.63, *в* показан двухдисковый ускоряющий сошник, осуществляющий образование междурядья шириной 150 мм. На рис. 1.63, *г* [6] показан двухдисковый сошник овощной сеялки СО-4,2 с раздвигающимися ребрами. С помощью реборд осуществляется постоянная глубина хода дисков, раскрывающих бороздки для семян, что гарантирует заданную глубину их посева. На рис. 1.63, *д* [7] указан двухдисковый сошник В. В. Гайдукова, у которого семянаправитель заканчивается прорезиненным распределителем семян. С помощью этого распределителя между дисками выравнивается дно бороздки и семена размещаются лентой с шириной 60...80 мм, которые прикатываются обрезиненным каточком, присоединенным к корпусу сошника и расположенным между дисками. Каточек обеспечивает прикатывание семян и поддерживает заданную глубину посева семян. На рис. 1.63, *е* [8] представлен макетный образец двухдискового сошника с нулевым углом атаки дисков с симметричными усеченно-конусными ребрами, за которыми размещены семянаправители. Реборды формируют две бороздки уплотненным дном и ограничивают определенную глубину размещения семян.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХДИСКОВОГО СОШНИКА С ОДНОСТОРОННИМИ РЕБОРДАМИ- БОРОЗДООБРАЗОВАТЕЛЯМИ ДЛЯ ПОСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

### 2.1. Взаимодействие бороздообразующих элементов и опорных поверхностей сошников с почвой

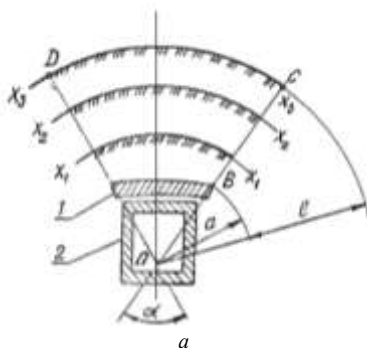
При взаимодействии рабочих поверхностей сошников с почвой происходит как разрыхление, так и уплотнение ее отдельных слоев. Во втором случае в процессе движения рабочего органа возникает зона повышенного давления, имеющая форму факела.

Рассмотрим характер изменения уплотненности почвы в зоне функционирования сошника. Если считать, что исследуется слой почвы, расположенный на расстоянии  $R$  от рабочей поверхности, то все почвенные частицы, удаленные от поверхности на это расстояние, образуют сферическую поверхность, площадь которой, как известно, определяется формулой

$$S_{\text{ш}} = 4\pi R^2. \quad (2.1)$$

В реальных условиях функционирования факел воздействия ограничивается только поверхностью шарового сегмента, а радиус сферы не совпадает с расстоянием от поверхности (рис. 2.1).

Как видно из рис. 2.1,  $a$ , линии  $x_1-x_1$ ,  $x_2-x_2$ ,  $x_3-x_3$  эквидистантны друг от друга, являются горизонтальными сечениями шаровых сегментов, а усредненное значение усилий на поверхностях этих сегментов определено их расстоянием от рабочей поверхности.





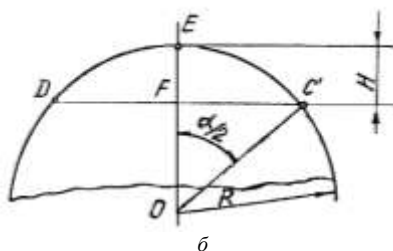


Рис. 2.1. Определение параметров плотности почвы  
в зоне повышенного давления:  $a$  – горизонтальное сечение факела;  
 $\delta$  – схема к расчету показателей: 1 – поверхность сошника;  
2 – тукопровод (семяпровод)

В соответствии со схемой (рис. 2.1, б) площадь  $S_c$  шарового сегмента определяется следующим выражением:

$$S_c = 2\pi RH, \quad (2.2)$$

где  $H$  – расстояние, отсекаемое секущей плоскостью, образующей сегмент.

Из  $\triangle OFC'$  следует (рис. 2.1, б), что

$$OF = OC \cos(\alpha/2), \quad (2.3)$$

где  $\alpha$  – телесный угол, определяющий границы шарового сегмента.

Поскольку  $H = EF$ , а  $OE = OC' = R$ , то

$$H = R - R \cos(\alpha/2) = R(1 - \cos(\alpha/2)). \quad (2.4)$$

Учитывая, что радиус в данном случае, кроме расстояния до рабочей поверхности, определен еще параметром  $\alpha$ , то можно записать

$$H = (\alpha + \ell) \cdot (1 - \cos(\alpha/2)). \quad (2.5)$$

Подстановка выражения (2.5) в (2.2) с учетом того, что  $R = \alpha + l$ , позволяет записать:

$$S_c = 2\pi(\alpha + \ell)^2(1 - \cos(\alpha/2)). \quad (2.6)$$

Отсюда можно найти усредненное давление  $P_{cp}$ , оказываемое на слой почвы, расположенный на расстоянии  $l$  от рабочей поверхности:

$$P_{cp} = F/2\pi(\alpha + l)^2 \cdot (1 - \cos(\alpha/2)), \quad (2.7)$$

где  $F$  – суммарная реакция всего факела.

На рис. 2.2 показана теоретическая зависимость усредненного давления в почвенном слое от угла факела повышенного давления, а на рис. 2.3 – от расстояния до взаимодействующей поверхности (здесь

$L = a + l$ , а усредненное давление измеряется в долях суммарной реакции всего факела).

Как видно из рисунков, и с увеличением телесного угла факела, и с повышением расстояния от взаимодействующей поверхности показатели уплотненности почвенных слоев резко падают. Это связано с тем, что в обоих рассмотренных случаях увеличивается общая площадь передачи усилия при неизменном самом усилии (реакции).

Как известно, для обеспечения заданного уровня уплотненности почвы, и следовательно, увеличения количества капилляров на единицу объема необходимо выбрать такое оптимальное расстояние между сошниками на сеялке, при котором обеспечивается перекрытие зон заданной плотности, созданных соседними сошниками (рис. 2.4). Как видно из рис. 2.4, перекрытие зон заданной уплотненности равно  $H$ . Однако уменьшение этой глубины до  $H_1$  обеспечивает возможность уменьшения телесного угла факела.

Действительно, из  $\Delta OKC_1$  следует, что  $OC_1 = OK/\sin(\alpha/2)$ . Кроме того,  $OC_1 = R$ , а  $OK = B/2$  ( $B$  – расстояние между сошниками). Поэтому можно записать:

$$R = B/2 \sin(\alpha/2). \quad (2.8)$$

Подстановка уравнения (2.8) в правую часть равенства (2.3) позволяет получить

$$H_1 = B(1 - \cos(\alpha/2))/2\sin(\alpha/2). \quad (2.9)$$

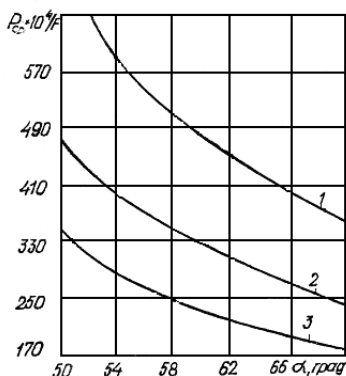


Рис. 2.2. Зависимость усредненного давления в почвенном слое от угла факела:  
1 – 5 см; 2 – 6 см; 3 – 7 см

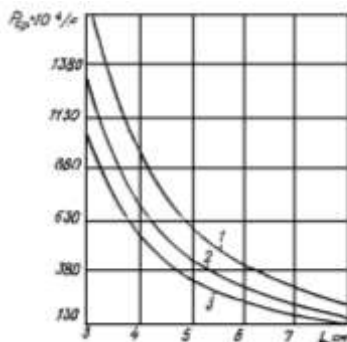


Рис. 2.3. Зависимость усредненного давления в почвенном слое от удаленности рабочей поверхности:  
1 –  $\alpha = 54^\circ$ ; 2 –  $\alpha = 62^\circ$ ; 3 –  $\alpha = 70^\circ$

Очевидно, площадь кругового сегмента в этом случае выразится как

$$S_c = \pi B^2 (1 - \cos(\alpha/2)) / 2 \sin^2(\alpha/2). \quad (2.10)$$

Тогда усредненное давление на границе зоны перекрытия почвенных факелов соседних сошников может быть определено по выражению

$$P_{cp} \geq 2F \sin^2(\alpha/2) / \pi B^2 (1 - \cos(\alpha/2)). \quad (2.11)$$

Из неравенства (2.9) следует, что оптимальное расстояние между сошниками в ряду, обеспечивающее заданное агропотребованием давление ( $P_{cp}$ ), определяется из выражения

$$B_{opt} \leq \sin(\alpha/2) \sqrt{2F / \pi [P_{cp}] (1 - \cos(\alpha/2))}. \quad (2.12)$$

Как показывают расчеты по формуле (2.12) и графики зависимости  $B_{opt}$  от  $L$ , оптимальное расстояние между сошниками в ряду по критерию уплотнения почвы при увеличении телесного угла факела с  $50^\circ$  до  $70^\circ$  падает всего на 2,3 % (рис. 2.5). Здесь

$$K = \sqrt{2 / \pi [P_{cp}]} , \quad (2.13)$$

а  $B_{opt}$  соответственно измеряется в долях величины  $K$ .

В то же время при изменении заданного давления от 0,6 до 1,6 кг/см<sup>2</sup> оптимальное значение расстояния между сошниками уменьшается при прочих равных условиях на 39 % (рис. 2.6). Здесь

$$Z = \sin(\alpha/2) \sqrt{2F / \pi (1 - \cos(\alpha/2))}, \quad (2.14)$$

а  $B_{opt}$  соответственно измеряется в долях величины  $Z$ .

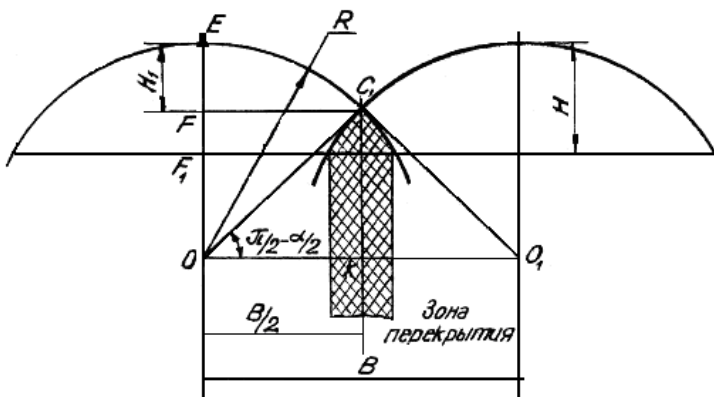


Рис. 2.4. Схема к определению оптимального расстояния между сошниками

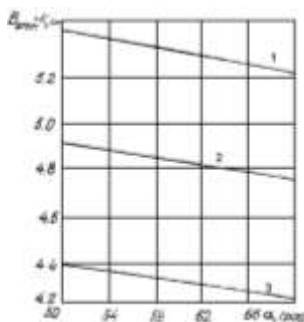


Рис. 2.5. Влияние телесного угла факела на оптимальное расстояние между сошниками:  
1— $F = 15,0$  кг; 2— $F = 12,5$  кг; 3— $F = 10,0$  кг

Для граничного случая неравенства (2.14) проведем преобразование:

$$B_{\text{опт}}^2 = \pi [P_{\text{ср}}] (1 - \cos(\alpha/2)) = 2F \sin^2(\alpha/2). \quad (2.15)$$

Введем обозначение

$$\alpha = \pi B_{\text{опт}}^2 [P_{\text{ср}}]. \quad (2.16)$$

С учетом этого после некоторых алгебраических преобразований получаем

$$\cos \alpha/2 = (a \pm \sqrt{a^2 - 8F(f - 2F)})/4F. \quad (2.17)$$

Как видно, под радикалом в правой части уравнения (2.17) стоит полный квадрат разности величин  $a$  и  $4F$ . Поэтому уравнение (2.16) тождественно двум равенствам:

$$\cos (\alpha_1/2) = 1; \quad (2.18, a)$$

$$\cos (\alpha_2/2) = (a - 2F)/2F. \quad (2.18, б)$$

Очевидно равенство (2.18,а) физического смысла не имеет, так как условие  $L_1 = 0$  не может быть выполнено. Поэтому параметры поверхности сошника следует подбирать исходя из уравнения (2.18, б).

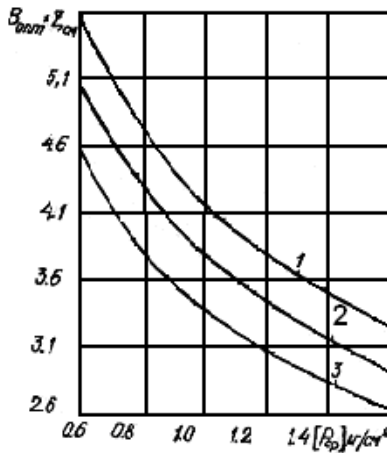


Рис. 2.6. Влияние заданного давления в почвенном слое на оптимальное расстояние между сошниками при  $L = 54^\circ$ : 1 –  $F = 150$  кг; 2 –  $F = 12,5$  кг; 3 –  $F = 10,0$  кг

Вернемся к физическому осмыслению процесса взаимодействия рабочей поверхности сошника с почвой. В любом случае должно выполняться условие  $0 < \alpha_2 < 180^\circ$ . Это значит, что величина  $\cos (L_2/2)$  охватывает всю область определения этой функции. Отсюда с учетом правой части (2.18, б) приходим к следующим неравенствам:

$$(a - 2F)/2F > 0; \quad (2.19, a)$$

$$(a - 2F) / 2F < 1. \quad (2.19, б)$$

Поскольку величина  $F$  всегда положительна, то из выражения (2.19, а) следует, что

$$a > 2F, \quad (2.20)$$

а из (2.19,б), что

$$a < 4F. \quad (2.21)$$

После некоторых преобразований с учетом правой части (2.16) получим:

$$B_{\text{опт}} > \sqrt{2F/\pi[P_{\text{ср}}]}; \quad (2.22)$$

$$B_{\text{опт}} < 2\sqrt{F/\pi P_{\text{ср}}}. \quad (2.23)$$

Введем обозначение:

$$\rho = \sqrt{F/\pi[P_{\text{ср}}]}. \quad (2.24)$$

Как видим, эта величина является характеристикой как почвы, так и рабочей поверхности, так как показывает соотношение между суммарной реакцией поверхности  $F$  и усредненным давлением  $[P_{\text{ср}}]$ . Отсюда следует, что

$$\sqrt{2\rho} < B_{\text{опт}} < 2\rho. \quad (2.25)$$

Таким образом, оптимальное расстояние между сошниками в ряду может быть выбрано из определенного довольно узкого интервала.

Подстановка реальных численных значений в правые части уравнений (2.17) и (2.18) показывает, что для обеспечения оптимальной уплотненности почвенных слоев расстояние между сошниками должно быть меньше, чем это возможно по условиям проходимости сеялки. Следовательно, как зерновые, так и туковые сошники необходимо расставлять в несколько рядов.

Силовые и энергетические показатели бороздообразующих и опорных поверхностей сошников определяются как качеством собственно поверхностей, так и формой, определяемой углами. Кроме того, многочисленными опытами установлено, что в процессе функционирования сошников или других почвообрабатывающих рабочих органов перед поверхностью образовывается тело повышенного давления, а разрушение почвенного пласта происходит по поверхностям скольжения, образующих тело скольжения [49]. Форма тела скольжения зависит от свойств почвы, а также формы поверхности сошника (рис. 2.7).

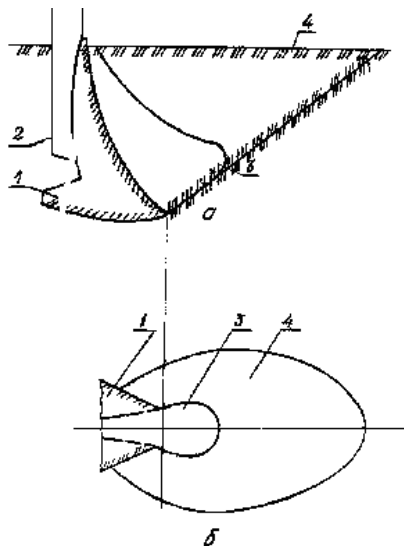


Рис. 2.7. Сдвиг почвенного пласта сошником:  
 а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – наральник;  
 2 – тукопровод; 3 – уплотненный слой;  
 4 – тело скольжения

Выделяют два уровня качества, различающиеся в процессе образования борозды: с образованием тела повышенного давления (уплотненного слоя почвы) и без образования такового. В первом случае скольжение происходит по границе «почва–почва», во втором – «почва – рабочая поверхность». В первом случае сумма всех приложенных сил ко всем поверхностям тела скольжения в каждый конкретный момент времени равна сумме реактивных сил, возникающих на поверхности тела повышенного давления. Это можно записать следующим образом:

$$\sum_{i=1}^m \iint F_{nd} \delta_{i_1} = \sum_{j=1}^m \iint [x \cos(n, x) + Y \cos(n, y) + Z \cos(n, z)] d\delta_{z_j}, \quad (2.26)$$

где  $m$  – количество поверхностей тела повышенного давления;

$\delta_{i_1}$  – поверхности тела повышенного давления;

$F$  – вектор элементарной (в точке) реакции поверхности тела повышенного давления;

$n$  – единичный вектор нормали в этой точке;

$d$  – количество поверхностей скольжения в теле скольжения;

$\delta_{2_i}$  – поверхности тела скольжения;

$x, y, z$  – непрерывные функции координат, являющиеся проекциями вектора элементарной реакции.

Аналогичное уравнение имеет место и во втором случае, только здесь интегрируется элементарная реакция по отдельным поверхностям рабочей поверхности.

Анализ выражения (2.26) показывает, что для аналитического определения усилий, действующих на сошник со стороны почвы, или для оценки воздействия рабочих поверхностей на почву, необходимо знать вектор элементарной реакции в каждой точке поверхности. Последний, как следует из правой части уравнения (2.26), определяется как физико-механическими и технологическими свойствами почвы (величины  $x, y$  и  $z$ ), так и геометрическими параметрами взаимодействующей поверхности (величины  $\cos(n, x), \cos(n, y), \cos(n, z)$ ).

Рассмотрим процесс взаимодействия в конкретной точке поверхности (рис. 2.8). Как следует из рис. 2.8,  $b$ , нормальная составляющая определяется из выражения

$$N = E_0 + E_p, \quad (2.27)$$

где  $E_0 = E_0(Z)$  – статистическая составляющая реакции почвы, зависящая от вертикальной координаты (глубины)  $Z$ ;

$E_p = E(v, \eta)$  – динамическая составляющая реакции почвы, зависящая от поступательной скорости  $v$  рабочей поверхности и направления (угол  $\eta$ ) вектора поступательной скорости по отношению к нормали.

В частном случае имеет место соотношение

$$\eta = \cos(n, x). \quad (2.28)$$

Последнее справедливо для наральных рабочих органов, когда  $v=v_x$  (абсолютная скорость проецируется на ось в натуральную величину).

В общем случае, например, для дисковых сошников справедливо соотношение (рис. 2.8), а скорость в этом случае определяется как  $v=v(x, y, z)$ .

$$\eta = \cos(n, p). \quad (2.29)$$



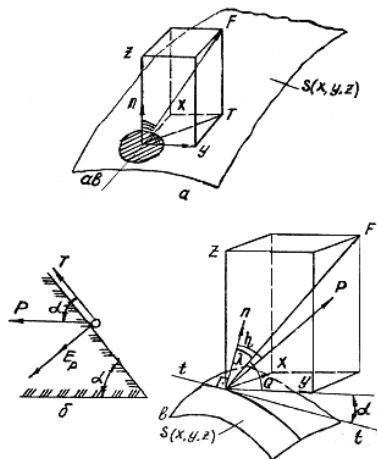


Рис. 2.8. Взаимодействие рабочей поверхности с почвой:  
 $a$  – частный случай (вектор нормали вертикален);  
 $b$  – сечение рабочей поверхности;  $\theta$  – общий случай

Известно, что [50]

$$E_p = \rho \cos \eta = \rho v^2 \cos \eta, \quad (2.30)$$

где  $P$  – величина динамического напора;

$\rho$  – плотность (удельный вес) почвы.

Учитывая, что сила трения  $T$  определяется выражением

$$T = N \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.31)$$

где  $\varphi$  – угол трения, можно записать

$$T = (E_0 + \rho v^2 \cos \eta) \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.32)$$

Направление вектора  $F$  элементарной реакции составляет угол  $\Theta$  с касательной  $t$  к поверхности, вдоль которой движется почва, и угол  $\lambda$  с нормалью в этой же точке (рис. 2.9).

Поэтому можно записать:

$$F = (E_0 + \rho v^2 \cos \eta) \operatorname{tg} \varphi / \cos \Theta. \quad (2.33)$$

С другой стороны,

$$F = (E_0 + \rho v^2 \cos \eta) / \cos \lambda. \quad (2.34)$$

Сопоставление левых и правых частей равенств (2.33) и (2.34) приводит к соотношению

$$\Theta = \arccos (\cos \lambda \operatorname{tg} \varphi). \quad (2.35)$$

Анализ уравнения (2.35) позволяет сделать вывод о том, что направление скольжения почвы по рабочей поверхности сошника опре-

деляется углом  $\Theta$  и зависит от двух углов: угла между скоростью «набегания» почвы на поверхность и нормалью к поверхности и угла трения. Знание двух этих углов, а также динамического напора почвенной массы позволяет в каждой точке поверхности идентифицировать вектор элементарной реакции.

Параметры технологических операций сошника, а также его энергетические показатели определяются интегральным усилием, действующим со стороны почвы.

Найдем проекции вектора элементарной реакции на декартовы оси координат (рис. 2.8, в):

$$X = N \cos(n, x) + T \cos(t, x); \quad (2.36)$$

$$Y = N \cos(n, y) + T \cos(t, y); \quad (2.37)$$

$$Z = N \cos(n, z) + T \cos(t, z). \quad (2.38)$$

С учетом выражения (2.30) и (2.32) уравнения (2.36) – (2.38) имеют следующий вид:

$$X = (E_0 + \rho v^2 \cos \eta) \cos(n, x) + tg \varphi \cos(t, x); \quad (2.39)$$

$$Y = (E_0 + \rho v^2 \cos \eta) \cos(n, y) + tg \varphi \cos(t, y); \quad (2.40)$$

$$Z = (E_0 + \rho v^2 \cos \eta) \cos(n, z) + tg \varphi \cos(t, z). \quad (2.41)$$

Для определения реакций конкретных рабочих органов, например туковых наральников сошников, установленных на S-образных стойках, необходимо идентифицировать величину  $\eta$ . Известно, что этот угол для поверхностей сошников может быть вычислен по формуле

$$\eta = \arctg(tg \alpha \cos \beta), \quad (2.42)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – углы, характеризующие рабочую поверхность в точке соответственно в продольно- и поперечно-вертикальной плоскостях (рис. 2.9).

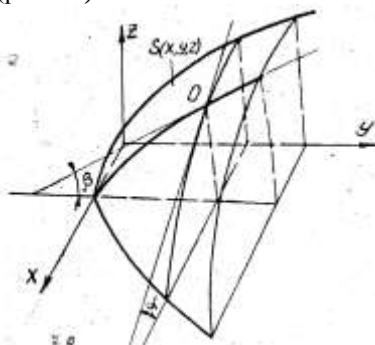


Рис. 2.9. Определение характеристических углов рабочей поверхности сошника

Поскольку рабочая поверхность  $S(x, y, z)$  представляет собой функцию нескольких переменных, то углы  $\alpha$  и  $\beta$  этой поверхности, образованные касательными к поверхности и продольной и поперечной секущим плоскостям, можно определить по следующим формулам:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\partial S(x, y, z)}{\partial x}; \quad (2.43)$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{\partial S(x, y, z)}{\partial y}. \quad (2.44)$$

Учитывая, что

$$\cos \beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{(\partial S(x, y, z))^2}{\partial y^2}}}, \quad (2.45)$$

можно записать выражение для  $\eta$  следующей формуле:

$$\eta = \operatorname{arctg} \frac{\partial S(x, y, z)}{\partial x} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial S(x, y, z)}{\partial y}\right)^2}}. \quad (2.46)$$

Подстановка правой части выражения (2.46) в уравнения (2.39) – (2.41) и дальнейшее интегрирование составляющих по аналогии с выражением (2.26) позволяют полностью идентифицировать силовые характеристики исследуемого сошника.

В частности, тяговое сопротивление  $F_T$  можно определить интегрированием величины  $X$  по проекции поверхности на плоскость  $YO_2$ :

$$F_T = \iint (E_0 \rho v^2 \cos \eta) (\cos(n, x) + \operatorname{tg} \varphi (\cos(t, x))) dy dz + P_0(S, M) \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.47)$$

где  $P_0(S, M)$  – усилие на опорную поверхность сошника, зависящее от рабочей поверхности  $S$  и механизма навески  $M$ , а  $\eta$  определяется выражением (2.46).

Боковая составляющая реакции  $F_6$  имеет среднее значение, отличное от нуля для несимметричных (например, однодисковых) сошников или для двухдисковых с разными диаметрами дисков. В последнем случае она определяется следующим выражением:

$$F_{\delta} = \iint_{\delta_{x,y}^A} (E_0 + \rho v^2 \cos \eta)(\cos(n, y) + \operatorname{tg} \varphi(t, y)) d_x d_z - \\ - \iint_{\delta_{x,z}^n} (E_0 + \rho v^2 \cos \eta)(\cos(n, y)) + \operatorname{tg} \varphi(\cos(t, y)) d_x d_z, \quad (2.48)$$

где  $\delta_{x,z}^A$  и  $\delta_{x,z}^n$  – области интегрирования соответственно по левому и правому дискам.

Положительное значение величины, вычисленное на основе выражения (2.48), свидетельствует о направленности боковой составляющей слева направо (левый диск большего диаметра), а отрицательное значение – справа налево.

Что касается вертикальной составляющей реакции, то полное ее значение в среднем равно нулю. Это обусловлено компенсацией динамического напора почвы на рабочую поверхность упругим элементом механизма навески и усилием на опорную поверхность.

Сама составляющая  $F_v$  от динамического напора может быть определена из выражения

$$F_v = \iint_{\partial_{x,y}} (E_0 + \rho v^2 \cos \eta)(\cos(n, z) + \operatorname{tg} \varphi(t, z)) d_x d_z. \quad (2.49)$$

Проведенный анализ позволяет сделать ряд выборов: рабочая поверхность сошника должна обеспечивать минимизацию или полное исключение тела повышенного давления в процессе образования борозды. Это связано с тем, что форма тела повышенного давления во многом является неопределенной, что не позволяет контролировать, а тем более прогнозировать углы, характеризующие процесс взаимодействия.

В результате управлять процессом бороздообразования не представляется возможным. Кроме того, при образовании тела повышенного давления имеет место скольжение почвы по почве, что приводит к возрастанию сил трения и энергозатрат на перемещение сошника.

Результаты проведенного теоретического исследования свидетельствуют также о том, что знание геометрических характеристик поверхности сошника позволяет оценить распределение элементарных реакций почвы по сечению образуемой сошником борозды и тем самым найти количественные оценки производных показателей технологических операций: неравномерность глубины заделки семян и удобрений; распределение минеральных удобрений в ленте; уплотне-

ние над лентой минеральных удобрений (при наличии прикатывающих катков); энергетические показатели.

## 2.2. Определение уравнения траекторий движения двухдискового сошника

Двухдисковый сошник с коническими ребрами-бороздообразователями представляет собой комбинацию плоского диска радиуса  $R_1$  и ребры в виде усеченного конуса с радиусом основания  $R$  и высоты  $b$  (рис. 2.10).

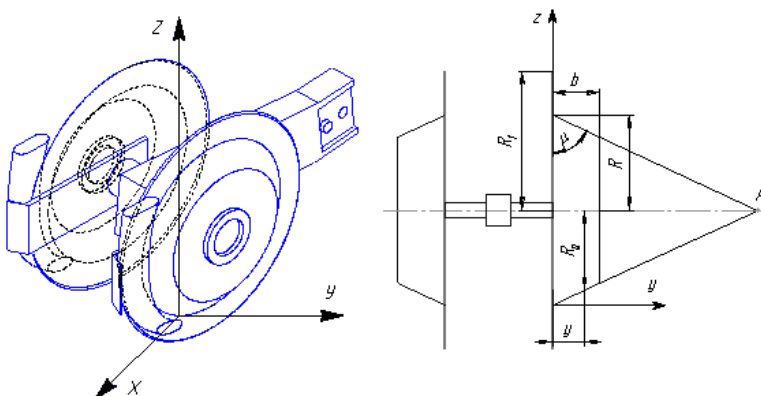


Рис. 2.10. Схема дискового сошника с ребрами-бороздообразователями

Угол между основанием ребры и образующей конуса обозначим через  $\mu$ . Систему координат выберем в соответствии с рис. 2.10, чтобы направление скорости движения совпадало с осью  $OX$ . Радиус сечения ребры на расстоянии  $y$  от основания обозначим через  $r$ . Очевидно, что

$$R = R - y \cdot \operatorname{ctg} \mu. \quad (2.50)$$

Выведем уравнение усеченного конуса ребры-бороздообразователя в выбранной системе координат. Конус есть линейчатая поверхность, образованная прямыми, проходящими через фиксированную точку  $A$  (вершину) и точку, лежащую на направляющей линии. В на-

шем случае это окружность основания реборды. Точка А имеет координаты:  $A(O; R \cdot \operatorname{tg} \mu; R)$ .

Окружность основания реборды-бороздообразователя:  $x^2 + (z-R)^2 = R^2$  запишем в параметрической форме:

$$x = R \cdot \sin \Theta; \quad y = 0; \quad z = R - R \cdot \cos \Theta, \quad 0 \leq \Theta \leq 2\pi, \quad (2.51)$$

где  $\Theta$  – угол между осью  $OX$  и радиус-вектором точки окружности, град.

Запишем уравнение прямой, проходящей через две точки: А и точку окружности:

$$\frac{x-0}{R \cdot \sin \Theta} = \frac{y-R \cdot \operatorname{tg} \mu}{0-R \cdot \operatorname{tg} \mu} = \frac{z-R}{R-R \cdot \cos \Theta - R}. \quad (2.52)$$

Освободимся от параметра:

$$x = \frac{R-y \cdot \operatorname{ctg} \mu}{R} R \cdot \sin \Theta; \quad z-R = -\frac{R-y \cdot \operatorname{ctg} \mu}{R} R \cdot \cos \Theta \quad (2.53)$$

Возводя в квадрат и складывая, получим

$$x^2 + (z-R)^2 - (R-y \cdot \operatorname{ctg} \mu)^2 = 0. \quad (2.54)$$

Получим теперь уравнения траекторий точек катящегося диска с ребордой радиуса  $r$ .

На рис. 2.11 изображен диск с ребордой, движущийся с поступательной скоростью  $v$  по направлению оси  $OX$ . Рассмотрим точку А, занимавшую в начальный момент времени  $t = 0$  крайнее нижнее положение. За время  $t$  она переместится вправо на расстояние  $vt$ . Но за время  $t$  диск с ребордой повернется на угол  $\Theta = \omega t$ , где  $\omega$  – угловая скорость вращения. Поэтому за время  $t$  точка А сместится влево на величину  $r \cdot \sin \Theta$ . Следовательно, в момент  $t$  координата  $X$  точки А будет:

$$x = vt - r \cdot \sin \omega t. \quad (2.55)$$

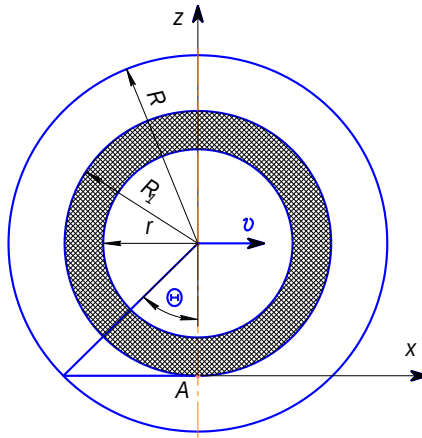


Рис. 2.11. Схема для вывода уравнений траекторий дискового сошника с конической ребордой

Из рис. 2.11 видно, что

$$z = R - r \cdot \cos \omega t. \quad (2.56)$$

Так как диск с ребордой вращается в вертикальной плоскости, то значение  $y$  постоянно: для диска  $y = 0$ , для сечений реборды  $y$  постоянно, но не больше  $b$ .

Предположим, что основание реборды радиуса  $R$  катится без скольжения и буксования. Тогда  $v = R\omega$ . Поэтому уравнение траектории точек реборды радиуса  $r$  имеет следующий вид:

$$\begin{cases} x = R \cdot \omega t - r \cdot \sin \omega t \\ y = \text{const}; \\ z = R - r \cdot \cos \omega t \end{cases} \quad (2.57)$$

Если  $r < R$ , то точки конической части реборды вращаются со скольжением, если  $r > R$ , то с буксованием. Из выражения (2.55) получаем проекции скорости точек:

$$\begin{cases} x = \omega R - r \cdot \cos \omega t; \\ y = 0; \\ z = \omega \cdot r \cdot \sin \omega t. \end{cases} \quad (2.58)$$

В нижней точке касания с почвой скорость по оси ОХ равна  $\omega(R - r)$ . При  $r = R$  скорость равна нулю, т. е. эта точка является мгновенным центром вращения. При  $r < R$  скорость положительна и это характеризует скольжение реборды. При  $r > R$  скорость отрицательна, т. е. нижняя точка движется в обратном направлении.

Согласно теории академика В. А. Желиговского [51], предельная глубина бороздки  $h_{пр}$ , при которой на кромке диска отсутствуют точки, скользящие по почве, определяется соотношением

$$h_{пр} = 2r \cdot \sin^2 \varphi_0, \quad (2.59)$$

где  $r$  – радиус реборды, мм;

$\varphi_0$  – угол трения диска по почве, град.

Обычно для сошников используются реборды, для которых  $2r \leq 300 \text{ мм} = 0,3 \text{ м}$ .

Угол трения  $\varphi_0$  для большинства почв Беларуси колеблется в границах  $20^\circ < \varphi_0 < 40^\circ$ . Тогда при  $\varphi_0 = 40^\circ$ ,  $\sin \varphi_0 = 0,64$ ,  $2r = 0,3 \text{ м}$ , предельная глубина  $h_{пр} = 0,124 \text{ м}$ . При  $\varphi_0 = 20^\circ$  и  $2r = 0,3 \text{ м}$ ,  $h_{пр} = 0,035 \text{ м}$ . Поскольку желательная глубина бороздки составляет  $0,02 \dots 0,04 \text{ м}$ , приемлем предположение, что основание реборды-бороздообразователя, имеющее радиус  $R$ , движется без скольжения.

### **2.3. Обоснование угла между нормалью к реборде и направлением скорости**

При взаимодействии диска с ребордой и почвой важное значение имеет угол  $\psi$  между абсолютной скоростью и нормалью к конической поверхности реборды [52, 53]. Считается, что если этот угол меньше угла трения почвы о сталь реборды, то почва сминается по направлению скорости, если больше, то почва скользит.



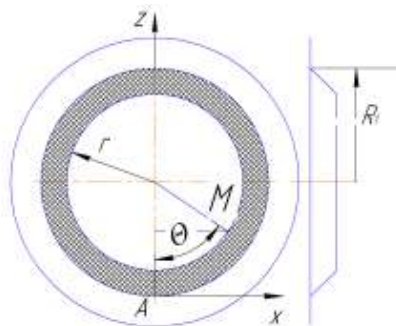


Рис. 2.12. Схема усеченно-конусной реборды для расчета вектора нормали двухдискового сошника

Для получения вектора нормали к реборде получим ее параметрические уравнения. С этой целью проведем сечение реборды плоскостью  $y = \text{const}$ . В сечении получим окружность с центром в точке О радиуса  $r = R - y \cdot \text{tg} \mu$ . На этой окружности выберем произвольную точку М. Если обозначить через  $\Theta$  угол АОМ, то очевидно (рис. 2.12), что

$$x = r \cdot \sin \Theta, y = (R - r) \text{tg} \mu, z = R - r \cdot \cos \Theta. \quad (2.60)$$

Это и есть параметрические уравнения реборды с параметрами  $r$  и  $\Theta$ .

Вектор нормали к поверхности определяется как векторное произведение векторов  $\frac{\partial x}{\partial r}, \frac{\partial y}{\partial r}, \frac{\partial z}{\partial r}, \dots, \frac{\partial x}{\partial \Theta}, \frac{\partial y}{\partial \Theta}, \frac{\partial z}{\partial \Theta}$ .

Находим:

$$\frac{\partial x}{\partial r} = \sin \Theta, \frac{\partial y}{\partial r} = -\text{tg} \mu, \frac{\partial z}{\partial r} = -\cos \Theta, \dots, \frac{\partial x}{\partial \Theta} = r \cos \Theta, \frac{\partial y}{\partial \Theta} = 0, \frac{\partial z}{\partial \Theta} = r \sin \Theta.$$

Векторное произведение подсчитывается через определитель:

$$\bar{N}_p = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \sin \Theta & -\text{tg} \mu & -\cos \Theta \\ r \cdot \cos \Theta & 0 & r \cdot \sin \Theta \end{vmatrix}.$$

Раскрывая по первой строке, получим:

$$\vec{N}_p = i \left( r \cdot \sin \Theta \cdot \operatorname{tg} \mu + j \left( r \cdot \sin^2 \Theta - r \cdot \cos^2 \Theta \right) + k \left( 2 \cos \Theta \cdot \operatorname{tg} \mu \right) \right).$$

Чтобы найти единичный вектор нормали к реборде  $\vec{N}_p$ , вычислим длину  $\vec{N}_p$  или норму  $|\vec{N}_p|$ :

$$|\vec{N}_p| = \sqrt{r^2 \sin^2 \Theta \cdot \operatorname{tg}^2 \mu + r^2 + r^2 \cos^2 \Theta \cdot \operatorname{tg}^2 \mu} = r \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \mu} = \frac{r}{\cos \mu}. \quad (2.61)$$

Тогда единичный вектор нормали будет:

$$\vec{n}_p = \left( \sin \Theta \cdot \sin \mu - \cos \mu - \cos \Theta \cdot \sin \mu \right). \quad (2.62)$$

Вектор скорости был найден ранее по формуле (2.9). В этих формулах  $\omega t$  – угол поворота реборды. С углом  $\Theta$  на рис. 2.2 он связан формулой

$$\Theta = 2\pi - \omega t; \omega t = 2\pi - \Theta. \quad (2.63)$$

Поэтому

$$x = \omega(R - r \cdot \cos \Theta); y = 0; z = -r \cdot \omega \cdot \sin \Theta. \quad (2.64)$$

Модуль вектора скорости равен:

$$|\vec{v}| = \omega \sqrt{R^2 + r^2 \cos^2 \Theta - 2r \cdot R \cdot \cos \Theta + r^2 \sin^2 \Theta} = \omega R \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cdot \cos \Theta}, \quad (2.65)$$

где  $\lambda$  – кинематический параметр,  $\lambda = r/R$ . Он равен отношению окружной скорости  $\omega r$  к поступательной  $v = \omega R$ .

Делением выражения (2.22) на  $|\vec{v}|$  получим единичный вектор скорости:

$$\vec{v}^0 = \frac{1 - \lambda \cos \Theta}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cdot \cos \Theta}}; 0; \frac{-\lambda \sin \Theta}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cdot \cos \Theta}}. \quad (2.66)$$

Косинус угла между единичными векторами равен их скалярному произведению:

$$\cos\psi = \frac{1 - \lambda \cos\Theta \sin\Theta \sin\mu + \lambda \sin\Theta \cos\Theta \sin\mu}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cdot \cos\Theta}},$$

или после упрощений

$$\cos\psi = \frac{\sin\Theta \sin\mu}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cdot \cos\Theta}}. \quad (2.67)$$

Для основания реборды  $r = R$  и  $\lambda = 1$ . Тогда

$$\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cdot \cos\Theta} = \sqrt{2(1 - \cos\Theta)} = \sqrt{4\sin^2 \frac{\Theta}{2}} = 2\sin \frac{\Theta}{2}.$$

Следовательно, для основания реборды

$$\cos\psi = \cos \frac{\Theta}{2} \sin \mu.$$

Если  $\mu = 90^\circ$  (прямая реборда), то  $\cos\psi = \cos \frac{\Theta}{2}$ , что совпадает с расчетом в книге В. В. Гуськова.[56].

Полученные формулы будут использованы при расчете сил сопротивления почвы сжатию.

## 2.4. Силы, действующие со стороны почвы на дисковый сошник с ребордами

Задача исследования движения сошника сводится к получению и анализу зависимостей между входными данными: радиус диска  $R_1$  и реборды  $R_2$ , угол скоса реборды  $\mu$ , ширина реборды  $b_R$ , скорость движения сошника  $v$ , давление на сошник  $F$  и выходными параметрами: глубина  $h$  и ширина  $b_B$  бороздки, тяговое усилие  $P$ , плотность дна бороздки. Эти зависимости можно получить путем расчета сил, действующих со стороны почвы на сошник, и составления баланса сил и моментов сил.

Поскольку движение реборды в почве аналогично движению жесткого колеса в деформируемой среде (теория колеи), прежде всего, возникает необходимость расчета усилий на сжатие почвы. Для зависимостей между нормальным напряжением сжатия  $\sigma$  и деформацией  $h$  используют одну из следующих формул:

$$\sigma = kh; \quad (2.68)$$

$$\sigma = \left( \frac{K_c}{b} + K_\varphi \right) h^v, v < 1; \quad (2.69)$$

$$\sigma = \sigma_0 \operatorname{th} \frac{K}{\sigma_0} h, \quad (2.70)$$

где  $k$  – коэффициент объемного смятия почвы,  $\text{Н/м}^3$ ;  
 $\sigma_0$  – предельная несущая способность почвы,  $\text{Н/м}^2$ ;  
 $K_c$  – коэффициент сцепления почвы,  $\text{Н/м}^{1+v}$ ;  
 $b$  – наименьший размер штампа, м;  
 $K_\varphi$  – коэффициент трения почвы,  $\text{Н/м}^{2+v}$ .

Формула (2.69) предложена Беккером [58]. Ее недостатком является то, что при малых  $h$  нормальное напряжение  $\sigma$  резко возрастает (рис. 2.13).

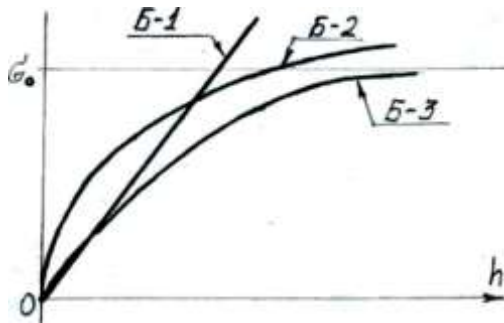


Рис. 2.13. Зависимость напряжения сжатия  $\sigma$  от глубины хода  $h$  дискового сошника с усеченно-конусной ребордой

Формула (2.70) предложена профессором Кадышным В. В. При малых  $h$  она дает значения  $\sigma$ , фактически совпадающие со значениями линейной формулы (2.68). Однако, если по формуле (2.68) с неограниченным ростом  $h$  и  $\sigma$  неограниченно растет, то по формуле (2.70) с ростом  $h$   $\sigma$  стремится к значению  $\sigma_0$ , т. е. при  $\sigma$ , близких к  $\sigma_0$ , деформация увеличивается почти без роста напряжения.

Это соответствует и физическим представлениям, и опытным данным. Однако формула (2.70) при подсчете суммарных усилий сжатия приводит к громоздким вычислениям и часто к таким интегралам, которые не выражаются через элементарные функции. Это заставляет использовать приближенные методы, например, разложение  $\text{th}(k/\sigma_0)h$  в ряд. Если при этом ограничиться первым членом, то это равносильно использованию формулы (2.68). Необходимо выяснить, до каких значений  $h$  допустимо использовать линейную формулу (2.68) вместо (2.70) и оценить возникающую погрешность.

Обозначим  $x = h \cdot k/\sigma_0$  и сравним формулы:  $y = x$  и  $y = \text{th}x$ .

Функция  $\text{th}x$  разлагается в ряд Маклорена в окрестности точки  $x = 0$  вида

$$\text{th}x = x - \frac{x^3}{3} + \frac{2}{15}x^5 - \dots \quad (2.71)$$

Известно, что при отбрасывании членов знакопередающегося ряда погрешность не превосходит величины первого отброшенного члена. Таким образом, если для вычисления  $\text{th}x$  используется только первый член ряда, то погрешность не превосходит  $x^3/3$ . Прямым расчетом проверим, до каких значений  $x$  допустимо вместо  $\text{th}x$  использовать  $x$ .

Выясним, какие значения может принимать  $x$  в реальных условиях при смятии почвы ведомым жестким колесом. По данным источника [55, с.46 (и далее)]

$$x = 4kr\left(\cos\frac{\alpha}{2} - \cos\frac{\alpha_0}{2}\right), \quad (2.72)$$

где  $\alpha_0$  – угол охвата опорной поверхности почвы,  $0 \leq \alpha \leq \alpha_0$ , град;

$r$  – радиус реборды, мм;

$k$  – коэффициент объемного смятия почвы.

Согласно данным табл. 1.2 [55, с. 14], отношение  $K/\sigma_0$  практически для всех видов почв не превосходит 1 и лишь в трех случаях принимает значения не более 1,6. Выражение в скобках достигает максимального значения при  $\alpha = 0$ . Таким образом, значение  $x$  не превосходит величину  $4r(1 - \cos(\alpha_0/2))$ .

Из рис. 2.14 видно, что  $\cos\alpha_0 = (r-h)/r$ , где  $h$  – глубина бороздки, мм.

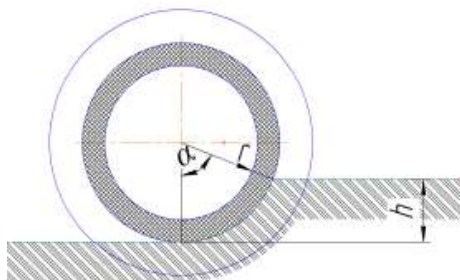


Рис. 2.14. Схема для определения угла охвата поверхности почвы дисковым сошником с конической ребордой

Предположим (весьма маловероятное для диска сошника), что  $h = r/2$ . Это значит, что  $\alpha_0 = 60^\circ$ , т. е.  $\cos \alpha_0/2 = \cos 30^\circ \approx 0,86$ .

Тогда  $4r(1 - \cos(\alpha_0/2)) \leq 0,56r$ .

Для сошников обычно  $r \leq 0,15$  м. Следовательно, даже для высказанных условий ( $\alpha_0 = 60^\circ$ ,  $h = r/2$ ) значение  $x$  не превосходит величины  $0,56 \cdot 0,15 = 0,084$  м. Замена  $thx$  на  $x$  дает погрешность не более 0,5%. Это обосновывает возможность использования линейной формулы (2.68) для расчета воздействий почвы на сошник при смятии почвы.

## 2.5. Сопротивление почвы сжатию ребордой-бороздообразователем

При определении сопротивления почвы сжатию усеченно-конусной ребордой используем модель образования колеи жестким ведомым колесом, которая изложена в [55, 56].

Элементарная реакция почвы  $dR$ , приложенная в центре площадки  $dA$ , перпендикулярной к направлению движения почвы (деформации), пропорциональна нормальному напряжению  $\sigma$  и величине площадки  $dA$ :

$$dR_c = \sigma \cdot dA.$$

Нормальное напряжение почвы подчиняется закону, выраженному формулой

$$\sigma = \sigma_0 \operatorname{th} \frac{k}{\sigma_0} \nu,$$

где  $\nu$  – величина деформации;

$\sigma_0$  – предел прочности почвы;

$k$  – коэффициент объемного смятия почвы.

Выражение для  $\nu$  получим из [68]:

$$\nu = 4\Gamma \left( \cos \frac{\Theta}{2} - \cos \frac{\Theta_0}{2} \right), \quad (2.73)$$

где  $\Theta_0$  – угол охвата почвы ребордой, град.

Ранее мы показали, что для реальных условий работы сошника можно заменить  $\operatorname{th} \frac{k}{\sigma_0} \nu$  величиной  $\frac{k}{\sigma_0} \nu$  с погрешностью, не превышающей 2 %. Тогда

$$\sigma = 4\Gamma k \left( \cos \frac{\Theta}{2} - \cos \frac{\Theta_0}{2} \right). \quad (2.74)$$

Поскольку напряжение сжатия направлено по нормали к поверхности контакта реборды и почвы, необходимо эту величину умножить на  $\cos \psi$  (2.67). Однако, пользуясь малой шириной реборды, примем этот угол таким, как у основания, т. е.  $\cos \psi = \sin \mu \cdot \cos(\Theta/2)$ .

Остается умножить на элемент поверхности контакта. Как известно из геометрии, элемент поверхности определяется по формуле

$$dA = \sqrt{N_{px}^2 + N_{py}^2 + N_{pz}^2} dr d\theta = |\bar{N}_p| dr d\theta = \frac{r}{\cos \mu} dr d\theta. \quad (2.75)$$

Поэтому

$$dR = 4\Gamma K \cos \frac{\theta}{2} \left( \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{\theta_0}{2} \right) \frac{r dr d\theta}{\cos \mu}. \quad (2.76)$$

Для получения проекций на оси координат достаточно умножить это выражение на координаты единичного вектора нормали, т. е. на-

правляющие косинусы и проектировать по  $\Theta$  в пределах  $0 \leq \Theta \leq \Theta_0$  и по  $r$  в пределах

$$R - b \cdot \operatorname{ctg} \mu \leq r \leq R.$$

Введем безразмерный параметр  $\lambda = r/R$ . Тогда  $r = \lambda R$ ,  $dr = R \cdot d\lambda$ .

$$dR = 4K \operatorname{tg} \mu K^2 \cos \frac{\theta}{2} \left( \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{\theta_0}{2} \right) \lambda d\lambda d\theta.$$

Получим

$$R_x = -4KR^3 \frac{\sin^2 \mu}{\cos \mu} \int_{1-b_0}^1 \lambda^2 d\lambda \int_0^{\theta_0} \cos \frac{\theta}{2} \left( \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{\theta_0}{2} \right) \sin \theta d\theta; \quad (2.77)$$

$$R_y = -4KR^3 \sin \mu \int_{1-b_0}^1 \lambda^2 d\lambda \int_0^{\theta_0} \cos \frac{\theta}{2} \left( \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{\theta_0}{2} \right) d\theta; \quad (2.78)$$

$$R_z = -4KR^3 \frac{\sin^2 \mu}{\cos \mu} \int_{1-b_0}^1 \lambda^2 d\lambda \int_0^{\theta_0} \cos \frac{\theta}{2} \left( \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{\theta_0}{2} \right) \sin \theta d\theta; \quad (2.79)$$

$$b_0 = b \cdot \operatorname{ctg} \mu / R.$$

Обратимся к вычислению первого интеграла. Обозначив

$$I_x = \int_0^{\theta_0} \cos \frac{\theta}{2} \left( \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{\theta_0}{2} \right) \sin \theta d\theta \text{ и учитывая, что: } \sin \theta = 2 \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \text{ и } d\left(\cos \frac{\theta}{2}\right) = -\frac{1}{2} \sin \frac{\theta}{2} d\theta, \text{ получим:}$$

$$I_x = 1 + \frac{1}{3} \cos^4 \frac{\theta_0}{2} - \frac{4}{3} \cos \frac{\theta_0}{2}. \quad (2.80)$$

Так как

$$\cos \theta_0 = \frac{r-h}{r} = \frac{\lambda - h_0}{\lambda} = 1 - \frac{h_0}{\lambda},$$

то

$$\cos \frac{\theta_0}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \theta_0}{2}} = \sqrt{1 - \frac{h_0}{\lambda}}, h_0 = \frac{h}{R}.$$

Вычисление интеграла по  $\lambda$  приводит к очень громоздким выражениям. Поэтому воспользуемся приближенным вычислением интеграла, используя теорему о среднем значении функции:

$$\int_a^b f(x) dx = \bar{f} (b-a). \quad (2.81)$$



Среднее значение функции  $f$  равно ее значению в некоторой промежуточной точке  $x_0$ . Эту точку можно представить в следующем виде:

$$x_0 = b - k(b - a), \quad (2.82)$$

где  $0 \leq k \leq 1$  – неизвестное число.

У нас  $a = 1 - b_0$ ,  $a = b = 1$ , т. е.  $x_0 = 1 - kb_0$ .

Величина  $k$  подбирается на компьютере из условия минимального расхождения значений интеграла, подсчитанного по точной формуле и по теореме о среднем.

Для вычисления  $R_x$  оказалось, что при  $k = 0,5$  расхождение составляет не более 0,5 %. Таким образом,

$$R_{cx} = -4kR^3 \frac{\sin^2 \mu}{\cos \mu} b_0 \left(1 + \frac{1}{3} \left(1 - \frac{h_0}{2(1-0,5b_0)}\right)^2 - \frac{4}{3} \sqrt{1 - \frac{h_0}{2(1-0,5b_0)}}\right). \quad (2.83)$$

Аналогично вычисляются и  $R_{cy}$  и  $R_{cz}$ .

С учетом того, что  $b_0 = b \cdot \operatorname{ctg} \mu / R$  формулы принимают следующий вид:

$$R_{cx} = -4kR^2 \sin \mu b \left(1 + \frac{1}{3} \left(1 - \frac{h_0}{2 - b_0}\right)^2 - \frac{4}{3} \sqrt{1 - \frac{h_0}{2 - b_0}}\right); \quad (2.84)$$

$$R_{cy} = -2kR^2 \cos \mu b \left( \arccos \left(1 - \frac{h_0}{1 - 0,5b_0}\right) - \sqrt{1 - 0,5b_0} \left(2 - \frac{h_0}{1 - 0,5b_0}\right) \right); \quad (2.85)$$

$$R_{cz} = -kR^2 \sin \mu i \left( \arccos \left(1 - \frac{h_0}{1 - 0,5b_0}\right)^2 - \frac{1}{3} \sqrt{1 - 0,5b_0} \left(2 - \frac{h_0}{1 - 0,5b_0}\right) \left(3 - \frac{h_0}{1 - 0,5b_0}\right) \right). \quad (2.86)$$

Важно отметить, что формулы (2.43), (2.44), (2.45) работают при условии,  $b_0 \leq h_0$ . В противном случае часть конуса реборды не будет входить в почву, т. е. необходимо уменьшить  $b_0$  так, чтобы выполнялось условие  $b_0 \leq h_0$ .

## 2.6. Уравнение равновесия моментов сил, действующих на двухдисковый сошник с ребрами-бороздообразователями

В соответствии с законами механики равномерное движение сошника в почве осуществляется при выполнении следующих условий:

- 1) равенство нулю равнодействующей активных и реактивных сил, действующих на сошник;
- 2) равенство нулю момента этих сил относительно шарнира сцепления.

На сошник действуют следующие силы (рис. 2.15):

- активные:

$G$  – вертикальная нагрузка  $H$ :  $G = G_c + G_n$ , где  $G_c$  – вес сошника,

$G_n$  – давление пружины,

$F$  – горизонтальная сила тяги,  $H$ ;

- реактивные:

$Z$  – вертикальная составляющая сил сопротивления,  $H$ ;

$X$  – горизонтальная составляющая сил сопротивления,  $H$ .

Равенство  $G = Z$  следует из определения глубины  $h$ , равенство  $X = F$  из определения силы тяги.

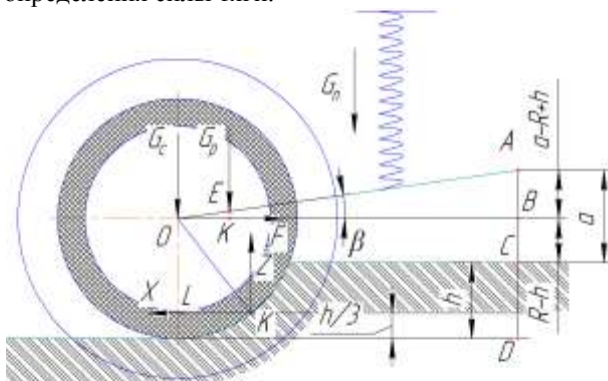


Рис. 2.15. Схема сил, действующих на сошник и точки их приложения

Выведем обозначения:  $C$  – расстояние от сошника до места крепления его к поводку:  $OA = C$ ;

$C_p$  – расстояние от места крепления  $A$  до пружины:  $AE = C_p$ ;  $a$  – высота места крепления над уровнем почвы  $B$ . Определим плечи сил. Плечо силы  $G_c$  равно  $OB$ . Из  $\triangle OAB$  найдем:  $PG_c = OB = \sqrt{C^2 - (a - R + h)^2}$ . Если ввести угол  $\beta$ , то

$$\sin\beta = \frac{a - R + h}{c}, \text{ а } OB = C \cdot \cos\beta = c \sqrt{1 - \frac{(a - R + h)^2}{c^2}}.$$

Плечо силы  $G_p$  находим аналогично:  $CO \cos\beta$ , т. е.

$$P_{Gp} = C_p \sqrt{1 - \frac{(a - R + h)^2}{c^2}}. \quad (2.87)$$

Обозначим величины плеч буквами  $P$  со значком силы. Так  $P_F$  – плечо силы тяги,  $P_{Gc}$  – плечо веса сошника.

Из рис. 2.15 видно, что плечо силы  $X$  равно  $P_x = a + 2/3h$ .

Плечо силы  $Z$  меньше  $PG_c$  на отрезок  $LK$ . Этот отрезок найдем из  $\triangle OLK$ , где  $OK = R$ ,  $OL = R - h/3$ . Тогда

$$LK = \sqrt{R^2 - (R - h/3)^2} = \sqrt{h/3(2R - h/3)}. \quad (2.88)$$

Таким образом,

$$P_z = P_{Gc} - \sqrt{h/3(2R - h/3)}. \quad (2.89)$$

Плечо силы тяги  $P_F = a - R + h$ .

Уравнение равновесия моментов в принятых обозначениях запишется в следующем виде:

$$P_{Gc} G_c + P_{gp} G_p + P_F F = P_z Z + P_x X. \quad (2.90)$$

Выполнения этого равенства можно добиться подбором параметров сошника, например толщины реборды  $b$  или расстояния  $C_p$ . Так как  $C_p$  входит только в один член уравнения моментов (в  $PG_p G_p$ ), то можно получить выражение для  $C_p$ :

$$C_p = \frac{(P_z Z + P_{Gc} X - P_{Gc} G_c - P_F F)}{G_p \sqrt{1 - \frac{(a - R + h)^2}{c^2}}}. \quad (2.91)$$

Этим выражением без компьютера пользоваться затруднительно, так как выражение для  $Z$  и  $X$  очень громоздки.

## 2.7. Исследование трения экспериментального двухдискового сошника с усеченно-конусными ребордами о почву

Силу трения рабочих органов о почву, в том числе и сошников, обычно определяют по формуле

$$T_c = f \cdot N, \quad (2.92)$$

где  $f$  – безразмерный коэффициент трения;

$N$  – нормальная нагрузка на поверхности контакта почвы,  $N$ .

В нашем случае нагрузка  $N$  на поверхности контакта с почвой двухдискового сошника определяется силой сопротивления трению с составляющими  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  для двухдискового сошника с усеченно-конусными ребрами. Сила трения, действующая на сошник, имеет направление, противоположное скорости перемещения. В нашем случае скорости точек реборды и диска находятся в плоскости  $XOZ$ . Перпендикулярной к этой плоскости является составляющая  $R_y$  (рис. 2.16).

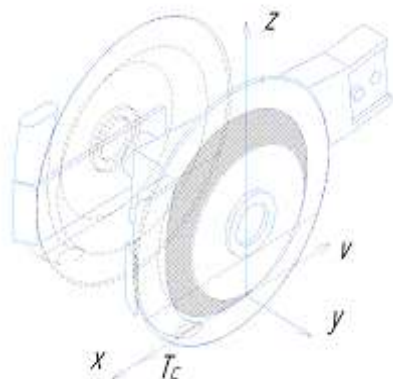


Рис. 2.16. Схема действия силы трения  $T_c$  на экспериментальный двухдисковый сошник с усеченно-конусными ребрами

Таким образом,

$$T_c = f \cdot R_y. \quad (2.93)$$

Используя для  $R_y$  формулу, которая определена ранее, получим для усеченно-конусных реборд двухдискового сошника формулу силы трения  $T_c$ :

$$T_p = \frac{f \cdot K \cdot R^2 \cdot \cos \mu \cdot \lambda_c^2 \cdot b \cdot \sqrt[3]{H_0}}{3}, \quad (2.94)$$

где  $K$  – коэффициент объемного смятия;

$H_0$  – среднее значение глубины бороздки, м.

При этом напомним, что

$$\lambda_{cp} = \frac{R_{cp}}{R} = \frac{R - \frac{1}{2}b \cdot \operatorname{ctg} \mu}{R}; \quad (2.95)$$

$$H_0 = \frac{h_\delta - \frac{1}{2} b \cdot \operatorname{ctgu}}{R_{\text{cp}}}, \quad (2.96)$$

где  $R_{\text{cp}}$  – средний радиус диска, м;

$R$  – радиус диска, м;

$h_\delta$  – глубина бороздки, м;

$b_p$  – ширина реборды, м;

$\mu$  – угол наклона реборды.

Чтобы найти вертикальную и горизонтальную составляющие силы трения, учтем, что сила трения направлена против скорости, т. е. направляющие косинусы силы трения с точностью до знака совпадают с направляющими косинусами скорости:

$$\cos(T_p, x) = -\frac{1 - \lambda_{\text{cp}} \cdot \cos\theta_2}{\sqrt{1 + \lambda_{\text{cp}}^2 - 2\lambda_{\text{cp}} \cdot \cos\theta}}; \quad (2.97)$$

$$\cos(T_p, y) = \frac{\lambda_{\text{cp}} \cdot \sin\theta}{\sqrt{1 + \lambda_{\text{cp}}^2 - 2\lambda_{\text{cp}} \cdot \cos\theta}}, \quad (2.98)$$

где  $T_p$  – сила трения реборды, Н;

$\theta$  – половина угла дуги охвата реборды почвой, град.

Используя гипотезу профессора Кубанского о том, что результирующие сил сопротивления приложены в середине дуги охвата реборды почвой, получим

$$\theta = \frac{\theta_0}{2}, \quad (2.99)$$

где  $\theta_0$  – угол дуги охвата реборды почвой, град.

Тогда получаем силы трения почвы с ребордой по оси  $OX$  –  $T_{xp}$  и по оси  $Z$  –  $OT_{zp}$ :

$$T_{xp} = -\frac{f \cdot K \cdot R^2 \cdot \cos\mu \cdot \lambda_c^2 \cdot b_p \cdot \sqrt[3]{H_0} \cdot \left(1 - \lambda_c \cos \frac{\theta_0}{2}\right)}{3 \cdot \sqrt{1 + \lambda_{\text{cp}}^2 - 2\lambda_{\text{cp}} \cdot \cos \frac{\theta_0}{2}}}; \quad (2.100)$$

$$T_{zp} = -\frac{f \cdot K \cdot R^2 \cdot \cos\mu \cdot \lambda_c^2 \cdot b_p \cdot \sqrt[3]{H_0} \cdot \lambda_c \sin \frac{\theta_0}{2}}{3 \cdot \sqrt{1 + \lambda_{\text{cp}}^2 - 2\lambda_{\text{cp}} \cdot \cos \frac{\theta_0}{2}}}. \quad (2.101)$$

Полученные формулы (2.100) и (2.101) очень громоздки. В дальнейшем мы заменим их более простыми, полученными на основе ме-

тогда наименьших квадратов (табл. 2.1), рассчитанных по вышеизложенной формуле (2.100).

Таблица 2.1. Зависимость силы трения сошника от глубины бороздки и ширины реборды

| h <sub>б</sub> , мм | T <sub>х</sub> , Н |       |       | T <sub>z</sub> , Н |       |        |
|---------------------|--------------------|-------|-------|--------------------|-------|--------|
|                     | b <sub>р</sub> , м |       |       | b <sub>р</sub> , м |       |        |
|                     | 0,01               | 0,02  | 0,03  | 0,01               | 0,02  | 0,03   |
| 3,0                 | 6,4                | 10,55 | 13,41 | 31,26              | 35,05 | —      |
| 3,5                 | 8,23               | 13,72 | 18,05 | 38,03              | 44,4  | —      |
| 4,0                 | 10,31              | 17,29 | 23,25 | 45,32              | 54,68 | 56,28  |
| 4,5                 | 12,66              | 21,29 | 29,02 | 53,12              | 65,82 | 69,75  |
| 5,0                 | 15,26              | 25,71 | 36,38 | 61,41              | 77,81 | 84,41  |
| 5,5                 | 18,15              | 30,58 | 42,36 | 70,19              | 90,61 | 100,24 |

Аналогично получаем формулы для составляющих силы трения под диском. Для плоского диска получаем составляющую силы трения по оси ОУ:

$$T_{yд} = -\frac{1}{3} K \cdot R^2 \cdot \cos \alpha \cdot \lambda_{сд}^2 \cdot b_{д} \cdot \sqrt[3]{H_{0д}}, \quad (2.102)$$

$$\lambda_{сд} = \frac{R_{сд}}{R} = \frac{R_{д} - \frac{1}{4} b_{д} \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R}; \quad (2.103)$$

$$H_{0д} = \frac{R_{сд} - R + h_{д}}{R_{сд}}, \quad (2.104)$$

где  $\lambda_{сд}$  – отношение среднего радиуса диска к радиусу диска, м;

$R_{сд}$  – средний радиус диска, м;

$h_{д}$  – глубина хода диска, м;

$b_{д}$  – толщина диска, м.

Тогда получим силы трения под диском

$$T_{хд} = -\frac{f \cdot K \cdot R^2 \cdot \cos \alpha \cdot \lambda_{сд} \cdot b_{д} \cdot \sqrt[3]{H_{0д}} \cdot \left(1 - \lambda_{сд} \cos \frac{\theta_{0д}}{2}\right)}{3 \cdot \sqrt{1 + \lambda_{сд}^2 - 2 \lambda_{сд} \cdot \cos \frac{\theta_{0д}}{2}}}; \quad (2.105)$$

$$T_{зд} = -\frac{f \cdot K \cdot R^2 \cdot \cos \alpha \cdot \lambda_{сд} \cdot b_{д} \cdot \sqrt[3]{H_{0д}} \cdot \lambda_{сд} \sin \frac{\theta_{0д}}{2}}{3 \cdot \sqrt{1 + \lambda_{сд}^2 - 2 \lambda_{сд} \cdot \cos \frac{\theta_{0д}}{2}}}, \quad (2.106)$$

где  $H_{0д}$  – среднее значение глубины бороздки, образованной диском, м.

Трение сошника складывается из трений под ребордой и под диском.

Сопротивление трения сошника не зависит от скорости. Характер его зависимости от глубины бороздки  $h_6$  и толщины реборды  $b_p$  показан на графиках (рис. 2.17, 2.18).

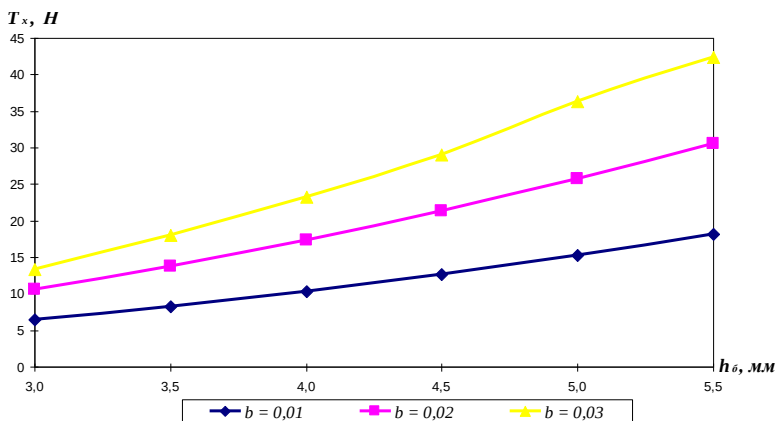


Рис. 2.17. Значения горизонтальной составляющей силы трения экспериментального двухдискового сошника  $T_x$  о почву по оси OX

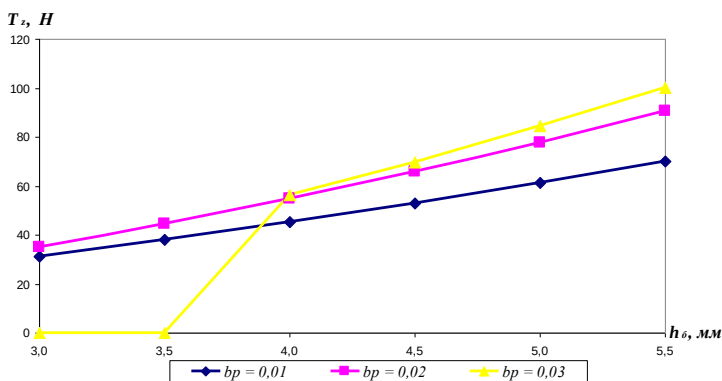


Рис. 2.18. Значения вертикальной составляющей силы трения экспериментального сошника  $T_z$  о почву по оси OZ

Графики построены расчетом силы трения по приведенным формулам с помощью программы Excel.

## 2.8. Определение динамического сопротивления двухдискового сошника с ребрами-бороздообразователями

Двигаясь в почве, элементы сошника приводят в движение прилегающие слои почвы, т. е. сообщают им некоторую кинетическую энергию. Этот процесс приводит к увеличению сопротивления почвы движению сошника. Зависимость сопротивления почвы от скорости движения сошника отмечают многие исследователи [49, 65, 69, 70]. Сопротивление, зависящее от скорости движения, обычно называют динамическим. Опытные данные, приводимые в исследованиях, показывают, что динамическое сопротивление зависит от скорости нелинейно, по характеру параболы.

Известны методы определения динамического сопротивления [49, 65, 70], основанные на применении закона сохранения количества движения. При этом предполагается, что скорость почвы меняется от 0 до скорости движения примыкающей точки сошника. Таким образом, динамическое сопротивление, приложенное к площадке  $dA$  контакта,

$$d\bar{F} = -\rho \sqrt{V} \sqrt{V} dA,$$

где  $\rho$  – плотность почвы,  $\text{кг/м}^3$ .

Схема дискового сошника с ребровой-бороздообразователем приведена на рис. 2.19.

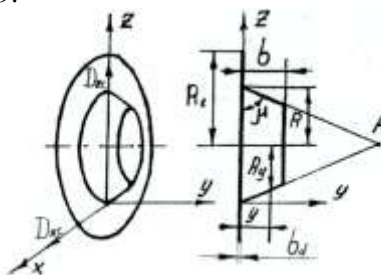


Рис. 2.19. Схема дискового сошника с ребровой-бороздообразователем

Так как скорость  $v$  точек сошника лежит в плоскости, параллельной  $ХОУ$ , составляющая динамического сопротивления по оси  $ОУ$  отсутствует.



Скорость точек сошника определяется по формулам [71]:

$$x = R\omega - r\omega \cos \theta = R\omega(1 - \cos \theta);$$

$$z = r\omega \sin \theta = R\omega \lambda \sin \theta.$$

Предположим, что движение основания реборды происходит без скольжения и буксования, т. е.  $R\omega = V_0$ , где  $v$  – скорость движения сошника.

Модуль скорости  $v$  определяется по формуле [71, с. 155]

$$|\vec{v}| = v_0 \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \theta}.$$

Элемент поверхности контакта

$$dA = r dr d\theta / \cos \mu = R^2 \lambda d\lambda d\theta / \cos \mu.$$

Таким образом, динамическое сопротивление под ребордой может быть вычислено по следующей формуле:

$$D_{xp} = -\frac{\rho V_0^2 R^2}{\cos \mu} \int_{1-b_0}^1 \lambda d\lambda \int_0^{\theta_0} \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \theta} (1 - \lambda \cos \theta) d\theta, \quad (2.107)$$

где  $D_{xp}$  – горизонтальная составляющая динамического сопротивления под ребордой.

$$D_{zp} = -\frac{\rho V_0^2 R^2}{\cos \mu} \int_{1-b_0}^1 \lambda^2 d\lambda \int_0^{\theta_0} \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \theta} \sin \theta d\theta, \quad (2.108)$$

где  $D_{zp}$  – вертикальная составляющая динамического сопротивления под ребордой.

Рассмотрим сначала вертикальную составляющую динамического сопротивления ( $D_z$ ). Внутренний интеграл заменой

$1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \theta = u^2$ ;  $2\lambda \sin \theta d\theta = 2u du$ ;  $\sin \theta d\theta = u du / \lambda$  приводится к следующему виду:

$$\begin{aligned} \int_0^{\theta_0} \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \theta} \sin \theta d\theta &= \frac{1}{\lambda} \int u^2 du = \\ &= \frac{u^3}{3\lambda} \Big|_0^{\theta_0} = \frac{1}{3\lambda} (\sqrt{(1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \theta_0)})^3 - \sqrt{(1 + \lambda^2 - 2\lambda^3)}). \end{aligned}$$

Поскольку  $\cos \theta_0 = 1 - h_0 / \lambda$ , то получаем:

$$\frac{1}{3\lambda}(\sqrt{(\lambda^2 - 1 + 2h_0)^3} - (1 - \lambda)^3) \cdot$$

При этом внешний интеграл принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{1}{3} \int_{1-b_0}^1 \lambda (\sqrt{(\lambda^2 - 1 + 2h_0)^3} - (1 - \lambda)^3) d\lambda &= \frac{1}{3} \int_{1-b_0}^1 \frac{1}{2} (\lambda^2 - 1 + 2h_0)^{\frac{3}{2}} d(\lambda^2 - 1 + 2h_0) - \\ &- \frac{1}{3} \int_{1-b_0}^1 \lambda (1 - \lambda)^3 d\lambda. \end{aligned}$$

Интеграл от второго члена будет содержать слагаемые типа  $(1 - \lambda)^4 / 4$  и  $(1 - \lambda)^5 / 20$ .

Так как разница  $1 - \lambda$  невелика (не более 0,3), то интегралом от второго члена пренебрегаем. Тогда для реборды сошника:

$$\begin{aligned} D_{zp} &= - \frac{\rho V_0^2 R^2}{\cos \mu} (\lambda^2 - 1 + 2h_0)^{\frac{5}{2}} \Big|_{1-b_0}^1 = \\ &= - \frac{\rho V_0^2 R^2}{\cos \mu} \frac{1}{15} ((2h_0)^{\frac{5}{2}} - (2h_0 - 2b_0 + b_0^2)^{\frac{5}{2}}). \end{aligned} \quad (2.109)$$

Если, как и при вычислении сопротивления на сжатие, использовать теорему о среднем значении функции, то получим

$$D_{zp} = - \frac{\rho V_0^2 R^2}{3 \cos \mu} b_0 \tilde{\lambda} (\sqrt{(\tilde{\lambda}^2 - 1 + 2h_0)^3} - \frac{b_0^3}{8}). \quad (2.110)$$

Здесь, как и ранее,  $\tilde{\lambda} = 1 - b_0/2$ . Членом  $b_0^3/8$  можно пренебречь ввиду его малого значения.

Если перейти от безразмерных к размерным переменным  $b_0 = \frac{b}{R} \operatorname{ctg} \mu$ ;  $h_0 = \frac{h}{R}$ ;  $\tilde{\lambda} = \frac{R - 0,5b \operatorname{ctg} \mu}{R}$  и ввести средний радиус  $R_c = R - 0,5b \operatorname{ctg} \mu$ , то получим

$$D_{zp} = - \frac{\rho V_0 R_0 b}{3 \sin \mu} \frac{\sqrt{(R_0^2 - R^2 + 2hR)^3}}{R^3}. \quad (2.111)$$

Поскольку диск мы рассматриваем как две реборды с углами  $\alpha$  (вместо  $\mu$ ) и шириной  $\frac{b_1}{2}$ , то все расчеты до формулы (2.109) остаются

в силе с заменой 1 на  $\lambda_0 = \frac{R_1}{R}$  и  $1 - b_0$  на  $\lambda_0 - 0,5b_0$  ( $b_0 = b \operatorname{ctg} \alpha / R$ ).

Вторым членом мы пренебрегаем не потому, что  $\lambda$  мало отличается от 1, а потому, что ввиду малого различия между пределами  $\lambda_0$  и  $\lambda_0 - 0,5b_0$ .

Итак, формула (3) для диска имеет следующий вид:

$$D_{zd} = -\frac{\rho v_0^2 R^2}{\cos \alpha} \frac{1}{15} ((\lambda_0^2 - 1 + 2h_0)^{\frac{5}{2}} - (\lambda_0 - \frac{1}{2}b_0)^2 - 1 + 2h_0)^{\frac{5}{2}}, \quad (2.112)$$

где  $D_{zd}$  – вертикальная составляющая динамического сопротивления под диском.

Более простой вид формула примет, если к интегралу применить теорему о среднем значении:

$$D_{zd} = -\frac{\rho v_0^2 R^2 b_{d0}}{3 \cos \alpha} (\lambda_0 - \frac{b_{d0}}{4}) \sqrt{(\lambda_0 - \frac{b_{d0}}{4})^2 - 1 + 2h_0}^3. \quad (2.113)$$

Переходя к размерным переменным, получим:

$$D_{zd} = -\frac{\rho v_0^2 R_{cl} b_d}{3 \sin \alpha} \cdot \frac{\sqrt{(R_{cl}^2 - R^2 + 2hR)^3}}{R^3}. \quad (2.114)$$

Изучим составляющую динамического сопротивления по оси ОХ. Здесь внутренний интеграл

$$F(\lambda) = \int_0^{\theta} \lambda \sqrt{1 + \lambda^2 - 2 \cos \theta \cos \phi - \lambda \cos \theta} d\theta$$

является эллиптическим [72, с. 197] и не выражается через элементарные функции. Поэтому интеграл был вычислен по формуле Симпсона с достаточной точностью при различных значениях  $\lambda$  (для реборды 0,7:λ:1). Анализ графиков зависимости интеграла от  $\lambda$  с помощью функции «точечная диаграмма» Excel показал, что достаточно принять эту зависимость линейной, так как интересующие нас значения  $\lambda$  группируются около точки  $\lambda=1$  функции  $F(\lambda)$ , разлагаясь в ряд Маклорена:

$$F(\lambda) = F(\lambda = 1) + F'_{\lambda}(\lambda = 1)(\lambda - 1) + \dots$$

Так как  $1 - \cos \theta = 2 \sin^2 \theta / 2$ , то

$$F(\lambda = 1) = \int_0^{\theta_0} \sqrt{2 - 2 \cos \theta (1 - \cos \theta)} d\theta = 4 \int_0^{\theta_0} \sin^3 \frac{\theta}{2} = 4 \int_0^{\theta_0} (1 - \cos^2 \frac{\theta}{2}) \sin \frac{\theta}{2} d\theta =$$

$$\left| \begin{array}{l} \cos \frac{\theta}{2} = u \\ -\frac{1}{2} \sin \frac{\theta}{2} d\theta = du \\ \sin \frac{\theta}{2} d\theta = -2du \end{array} \right| = 4 \int (1 - u^2)(-2du) = -8(u - \frac{1}{3}u^3) \Big|_0^{\theta_0}.$$

Так как  $\lambda = 1$ , то  $\cos \theta_0 = 1 - h_0$ ,  $\cos \frac{\theta_0}{2} = \sqrt{1 - \frac{h_0}{2}}$ , мы получаем

$$F(\lambda = 1) = -8(\cos \frac{\theta_0}{2} - \frac{1}{3} \cos^3 \frac{\theta_0}{2} - 1 + \frac{1}{3}) =$$

$$= -8(\cos \frac{\theta_0}{2} (1 - \frac{1}{3} \cos^2 \frac{\theta_0}{2}) - \frac{2}{3}) = \frac{16}{3} - 8\sqrt{1 - \frac{h_0}{2} (1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \frac{h_0}{2})} =$$

$$= \frac{16}{3} - 8\sqrt{1 - \frac{h_0}{2} (\frac{2}{3} + \frac{h_0}{6})}.$$

Упростим формулу, используя биномиальный ряд:

$$(1 + x)^m = 1 + mx + \frac{m(m-1)x^2}{2!} + \frac{m(m-1)(m-2)x^3}{3!} + \dots$$

Тогда 
$$\sqrt{1 - \frac{h_0}{2}} = (1 - \frac{h_0}{2})^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{h_0}{4} - \frac{h_0^2}{32} + \dots$$

Ограничиваясь членом  $h_0^2$ , получим

$$F(\lambda = 1) = \frac{16}{3} - 8(1 - \frac{h_0}{4} - \frac{h_0^2}{32} (\frac{2}{3} + \frac{h_0}{6})) = \frac{16}{3} - \frac{16}{3} - \frac{4}{3}h_0 +$$

$$+ \frac{h_0^2}{3} + \frac{h_0^3}{24} \approx \frac{h_0^2}{2}.$$

При отыскании  $F'_{\lambda}(\lambda = 1)$  придется дифференцировать интеграл, причем его верхний предел  $\theta_0$  тоже зависит от  $\lambda$ :

$$\theta_0 = \arccos \frac{1 - h_0}{\lambda}.$$

При дифференцировании использовалась формула дифференцирования интеграла по параметру [73, с. 58].

Получаем

$$\begin{aligned}
 F'_\lambda(\lambda) &= \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \theta} (\lambda - \lambda^2 \cos \theta) \frac{d\theta_0}{d\lambda} + \\
 &+ \int_0^{\theta_0} \left( \frac{2\lambda - 2\cos \theta}{2\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \theta}} (\lambda - \lambda^2 \cos \theta) + \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \theta} (1 - 2\lambda \cos \theta) \right) d\theta; \\
 F'_\lambda(\lambda = 1) &= 4\sin^3 \frac{\theta_0}{2} \frac{\frac{1 - h_0}{\lambda^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{1 - h_0}{\lambda}\right)^2}} \bigg|_{\lambda = 1} + \int_0^{\theta_0} \left( 2\sin^3 \frac{\theta}{2} + 2\sin \frac{\theta}{2} (1 - \cos \theta) \right) d\theta.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Так как } \sin \frac{\theta_0}{2} &= \sqrt{\frac{1 - 1 + h_0}{2}} = \sqrt{\frac{h_0}{2}} \text{ и} \\
 2 \int_0^{\theta_0} \sin \frac{\Theta}{2} (1 - \cos^2 \frac{\Theta}{2} + 1 - 4\cos^2 \frac{\Theta}{2} + 2) d\Theta &= \\
 = 2 \int_0^{\theta_0} (4 - 5\cos^2 \frac{\Theta}{2}) \sin \frac{\Theta}{2} d\Theta &= \left. -\frac{1}{2} \sin \frac{\Theta}{2} d\Theta = du \right|_{\substack{\cos \frac{\Theta}{2} = u \\ \sin \frac{\Theta}{2} d\Theta = -2d(\cos \frac{\Theta}{2})}} = \\
 = 2 \int (4 - 5u^2) (-2du) &= -4 \left( 4\cos \frac{\Theta}{2} - \frac{5}{3} \cos^3 \frac{\Theta}{2} \right) \bigg|_0^{\theta_0} = -\left( 16\cos \frac{\Theta_0}{2} - \frac{20}{3} \cos^3 \frac{\Theta_0}{2} - 16 + \frac{20}{3} \right) = \\
 = -\left( 1 - \frac{h_0}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \left( 16 - \frac{20}{3} \left( 1 - \frac{h_0}{2} \right) \right) + \frac{28}{3} &= -\left( 1 - \frac{h_0}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{28}{3} + \frac{10}{3} h_0 \right) + \frac{28}{3},
 \end{aligned}$$

то

$$F'_\lambda(\lambda = 1) = 4 \left( \frac{h_0}{2} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{1 - h_0}{\sqrt{h_0(2 - h_0)}} + \frac{28}{3} - \left( 1 - \frac{h_0}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{28}{3} + \frac{10}{3} h_0 \right).$$

В первом слагаемом вынесем в знаменателе из под-корня  $\sqrt{2h_0}$ , а корень в знаменателе  $\sqrt{1-\frac{h_0}{2}}$  разложим в биномиальный ряд как  $(1-\frac{h_0}{2})^{-\frac{1}{2}}$ . Тогда получим

$$F'_\lambda(\lambda=1) = (h_0 - h_0^2) \left(1 + \frac{h_0}{4} + \frac{3h_0^2}{32}\right) - \left(1 - \frac{h_0}{4} - \frac{h_0^2}{32}\right) \left(\frac{28}{3} + \frac{10}{3}h_0\right) + \frac{28}{3},$$

то раскрывая скобки и приводя преобразования, найдем:

$$F'_\lambda(\lambda=1) = \frac{3}{8}h_0^2.$$

Здесь мы, как и ранее, сохраняли только члены с  $h_0^2$ .

Таким образом,

$$F(\lambda) = \frac{h_0^2}{2} + \frac{3}{8h_0^2}(\lambda-1) = \frac{h_0^2}{8}(4+3\lambda-3) = \frac{h_0^2}{8}(1+3\lambda). \quad (2.115)$$

В соответствии с формулой (2.107) для получения  $D_{xp}$  остается проинтегрировать это выражение по  $\lambda$  в пределах от  $1-b_0$  до 1 и умножить на  $\rho V_0^2 R^2 / \cos \mu$ . Так как  $F(\lambda)$  линейна, то ее среднее значение достигается точно в середине интервала, т. е. в точке  $1-0,5b_0$ .

$$\text{Поэтому } \int_{1-b_0}^1 F(\lambda) d\lambda = \frac{h_0^2}{8} b_0 (1+3(1-0,5b_0)) = \frac{h_0^2 b_0}{8} (4-1,5b_0).$$

Следовательно,

$$D_{xp} = -\frac{\rho V_0^2 R^2 h_0^2 b_0}{8 \cos \mu} (4-1,5b_0). \quad (2.116)$$

Переходя к размерным переменным  $h_0 = \frac{h}{R}$ ,  $b_0 = \frac{b \operatorname{ctg} \mu}{R}$ , получим

$$D_{xp} = -\frac{\rho V_0^2 h^2 b}{8 R^2 \sin \mu} (4R-1,5 \operatorname{ctg} \mu). \quad (2.117)$$

Изложенный метод, хотя и связанный с большими вычислениями, но приведший к простой формуле (2.117), нельзя применять для диска. Дело в том, что под интегралом в выражении (2.107) стоит множитель  $(1-\lambda \cos \Theta)$ , который при  $\lambda > 1$  может менять знак (при  $\cos \Theta = \frac{1}{\lambda}$ ).

Это происходит потому, что точки диска, двигаясь в условиях буксования, при одних углах имеют скорость, направленную по направлению движения, при других – в противоположную. Следует полагать,

что перемещения почвы, связанные с контактом сошника, в любых направлениях возможны только за счет энергии диска, т. е. препятствуют его движению. Поэтому вместо  $(1 - \lambda \cos \Theta)$  следует взять модуль  $|1 - \lambda \cos \Theta|$ . Это значит, что подынтегральная функция имеет при  $\cos \Theta = \frac{1}{\lambda}$  угловую точку и в ее окрестности невозможно разложение в ряд Тейлора.

Для получения формулы  $D_{xd}$  был вычислен интеграл по формуле Симпсона (2.117) для различных значений  $\lambda_0$  и  $h_0$ . Обозначим

$$\Phi(\lambda_0 h_0) = \int_{\lambda_0 - \frac{h_0}{2}}^{\lambda_0} \int_0^{\Theta} \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \Theta} |1 - \lambda \cos \Theta| d\Theta \cdot$$

Графический анализ показал (с помощью «Диаграммы» Excel), что при  $\lambda_0 = 1$  и  $h_0 = 0$ ,  $\Phi = 0$ . При  $\lambda_0 > 1$  график имеет вид степенной функции. Было предположено, что  $\Phi(\lambda; 0) = a(\lambda - 1)^m$ .

Параметры  $a$  и  $m$  с помощью Excel были подобраны, исходя из условия минимального различия значений. Здесь можно было бы воспользоваться методом наименьших квадратов. Оказалось, что зависимость от  $h_0$  имеет вид параболы. Поэтому было предположено, что

$$\Phi(\lambda_0; h_0) = \Phi(\lambda_0; 0) + C(\lambda_0) h_0^2.$$

Оказалось, что  $\lambda_0$  близка к линейной функции. Таким образом, была получена формула

$$\Phi(\lambda_0; h_0) = ((1,35(\lambda_0 - 1)^{2,55} + 0,56\lambda_0 h_0^2) b_{do}.$$

Следовательно,

$$D_{xd} = -\frac{\rho V_0^2 R^2}{\cos \alpha} b_{do} (1,35(\lambda_0 - 1)^{2,55} + 0,56\lambda_0 h_0^2), \quad (2.118)$$

где  $D_{xd}$  – горизонтальная составляющая динамического сопротивления под диском.

Полученные формулы позволяют определить динамическое сопротивление двухдискового сошника, состоящего из двух дисков и двух реборд:

$$D_{xc} = 2(D_{xp} + D_{xd}),$$

$$D_{zc} = 2(D_{zp} + D_{zd}).$$

В табл. 2.2, 2.3 приведены данные о различии значений  $D$ , полученных по приближенным формулам и с помощью интегрирования по методу Симпсона.

**Т а б л и ц а. 2.2. Сравнение точного (по формуле Симпсона) и приближенного значений динамического сопротивления при движении двухдискового сошника. Вертикальная составляющая  $D_z$**

| Реборда |         |             |                    |             | Диск                                        |        |             |                    |             |
|---------|---------|-------------|--------------------|-------------|---------------------------------------------|--------|-------------|--------------------|-------------|
| $b_\mu$ | $h_\mu$ | $D_{zp}(H)$ |                    |             | $R=0,135(m)$<br>$\lambda_0 = \frac{R}{R_0}$ | $h(m)$ | $D_{zd}(H)$ |                    |             |
|         |         | по Симпсону | по формуле (2.110) | различие, % |                                             |        | по Симпсону | по формуле (2.112) | различие, % |
| 0,02    | 0,03    | 2,21        | 2,12               | 4,4         | 1,1                                         | 0,03   | 2,93        | 2,92               | 0,27        |
|         | 0,05    | 5,99        | 5,89               | 1,75        |                                             | 0,05   | 5,30        | 5,29               | 0,16        |
|         | 0,07    | 10,89       | 10,77              | 1,06        |                                             | 0,07   | 8,10        | 8,09               | 0,11        |
| 0,03    | 0,03    | 2,39        | 2,11               | 11,7        | 1,2                                         | 0,03   | 5,13        | 5,09               | 0,87        |
|         | 0,05    | 7,41        | 7,11               | 4,03        |                                             | 0,05   | 8,09        | 8,04               | 0,56        |
|         | 0,07    | 14,15       | 13,81              | 2,37        |                                             | 0,07   | 11,46       | 11,04              | 0,39        |
|         |         |             |                    |             | 1,3                                         | 0,03   | 8,19        | 8,03               | 2,03        |
|         |         |             |                    |             |                                             | 0,05   | 11,78       | 11,61              | 1,41        |
|         |         |             |                    |             |                                             | 0,07   | 15,77       | 15,60              | 1,06        |

**Т а б л и ц а 2.3. Горизонтальная составляющая  $D_x$**

| Реборда |         |             |                    |             | Диск                                        |        |             |                    |             |
|---------|---------|-------------|--------------------|-------------|---------------------------------------------|--------|-------------|--------------------|-------------|
| $b_\mu$ | $h_\mu$ | $D_{xp}(H)$ |                    |             | $R=0,135(m)$<br>$\lambda_0 = \frac{R}{R_0}$ | $h(m)$ | $D_{xd}(H)$ |                    |             |
|         |         | по Симпсону | по формуле (2.110) | различие, % |                                             |        | по Симпсону | по формуле (2.112) | различие, % |
| 0,02    | 0,03    | 0,91        | 0,96               | -5,9        | 1,1                                         | 0,03   | 0,54        | 0,59               | -9,3        |
|         | 0,05    | 2,79        | 2,67               | 4,1         |                                             | 0,05   | 1,39        | 1,51               | -8,4        |
|         | 0,07    | 5,73        | 5,24               | 8,6         |                                             | 0,07   | 2,75        | 2,90               | -5,7        |
| 0,03    | 0,03    |             |                    |             | 1,2                                         | 0,03   | 0,92        | 0,95               | -3,3        |
|         | 0,05    | 3,95        | 3,89               | 1,4         |                                             | 0,05   | 1,84        | 1,96               | -6,4        |
|         | 0,07    | 8,27        | 7,62               | 7,8         |                                             | 0,07   | 2,29        | 3,48               | -5,6        |
|         |         |             |                    |             | 1,3                                         | 0,03   | 1,68        | 1,68               | -0,4        |
|         |         |             |                    |             |                                             | 0,05   | 2,70        | 2,78               | -3,1        |
|         |         |             |                    |             |                                             | 0,07   | 4,20        | 4,42               | -5,2        |



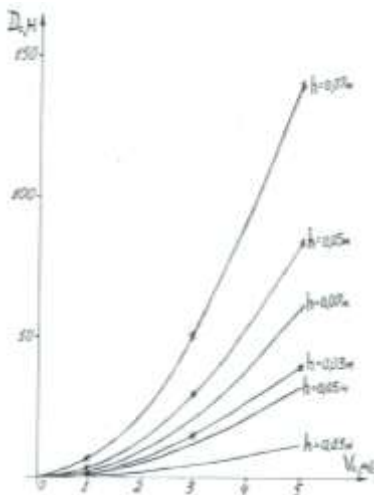


Рис. 2.20. График зависимости динамического сопротивления от глубины бороздки при различных скоростях движения ( $\mu = 45^\circ$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $b = 0,03$  м,  $b_d = 0,004$  м,  $\lambda_0 = 1,2$ ,  $R = 0,135$  м,  $R_1 = 0,162$  м).

—  $D_{cx}$  — горизонтальная составляющая динамического сопротивления;  
 —х—х—х—  $D_{cz}$  — вертикальная составляющая динамического сопротивления

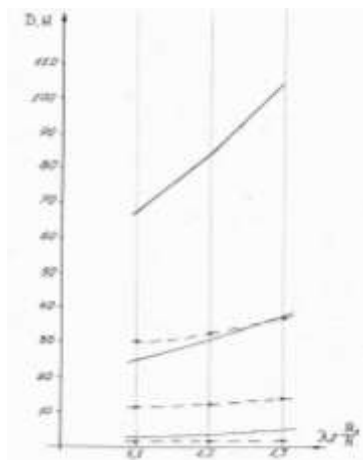


Рис. 2.21. График зависимости динамического сопротивления от соотношения  $\lambda_0 = R_1/R$  радиусов реборды и диска ( $\mu = 45^\circ$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $b = 0,03$  м,  $b_d = 0,004$  м,  $h = 0,05$  м,  $R = 0,135$  м).

—  $D_{cz}$  — вертикальная составляющая динамического сопротивления;  
 — — — —  $D_{cx}$  — горизонтальная составляющая динамического сопротивления

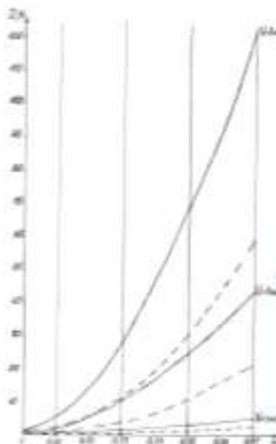


Рис. 2.22. График зависимости динамического сопротивления от скорости при различных глубинах бороздки ( $\mu = 45^\circ$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $b = 0,03$  м,  $b_d = 0,004$  м,  $\lambda_0 = 1,1$ ,  $R = 0,135$  м,  $R_1 = 0,1485$  м)

———  $D_{cz}$  — вертикальная составляющая динамического сопротивления;  
 - - - - -  $D_{cx}$  — горизонтальная составляющая динамического сопротивления

Числовой анализ формул динамического сопротивления позволяет сформулировать приведенные ниже выводы.

1. Вертикальная составляющая динамического сопротивления при движении экспериментального двухдискового сошника более чем в два раза превышает горизонтальную составляющую (рис. 2.20; 2.21; 2.22). Например, при заданных параметрах:  $\mu = 45^\circ$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $b = 0,03$  м,  $b_d = 0,004$  м,  $\lambda_0 = 1,2$ ,  $R = 0,135$  м,  $R_1 = 0,162$  м,  $h = 0,05$  м,  $V = 5$  м/с;  $D_{cx} = 30$  Н,  $D_{cz} = 68,9$  Н.

2. С увеличением отношения радиуса диска к радиусу реборды сопротивление возрастает. Вертикальная составляющая возрастает больше чем горизонтальная составляющая сопротивления.

## 2.9. Исследование глубины бороздки, образуемой экспериментальным двухдисковым сошником с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями

Глубина бороздки  $h_b$  предлагаемого двухдискового сошника определяется из условия уравнивания вертикальной составляющей

сопротивления почвы и вертикальной нагрузки на сошник  $G_n$ , складывающейся из веса сошника и давления пружины. Таким образом, для определения  $h_0$  необходимо решить относительно  $h$  уравнение:

$$R_{zp} + R_{zd} + T_{zp} + T_{zd} + D_{zp} + D_{zd} = G_n, \quad (2.119)$$

где  $R_{zp}$  – составляющая по оси  $z$  сопротивления прижатия реборды к почве, Н;

$R_{zd}$  – составляющая по оси  $z$  сопротивления прижатия диска к почве, Н;

$T_{zp}$  – трение реборды о почву, Н;

$T_{zd}$  – трение диска о почву, Н;

$D_{zp}$  – составляющая динамического сопротивления реборды, Н;

$D_{zd}$  – составляющая динамического сопротивления диска, Н.

Если подставить в уравнение (2.119) выражение для составляющих сил сопротивления, то станет ясно, что аналитически решить это уравнение не представляется возможным. Поэтому решение уравнения (2.119) при различных значениях исходных параметров будем определять по методу, который легко реализуется на компьютере с помощью программы Excel (табл. 2.4).

Таблица 2.4. Решение уравнения  $R_{zp}+R_{zd}+T_{zp}+T_{zd}+D_{zp}+D_{zd}=G_n$  при различных значениях исходных параметров с помощью Excel

### **Ошибка! Ошибка связи.**

Метод исследований состоит в следующем: если  $x_0$  является корнем уравнения  $f(x)=0$ , то при переходе через точку  $x_0$  функция  $f(x)$  меняет знак с «+» на «-» или с «-» на «+». Исключение составляет тот случай, когда в точке  $x_0$  график  $f(x)$  касается оси  $OX$ , т. е. в точке  $x_0$  имеется экстремум. Поскольку ясно, что  $h$  зависит от параметров монотонно (с ростом  $G_n$  растет глубина бороздки и т. д.), то такой случай у нас не реализуется. Итак, для отыскания корня составляем таблицу значений функции на некотором интервале, где предположительно находится корень с шагом  $\Delta x$ . Пусть мы определили, что знак меняется между точками  $x_1$  и  $x_2$ , тогда ставим  $x_1$  на первое место в таблице и уменьшаем шаг, например в 10 раз. Затем находим интервал перемены знака. Но теперь мы знаем корень с более высокой точностью. Повторяя эту процедуру, мы можем найти корень с любой точностью. В про-

грамме Excel в клетке со значениями функции заносятся не числа, а формулы. Поэтому значения функции находятся автоматически. Оператору нужно только начальное значение  $x$  и шаг  $\Delta x$ .

Эта методика реализована в таблице. Верхняя часть таблицы содержит исходные данные о сошнике:  $R$ ,  $R_d$ ,  $b$ ,  $b_d$ ,  $\mu$ ,  $\alpha$  и общие данные:  $f$  – коэффициент трения,  $\rho$  – плотность почвы,  $\text{кг/м}^3$ ,  $v$  – скорость,  $\text{м/с}$ ,  $G_n$  – вертикальная нагрузка,  $H$ ,  $K$  – коэффициент объемного смятия,  $\text{Н/м}^3$ . В ячейке с этими данными заносятся числовые значения. В ячейке «Расчетные данные» заносятся формулы для расчета:

$$R_{cp} = R - \frac{1}{2} b \cotg \mu, \lambda_{cp} = \frac{R_{cp}}{R} \text{ и т. д.} \quad (2.120)$$

Числовые данные вносить не нужно. Они появятся автоматически, как только будут введены исходные данные.

Далее в таблице следует шесть колонок (A, B, C, D, E, F) для значения формул расчета  $R_{zp}$ ,  $R_{zd}$ ,  $T_{zp}$ ,  $T_{zd}$ ,  $D_{zp}$ ,  $D_{zd}$ , причем все с коэффициентом 2, так как сошник состоит из двух реборд и двух дисков. Формулы копируются на несколько (10 или более) строк по количеству значений  $h$ .

Они заносятся в колонку H по формуле

$$h = h_1 + \Delta h, \quad (2.121)$$

где  $h_1$  – начальное значение  $h$ .

В графу G вводится формула СУММ(A10:F10), что дает сумму всех сопротивлений, т. е. левую часть уравнения (2.120). В колонке I записана разность  $S-G$ . По знакам чисел в этой графе и определяется интервал, где расположен корень, т. е. искомое значение  $h$ . В графах L, K, L, M записаны формулы для расчетных данных, связанных со значениями  $h$ . Они используются при вводе формул в графы A...E. Вначале в графу H заносятся значения  $h$  с широким диапазоном, например от  $h = 0,03$  до  $h = 0,12$  м. При этом  $\Delta h = 0,01$ . Предположим, по графе I мы заметили, что знак меняется при переходе  $h$  от  $h = 0,05$  до  $h = 0,06$  м. Тогда значение 0,05 заносится в ячейку H10, а в ячейку H8 значение  $\Delta h = 0,001$ . В графе I пойдет таблица с шагом 0,001, и мы можем найти более точное значение, например 0,057. Повторим все это с шагом  $\Delta h = 0,0001$ , получим еще более точное значение.

Описанные расчеты производятся быстро. Они утомительны только из-за большого числа исходных данных, которые необходимо менять. Например, следует знать, как меняется  $h$  в зависимости от скорости, т. е. необходимо просчитать значение  $h$  при разных скоростях, например 1, 2, 3, 4, 5 м/с.

Результаты расчетов  $h$  при разных значениях параметров приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5. Результаты расчетов  $h$  при разных значениях параметров скорости  $v$

| $b_\phi$ | $h_n$ | $v=1$ м/с |        | $v=2$ м/с |        | $v=3$ м/с |        | $v=4$ м/с |        | $v=5$ м/с |        |
|----------|-------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
|          |       | $F$       | $G$    | $F$       | $G$    | $F$       | $G$    | $F$       | $G$    | $F$       | $G$    |
| 0,005    | 0,005 | 1,66      | 13,01  | 1,85      | 14,16  | 2,16      | 16,09  | 2,61      | 18,79  | 3,18      | 22,26  |
| 0,01     | 0,01  | 3,19      | 19,10  | 3,44      | 20,64  | 3,85      | 23,21  | 4,43      | 26,80  | 5,17      | 31,43  |
| 0,015    | 0,015 | 5,75      | 28,05  | 6,11      | 30,08  | 6,73      | 33,46  | 7,59      | 38,20  | 8,70      | 44,29  |
| 0,02     | 0,02  | 9,66      | 40,32  | 10,24     | 42,96  | 11,21     | 47,37  | 15,56     | 53,52  | 14,31     | 61,43  |
| 0,025    | 0,025 | 15,26     | 56,27  | 16,16     | 59,65  | 17,67     | 65,29  | 19,78     | 73,17  | 22,49     | 83,32  |
| 0,03     | 0,03  | 22,89     | 76,18  | 24,24     | 80,44  | 26,50     | 87,56  | 29,66     | 97,51  | 33,72     | 110,31 |
| 0,03     | 0,035 | 32,45     | 104,77 | 34,23     | 110,13 | 37,19     | 119,08 | 41,35     | 131,59 | 46,69     | 147,68 |
| 0,03     | 0,04  | 43,88     | 137,18 | 46,15     | 143,75 | 49,93     | 154,69 | 55,23     | 170,01 | 62,04     | 189,71 |
| 0,03     | 0,045 | 57,25     | 173,13 | 60,08     | 181,00 | 64,79     | 194,11 | 71,39     | 212,45 | 79,87     | 236,05 |
| 0,03     | 0,05  | 72,63     | 212,46 | 76,08     | 221,71 | 81,83     | 237,13 | 89,87     | 258,71 | 100,22    | 286,47 |
| 0,03     | 0,055 | 90,10     | 255,04 | 94,23     | 265,76 | 101,12    | 283,62 | 110,77    | 308,54 | 123,18    | 340,80 |
| 0,03     | 0,06  | 109,72    | 300,79 | 114,61    | 313,05 | 122,75    | 333,50 | 134,16    | 362,12 | 148,82    | 398,93 |
| 0,03     | 0,065 | 131,59    | 349,65 | 137,29    | 363,54 | 146,80    | 386,69 | 160,12    | 419,10 | 177,23    | 460,76 |
| 0,03     | 0,07  | 155,79    | 401,60 | 162,38    | 417,18 | 173,36    | 443,15 | 188,74    | 479,51 | 208,50    | 526,25 |
| 0,03     | 0,075 | 182,42    | 456,63 | 189,96    | 473,97 | 202,52    | 502,87 | 220,11    | 543,33 | 242,72    | 595,36 |
| 0,03     | 0,08  | 211,58    | 514,72 | 220,13    | 533,89 | 234,38    | 565,83 | 254,34    | 610,55 | 279,99    | 668,04 |

Данные табл. 2.5 позволяют построить графики зависимости  $h$  от исходных параметров. Графики приведены на рис. 2.23 – 2.28.

Анализ таблицы и графиков позволяет сделать приведенные ниже выводы.

1. Зависимость глубины бороздки  $h$  от давления  $G_n$  близка к линейной. Это значит, что зависимость  $h$  от  $G_n$  имеет характер степенной функции  $G^m$  с показателем  $m < 1$ .

2. С ростом скорости глубина бороздки уменьшается и имеет выпуклый характер. Если продлить кривые, то глубина стремится стать равной нулю при достаточно большой скорости. Однако, по нашему мнению, характер зависимости  $h$  от скорости скорее имеет вид

$$h = \frac{c}{a^2 + bv^2}. \quad (2.122)$$

График такой функции представлен на рис. 2.23, т.е. наши расчеты попадают в зону, где функция убывает и выпукла.

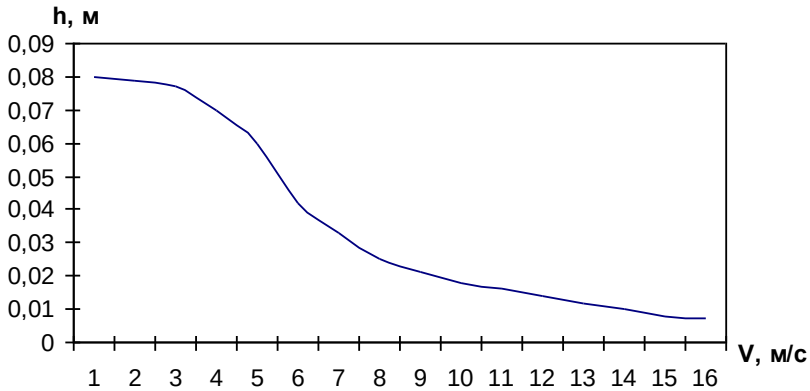


Рис. 2.23. Зависимость глубины бороздки сошника от скорости его движения

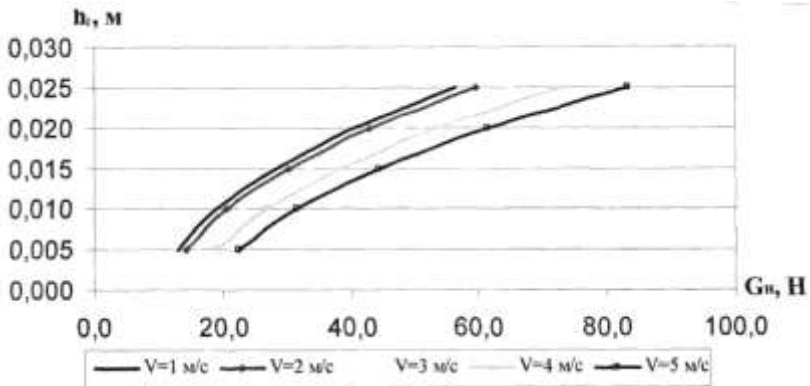


Рис. 2.24. Зависимость первоначальной глубины бороздки  $h_1$  экспериментального двухдискового сошника от вертикального давления  $G_n$  при разных скоростях  $v$  и значении ширины реборды  $b_p=0,01$  м

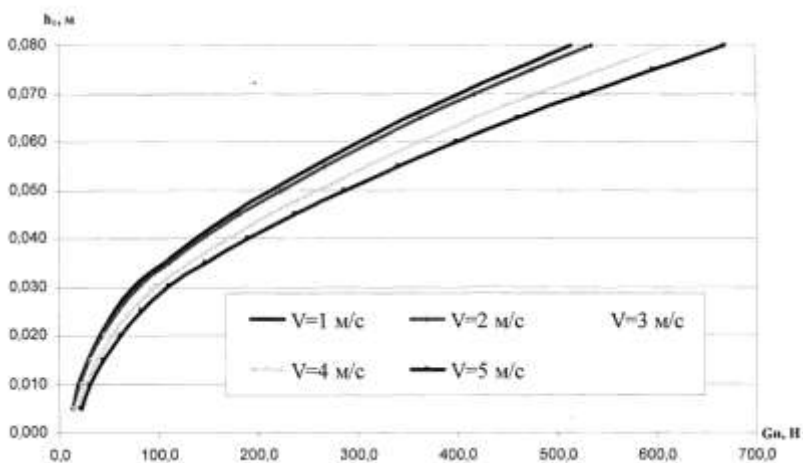


Рис. 2.25. Зависимость первоначальной глубины бороздки  $h_1$  экспериментального двухдискового сошника от вертикального давления  $G_n$  при разных скоростях  $v$  и значении ширины реборды  $b_p=0,03$  м

3. Обращает на себя внимание резкое уменьшение  $h_1$  в зависимости от толщины реборды  $b_p$  в зоне  $0 \leq b_p \leq 0,02$ . После  $b_p \geq 0,02$  скорость убывания  $h_1$  резко сокращается.

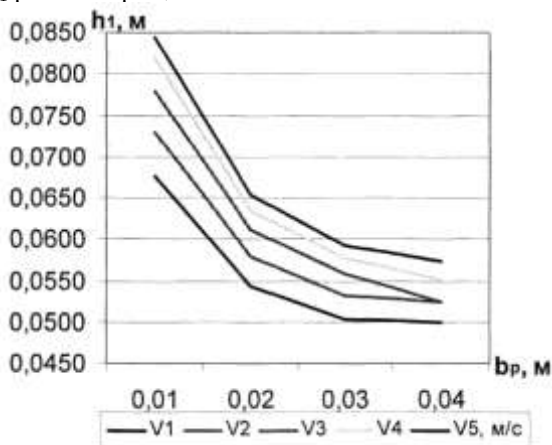


Рис. 2.26. Зависимость первоначальной глубины бороздки  $h_1$  экспериментального двухдискового сошника от ширины

реборды  $b_p$  при разных скоростях  $v$  при  $G = 300 \text{ Н}$

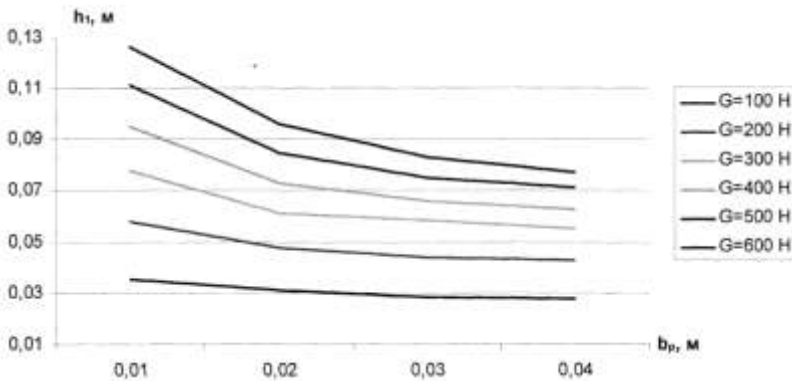


Рис. 2.27. Зависимость первоначальной глубины бороздки  $h_1$  экспериментального двухдискового сошника от ширины реборды  $b_p$  при разных значениях вертикального давления  $G$  при  $v=3 \text{ м/с}$

4. Различные культуры требуют разной глубины посева семян. Глубина заделки семян  $h_c$  зависит от конструктивных и технологических параметров  $G$  и  $v$ , которые для разных типов почв легко подобрать по графикам, представленным на рис. 2.25 и 2.28. Задавая значение  $h_c$  для данной культуры, легко найти нужные значения  $G$  и  $V$ .

5. Глубина бороздки  $h_b$ , рассчитанная по приведенным выше формулам, определяется по самому большому радиусу реборды, т. е. на острие конуса реборды. Динамическое сопротивление приводит к разрушению границ бороздки и, следовательно, к ее частичному засыпанию.



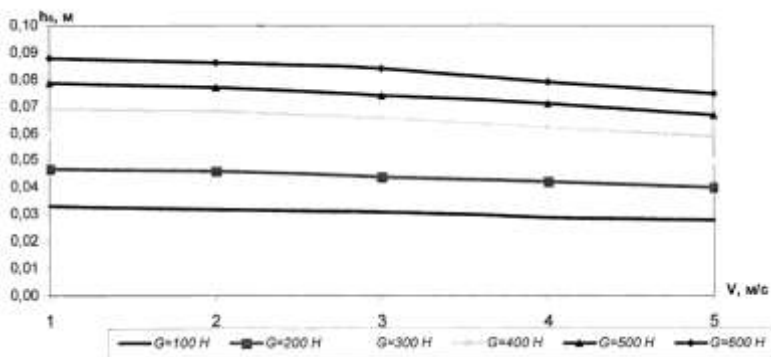


Рис. 2.28. Зависимость глубины бороздки  $h_b$  экспериментального двухдискового сошника от скорости при разных давлениях  $G$  при  $b_p=0,03$

Поэтому при определении глубины посева следует брать величину несколько меньшую, чем  $h_1$ . Если реальная глубина посева  $h_c$ , то следует брать  $h_1 = h_c + b_p/2$ , т. е. если рекомендуемая глубина заделки семян составляет  $h_c = 4$  см, то исходя из графика приведенного на рис. 2.28, следует подбирать технологические параметры  $G$  и  $V$  при  $h_1 = 3 + 3/2 = 4,5$  см.

### **3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

#### **3.1. Обоснование конструкции двухдискового сошника с усеченно-конусными реборами-бороздообразователями (обоснование объекта исследований)**

В настоящее время на сеялках устанавливают двухдисковые сошники с плоскими дисками для высева зерновых, зернобобовых и других культур с двумя сходящимися под определенным углом дисками: с углом схождения  $8^\circ$  – широкорядный, а с углом  $18^\circ$  – узкорядный. Сошники для высева зерновых и травяных культур изготавливаются соответственно с междурядьем 15 и 7,5 см [76, с. 22]. На узкорядном сошнике между дисками закреплен делитель. Этот делитель распределяет зерновой поток на две части с междурядьем 7,5 см. Недостатком таких двухдисковых сошников являются углы атаки  $8^\circ$  и  $18^\circ$ , особенно при работе на повышенных скоростях. Чем выше скорость движения сеялки (сошников), тем больше отброс почвы и тяговое сопротивление сошника. Кроме того, такого типа сошники из-за малой опорной поверхности не могут обеспечить достаточную плотность дна бороздки, что не способствует привлечению влаги, так необходимой для прорастания семян. Немаловажными причинами неравномерности заделки семян в почву двухдисковыми сошниками являются: захват семян вращающимися дисками с выбросом их за пределы сошника в верхние слои почвы; захват семян почвой, отбрасываемой сошниками; осыпание бороздки, в результате чего семена, отброшенные от дна борозды, попадают в верхние слои почвы [4].

В современных сеялках, комбинированных машинах и агрегатах наблюдается тенденция к уменьшению угла атаки дисков сошников для снижения отброса почвы и тягового сопротивления. Такие комбинированные машины и сеялки могут работать на повышенных скоростях (10...15 км/ч). Но эти решения не позволяют в полной мере обеспечить создание всех необходимых условий для качественного прорастания семян.

Однодисковые серийные сошники так же, как и двухдисковые, имеют углы атаки и угол крена к поверхности почвы, что увеличивает их тяговое сопротивление.

В Белорусской государственной сельскохозяйственной академии

разработан однодисковый сошник с опорно-прикатывающим каточком. У этого сошника диск установлен с минимальным углом атаки  $8^\circ$  и углом крена (углом наклона к поверхности почвы)  $14^\circ$ , необходимыми для раскрытия бороздки, в которую направляются семена зерновых и других культур. Недостатками такого типа сошников являются неравномерность заделки семян по глубине и укладка семян на рыхлый слой почвы. Однодисковые сошники укладывают семена на несколько сантиметров мельче, чем глубина их хода, а также выворачивают нижние влажные слои почвы на поверхность.

В настоящее время существующие агротехнические требования не позволяют проводить сев зерновых и других сельскохозяйственных культур со скоростью более 10 км/ч, так как это приводит к нарушению технологического процесса работы сошников и ухудшению равномерности заделки семян по глубине.

При разработке двухдискового сошника с односторонними реборами-бороздобразователями были учтены следующие явления, которые имеют место в подсошниковой полости: здесь одновременно происходит осыпание почвенной массы и выпадение семян, которые располагаются на той поверхности, какая образуется в почве под сошником.

Чтобы уяснить себе возможности одинакового размещения семян по глубине, необходимо отметить некоторые общие явления, присущие сыпучему телу.

1. Всякое сыпучее тело располагается на горизонтальной плоскости под углом естественного откоса, различным для разных тел и состояний.

Если, например, мелкий сухой песок высыпать через воронку тонкой струей, то он расположится на горизонтальной плоскости в форме правильного конуса с наклоном образующих по углу естественного откоса.

Каждую частицу, находящуюся в покое, можно рассматривать расположенной в вершине такого конуса; например, частица  $b$  (рис. 3.1), расположенная на образующей, будет находиться в равновесии, ибо она служит вершиной конуса  $свд'$ , располагающегося внутри всей массы.

Частица  $в$ , очевидно, не может остаться в покое, если снять часть сыпучей массы по сечению  $mm$ , ибо в этом случае конус  $свд'$  выходит из общей массы сыпучего материала.

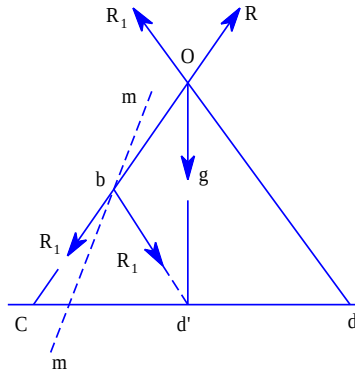


Рис. 3.1. Равновесие сыпучего тела

2. Если у ящика, наполненного песком, приподнять одну стенку, то через образовавшуюся щель песок вытечет и расположится под углом  $\varphi$  естественного откоса (рис. 3.2). Течение прекратится, как только откос расположится под углом  $\varphi$ . Верхний уровень песка в сосуде также изменится, опустившись по наклону  $ab$  около стенки со щелью.

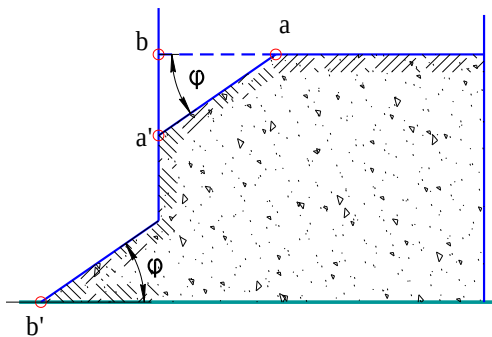


Рис. 3.2. Осыпь через горизонтальную щель

3. Если вертикальную стенку ящика с песком разрезать пополам и осторожно удалить одну половину, то песок расположится по закону конуса (рис. 3.3). Частица, расположенная в точке O, будет вершиной конуса, который займет часть пространства Oab за оставшейся поло-

винкой стенки Q, а в свободном от стенки месте поверхностью сыпучей массы будет наклонная под углом  $\phi$  плоскость.

Таким образом, песок, огибая опорную стенку Q, будет перетекать за нее и располагаться по конической поверхности.

Щеки сошника являются стенками, подпирающими сыпучую почвенную массу и ограничивающими осыпание почвы в борозду (рис. 3.3).

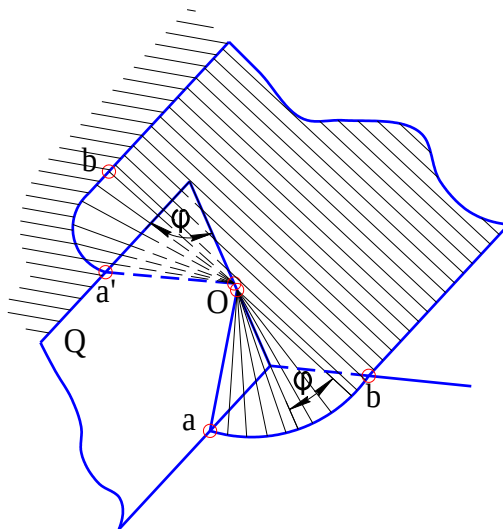


Рис. 3.3. Осыпь около одной подпорной стенки

Различие будет за счет того, что вместо одной стенки будут две – Q и Q', расположенные одна против другой, ибо каждая из щек подпирает и ограничивает от осыпания соответствующую сторону бороздки.

Схематически характер осыпания вблизи двух параллельных стенок будет проходить следующим образом: сыпучая масса, огибая стенки, будет заходить во внутреннее пространство между стенками и располагаться по поверхности, составленной из двух конусов ABe и A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>e. Перекрытие конусов определится кривой ee', у которой верхняя точка e' расположится на нижнем ребре осыпавшейся бороздки (рис. 3.4).

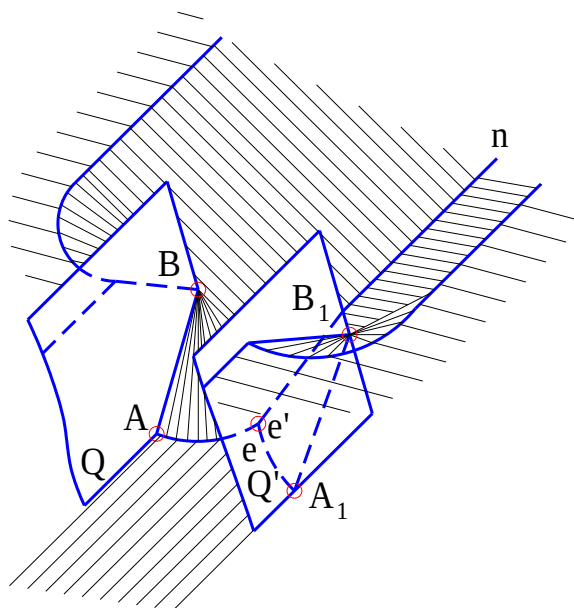


Рис. 3.4. Осыпи около двух подпорных стенок

Под сошником во время его хода в почве образуется наклонная поверхность из осыпавшейся почвы, причем наклон этой поверхности направлен в сторону носка или передней части наральника.

Таким образом, подсошниковая полость имеет наклонное дно, понижающееся к носку сошника и достигающее до предельной глубины вблизи самого носка. Семена, выпадающие из семянаправителя сошника, располагаясь на наклонной поверхности подсошниковой полости бороздки, оказываются на разной глубине. Поэтому, чтобы расположить семена на одной глубине, необходимо зерновую струю направить ближе к передней части сошника, куда осыпь с боков бороздки не достигает и где дно последней почти горизонтально.

К сожалению, осуществить такое направление зерновой струи очень трудно, так как семена, выброшенные аппаратом, движутся внутри семяпровода и сошникового семянаправителя по очень сложным и разнообразным траекториям, обусловленным последовательными ударами о стенки и отражениями. При сложной форме каждого отдельного семени это обстоятельство порождает весьма различные

формы и расположения траекторий и приводит к одному практическому выводу, что область зерновых траекторий проходит через все горло сошника и в сечении с подсошниковой поверхностью дает некоторую замкнутую фигуру  $S$  ( $S'$ ) определенной величины (рис. 3.5). Следовательно, выпадение зерен под сошник происходит на площади, ограниченной этим контуром и располагающейся как раз на том склоне, какой получается под сошником от осыпания стенок бороздки [12, с. 223].

Можно увидеть разницу в укладке семян сошником, обусловленную различием в строении щеки; у щеки сошника (рис. 3.5, б) осыпание почвы происходит с менее выгодным результатом, так как подсошниковая поверхность бороздки доходит до носка сошника, что раздвигает пределы укладки зерен по глубине.

Следовательно, в системе самого сошника и того процесса, какой имеет место во время его работы, заключается преимущественная возможность семенам располагаться на разной глубине, что и имеет место в действительной работе сошников.

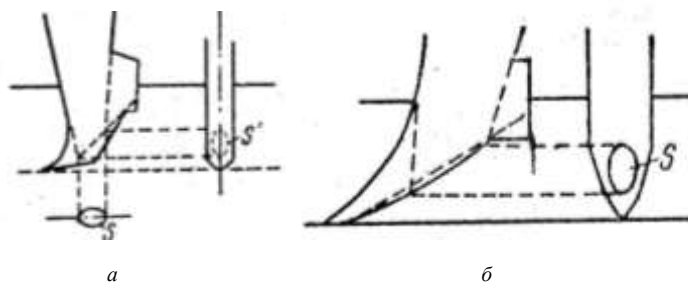


Рис. 3.5. Влияние щеки направителя на осыпь в подсошниковую полость:  
а – развитой; б – слабо развитой

Именно поэтому предлагается использовать реборды-бороздообразователи и семянаправитель установить в оптимальной для укладки семян зоне контакта реборды-бороздообразователя с уплотняемым дном образованной бороздки, чтобы во время укладки семян диск, с одной стороны, и реборда-бороздообразователь, с другой, препятствовали осыпанию стенок бороздки, что позволит избежать неравномерности укладываемых семян по глубине.

Для снижения тягового сопротивления и обеспечения прямолинейности хода сошника предлагается за основу использовать плоский

диск, устанавливаемый без угла атаки. Проблему уплотнения дна бороздки предлагается решить путем установки на плоском диске реборды-бороздообразователя, имеющего форму усеченного конуса.

Предлагаемый нами двухдисковый сошник (рис. 3.6) состоит из корпуса 1 с отверстиями 2 и болтами 3, двух плоских (левого и правого) дисков 4 с ребордами-бороздообразователями 5. Диски 4 расположены вертикально и параллельно один другому и направлению движения сошника (рис. 3.6 и 3.7).

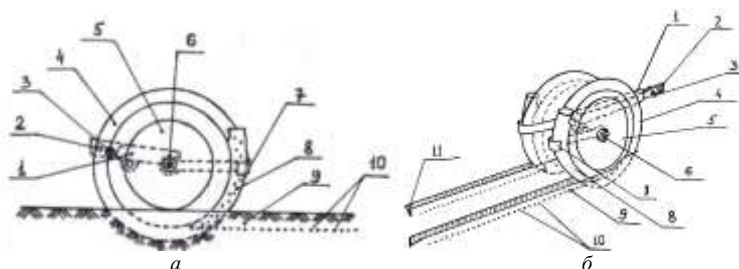


Рис.3.6. Двухдисковый сошник с односторонними ребордами-бороздообразователями: а – вид сбоку; б – трехмерный вид; 1 – корпус сошника; 2 – отверстия; 3 – болты; 4 – диски; 5 – реборды-бороздообразователи; 6 – оси; 7 – пластина; 8 – семянаправитель; 9 – бороздка; 10 – семена; 11 – щель

В задней части корпуса 1 закреплены оси 6. На осях 6 установлены диски 4 с ребордами-бороздообразователями 5. На корпусе 1 закреплена пластина 7, на которой установлен семянаправитель 8.

Двухдисковый сошник работает следующим образом. Корпус 1 сошника присоединяют к поводку сеялки с помощью отверстий 2 и болтов 3. Рабочие диски 4 с ребордами-бороздообразователями 5 установлены на осях 6 с углами атаки и крена  $0^\circ$ . Диски 4, двигаясь в почве, разрезают ее, а также пожнивные и растительные остатки, а затем реборды-бороздообразователи 5 выдавливают бороздки с правой стороны правого диска 4 и с левой стороны левого диска 4. В выдавленные бороздки 9 укладываются семена 10, поступающие под действием воздушного потока по семянаправителю 8 (рис. 3.6). Семена 10, находящиеся в бороздке, заделываются загортачами.



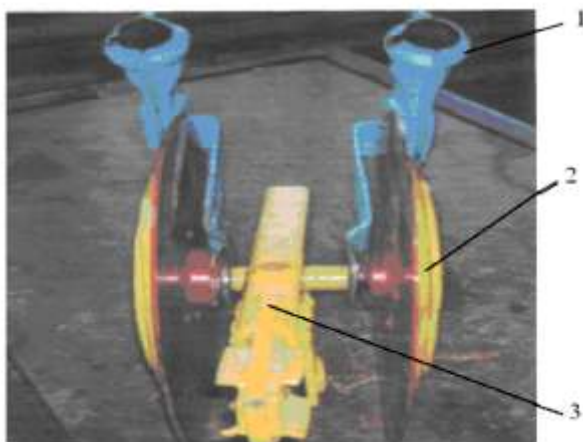


Рис. 3.7. Двухдисковый сошник с односторонними ребордами-бороздообразователями (вид спереди): 1 – корпус сошника; 2 – реборды-бороздообразователи; 3 – семянаправитель

Реборда-бороздообразователь 5 работает следующим образом. Плоская часть диска 4 разрезает почвенные и растительные остатки, почву, образуя щель 11 (рис. 3.6, б). По этой щели 11 к семенам подтягивается влага. Реборда-бороздообразователь 5 ограничивает глубину заделки семян, а также при выдавливании бороздки уплотняет ее дно.

Установка рабочих дисков 5 с углом атаки и крена  $0^\circ$  на двухдисковом сошнике позволяет уменьшить до минимума отброс почвы в стороны от диска. В процессе работы дисков 4 с ребордами-бороздообразователями 5 происходит одновременно выдавливание бороздок, их уплотнение, а также ограничение глубины заделки семян при работе двухдискового сошника.

Установка дисков 4 с углом атаки  $0^\circ$  позволяет работать на скоростях движения сеялок  $10 \dots 15 \text{ км/ч}$  и при этом уменьшить до минимума разброс почвы в стороны. Это позволяет произвести расстановку сошников в один ряд с расстоянием между рядками семян  $12,5 \text{ см}$  и менее. Щель 11, образованная диском 4 в почве, позволяет подтянуть влагу к уплотненному ребордой-бороздообразователем 5 дну бороздки, а соответственно и плотность почвы на глубине заделки семян, которая согласно агротехническим требованиям должна составлять  $1,2 \dots 1,25 \text{ г/см}^3$ .

Установка дисков 4 с нулевым углом атаки на двухдисковом сошнике позволяет уменьшить тяговое сопротивление сошников и улучшить равномерность глубины заделки семян при работе на повышенных скоростях.

Нами было разработано несколько вариантов двухдисковых сошников с различными конструктивными параметрами. К этим сошникам были изготовлены различные варианты корпусов и дисков с разными параметрами реборд (рис. 3.8 и 3.9).



Рис. 3.8. Варианты двухдисковых сошников с различными конструктивными параметрами дисков и реборд



Рис. 3.9. Различные варианты дисков с ребордами-бороздообразователями, корпусов и семянаправителей к экспериментальным двухдисковым сошникам

### **3.2. Разработка технической документации на изготовление двухдискового сошника с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями**

Для изготовления двухдискового сошника с усеченными коническими ребордами-бороздообразователями в ОАО «Ремком» была разработана техническая документация в виде сборочных и рабочих чертежей (рис. 3.10–3.16).

В ОАО «Ремком» для изготовления реборд была изготовлена оп-  
равка пресс-формы (рис. 3.17).

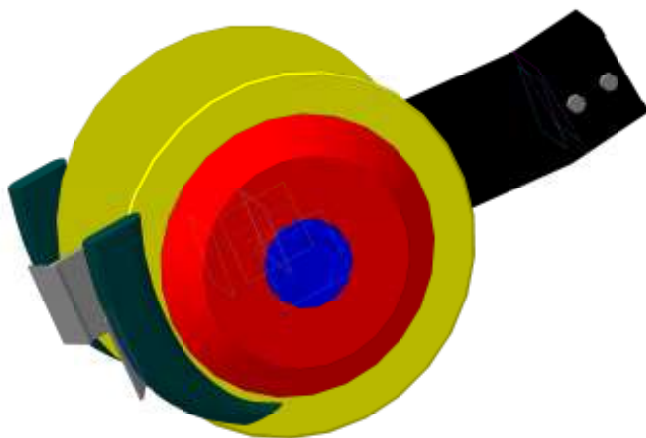


Рис. 3.10. Трехмерная модель двухдискового сошника с усеченными коническими ребордами-бороздообразователями

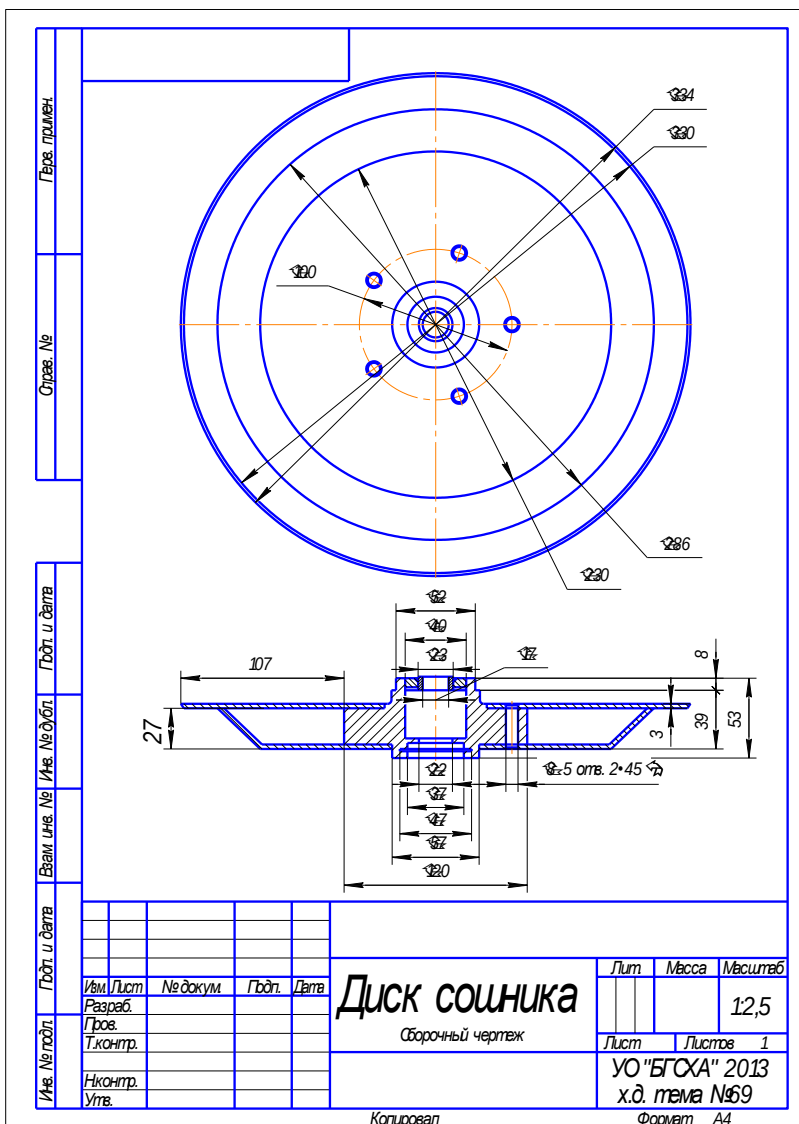


Рис. 3.11. Сборочный чертеж диска сошника



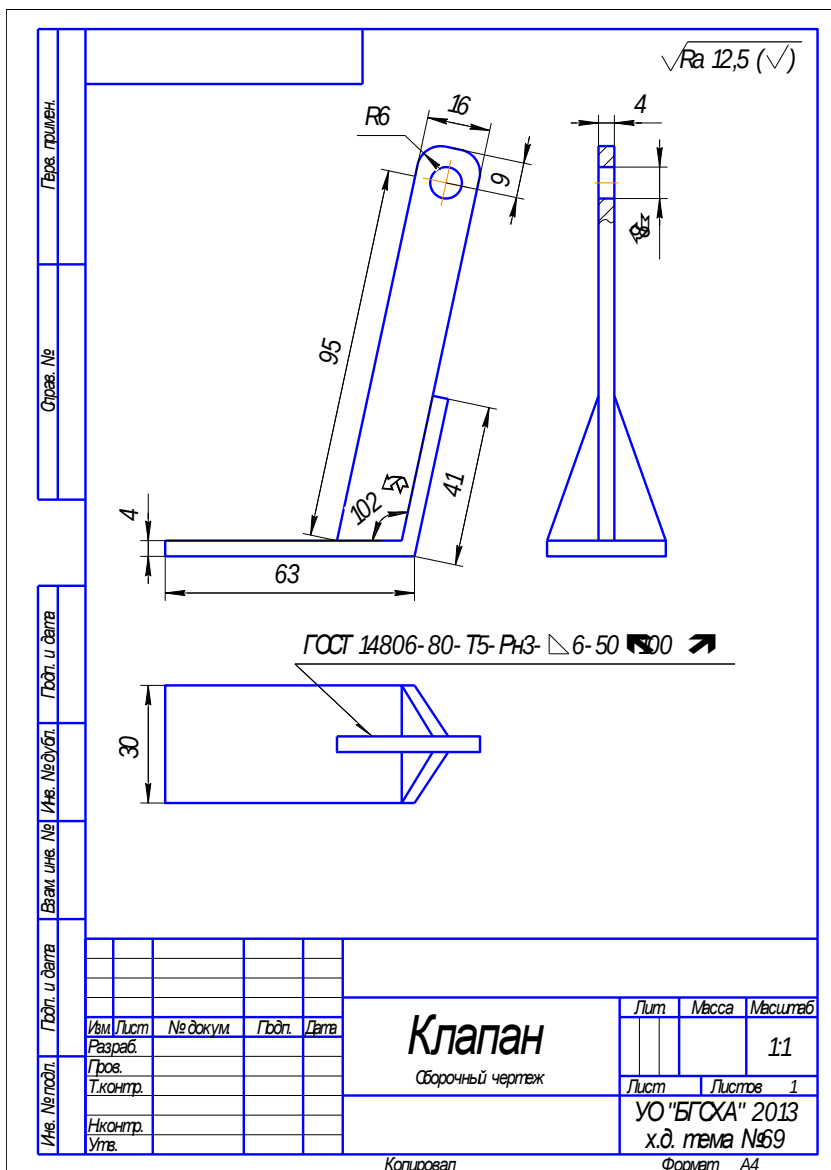


Рис. 3.13. Сборочный чертёж клапана

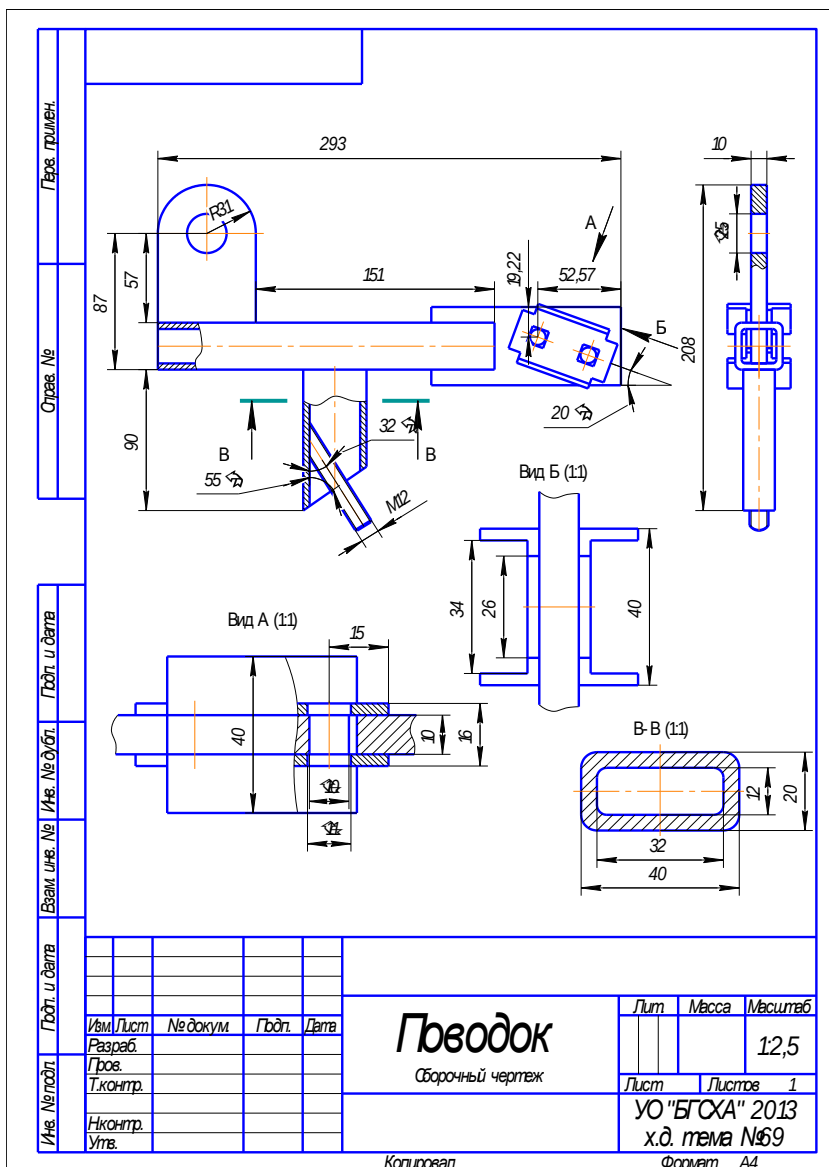


Рис. 3.14. Сборочный чертеж поводка









Рис. 3.17. Оправка пресс-формы

В ОАО «Ремком» по технической документации, приведенной выше, была изготовлена опытная партия сошников для двухстрочного посева (рис. 3.18).



Рис. 3.18. Опытная партия сошников для двухстрочного посева

### 3.3. Методика проведения экспериментальных исследований

Проведенное ранее нами изучение литературных источников, анализ теоретических и экспериментальных исследований показали, что за счет улучшения конструкции сошников и сошниковых групп сеялок и посевных агрегатов можно увеличить скорость движения агрегатов при посеве до 15 км/ч, что позволяет значительно повысить производительность посевных агрегатов, снизить расход топлива на проведение этой технологической операции, уменьшить смещение и перемешивание почвы и семян в процессе посева [77, 78, 79, 80]. Поэтому первой задачей лабораторно-полевых исследований было установление степени повышения качества сева и производительности сеялок на посеве зерновых культур за счет использования предлагаемых двухдисковых сошников.

Вторая задача экспериментов состояла в том, чтобы сравнить показатели качества работы селекционной сеялки с макетными образцами двухдисковых сошников на посеве сельскохозяйственных культур.

Третья задача лабораторно-полевых исследований состояла в том, чтобы установить влияние скорости движения посевных агрегатов, оборудованных экспериментальными сошниковыми группами, на агротехнические показатели их работы.

В результате исследования предполагалось выбрать наиболее совершенные сошниковые группы для посева зерновых культур в условиях Могилевской области и определить скорость движения агрегатов, при которых разработанные сошниковые группы дают наилучшие результаты.

Лабораторные исследования проводились на учебном комплексе кафедры механизации и практического обучения.

В основу определения условий работы сошников, разбивки опытных участков на делянки и определения качественных показателей посева была принята методика УП «Белорусская МИС».

Объект исследований – экспериментальная механическая селекционная сеялка с предлагаемыми двухдисковыми сошниками дисками диаметром 300; 325 и 350 мм и толщиной 1,0; 1,5 и 2,5 мм с ребордами-бороздообразователями (рис. 3.19). Реборда представляет собой усеченный конус, прилегающий к диску сошника с диаметрами: а) 255 мм; б) 260 мм; в) 265 мм; на вершине реборды – 220 мм; высота конуса – 15...25 мм. Двухдисковый сошник с ребордами-бороздообразователями установлен без угла атаки. Сошники прижимаются к почве с помощью пружин, установленных на штангах (рис. 3.20). Работа макетного образца двухдискового сошника показана на рис. 3.19–3.23.



Рис. 3.19. Макетный образец двухдискового сошника с ребровой-бороздообразователем в почве



Рис. 3.20. Макетный образец двухдискового сошника без угла атаки дисков при давлении пружины 160 Н (16 кг)



Рис. 3.21. Селекционная сеялка при высеве семян двухдисковыми сошниками с ребрами-бороздообразователями



Рис. 3.22. Экспериментальная сеялка с двухдисковыми сошниками (вид сзади) на опытной делянке



Рис. 3.23. Вид на опытную делянку после прохода селекционной сеялки с двухдисковыми сошниками и коническими бороздообразователями-уплотнителями при скорости движения 14 км/ч

Во время проведения лабораторно-полевых опытов исследовались экспериментальные образцы двухдисковых сошников на различных скоростях, при различных давлениях на глубину заделки семян 1...3 см.

Степень прижатия пружин определяли с помощью динамометра со шкалой измерения до 200 Н. Нами определялись глубина заделки семян двухдисковым сошником в трех положениях штанги: нижнем, среднем и верхнем. Междрядковые расстояния у двухдисковых сошников равнялись 12,5 см.

Для изменения глубины хода дисков использовались пружины, аналогичные установленным на сеялках СЗ-3,6, СЗ-5,4. Все параметры установки макетных образцов дисковых сошников были оставлены такими же, как и у серийных сеялок СЗ-3,6, СЗ-5,4.

Стандартной методики исследования предлагаемых дисковых сошников с бороздообразователями-уплотнителями пока не предложено. В основу определения условий работы двухдисковых сошников, разбивки опытных участков на делянки и определения качественных показателей посева была принята методика ГУ «Белорусская МИС».

Исследования проводились на участке опытного поля полигона, который был разбит на делянки, для выполнения трех проходов вперед и назад. Длина участка была принята 100 м, учетной делянки – 50 м.

Проведение опытов со всеми вариантами исследований на трех скоростях движения (6; 10 и 14 км/ч) и при трех различных давлениях двухдисковых сошников на почву (120, 160 и 200 Н).

Количество делянок, на которых проводились исследования, равнялось 9.

Методикой лабораторно-полевых исследований экспериментальной селекционной сеялки с макетными образцами двухдисковых сошников задача решалась по существующим отраслевым стандартам.

Структура проведения исследований представлена в табл. 3.1.

**Таблица 3.1. Лабораторно-полевые исследования двухдисковых сошников с коническими ребрами-бороздообразователями**

| № опыта | Давление сошников на почву без усилия пружины и с усилием пружины, Н |                                      |                                                                               |
|---------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|         | Сеялка СПУ-6 с килевидными сошниками                                 | Сеялка С-6 с однодисковыми сошниками | Селекционная сеялка с двухдисковыми сошниками с ребрами-бороздообразователями |
| 1       | Без усилия пружины                                                   | Без усилия пружины                   | Без усилия пружины                                                            |
| 2       | 60                                                                   | 120                                  | 120                                                                           |
| 3       | 80                                                                   | 140                                  | 160                                                                           |
| 4       | 100                                                                  | 160                                  | 200                                                                           |

Определение усилий давления пружин на сошники у пневматических универсальных сеялок СПУ-6; С-6 и селекционной сеялки СН-10 с макетными образцами двухдисковых сошников проводили в стационарных и полевых условиях. На сеялке С-6 были установлены однодисковые сошники, а на сеялке СПУ-6 – килевидные сошники. Усилие пружин измеряли динамометром в трех положениях (нижнем, среднем и верхнем). Проведение замеров усилий пружин приведено на рис. 3.24–3.27.



Рис. 3.24. Определение усилия давления пружины на двухдисковый сошник с ребрами-бороздообразователями (на нижнем отверстии штанги)



Рис. 3.25. Определение усилия давления пружины на двухдисковый сошник с ребрами-бороздообразователями (на верхнем отверстии штанги)



Рис. 3.26. Определение усилия давления пружины на однодисковый сошник пневматической сеялки С-6



Рис. 3.27. Определение усилия давления пружины на килевидный сошник пневматической сеялки СПУ-6

Лабораторно-полевые опыты проводились на опытном поле учебного полигона.

Объекты исследований: машинно-тракторный агрегат (МТА): трактор Т-25А + селекционная механическая сеялка с двухдисковыми сошниками с ребрами-бороздообразователями. Почва легкосуглинистая дерново-подзолистая. Влажность почвы – 19...21 %.

Глубину заделки семян определяли по этиолированной части рас-



тений в 9 вариантах лабораторно-полевых опытов. Нами были выбраны три скорости движения: 1,67; 2,78 и 3,89 м/с. МТА – трактор Т-25А + экспериментальная сеялка, на которой были установлены три двухдисковых сошника с междурядьем 12,5 см. Кроме этого изменялось усилие нажатия двухдисковых сошников на почву (120 Н; 160 Н; 200 Н). Всего было проведено 9 опытов ( $3 \times 3 = 9$ ). При проходе двухдискового сошника замерялась глубина заделки семян за двумя дисками. Общая повторность опытов – 6-кратная.

Установленная глубина заделки семян сошниками – 2 см.

Варианты исследований:

– давление сошников на почву:  $P_1 = 120$  Н (12 кг);  $P_2 = 160$  Н (16 кг);  $P_3 = 200$  Н (20 кг);

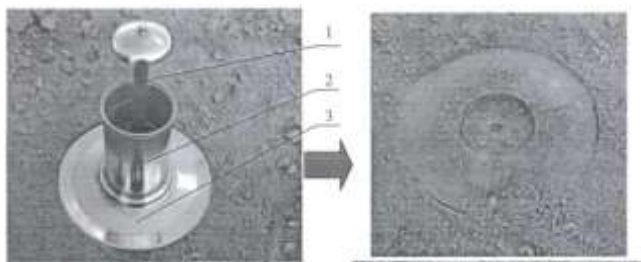
– скорость движения МТА при  $v_1 = 1,67$  м/с (6 км/ч) – пониженная; при  $v_2 = 2,78$  м/с (10 км/ч) – рабочая; при  $v_3 = 3,89$  м/с (14 км/ч) – повышенная.

Нами было проведено 9 вариантов лабораторно-полевых опытов в трехкратной повторности. Длина учетной делянки – 50 м.

Качество работы двухдисковых сошников с ребрами-бороздообразователями оценивалось по следующим показателям:

- равномерности заделки семян по глубине;
- равномерности распределения семян по ходу движения агрегата.

Непосредственно перед посевом определяли физико-механические свойства почвы (влажность, плотность, объемную массу). Повторность взятия образцов (рис. 3.28) была четырехкратной. После определения влажности каждой пробы подсчитывали среднюю влажность.



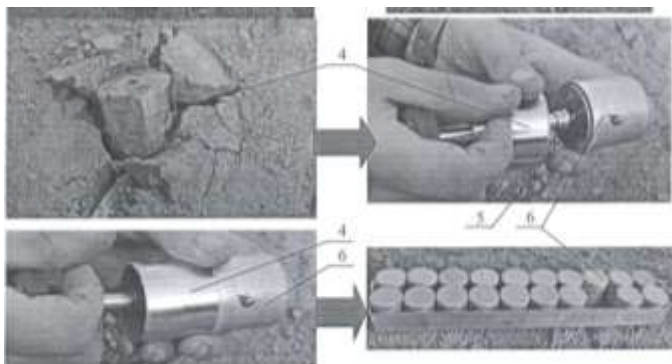


Рис. 3.28. Взятие образцов для определения влажности почвы:  
1 – поршень; 2 – направляющий цилиндр; 3 – опорный диск; 4 – гильза;  
5 – выталкиватель; 6 – бокса

### 3.3.1. Определение твердости почвы в бороздках

Для измерения твердости почвы в бороздках (рис. 3.29, *а*) использовался твердомер конструкции Ревякина. Твердость определялась в слое почвы 0...5 см с трехкратной повторностью. Опыты проводились на средней суглинистой почве при ее влажности 13,6 % в слое 0...5 см, 17,1 % – в слое 5...10 см и твердости до посева 0,13...0,16 МПа.

При измерении твердости почвы в бороздке твердомером конструкции Ревякина были получены диаграммы, представленные на рис. 3.29, *б*.

Среднюю твердость почвы в пределах участка  $h_2$ , соответствующую постоянной твердости, по данным полученной диаграммы вычисляют по формуле

$$p = R/F, \quad (3.1)$$

где  $R$  – среднее сопротивление почвы вдавлению штампа, Н;

$F$  – площадь поперечного сечения штампа, см ( $F = 48 \cdot 106 \text{ см}^2$ ).

Сопротивление почвы измеряется по сжатию пружины:

$$R = \delta \cdot y_{\text{ср.}}, \quad (3.2)$$

где  $\delta$  – масштаб (жесткость) пружины твердомера, Н/мм ( $\delta = 784,8 \text{ Н/мм}$ );

$y$  – средняя ордината диаграммы (сжатие пружины), мм.

Так как при воздействии наконечника на почву сминаемая площадь остается неизменной, а возрастает лишь глубина вдавливания и вместе

$$R_1 = q \cdot v, \quad (3.3)$$

где  $R_1$  – значение усилия в конце смятия, Н;

$q$  – коэффициент пропорциональности или коэффициент объемного смятия почвы, Н/см<sup>3</sup>.



Рис. 3.29. Измерение твердости почвы в бороздках  
*а* – твердомер конструкции Ревякина; *б* – диаграммы твердости

$$\mathbf{v} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{h}_1. \quad (3.4)$$

Тогда

При измерении твердости почвы в бороздке твердомером конструкции Ревякина была получена зависимость твердости  $\rho$  от скорости движения агрегата  $v$ , что показано на диаграмме (рис. 3.30).

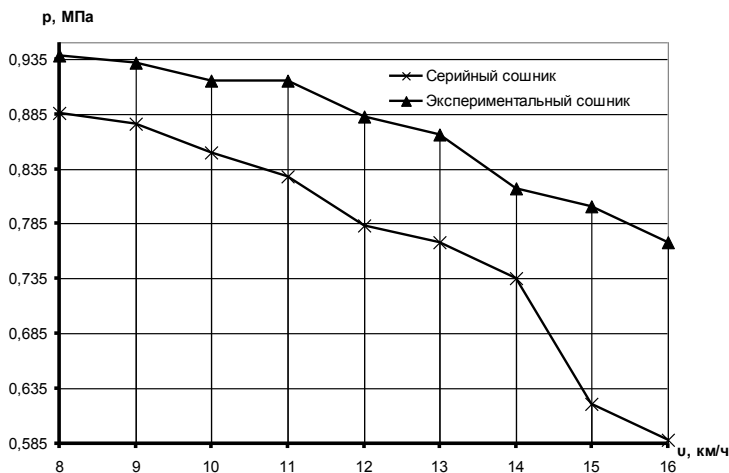


Рис. 3.30. Зависимость твердости почвы  $p$  от скорости движения  $v$

Как видно из рис. 3.30, у экспериментального двухдискового сошника твердость почвы в бороздке намного больше, чем у серийного и снижается плавно по сравнению с серийным, а от твердости, как и от плотности почвы, зависит всхожесть семян.

### 3.3.2. Методика измерений тягового сопротивления экспериментального сошника

Но, как известно, с увеличением скорости растет и тяговое сопротивление. Поэтому были проведены тяговые испытания экспериментальных двухдисковых сошников в сравнении с серийными.

Для испытаний использовали усилитель-преобразователь Spider 8 (рис. 3.31, а) принимающий сигнал от тензометрических датчиков (рис. 3.31, б).



*a*



*б*

Рис.3.31. Приборы для тяговых испытаний:  
*a* – преобразователь Spider 8; *б* – место установки тензометрических датчиков  
 (схема размещения – полный мост с компенсацией температурных деформаций  
 и изгибных напряжений)

По результатам испытаний была получена графическая зависимость тягового сопротивления сошника от рабочей скорости (рис. 3.32).

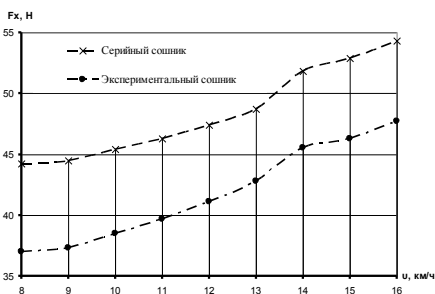


Рис. 3.32. Зависимость тягового сопротивления  $F_x$  сошника от рабочей скорости  $v$

Из графика зависимости тягового сопротивления сошника от рабочей скорости видно, что с увеличением скорости растет значение сопротивления, но у экспериментального сошника оно на порядок ниже в сравнении с серийным.

При проведении исследований в полевых условиях использовалась передвижная лабораторная установка, оборудованная тензометрической аппаратурой (рис. 3.33) с программным обеспечением Car Map (рис. 3.34).

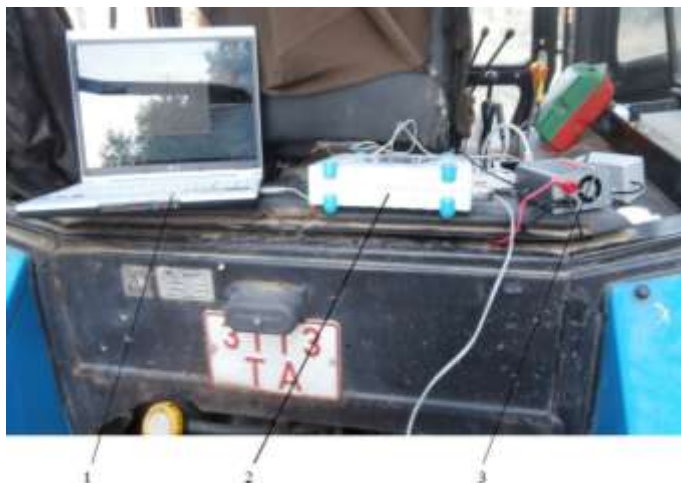


Рис. 3.33. Тензометрическая аппаратура: 1 – ПК; 2 – усилитель сигналов Spider 8; 3 – преобразователь напряжения

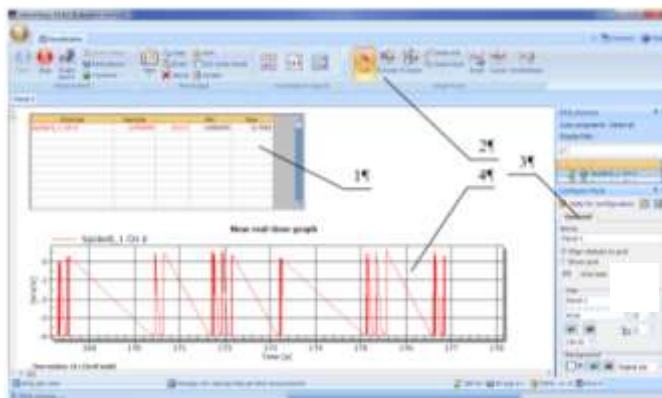


Рис. 3.34. Определение тягового сопротивления сошника с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями при помощи программного обеспечения CatMap: 1 – таблица данных; 2 – панель задач; 3 – панель настроек; 4 – график реального времени

Определяли тяговое сопротивление исследуемых сошников, используя тензометрические датчики, наклеенные на поводок сошника по схеме полный мост (рис. 3.35 и 3.36) при помощи усилителя сигналов Spider 8.

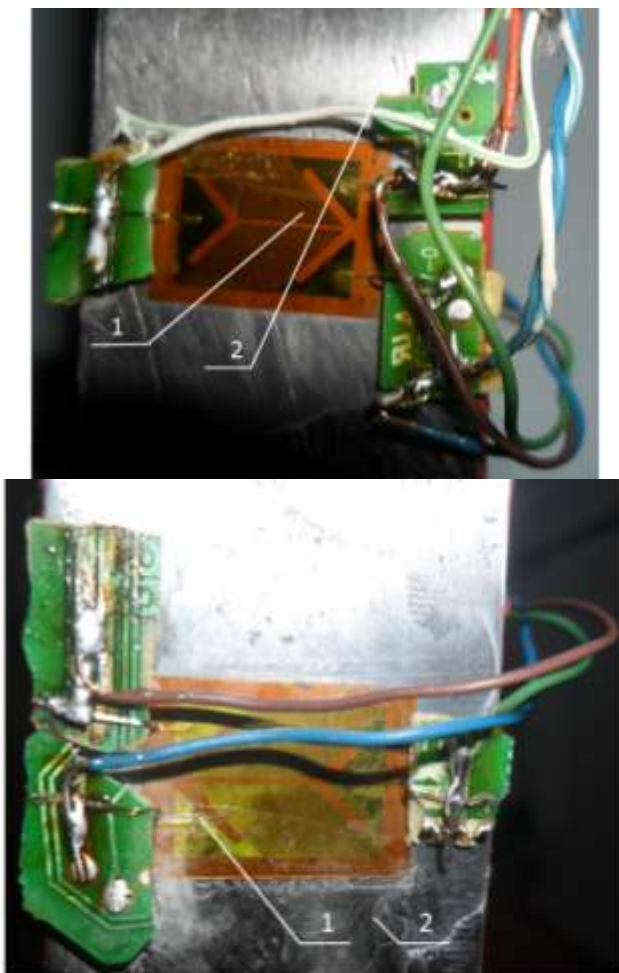


Рис. 3.35. Установки тензометрических датчиков на поводок сошника (по схеме полный мост) для определения тягового сопротивления: 1 – тензометрический датчик, 2 – поводок сошника



Рис. 3.36. Место установки тензометрических датчиков (по схеме полный мост):

1 – корпус сошника; 2 – поводок; 3 – тензометрический датчик; 4 – провод многожильный; 5 – стойка с пружиной

Перед проведением полевых исследований по определению тягового сопротивления сошников осуществлялась настройка тензометрической аппаратуры с контрольной проверкой точности измерения.



## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1. Исследование зависимости ширины бороздки от скорости движения посевного агрегата (дисков)

В результате исследований установлено, что с повышением скорости движения двухдискового сошника (рис. 4.1) ширина бороздки увеличивается почти прямо пропорционально скорости до ее значения, равного 3,4 м/с. Затем увеличение ширины бороздки замедляется при скорости от 3,4 до 4 м/с. Это объясняется тем, что реборды-бороздообразователя имеет определенную ширину, а после того как усеченно-коническая часть реборды полностью заглубляется, увеличение ширины бороздки прекращается. В проведенных нами лабораторно-полевых исследованиях ширина бороздки за правыми и левыми дисками была не более 0,05 м. Это дает возможность предполагать, что расстановка дисков на корпусе сошника с предлагаемыми ребордами-бороздообразователями может осуществляться с междурядием, близким к 0,1 м, вместо существующего в настоящее время расстояния между соседними рядками 0,125 м у всех посевных машин.

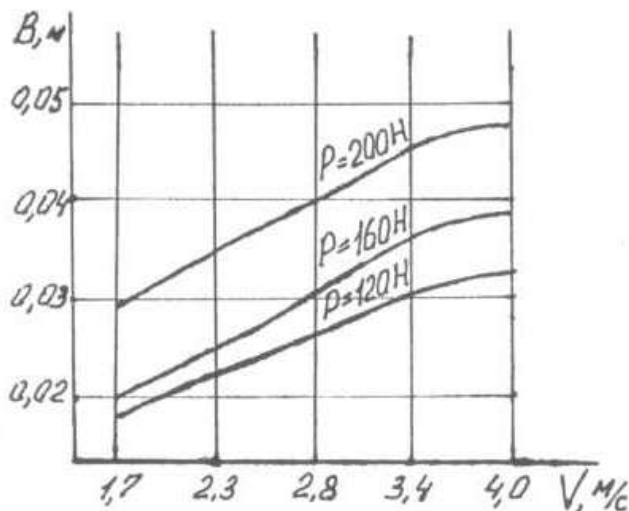


Рис. 4.1. Зависимость ширины бороздки от скорости движения и давления на двухдисковый сошник с нулевым углом атаки дисков и внешними усеченно-коническими ребордами-бороздообразователями

Это предположение подтверждается видом на опытную делянку (рис. 4.2). На рисунке видно, что почва между правым и левым дисками двух соседних сошников имеет запас необработанной почвы после прохода модернизированной сеялки на скорости 4 м/с. На рис. 4.2 видно, что при скорости движения МТА (трактор Т-25А+ +модернизированная селекционная сеялка с двухдисковыми сошниками и нулевым углом атаки дисков с внешними усеченно-коническими ребордами-бороздообразователями) заброс почвы на соседние бороздки отсутствует. Поле после прохода машинно-тракторного агрегата остается ровным. Все экспериментальные двухдисковые сошники заделывают семена на одинаковую глубину.



Рис. 4.2. Вид на опытную делянку после прохода трактора Т-25 с модернизированной селекционной сеялкой с экспериментальными двухдисковыми сошниками, расставленными в один ряд с расстоянием между соседними рядками 0,125 м и скоростью движения 4 м/с

Установка рабочих дисков с углом атаки и крена  $0^\circ$  на двухдисковом сошнике позволяет уменьшить до минимума отброс почвы в стороны от диска с ребордами. В процессе работы дисков с ребордами-бороздообразователями происходит одновременно выдавливание бороздок, уплотнение их, а также ограничение глубины заделки семян при работе предлагаемого сошника. Установка дисков с углом атаки  $0^\circ$  позволяет работать при скорости движения сеялок 3...4 м/с и более и при этом уменьшать до минимума отброс почвы в стороны. Это позволяет произвести расстановку сошников в один ряд с расстоянием между рядками семян 125 м и менее. Щель, образованная диском в почве, позволяет подтянуть влагу к уплотненному ребордой-бороздообразователем полуэллипсовидному

уплотнению. Реборды-бороздообразователи должны создавать плотность  $1,2...1,25 \text{ г/см}^3$  в почве на глубине заделки семян согласно агротехническим требованиям [81]. Установка дисков нулевым углом атаки на двухдисковом сошнике позволяет уменьшить тяговое сопротивление сошников и улучшить равномерность глубины заделки семян при работе на скоростях  $3...4 \text{ м/с}$ . Расстановка предлагаемых нами двухдисковых сошников позволит значительно уменьшить длину посевной машины, а у навесных сеялок уменьшить нагрузку на навесную систему трактора [82].

В результате проведенных лабораторно-полевых исследований установлено, что с увеличением скорости до  $4 \text{ м/с}$  и давлением винтовых пружин на двухдисковый сошник до  $200 \text{ Н}$  ширина раскрываемой борозды изменяется вначале прямолинейно, а после  $v=3,4 \text{ м/с}$  ее рост замедляется, а при  $v = 4 \text{ м/с}$  ширина будет иметь постоянную величину.

Экспериментальные двухдисковые сошники с междурядьем  $0,125 \text{ м}$  были установлены на модернизированную селекционную сеялку в один ряд, и при агрегатировании ее со скоростью  $4 \text{ м/с}$  на опытном поле учебного полигона не было обнаружено забрасывания почвы на соседние рядки, а ширина бороздок, открываемых правым и левым дисками с усеченно-коническими ребордами-бороздообразователями, не превышала  $0,05 \text{ м}$ .

#### **4.2. Влияние скорости движения посевного агрегата и давления на двухдисковый сошник с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями на распределение семян по глубине**

По результатам лабораторно-полевых исследований получены гистограммы распределения семян по глубине при изменении скорости движения от  $4,67$  до  $3,89 \text{ м/с}$  и давления на экспериментальных сошниках от  $120$  до  $200 \text{ Н}$  и более (рис. 4.3–4.5). С возрастанием давления до  $200 \text{ Н}$  на экспериментальный двухдисковый сошник при скорости  $1,67 \text{ м/с}$  ( $6 \text{ км/ч}$ ) количество семян в слое  $20...30 \text{ мм}$  увеличивается примерно на  $6 \%$ .

В крайних слоях почвы (в верхнем  $5...10 \text{ мм}$  и нижнем  $35...40 \text{ мм}$ ) количество семян снижается на  $4...5 \%$ . Мы считаем, что при давлении  $200 \text{ Н}$  экспериментальный двухдисковый сошник перемещается в вертикальной плоскости более стабильно, что подтверждается данными опыта, приведенными на рис. 4.3, 4.4, 4.5.

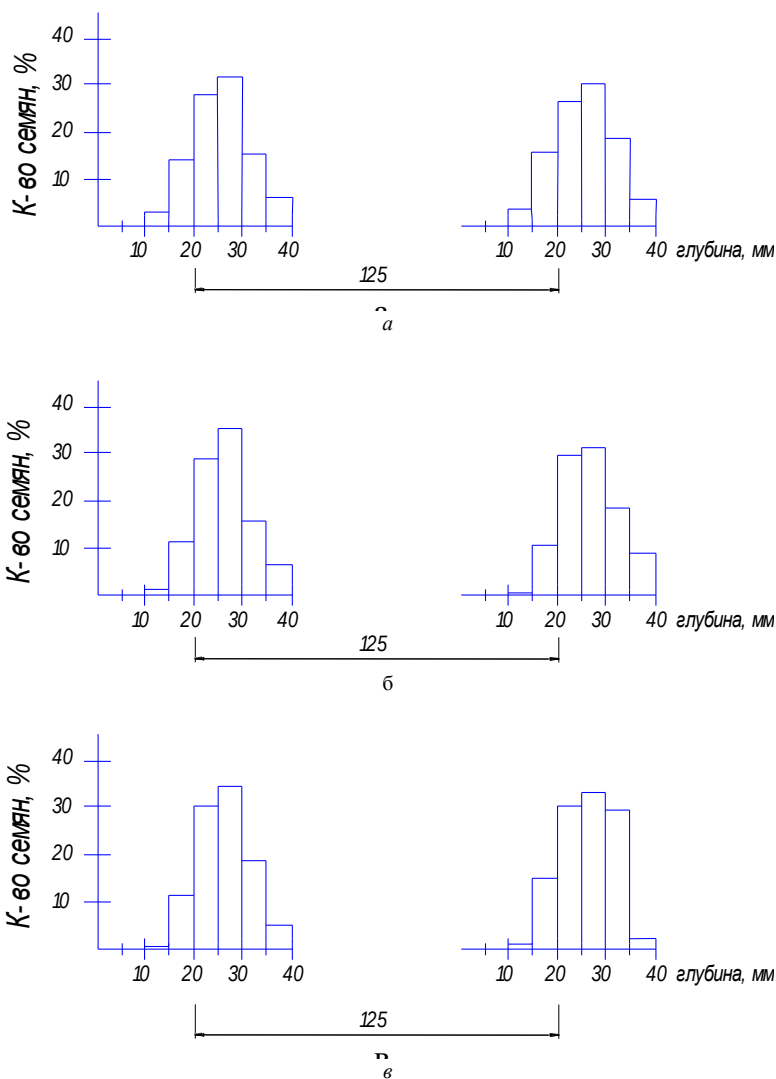


Рис. 4.3. Гистограммы распределения семян по глубине двухдисковым сошником с ребрами-бороздообразователями с различными давлениями пружины на почву при скорости движения 1,67 м/с (6 км/ч):  
 а – давление пружины на почву 120 Н; б – давление пружины на почву 160 Н;  
 в – давление пружины на почву 200 Н

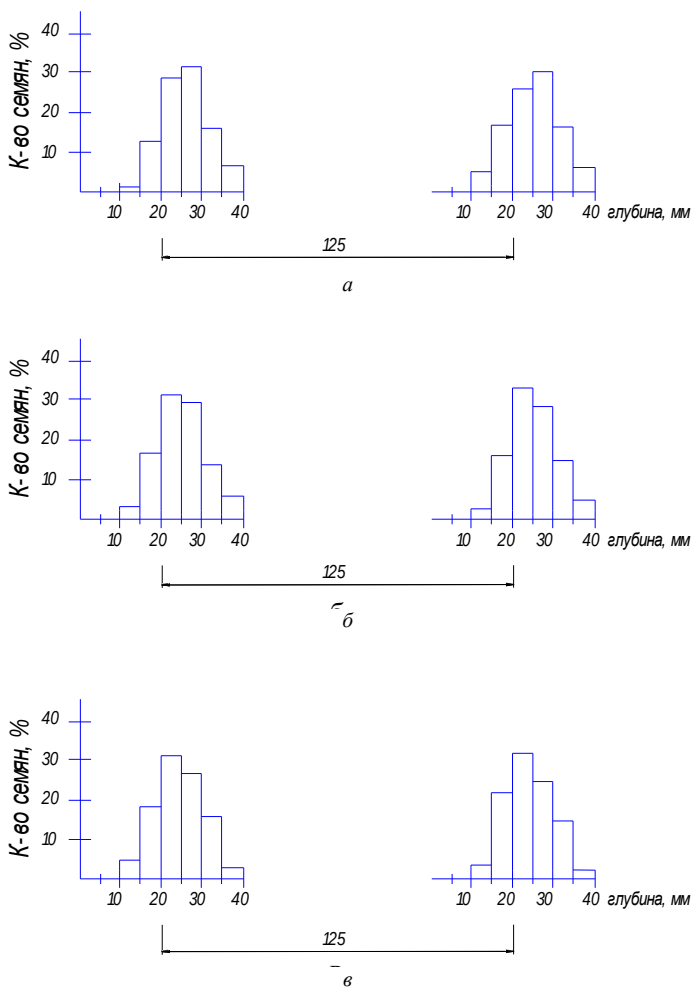


Рис. 4.4. Гистограммы распределения семян по глубине двухдисковым сошником с ребрами-бороздообразователями с различными давлениями пружины на почву при скорости движения 2,78 м/с (10 км/ч):

*а* – давление пружины на почву 120 Н; *б* – давление пружины на почву 160 Н;

*в* – давление пружины на почву 200 Н

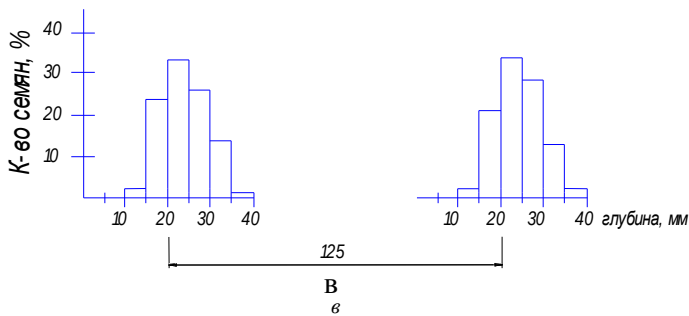
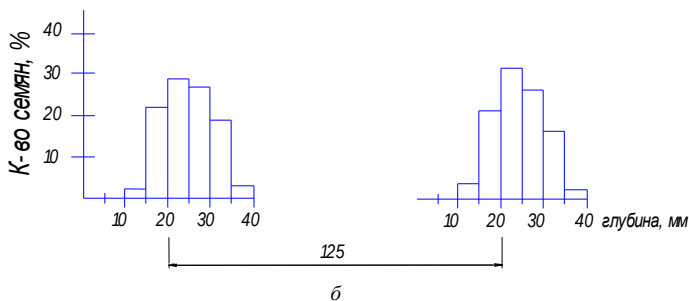
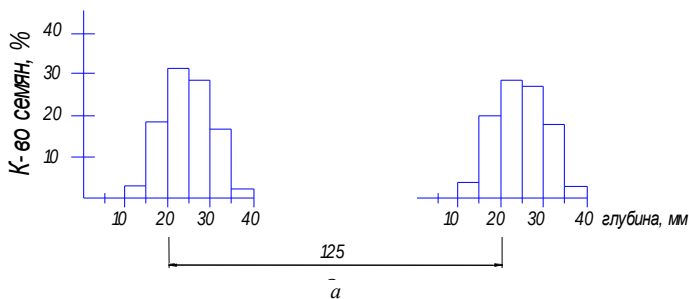


Рис. 4.5. Гистограммы распределения семян по глубине двухдисковым сошником с ребрами-бороздообразователями с различными давлениями пружины на почву при скорости движения 3,89 м/с (14 км/ч):  
 $a$  – давление пружины на почву 120 Н;  $\bar{b}$  – давление пружины на почву 160 Н;  
 $\bar{в}$  – давление пружины на почву 200 Н

При скорости 2,78 м/с с увеличением давления с 120 до 200 Н происходит перераспределение семян по глубине их заделки. Например, происходит перераспределение семян из нижележащих слоев в верхние слои почвы. Так, в слое 25...30 мм произошло уменьшение количества семян на 5 %, а в слое 20...25 мм – увеличение на 2...3 %. Такая же закономерность подтверждается при распределении семян по глубине и в других слоях почвы.

При скорости 3,89 м/с с изменением давления на экспериментальный двухдисковый сошник также наблюдается небольшое перераспределение семян в вышележащие слои почвы. Так, например, в слое почвы 20...25 мм количество семян повысилось на 5...6 %, а в слое 30...35 мм уменьшилось на 2...5 %.

Агротехническими требованиями по глубине заделки семян зерновых культур установлено, что 80 % семян должно заделываться в два смежных слоя. В нашем случае в два смежных слоя (15...25 мм и 25...35 мм) заделывается более 90 % семян.

По расчетным данным получена формула по определению глубины заделки семян  $h_c$  [85]:

$$h_c = \sqrt{\frac{G}{10,75 + 0,00687 \cdot v^2}}.$$

В табл. 4.1 приведены значения  $h_c$ , полученные опытным путем, относительные их различия в процентах, а также средние значения глубины  $h_c$  укладки семян на дно бороздки, стандартные отклонения, коэффициенты вариации, а также нижняя и верхняя границы доверительных интервалов в процентах.

Таблица 4.1. Результаты лабораторно-полевых опытов по глубине укладки семян в бороздки

| Скорость агрегата v, км/ч                                               | 8     | 12    | 16    | 8     | 12    | 16    | 8     | 12    | 16    |
|-------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Давление пружины G, Н                                                   | 120   |       |       | 160   |       |       | 200   |       |       |
| Среднее значение $h_c$ по лабораторно-полевому опыту, см                | 3,49  | 3,01  | 3,17  | 3,97  | 3,53  | 3,59  | 4,12  | 4,05  | 4,10  |
| Стандартное отклонение, см                                              | 0,43  | 0,54  | 0,49  | 0,38  | 0,48  | 0,43  | 0,42  | 0,44  | 0,55  |
| Коэффициент вариации, %                                                 | 12,39 | 17,98 | 15,53 | 9,63  | 13,65 | 11,9  | 10,74 | 10,89 | 13,32 |
| Нижняя граница доверительного интервала, см                             | 3,14  | 2,58  | 2,77  | 3,66  | 3,14  | 3,24  | 3,55  | 3,69  | 3,65  |
| Верхняя граница доверительного интервала, см                            | 3,84  | 3,44  | 3,58  | 4,28  | 3,92  | 3,94  | 4,23  | 4,41  | 4,55  |
| Расчетная глубина, см                                                   | 3,29  | 3,21  | 3,09  | 3,80  | 3,70  | 3,57  | 4,25  | 4,14  | 3,99  |
| Отношение разности глубины $h_B$ и опытными данными к глубине $h_c$ , % | –6,04 | 6,19  | –2,49 | –4,46 | 4,72  | –0,51 | 3,03  | 3,23  | –2,68 |
| Разность $h_B - h_c$ , см                                               | 0,32  | 0,26  | 0,18  | 0,37  | 0,30  | 0,21  | 0,41  | 0,34  | 0,24  |

Анализ табл. 4.1 показывает, что стандартное отклонение по глубине укладки семян находится в пределах 0,38...0,55 см, а коэффициент вариации – 10,74...17,98 %.

Максимальное различие данных составляет около 6 %. В последней строке таблицы приведены разности  $h_b - h_c$ . Отметим, что эта разность убывает с ростом скорости из-за подъема и более позднего осыпания почвы в бороздку и растет с увеличением давления пружины сошника  $G$ .

На рис. 4.6 приведен график зависимости глубины размещения семян на дно бороздки, раскрываемой двухдисковым сошником с усеченно-конусными ребрами-бороздообразователями при изменении скорости движения  $v$  и давления пружины сошника  $G$ . Из графика видно, что с увеличением скорости движения двухдискового сошника глубина бороздок  $h_b$  и глубина укладки семян  $h_c$  уменьшаются. В то же время с повышением давления на сошник глубина бороздок  $h_b$  и глубина закладки семян  $h_c$  увеличиваются.

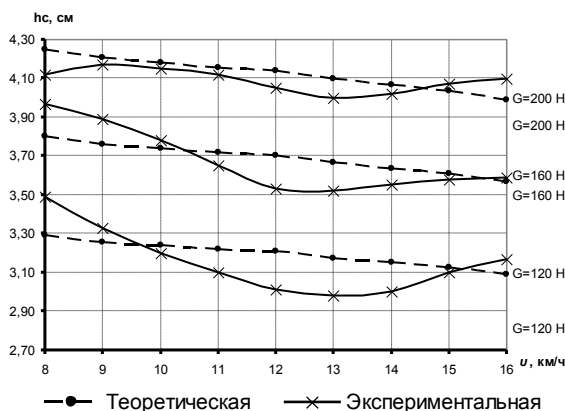


Рис. 4.6. График зависимости глубины укладки семян  $h_c$  от скорости движения  $v$  и давления пружины  $G$

Разности между глубиной раскрываемой бороздки и укладкой семян зерновых культур, определенные по теоретическим и экспериментально-теоретическим зависимостям, находятся в пределах 0,18...0,41 см. При этом они уменьшаются с повышением скорости и увеличиваются с возрастанием давления прижатия двухдискового сошника к почве.



Результаты сравнительных хозяйственных испытаний комбинированного почвообрабатывающе-посевного агрегата с однодисковыми и селекционной сеялки СН-10М с экспериментальными сошниками.

На производственном участке РУП «Учхоз БГСХА» проведены испытания по методике, изложенной в 3-м разделе, на урожайность ячменя модернизированной селекционной сеялкой СН-10М и комбинированного почвообрабатывающе-посевного агрегата АПП-3А. Исследовали в работе три агрегата (табл. 4.2).

В первом варианте при проведении почвообработки и посеве со скоростью 3 м/с средняя урожайность ячменя после проходов трактора «Беларус-2022» с комбинированным агрегатом АПП-3А составила 45,5 ц/га, а после прохода «Беларус-2022» с почвообрабатывающей частью + посев модернизированной селекционной сеялкой СН-10М – 46,0 ц/га.

Во втором варианте при почвообработке и посеве комбинированным агрегатом на скорости 3 м/с агрегатом средняя урожайность составила 45,8 ц/га, а при почвообработке на скорости 3 м/с и посеве сеялкой СН-10М при скорости 4 м/с – 45,7 ц/га.

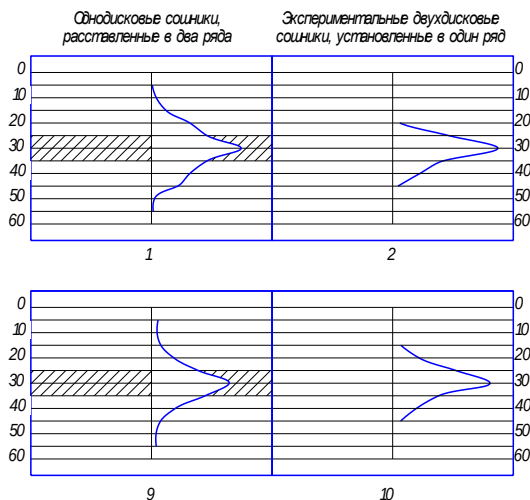
В третьем варианте при работе комбинированного почвообрабатывающе-посевного агрегата на скорости 3 м/с и 4 м/с посева сеялкой с экспериментальными сошниками урожайность составила 45,6 и 45,5 ц/га.

**Таблица 4.2. Урожайность ячменя при сравнительных испытаниях модернизированной селекционной сеялки с экспериментальными двухдисковыми сошниками и комбинированного почвообрабатывающе-посевного агрегата с однодисковыми сошниками**

| <b>Первый вариант</b> |           |           |    |
|-----------------------|-----------|-----------|----|
| 1                     | 45,7 ц/га | 46,5 ц/га | 2  |
| 3                     | 46,1 ц/га | 45,4 ц/га | 4  |
| 5                     | 45,3 ц/га | 45,9 ц/га | 6  |
| 7                     | 45,6 ц/га | 45,7 ц/га | 8  |
| <b>Второй вариант</b> |           |           |    |
| 9                     | 45,1 ц/га | 44,9 ц/га | 10 |
| 11                    | 46,2 ц/га | 45,7 ц/га | 12 |
| 13                    | 46,1 ц/га | 45,9 ц/га | 14 |
| 15                    | 45,8 ц/га | 46,4 ц/га | 16 |
| <b>Третий вариант</b> |           |           |    |
| 17                    | 45,4 ц/га | 45,7 ц/га | 18 |
| 19                    | 44,8 ц/га | 46,1 ц/га | 20 |
| 21                    | 45,3 ц/га | 45,5 ц/га | 22 |
| 23                    | 46,3 ц/га | 45,9 ц/га | 24 |

После закладки хозяйственных испытаний и появления всходов нами было обнаружено, что за экспериментальными двухдисковыми сошниками с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями полные всходы ячменя появились на два, три дня раньше, чем за однодисковыми сошниками серийного почвообрабатывающе-посевного агрегата. Однако глубина заделки семян ячменя, определяемая по этилированной части растений, была неодинаковой. Так, если у серийных однодисковых сошников глубина заделки колебалась от 0,8 до 4,3 см, то у экспериментальных двухдисковых двухстрочных сошников соответственно – от 1,9 до 3,6 см. Средняя глубина заделки семян у однодисковых сошников, установленных в два ряда, составила 3,48 см, а у экспериментальных – 2,85 см, что на 12,2 % меньше.

При скорости  $v \approx 4$  м/с у экспериментальных двухдисковых сошников наблюдалось уменьшение средней глубины заделки семян до 2,63 см, что на 10,8 %, меньше, чем при скорости  $v \approx 3$  м/с. При работе серийных однодисковых сошников, установленных в два ряда на комбинированном почвообрабатывающе-посевном агрегате АПП-3А, происходило увеличение глубины заделки семян переднего ряда. Это было вызвано забрасыванием борозды диском, открывающим бороздку для семян второго ряда сошников, о чем свидетельствуют сравнительные исследования плавности хода сошников, представленные на рис. 4.7.



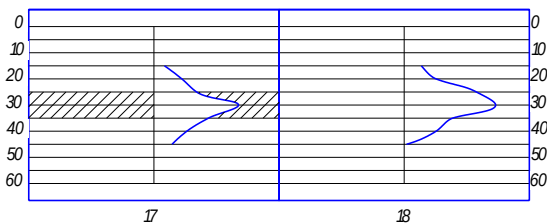


Рис. 4.7. Сравнительные исследования плавности хода экспериментальных двухдисковых и серийных однодисковых сошников селекционной сеялкой СН-10М и почвообрабатывающе-посевным агрегатом АПП-3А

В результате проведенных опытов установлено, что экспериментальный двухдисковый сошник с ребрами-бороздообразователями при скорости 1,67 м/с (6 км/ч) и усилии пружин 120 Н заделывает в слое 1,0...2,0 см 60...70 % семян. С увеличением усилия прижатия сошников к почве до 160 Н (16 кг) количество семян, распределившихся в слое 1,0...2,0 см, составляло 65...73 %; при усилии прижатия сошников к почве 200 Н распределение семян в слое 1,0...2,0 см составило 70...75%.

Исследовался также характер движения сошника при преодолении препятствия. Для этого после рыхления в почву закладывался на определенную глубину деревянный брус прямоугольного сечения, затем почва тщательно выравнивалась. После преодоления препятствия сошник совершал кратковременные затухающие колебания относительно положения равновесия. Высота подпрыгивания с увеличением скорости резко возросла. Если при скорости движения 6,0 км/ч она почти не улавливается и находится в пределах 0,5 см, то при скорости 10,0 км/ч она составляла уже 1,0...2,0 см. С увеличением жесткости штанговой пружины высота подпрыгивания сошника над препятствием уменьшается. В результате проведенных заездов по гребням высотой 2,7 см с интервалом 0,4 м при скорости 6,0 км/ч установлено, что сошник в этом случае практически не реагирует на встречающиеся неровности. Отклонения сошника в этом случае незначительны.

Таким образом, все варианты опытов на посеве двухдисковыми сошниками обеспечивают более равномерное распределение заделки семян как по глубине посева, так и по ходу движения агрегата, чем серийные сошники современных зерновых сеялок СПУ-6, С-6 и СЗ-5,4.

Это объясняется различием в конструкции сошников. Предлагаемая нами сошниковая группа имеет нулевой угол атаки и крена дисков. Это позволяет ей двигаться с большой скоростью (до 14 км/ч) без ухудшения качества посева.

### 4.3. Определение тягового сопротивления экспериментального двухдискового сошника

Тяговое сопротивление двухдискового сошника определяется как сумма горизонтальных составляющих всех видов сопротивления (рис. 4.8), которое записывается уравнением (4.1).

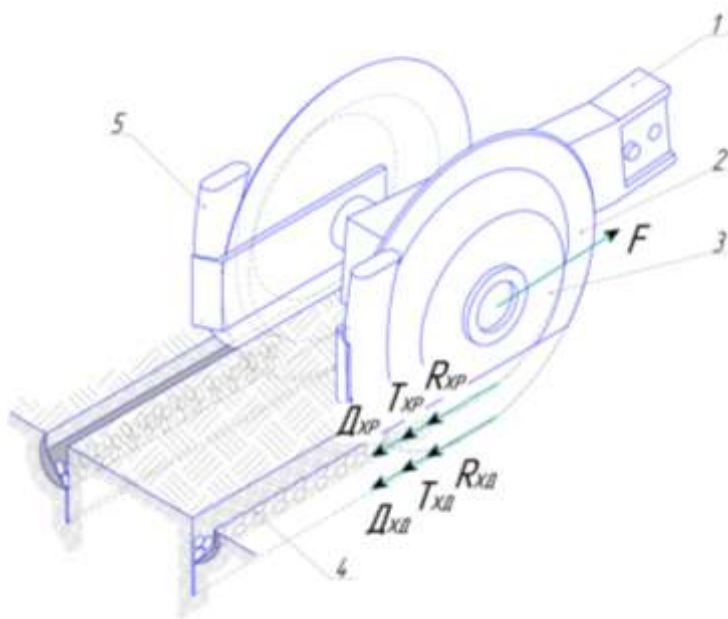


Рис. 4.8. Схема экспериментального двухдискового сошника для определения суммарного тягового сопротивления с приложением горизонтальных составляющих:  
1 – поводок; 2 – плоский диск; 3 – усеченно-конусная реборда-борздобразователь; 4 – бороздка, открываемая ребордой; 5 – семянаправитель

$$F=R_{xp}+R_{xd}+T_{xp}+T_{xd}+D_{xp}+D_{xd}, \quad (4.1)$$

где  $F$  – суммарное сопротивление двухдискового сошника с нулевым углом атаки дисков с внешними односторонними ребордами, Н;

$R_{xp}$  – горизонтальная составляющая тягового сопротивления реборды, Н;

$R_{xd}$  – горизонтальная составляющая тягового сопротивления плоского диска, Н;

$T_{xp}$  – горизонтальная составляющая тягового сопротивления от трения реборды, Н;

$T_{xd}$  – горизонтальная составляющая тягового сопротивления от трения диска, Н;

$D_{xp}$  – горизонтальная составляющая тягового сопротивления динамичных нагрузок реборды, Н;

$D_{xd}$  – горизонтальная составляющая тягового сопротивления динамичных нагрузок диска, Н.

Поскольку формулы для всех составляющих получены ранее, можно выделить тяговое сопротивление двухдискового сошника с внешними односторонними усеченно-конусными ребордами [86]. Определим тяговое сопротивление двухдискового сошника с внешними односторонними усеченно-конусными ребордами при его следующих изменяемых конструктивных и технологических параметрах:  $D_d$  – диаметр плоского диска, 0,3...0,35 м;  $D_p$  – диаметр реборды, 0,25...0,30 м;  $b_p$  – ширина реборды, 0,01...0,04 м;  $v$  – скорость движения экспериментального сошника, 1...5 м/с (3,6...18 км/ч);  $G$  – вертикальная нагрузка на экспериментальный сошник, 100...600 Н.

Эти конструктивные и технологические параметры были нами определены в результате предварительных исследований, а также исходя из работоспособности макетных образцов двухдисковых сошников с плоскими дисками, установленными с нулевым углом атаки дисков и внешними односторонними, симметрично установленными ребордами-бороздообразователями.

Данные исследований экспериментального двухдискового сошника приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3. Зависимость тягового сопротивления от конструктивных и технологических параметров двухдискового сошника с нулевым углом атаки дисков и внешними усеченно-конусными ребрами-бороздообразователями (Н).

| v, м/с   | G; Н | R = 0,15 м, R = 0,175 м, b <sub>д</sub> = 0,04 м, μ = 45°, α = 20° |          |            |            |
|----------|------|--------------------------------------------------------------------|----------|------------|------------|
|          |      | Повторность                                                        |          |            |            |
|          |      | I                                                                  | II       | III        | IV         |
| 1        | 2    | 3                                                                  | 4        | 5          | 6          |
| 3,6 км/ч | 100  | 20,350                                                             | 22,506   | 25,850     | –          |
|          | 200  | 59,796                                                             | 59,917   | 64,801     | –          |
|          | 300  | 109,153                                                            | 104,280  | 109,538 ▲  | 118,03 ▲   |
|          | 400  | 166,573                                                            | 154,990  | 158,433    | 168,311    |
|          | 500  | 231,440                                                            | 210,760  | 211,618    | 221,606    |
|          | 600  | 303,512                                                            | 270,919  | 268,642    | 278,267    |
| 4,8 км/ч | 100  | 20,064                                                             | 22,220   | 26,037     | –          |
|          | 200  | 58,762                                                             | 59,169   | 63,790     | –          |
|          | 300  | 107,503                                                            | 103,444  | 108,57 ▲   | 118,173 ▲  |
|          | 400  | 165,044                                                            | 153,241  | 158,114    | 168,663    |
|          | 500  | 227,579                                                            | 208,593  | 210,298    | 221,419    |
|          | 600  | 298,408                                                            | 267,718  | 266,706    | 278,135    |
| 6,0 км/ч | 100  | 19,437                                                             | 21,846   | 25,619     | –          |
|          | 200  | 57,156                                                             | 58,410   | 64,614     | –          |
|          | •300 | • 104,819                                                          | •102,003 | •108,251 ▲ | •118,459 ▲ |
|          | 400  | 159,764                                                            | 151,195  | 156,409    | 168,399    |
|          | 500  | 222,024                                                            | 204,383  | 208,483    | 220,99     |
|          | 600  | 290,147                                                            | 263,670  | 264,000    | 276,606    |

| 1        | 2    | 3         | 4        | 5          | 6          |
|----------|------|-----------|----------|------------|------------|
| 7,2 км/ч | 100  | 18,656    | 21,516   | 25,707     | –          |
|          | 200  | 55,176    | 57,167   | 63,734     | –          |
|          | •300 | ● 101,214 | ●100,276 | ●106,92 ▲  | ●118,602 ▲ |
|          | 400  | 154,462   | 148,280  | 154,913    | 167,673    |
|          | 500  | 214,478   | 200,618  | 206,690    | 219,681    |
|          | 600  | 270,336   | 257,587  | 261,041    | 275,308    |
| 8,4 км/ч | 100  | 17,633    | 20,999   | 25,806     | –          |
|          | 200  | 52,646    | 56,045   | 63,756     | –          |
|          | •300 | ● 97,339  | ●97,790  | ●106,018 ▲ | ●118,822 ▲ |
|          | 400  | 148,764   | 144,683  | 153,076    | 167,222    |
|          | 500  | 206,338   | 195,503  | 203,489    | 218,966    |
|          | 600  | 268,84    | 251,152  | 256,729    | 273,251    |



– значение тягового сопротивления при постоянном давлении  $G$  первой повторности I;



– значение тягового сопротивления при изменении скорости  $v$  движения сошника от 6,0 до 8,4 км/ч;



– значение тягового сопротивления при III – IV повторностях и изменении скорости  $v$  движения сошника от 3,6 до 8,4 км/ч.

Из табл. 4.3 видно, что при ширине усеченно-конусной реборды-бороздообразователя  $b_p = 0,03$  м и  $b_p = 0,04$  м с увеличением скорости  $v$  движения сошника от 1,0 м/с до 5м/с тяговое сопротивление двух-дискового сошника уменьшается. Это связано с тем, что с увеличением скорости движения машинно-тракторного агрегата сошники имеют тенденцию к выглублению.

На рис. 4.9 приведены зависимости тягового сопротивления экспериментального двухдискового сошника с плоскими дисками, на которых с внешней стороны диска симметрично установлены усеченно-конусные реборды-бороздообразователи.

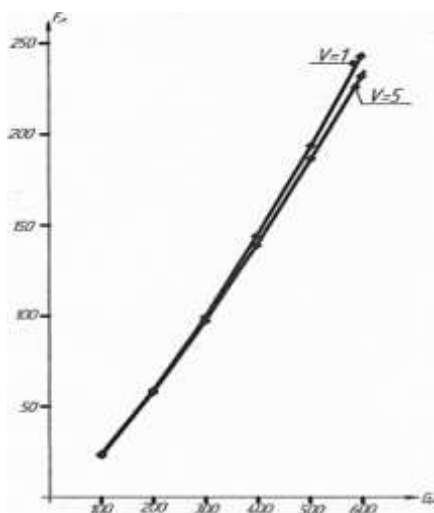


Рис. 4.9. Зависимость тягового сопротивления двух-  
дискового сошника  $F$  от вертикальной нагрузки  $G$  при  
разных скоростях ( $v=1,0; 3,0; 5,0$  м/с)  
и ширине реборды ( $b_p = 0,01$  м)

С изменением вертикальной нагрузки  $G$  от 100 до 600 Н на экспериментальный двухдисковый сошник увеличивается его тяговое сопротивление от 20 Н при  $G = 100$  Н и до 230 Н при  $G = 600$  Н. Из графика на рис. 4.9 видно, что тяговое сопротивление сошника увеличивается в несколько раз. Исследования показывают, что вертикальная нагрузка  $G$  при различных скоростях движения оказывает существенное влияние на двухдисковый сошник.

В то же время скорость движения экспериментального двухдискового сошника не оказывает существенного влияния на его тяговое сопротивление. Заметно даже небольшое убывание тягового сопротивления с увеличением скорости движения сошника. Примерно такая же зависимость тягового сопротивления экспериментального двухдискового сошника от скорости движения и вертикальной нагрузки наблюдается и при ширине усеченно-конусной реборды  $b_p = 0,03$  м (рис. 4.10). Так, например, видно, что при скоростях движения  $v = 1$  и 5 м/с двухдискового сошника при различных значениях вертикальной нагрузки тяговое сопротивление увеличивается незначительно.



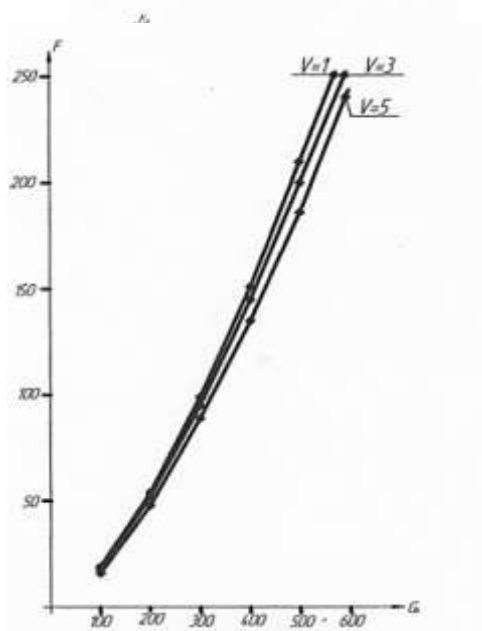


Рис. 4.10. Зависимость тягового сопротивления  $F$  экспериментального двухдискового сошника от давления  $G$  и скорости движения  $v = 1,0$  м/с;  $5,0$  м/с и ширины реборды  $b_p = 0,03$  м

На рис. 4.11 приведены зависимости тягового сопротивления экспериментального двухдискового сошника при изменении скорости движения от 1 до 5 м/с (3,6...18 км/ч) при различных значениях вертикальной нагрузки  $G = 100 \dots 500$  Н. Так, при небольших значениях вертикальной нагрузки (100...300 Н) наблюдаются небольшие снижения тягового сопротивления (от 54 Н до 47 Н при  $G = 200$  Н). При больших значениях вертикальной нагрузки (400...500 Н) снижение тягового сопротивления уменьшается более интенсивно – от 210 Н до 187 Н, например, при  $G = 500$  Н. Уменьшение тягового сопротивления вызвано тем, что с ростом скорости сошника наблюдается уменьшение глубины бороздки, которая существенно влияет на составляющую сил сопротивления.

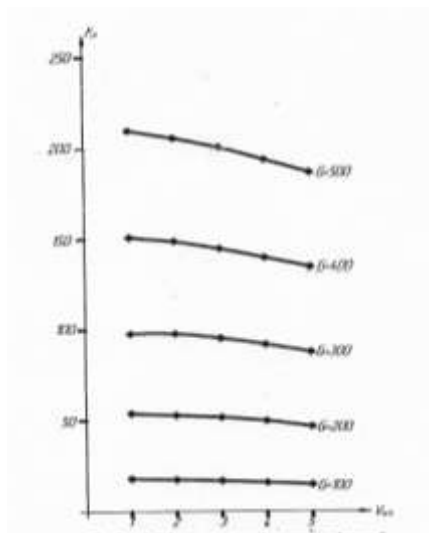


Рис. 4.11. Зависимость тягового сопротивления  $F$  экспериментального двухдискового сошника от скорости  $v$  при разных вертикальных нагрузках  $G$  и ширине реборды ( $b_p = 0.01$ )

На рис. 4.12 приведены графики тягового сопротивления  $F$  экспериментального двухдискового сошника от ширины реборды при различных значениях вертикальной нагрузки и трех скоростях движения рабочего органа. При скорости движения сошника 1 м/с (3,6 км/ч) и значениях вертикальной нагрузки  $G = 100 \dots 200$  Н тяговое сопротивление увеличивается незначительно и эта зависимость близка к прямой.

С увеличением вертикальной нагрузки на сошник при изменении ширины реборды от 0,01 до 0,04 м тяговое сопротивление сначала убывает, а затем возрастает. Так, например, при значениях  $G = 300, 400$  и 500 Н и изменении ширины реборды от 0,01 до 0,02 м уменьшение тягового сопротивления равно соответственно 5, 10 и 19 Н, что составляет 5; 6,6 и 9 %. Это объясняется тем, что глубина бороздки при увеличении ширины усеченно-конусной реборды  $b_p$  от 0,01 до 0,02 м вначале начинает незначительно уменьшаться, что приводит к снижению тягового сопротивления.

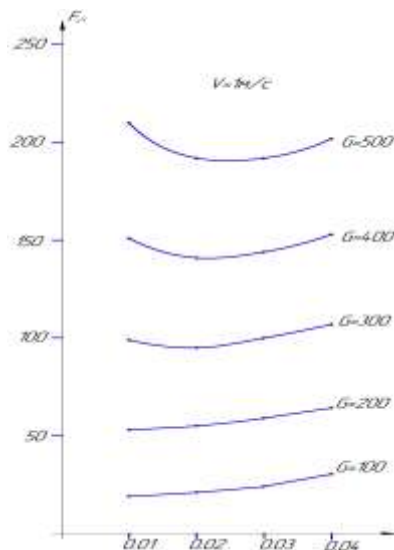


Рис.4.12. Зависимость тягового сопротивления  $F$  экспериментального двухдискового сошника при изменении ширины  $b_p$  реборды-бороздообразователя, вертикальных нагрузках  $G$  и скорости  $v = 1,0$  м/с

В дальнейшем при увеличении ширины реборды  $b_p$  до 0,04 м происходит незначительное уменьшение глубины, но за счет увеличения ширины реборды и соответственно более широкой бороздки происходит увеличение тягового сопротивления. Так, при ширине реборды  $b_p$  до 0,04 м в сравнении с  $b_p = 0,02$  м увеличение тягового сопротивления при значениях вертикальной нагрузки  $G = 300, 400$  и  $500$  Н составляет соответственно 12,6; 8,6 и 6,3 %. Из представленных исследований видно, что с точки зрения энергосбережения наиболее приемлемой является ширина усеченно-конусной реборды  $b_p = 0,02 \dots 0,03$  м.

Графики (рис. 4.13 и 4.14) зависимости тягового сопротивления  $F$  от ширины реборды  $b_p$  подтверждаются также исследованиями, проведенными на скоростях  $v = 3,0$  м/с (10,8 км/ч) и  $5,0$  м/с (18 км/ч) движения экспериментального двухдискового сошника в почве.

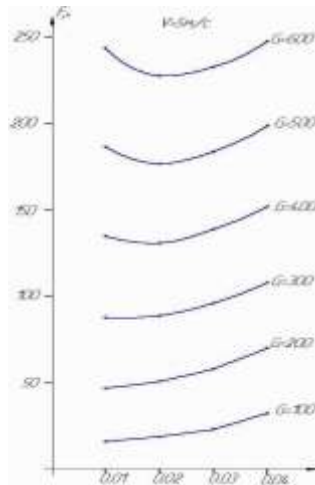


Рис. 4.13. Зависимость тягового сопротивления  $F$  экспериментального двухдискового сошника от ширины реборды  $b_r$ , вертикальных нагрузок  $G$  и скорости движения  $v = 3,0$  м/с

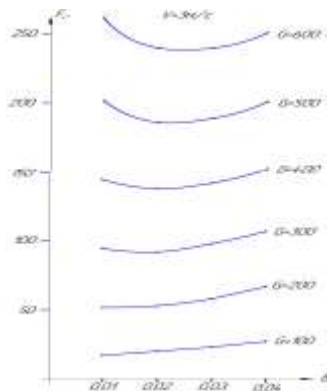


Рис. 4.14. Зависимость тягового сопротивления  $F$  экспериментального двухдискового сошника от ширины реборды  $b_r$ , вертикальных нагрузок  $G$  и скорости движения  $v = 5,0$  м/с

Так, сопротивление  $F$  двухдискового сошника с увеличением скорости  $v$  до 3,0 и 5,0 м/с в сравнении с  $v = 1,0$  м/с при всех значениях ширины реборды  $b_p$  и вертикальной нагрузки  $G$  незначительно снижается, что вызвано небольшим уменьшением глубины бороздки. Характер изменения зависимостей тягового сопротивления  $F$  при скоростях  $v=1,0$  3,0 и 5,0 м/с остается идентичным.

На рис. 4.13 и 4.14 представленные графики зависимости тягового сопротивления  $F$  при изменении ширины  $b_p$  реборды-бороздообразователя и скоростях движения  $v = 1,0$  и 5,0 м/с, а также различных значениях вертикальной нагрузки на двухдисковый сошник показывают идентичные изменения тягового сопротивления.

Из графиков видно, что с увеличением скорости от 3,0 до 5,0 м/с при значении  $G = 300$  Н снижение тягового сопротивления составляет около 4 %, а при значении  $G = 600$  Н и ширине реборды  $b_p = 0,02$  м соответственно  $\approx 4,5$  %. С увеличением ширины реборды тяговое сопротивление повышается при скоростях  $v = 3,0$  и 5,0 м/с и вертикальной нагрузке  $G = 300$  Н соответственно на 11,4 и 10,8 %.

Таким образом, проведенные исследования тягового сопротивления  $F$  двухдискового сошника с нулевым углом атаки дисков, на которых с внешней стороны симметрично закреплены усеченно-конусные реборды, показали хорошую их работоспособность при различных значениях конструктивных и технологических параметров, при невысоком тяговом сопротивлении  $F = 250$  Н, при максимальных значениях ширины реборды  $b_p$ , вертикального давления  $G$  и скорости движения  $v$ .

На основании проведенных исследований установлено, что с увеличением скорости движения  $v$  до 5,0 м/с экспериментального двухдискового сошника с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями имеет место уменьшение тягового сопротивления, вызванное незначительным выглублением рабочих органов.

При увеличении ширины реборд-бороздообразователей (при  $b_p = 0,02$  м) происходит уменьшение тягового сопротивления, а затем при  $b_p=0,04$  м с увеличением скорости от 3,0 м/с до 5,0 м/с его возрастание.

Таким образом, установка рабочих дисков без углов атаки и крена на двухдисковом сошнике с ребордами-бороздообразователями-уплотнителями позволяет уменьшить до минимума отброс почвы в стороны от диска и снизить тяговое сопротивление сошника при рабо-

те на повышенных скоростях. Такая установка предлагаемого двухдискового сошника не создает боковых сил, что позволяет работать на скоростях движения 10...15 км/ч и более, при этом одновременно уменьшить до минимума разброс почвы в стороны. Это дает возможность расставлять сошники в один ряд с расстоянием между рядками семян 12,5 см и менее.

Разработанный нами сошник позволяет добиться равномерности заделки семян в почву за счет получения бороздок одинаковой формы и глубины и нарезанных щелей; повысить всхожесть семян за счет использования реборд-бороздообразователей, которые создают уплотненные ложа и обеспечивают прямолинейность движения двухдисковых сошников; устранить сгуживание и отброс почвы, а также сделать рациональным их использование при одновременном высеве семян в две бороздки за счет установки дисков вертикально и параллельно направлению движения; повысить всхожесть семян за счет использования реборд-бороздообразователей, которые создают уплотненные ложа.

Залипание и забивание рабочих органов не наблюдалось даже при повышенной влажности почвы. Повреждение и дробление семян двухдисковыми сошниками также не выявлены.

Экспериментальная двухдисковая сошниковая группа по равномерности и глубине заделки семян удовлетворяет агротехническим требованиям. В заданный агротехническими требованиями допуск заделывается до 95 % семян (по АТТ должно быть не менее 80%).

В результате проведенных исследований установлено, что все варианты опытов на посеве двухдисковыми сошниковыми группами обеспечивают более равномерное распределение заделки семян как по глубине посева, так и по ходу движения агрегата по сравнению с серийными сошниками современных зерновых сеялок СПУ-6, С-6 и СЗ-5,4. Это объясняется различием в конструкции сошников.

#### **4.4. Реализация результатов исследований**

Исходя из всех приведенных выше исследований вытекает, что эффективнее всего использовать доработанный экспериментальный сошник с ребордами-бороздообразователями со следующими конструктивными параметрами:

- диаметр плоских дисков – 334 мм;

- толщина плоских дисков – 3 мм;
- большой и малый диаметры реборды – 286 и 230 мм;
- толщина (высота) реборды – 27 мм;
- диаметр семянаправителя – 42 мм;
- радиус кривизны семянаправителя – 242 мм.

Согласно этим конструктивным параметрам были оформлены чертежи для изготовления опытной партии двухдисковых сошников с внешними усеченными коническими ребордами-бороздообразователями в фирме ООО «Ремком» (г. Горки Могилевской области).

Экспериментальные сошники, установленные на модернизированную селекционную сеялку, успешно прошли хозяйственные испытания в РУП «Учхоз БГСХА». Эти двухдисковые сошники демонстрировались на международной выставке «Белагро» в 2010 и 2011 гг., а также на республиканских выставках. Модернизированная селекционная сеялка с экспериментальными сошниками прошла предварительные испытания на УП «Белорусская МИС». Испытания показали, что сошники удовлетворяют требованиям ТКП 078 – 2007 для посевных машин в Республике Беларусь. Аналитические, теоретические и лабораторно-полевые исследования с участием С. В. Авсюкевича использованы в отчетах по научно-исследовательской работе региональной и государственной программ научных исследований (ГПНИ) «Инновационные технологии в АПК» соответственно на 2006–2010 гг. и 2011–2015 гг. Экономическая эффективность проводилась в сравнении с посевными машинами, на которые устанавливались серийно выпускаемые двухдисковые и экспериментальные двухдисковые сошники с внешними усеченными коническими ребордами-бороздообразователями, позволяющими качественно работать на высоких скоростях.

## 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДВУХДИСКОВЫХ СОШНИКОВ С КОНУСНЫМИ РЕБОРДАМИ- БОРЗДООБРАЗОВАТЕЛЯМИ-УПЛОТНИТЕЛЯМИ

При внедрении сеялки с экспериментальными двухдисковыми сошниками в технологических операциях следует учитывать, что возрастает производительность, улучшается качество посева и снижаются затраты.

Произведем расчеты затрат на заработную плату при использовании этих агрегатов в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Затраты на зарплату

| Показателя                                                    | %    | Посевной агрегат с сошниками |                    |
|---------------------------------------------------------------|------|------------------------------|--------------------|
|                                                               |      | серийными                    | экспериментальными |
| Тарифный фонд, \$                                             | –    | 24,9                         | 29,7               |
| Доплата за продукцию, \$                                      | 25,0 | 6,2                          | 7,4                |
| Доплата за качество, \$                                       | 8,33 | 2,1                          | 2,5                |
| Повышенная оплата на уборке, \$                               | 13,0 | 3,2                          | 3,9                |
| Доплата за классность, \$                                     | 10,0 | 2,8                          | 3,4                |
| Оплата невыходов при выполнении общественных обязанностей, \$ | 2,69 | 0,8                          | 0,9                |
| Доплата за стаж, \$                                           | 15,0 | 3,7                          | 4,5                |
| Итого, \$                                                     | –    | 18,9                         | 22,5               |
| Оплата отпусков, \$                                           | 8,54 | 3,7                          | 4,5                |
| Итого, \$                                                     | –    | 22,7                         | 26,9               |
| Отчисления на социальное страхование, \$                      | 30,0 | 14,3                         | 17,0               |
| Всего, \$                                                     |      | 61,9                         | 73,7               |

Тогда затраты на горючесмазочные материалы (ГСМ) составят

$$З_{\text{гсм}} = N_{\text{дт}} \cdot Ц_{\text{дт}}, \quad (5.1)$$

где  $N_{\text{дт}}$  – объем топлива, необходимый на весь объем работ, т;

$Ц_{\text{дт}}$  – стоимость 1 т топлива, \$.

$$З_{\text{гсм.сер}} = 0,0728 \cdot 72,87 = 53 \$,$$

$$З_{\text{гсм.экспер.}} = 0,0935 \cdot 727,7 = 68,1 \$.$$

Амортизационные отчисления определим в соответствии с установленными нормами, а также отчислениями на техническое обслуживание и технический ремонт (табл. 5.2).



Таблица 5.2. Капитальные вложения по операциям с участием применяемой машины

| Состав агрегата                | Балансовая стоимость, \$ | Фактическая загрузка, ч | Годовая загрузка, ч | Капиталовложения, \$ | Норма отчисления, % |                | Сумма отчислений, \$ |                | Всего отчислено, \$ |
|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------|----------------------|----------------|---------------------|
|                                |                          |                         |                     |                      | на реновацию        | на ТО и ремонт | на реновацию         | на ТО и ремонт |                     |
| С серийными сошниками          |                          |                         |                     |                      |                     |                |                      |                |                     |
| «Беларус-820»                  | 14573                    | 70                      | 1300                | 784,7                | 10                  | 9,9            | 78,5                 | 77,7           | 156,2               |
| СН-10                          | 2613                     | 70                      | 160                 | 1143,2               | 14,2                | 10             | 162,3                | 114,3          | 276,7               |
| Итого                          |                          |                         |                     | 1927,9               |                     |                | 240,8                | 192,0          | 432,8               |
| С экспериментальными сошниками |                          |                         |                     |                      |                     |                |                      |                |                     |
| «Беларус-820»                  | 14573                    | 40                      | 1300                | 448,4                | 10                  | 9,9            | 44,8407              | 44,392         | 89,2                |
| СН-10                          | 2813                     | 40                      | 160                 | 703,3                | 14,2                | 10             | 99,873               | 70,333         | 170,2               |
| Итого                          |                          |                         |                     | 1151,7               |                     |                | 144,714              | 114,73         | 259,4               |

Прочие затраты берем в размере 5 % от суммы всех эксплуатационных отчислений:

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{гсм}} + Z_{\text{а}} + Z_{\text{ТРиТО}} \cdot 0,05, \quad (5.2)$$

где  $Z_{\text{зп}}$  – затраты на заработную плату, \$;

$Z_{\text{гсм}}$  – затраты на ГСМ, \$;

$Z_{\text{а}}$  – затраты на амортизацию, \$;

$Z_{\text{ТРиТО}}$  – затраты на ТР и ТО, \$.

$$Z_{\text{пр.сер}} = (61,9 + 53 + 240,8 + 192) \cdot 0,05 = 27,4\$.$$

$$Z_{\text{пр.экспер}} = (43,7 + 68,1 + 144,7 + 114,73) \cdot 0,05 = 20,6\$.$$

Тогда сумма эксплуатационных затрат

$$Z_{\text{э.сер}} = 61,9 + 53 + 240,8 + 192 + 27,4 = 575,1\$.$$

$$Z_{\text{э.экспер}} = 73,6 + 68,1 + 144,7 + 114,73 + 20,6 = 421,34\$.$$

Рассчитываем следующие показатели эффективности для двух агрегатов.

Производительность труда определяем по формуле

$$ПТ = \frac{Q}{t}, \quad (5.3)$$

где Q – объем работ, га;

t – затраты труда, чел.-ч.

$$ПТ_{сер} = \frac{56}{70} = 0,8 \text{ га/чел.-ч.}$$

$$ПТ_{пред} = \frac{56}{40} = 1,4 \text{ га/чел.-ч.}$$

Трудоемкость определим по формуле

$$T_c = \frac{t}{Q}, \quad (5.4)$$

$$T_{сущ} = \frac{70}{56} = 1,25 \text{ чел.-ч/га,}$$

$$T_{пред} = \frac{40}{56} = 0,71 \text{ чел.-ч/га.}$$

Рост производительности труда определим по формуле

$$П_{пр} = \frac{ПТ_{экспер} - ПТ_{сер}}{ПТ_{экспер}} \cdot 100, \quad (5.5)$$

$$П_{пр} = \frac{1,4 - 0,8}{1,4} \cdot 100 = 42,9\%$$

Уровень снижения трудоемкости в процентах определим по формуле

$$T_{с.т} = \frac{T_{с.сущ} - T_{с.пред}}{T_{с.сущ}} \cdot 100, \quad (5.6)$$

$$T_{с.т} = \frac{1,25 - 0,71}{1,25} \cdot 100 = 42,9\%$$

Удельные эксплуатационные затраты определим по формуле

$$З_{уд} = \frac{З_э}{Q}, \quad (5.7)$$

$$З_{уд.сер} = \frac{432,8}{56} = 7,73 \text{ $/га,}$$

$$З_{уд.экспер} = \frac{259,4}{56} = 4,63 \text{ $/га.}$$

Годовую экономию эксплуатационных затрат определим по формуле

$$\mathcal{O}_r = \left( \frac{3_{\text{сер}}}{Q_{\text{сер}}} - \frac{3_{\text{экспер}}}{Q_{\text{экспер}}} \right) Q_{\text{экспер}}, \quad (5.8)$$

$$\mathcal{O}_r = \left( \frac{575,1}{56} - \frac{421,3}{56} \right) \cdot 56 = 153,77\$.$$

Приведенные затраты определим по формуле

$$\Pi = 3_{\text{н}} + E_{\text{н}} K, \quad (5.9)$$

где  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент экономической эффективности согласно [36] принимаем  $E_{\text{н}} = 0,1$ .

$$\Pi_{\text{сер}} = 575,1 + 0,1 \cdot 1927,9 = 767,9\$,$$

$$\Pi_{\text{экспер}} = 421,3 + 0,1 \cdot 1151,7 = 536,5 \$.$$

Годовой экономический эффект определим по выражению

$$\Gamma_{\text{э}} = \left( \frac{\Pi_{\text{сер}}}{Q_{\text{сер}}} - \frac{\Pi_{\text{экспер}}}{Q_{\text{экспер}}} \right) Q_{\text{экспер}}, \quad (5.10)$$

$$\Gamma_{\text{э}} = \left( \frac{767,9}{56} - \frac{536,5}{56} \right) \cdot 56 = 231,39\$.$$

Все показатели сводим в табл. 5.3:.

Таблица 5.3. Показатели эффективности внедрения конструктивной разработки

| Показатели                               | Машина       |              |
|------------------------------------------|--------------|--------------|
|                                          | существующая | предлагаемая |
| Производительность труда, га/чел-ч.      | 0,8          | 1,4          |
| Трудоемкость, чел.-ч/га                  | 1,25         | 0,71         |
| Рост производительности труда, %         | 42,9         |              |
| Уровень снижения трудоемкости, %         | 42,9         |              |
| Удельные эксплуатационные затраты, \$/га | 7,73         | 4,63         |
| Годовая экономия затрат, \$              | 153,77       |              |
| Приведенные затраты, \$                  | 767,90       | 536,51       |
| Годовой экономический эффект, \$         | 231,39       |              |

Как видно из табл. 5.3, использование агрегата с экспериментальными двухдисковыми сошниками экономически эффективно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенных аналитических исследований установлено, что для обеспечения качественного посева зерновых культур современными посевными машинами, работающими на повышенных скоростях (15 км/ч и более, необходимо использовать двухдисковые сошники с минимальным углом атаки дисков с высоким усилием прижатия их к почве.

2. На основании поисковых исследований разработана конструктивная схема двухдискового сошника с нулевыми углами атаки и крена дисков, на которых установлены симметричные усеченные конические реборды-бороздообразователи для формирования бороздок с уплотненным ложем и боковой стенкой для интенсивного подтягивания влаги к семенам. Предлагаемая схема позволяет минимизировать отброс почвы на 60...85 % в зависимости от глубины хода, скорости движения сошников, а также закидывания ее на соседние бороздки, особенно при установке сошников в один ряд.

3. Полученные математические зависимости вертикальной и горизонтальной составляющих реакций почвы, а также динамических сопротивлений дает возможность обосновать технологические и конструктивные параметры предлагаемого двухдискового сошника с внешними усеченными коническими ребордами-бороздообразователями, который позволяет качественно размещать семена в формируемых бороздках.

4. Определены основные параметры двухдискового сошника с нулевым углом атаки дисков с усеченными коническими ребордами-бороздообразователями:

- диаметр плоских дисков – 0,035 м;
- толщина плоских дисков – 0,003 м;
- большой и малый диаметр реборды – 0,029 м и 0,025 м;
- толщина (высота) реборды – 0,03 м;
- диаметр семянаправителя – 0,03 м;
- радиус кривизны семянаправителя – 0,017 м;
- рациональная скорость движения – 12...15 км/ч;
- рациональная величина давления – 160...200 Н.

5. В результате анализа гистограмм распределения семян по глубине двухдисковыми сошниками, имеющими нулевой угол атаки дисков с внешними коническими ребордами-бороздообразователями, установлено, что при скорости их движения 4,0 м/с, давлении пружин – 200 Н семена мелкосеменных (трав) и зерновых культур заделываются

соответственно в два смежных слоя (0,01...0,02 м) и (0,02...0,04 м) не менее 80%.

6. Экономический эффект от увеличения производительности посевных агрегатов на 30...45% при внедрении экспериментальных двухдисковых сошников с нулевым углом атаки дисков составляет 231,39 \$ за счет снижения тягового сопротивления на 8...12%, металлоемкости – на 18%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа устойчивого развития села на 2011–2015 годы – Минск, 2011 – 99с.
2. Лепешкин, Н. Д. Выбор и использование комбинированных почвообрабатывающе-посевных агрегатов в условиях Республики Беларусь: рекомендации / Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, С. Ф. Лойко; НАН Беларуси РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2007. – 48 с.
3. Гайдуков, В. А. Повышение качества посева зерновых культур сошниковой группой с распределением и прикатыванием семян по ленте: автореф. дис.... канд. техн. наук / В. А. Гайдуков; Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки, 1998. – 18 с.
4. Клочков, А. В. Сельскохозяйственные машины: учебник / А. В. Клочков, Н. В. Чайниц, В. П. Буяшов. – Минск: Ураджай, 1997. – 494 с.
5. Петровец, В. Р. Обзор и исследование одно- и двухстрочных современных дисковых сошников / В. Р. Петровец, Н. В. Чайниц, С. В. Авсюкевич // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2009. – №1. – С. 152–158.
6. Петровец, В. Р. К выбору сошника для локального внесения минеральных удобрений / В. Р. Петровец // Сб. науч. тр. / Белорус. с.-х. акад. – Горки, 1979. – Вып. 53. – С. 26–33.
7. А б е д - К у х и, Я. М. Рабочие органы для локального внесения минеральных удобрений одновременно с посевом зерновых культур / Я. М. Абед-Кухи // Бюллетень ВУА. – 1985. – № 77. – С. 79–81.
8. Сошник для высева семян и внесения удобрений: информ. листок Алтайского ЦНТИ. – 1986. – № 235–286. – 3 с.
9. Приставка к сошнику сеялки СЗС-2,1 для посева семян с одновременным внесением минеральных удобрений: информ. листок Омского ЦНТИ. – 1985. – № 224 – 285. – 3 с.
10. П и н н и с, У. Э. Повышение эффективности использования зерновой сеялки СЗ-3,6А / У. Э. Пиннис // Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники: материалы Междунар. науч.- практ. конф. – Горки, 1998. – Ч. 1. – С. 41–42.
11. Г у р н и ц к и й, П. В. Новая сеялка с локальным внесением удобрений / П. В. Гурницкий, П. П. Ярошенко // Сб. науч. тр. УСХА. – Киев, 1979. – Вып. 224. – С. 123 – 124.
12. К и р и ч е н к о, В. А. Совершенствование технологического процесса заделки семян и удобрений в почву комбинированными сошниками зерновых сеялок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В. А. Кириченко; Харьковский ин-т мех. и электр. – Харьков, 1988. – 21 с.
13. К о з л о в с к и й, П. И. Сошники для посева зерновых и локального внесения минеральных удобрений / П. И. Козловский, Н. В. Захаров, В. Ф. Рябичин // Способы внесения удобрений: сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1976. – С. 180 – 183.
14. Комбинированный сошник: информ. листок Кокчетавского ЦНТИ. – 1987. – № 20–87. – 3 с.
15. Я р о ш е н к о, П. П. Структурно-функциональная схема посева зерновых культур с одновременным внесением основной дозы удобрений локальным способом / П. П. Ярошенко // Бюллетень ВУА. – 1985. – № 77. – С. 63–68.
16. Н е ф е д о в, Б. А. Обоснование размещения тукозаделывающих рабочих органов на раме машины для локального внесения удобрений / Б. А. Нефедов // Интенсификация механизированных процессов применения удобрений: сб. науч. тр. ВИМ. – М., 1985. – Т. 107. – С. 56–60.

17. Нефедов, Б. А. Выбор ширины захвата машины для допосевого внутрипочвенного локального внесения основной дозы минеральных удобрений / Б. А. Нефедов // НТБ ВИМ. – Вып. 53. – М., 1983. – С. 28–31.
18. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Программа и методы испытаний. ОСТ 70.5.1–82. Издание официальное. – М., 1983. – 138 с.
19. Кушилкина, Н. В. О качестве посева при скорости агрегата 9–15 км/ч / Н. В. Кушилкина // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. – 1964. – № 5. – С. 16–18.
20. Любушко, Н. И. Создание сошников для работы на скоростях 9–15 км/ч / Н. И. Любушко // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. – 1964. – № 5. – С. 18–22.
21. Юдкин, Е. В. О взаимодействии диска сошника с почвой / Е. В. Юдкин // Сб. науч. работ. – Саратов: СХИ, 1975. – Вып. 41 – С. 40–43.
22. Дудко, Н. И. Исследование эффективности работы комбинированного сошника с разновеликими дисками / Н. И. Дудко, О. П. Лабурдов // Актуальные проблемы механизации сельскохозяйственного производства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 160-летию БГСХА и памяти академика С. И. Назарова. – Горки, 2001 – Ч. 2. – С. 90–95.
23. Кидаков, М. М. Обоснование основных параметров агрегатов для локального внесения полных доз минеральных удобрений: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. М. Кидаков; ВИМ. – М., 1978.
24. Пат. 4267. Республика Беларусь, МПК F 26 В 3/07. В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, Г. Н. Гурков / Рабочий орган разбрасывателя сыпучих материалов; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № 20070084; заявл. 06.02.07; опубл. 17.12.2007. – 3 с.: ил.
25. Пат. 4341. Республика Беларусь, МПК F 26 В 3/07. В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, Н. И. Дудко / Двухдисковый распылитель сыпучих материалов; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № 20070293; заявл. 23.04.07; опубл. 01.02.2008. – 3 с.: ил.
26. Пат. 4342. Республика Беларусь, МПК F 26 В 3/07. В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, Н. И. Дудко, С. П. Кокиц / Комбинированный двухдисковый рассеиватель сыпучих материалов; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № 20070296; заявл. 23.04.07; опубл. 01.02.2008. – 3 с.: ил.
27. Пат. 4406. Республика Беларусь МПК F 26 В 3/07. В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, Н. И. Дудко, С. П. Кокиц / Комбинированный рабочий орган разбрасывателя сыпучих материалов; заявитель и патентообладатель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № 20070297; заявл. 23.04.07; опубл. 03.03.2008. – 3 с.: ил.
28. Петровец, В. Р. Сельскохозяйственные машины: практикум / В. Р. Петровец. Н. В. Чайчиц. – Минск: Ураджай, 2002. – 292 с.: ил.
29. Ключков, А. В. Сельскохозяйственные машины: учебник / А. В. Ключков, Н. В. Чайчиц, В. П. Буяшов. – Минск: Ураджай, 1997. – 494 с.
30. Однодисковый сошник: пат. ВУ № 3512 У, МПК А 01С 7/20; опубл. 30.04.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007.
31. Однодисковый сошник, пат. ВУ № 74 У. МПК А 01С 7/20; опубл. 30.12.1999 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 1999.
32. Сошник двухстрочный комбинированный: пат. ВУ А<sup>1</sup>» 4329 У, МПК А 01С 7/20; опубл. 30.04.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008.
33. Двухдисковый двухстрочный сошник пат. ВУ № 432 У, МПК А 01С 7/20. опубл. 30.12.2001 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2001.
34. Terrascm C6-C8 ru. qxd [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.Poettinger.at>. Загл. с экрана.
35. SULKY EASYDRILL Russe. pdf. [3.neiapoHHbifi pecypc]. – Режим доступа: <http://www.Sulky-burel.com>. Загл. с экрана.

36. ES\_Ro i'eC\_10\_06\_RUS. iridd. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.amazon.ru>. Загл. с экрана.
37. Solitary RUS. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.Lemken.com>, Загл. с экрана.
38. Петровец, В. Р. Обзор и исследование одно- и двухстрочных современных дисковых сошников / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2009. – №1. – С. 128–133.
39. Цыганов, А. Р. Экологические и ресурсосберегающие аспекты технологий и техники для внутрипочвенного внесения минеральных удобрений и посева культур / А. Р. Цыганов, В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц // Труды. Таврийская государственная агро-техническая академия – Вып. 1. – Т 22. Мелитополь: ТДАТА, – 2001. – С. 47–51.
40. Сайко, В. Ф. Увеличение производства зерна озимой пшеницы и совершенствование интенсивных технологий ее возделывания // Вестн. с.-х. науки. – 1987, – № 8. – С 44–50.
41. Сельхозтехника // Техника от тор адгаг [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: [www.profs.com/rossia](http://www.profs.com/rossia). – Дата доступа: 12.12.2010.
42. Методика оценки бороздообразования / М.: ВИМ, 1971. – 40 с.
43. Теоретические и технологические основы посева сельскохозяйственных культур // Сб. трудов / Всесоюз. акад. с.-х. наук; науч. ред. В. И. Анискин. – М., 1990. – 53 с.
44. Давлетшин, М. М. Дисковый сошник для отечественных зернотуковых сеялок / М. М. Давлетшин, Д. Т. Атягулов // Сб. науч. тр. Башк. гос. унив. – 2010. – №3. – С. 30–33.
45. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные машины / Н. И. Кленин, С. Н. Киселев, А. Г. Девшин. – М.: Колос С, 2008. – 816 с.
46. Шпаар, Д. Зерновые культуры / Шпаар Д., Элмер Ф., Постников А., Протопов Н. – Минск: «ФУАинформ», 2000, – 421 с.
47. Теоретические и технологические основы посева сельскохозяйственных культур // Сб. науч. тр. / ВИМ механизации с.-х. – М., 1990. – 93 с.
48. Петровец, В. Р. Анализ и исследование основных типов современных сошников / В. Р. Петровец, С. В. Колос // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2001. – №3. – С. 123–127.
49. Набатян, М. П. Экспериментально-теоретическое обоснование параметров дисковых сошников зерновой сеялки для работы на повышенных скоростях: автореф. дис. .... канд. техн. наук // М. П. Набатян. – М., 1972.
50. Каликинский, А. А. Эффективность локального внесения удобрений на дерново-подзолистых почвах Белоруссии // Бюллетень ВИУ. – 1974. – №18.
51. Желиговский, В. А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии с.-х. материалов / В. А. Желиговский. – Тбилиси: Груз. СХИ, 1960. – 146 с.
52. Кутьков, В. В. Тракторы и автомобили: теория / В. В. Кутьков. – М.: Колос, 2004. – 504 с.
53. Точицкий, А. А. Изыскания и исследование сошников к зернотуковым сеялкам для посева на торфяных почвах: дис. .... канд. техн. наук: 05 20 01 / А. А. Точицкий. – Минск, 1981. С. 20.
54. Петровец, В. Р. Обзор и исследование одно- и двухстрочных современных дисковых сошников / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2009. – №1. – С. 135–137.
55. Тракторы: теория: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобили и тракторы»; ред. В. В. Гуськов. – М.: Машиностроение, 1988. – 375 с.
56. Гуськов, В. В. Тракторы / В. В. Гуськов. – Минск, Вышэйш. шк., 1977. – Ч. 2: Теория. – 384 с.
57. Кацыгин, В. В. Вопросы сельскохозяйственной механики / В. В. Кацыгин. – Минск: Ураджай, 1964. –Т. 13. – 168 с.



58. Беккер, М. Г. Введение в теорию систем местность–машина / М. Г. Беккер. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.: ил.
59. Вопросы сельскохозяйственной механики / под ред. акад. М. Е. Мацепуро [и др.] – Минск: Ураджай, 1966. – Т. 16. – 356 с.: ил.
60. Желиговский, В. А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии с.-х. материалов / В. А. Желиговский. – Тбилиси: Груз. СХИ, 1960. – 146 с.
61. Имамов, И. С. Анализ силовой нагруженности дисковых рабочих органов / И. С. Имамов, В. А. Юзбашев // Теоретические и технологические основы посева сельскохозяйственных культур. – М., 1990. – Т. 124. – 105с.
62. Прудников А. П. Интегралы и ряды. Элементарные функции / А. П. Прудников, Ю. А. Бычков, О. И. Маричев. – М.: Наука, 1986. – 799 с.
63. Двайт, Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г. Б. Двайт. – М.: Наука, 1977. – 224 с.: граф.
64. Воднев, В. Т. Математический словарь высшей школы / В. Т. Воднев, А. Ф. Наумович. – Минск: Вышэйш. шк., 1984.
65. Петровец, В. Р. Теоретические исследования двухдискового сошника с коническими ребордами-бороздообразователями / В. Р. Петровец, С. В. Авсюкевич // Вестн. Беларус. гос. с.-х. акад. – 2010. – №2. – С.154–159.
66. М а д е л у н г, Э. Математический аппарат физики.: справ. руководство / Э. Маделунг. – М., 1968. – 618 с.
67. Петровец, В. Р. Динамическое сопротивление двухдискового сошника с ребордами-бороздообразователями / В. Р. Петровец, С. В. Авсюкевич // Вестн. Беларус. гос. с.-х. акад. – 2010. – №3. – С. 155–160.
68. Курилович, К. К. Машины для посева и посадки сельскохозяйственных культур: пособие / К. К. Курилович. – Горки, 1999. – 100 с.
69. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Программа и методы испытаний. ОСТ 70.5.1–82. Издание официальное. – М., 1983. – 138 с.
70. Подготовка и работа посевных агрегатов: пособие / В. Р. Петровец [и др.]. – Горки: БГСХА, 2012. – 44 с.
71. Петровец, В. Р. Технологии и машины для посева зерновых культур: лекция / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич. – Горки, 2008. – 20 с.
72. Исследование двухдискового сошника с минимальным углом атаки / В. Р. Петровец [и др.] // Научный поиск молодежи XXI века: материалы X Междунар. научн. конф. студентов и магистрантов. – Горки, 2009 – С.31–34.
73. Авсюкевич, С. В. Классификация двухдисковых сошников для посева травяных и зерновых культур / С. В. Авсюкевич / Вестн. Беларус. гос. с.-х. акад. – 2012. – №2. – С.138–143.
74. Петровец, В. Р. Распределение семян по глубине двухдисковыми сошниками с нулевым углом атаки дисков с внешними усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями / В. Р. Петровец, С. В. Авсюкевич // Вестн. Беларус. гос. с.-х. акад.. – 2012. – №2. – С.153–158.
75. Исследование двухдисковой сошниковой группы на посевах зерновых культур / В. Р. Петровец [и др.] // Вестн. Беларус. гос. с.-х. акад. – 2009. – №2. – С. 151–156.
76. Петровец, В. Р. Перспективные направления в развитии механизации обработки почвы и посева зерновых культур / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич // Вестн. Беларус. гос. с.-х. акад. – 2007. – №3. – С. 142–149.
77. Бочаров, Ю. А. Структурно-морфологическая классификация кузнечно-штамповочных машин / Ю. А. Бочаров // Кузнечно-штамповочное производство. – 1974 – №11. – С. 11–15.
78. Петровец, В. Р. Структурно-морфологическая классификация сошников для внесения основной дозы минеральных удобрений и посева зерновых культур / В. Р. Петровец // Сб. тр. БСХА – Горки, 1976. – С. 55–58.

79. Оганесян, К. Г. Исследование сошников туковывсевающих машин / К. Г. Оганесян. – Ереван, 1968. – 16 с.

80. Вагин, Ю. Т. Изыскание, разработка и исследование сошника для посева по свежевспаханной почве / Ю. Т. Вагин. – Горки, 1972. – 17 с.

81. Двухдисковый сошник: пат. 5026 Респ. Беларусь, МПК 7 А 01 С 7/00 / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, Н. И. Дудко, С. В. Авсюкевич; заявитель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – № U200708654; заявл. 04.12.07; опубл. 12.11.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці – 2007. – №3. – С. 156.

82. Двухдисковый четырехстрочный сошник: пат. 5803 Респ. Беларусь, МПК 7 А 01 С 7/00 / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, Н. И. Дудко, С. В. Авсюкевич; заявитель Белорусская государственная сельскохозяйственная академия – № U200708654; заявл. 06.10.08; опубл. 16.04.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – №4. – С. 192.

83. Петровец, В. Р. Исследование двухдисковой сошниковой группы на посеве зерновых культур / В. Р. Петровец [и др.] // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2009. – №2. – С. 151–156.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение.....                                                                                                                                          | 3   |
| 1. Современное состояние и проблемы совершенствования посева зерновых культур.....                                                                     | 7   |
| 1.1. Способы посева зерновых культур.....                                                                                                              | 7   |
| 1.2. Совершенствование способов посева зерновых культур.....                                                                                           | 14  |
| 1.3. Агротехнические и технологические требования к посеву зерновых культур при интенсивной технологии возделывания.....                               | 16  |
| 1.4. Условия качественного посева зерновых культур при интенсивной технологии возделывания.....                                                        | 20  |
| 1.5. Образование технологической колеи при посеве.....                                                                                                 | 22  |
| 1.6. Организация работы посевных агрегатов.....                                                                                                        | 23  |
| 1.7. Обзор и анализ конструкций зерновых сеялок с комбинированными рабочими органами.....                                                              | 24  |
| 1.8. Современные сеялки для посева зерновых культур.....                                                                                               | 32  |
| 1.9. Анализ исследования сошниковых групп комбинированных сеялок.....                                                                                  | 41  |
| 1.10. Результаты испытаний комбинированных зернотуковых сеялок.....                                                                                    | 45  |
| 1.11. Уплотнение почвы при заделке семян зерновых культур.....                                                                                         | 49  |
| 1.12. Анализ и исследование основных типов современных сошников для посева зерновых культур.....                                                       | 55  |
| 1.13. Сошниковые группы с опорно-прикатывающими катками.....                                                                                           | 75  |
| 1.14. Распределение семян в почве дисковыми сошниками с прикатывающим катками.....                                                                     | 76  |
| 1.15. Структурно-морфологическая классификация сошников и их технических параметров.....                                                               | 79  |
| 1.16. Обзор вариантов оптимального посева.....                                                                                                         | 83  |
| 1.17. Агротехнические аспекты функционирования сошниковых групп.....                                                                                   | 87  |
| 1.18. Технологические образования бороздок и распределение семян двухдисковыми сошниками с разными углами атаки.....                                   | 93  |
| 2. Теоретическое обоснование основных параметров двухдискового сошника с односторонними ребрами-бороздообразователями для посева зерновых культур..... | 96  |
| 2.1. Взаимодействие бороздообразующих элементов и опорных поверхностей сошников с почвой.....                                                          | 96  |
| 2.2. Определение уравнения траекторий движения двухдискового сошника.....                                                                              | 109 |
| 2.3. Обоснование угла между нормалью к ребре и направлением скорости.....                                                                              | 112 |
| 2.4. Силы, действующие со стороны почвы на двухдисковый сошник с ребрами.....                                                                          | 115 |
| 2.5. Соппротивление почвы сжатию ребровой-бороздообразователем.....                                                                                    | 118 |
| 2.6. Уравнение равновесия моментов сил, действующих на двухдисковый сошник с ребрами-бороздообразователями.....                                        | 122 |
| 2.7. Исследование трения экспериментального двухдискового сошника с усеченно-конусными ребрами о почву.....                                            | 123 |
| 2.8. Определение динамического сопротивления двухдискового сошника с ребрами-бороздообразователями.....                                                | 128 |
| 2.9. Исследование глубины бороздки, образуемой экспериментальным двухдисковым сошником с усеченно-конусными ребрами-бороздообразователями.....         | 138 |
| 3. Программа и методика экспериментальных исследований.....                                                                                            | 146 |

|                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1. Обоснование конструкции двухдискового сошника с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями (обоснование объекта исследований).....                                  | 146 |
| 3.2. Разработка технической документации на изготовление двухдискового сошника с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями.....                                         | 155 |
| 3.3. Методика проведения экспериментальных исследований.....                                                                                                                     | 164 |
| 3.3.1. Определение твердости почвы в бороздках.....                                                                                                                              | 170 |
| 3.3.2. Методика измерений тягового сопротивления экспериментального сошника.....                                                                                                 | 172 |
| 4. Результаты экспериментальных исследований.....                                                                                                                                | 177 |
| 4.1. Исследование зависимости ширины бороздки от скорости движения посевного агрегата (дисков).....                                                                              | 177 |
| 4.2. Влияние скорости движения посевного агрегата и давления на двухдисковый сошник с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями на распределение семян по глубине ..... | 179 |
| 4.3. Определение тягового сопротивления экспериментального двухдискового сошника.....                                                                                            | 188 |
| 4.4. Реализация результатов исследований.....                                                                                                                                    | 198 |
| 5. Экономическая оценка двухдисковых сошников с конусными ребордами-бороздообразователями-уплотнителями.....                                                                     | 200 |
| Заключение.....                                                                                                                                                                  | 204 |
| Литература.....                                                                                                                                                                  | 206 |

Н а у ч н о е   и з д а н и е

Владимир Романович **Петровец**  
Сергей Владимирович **Авсюкевич**  
Николай Иванович **Дудко**

ПОСЕВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ДИСКОВЫМИ СОШНИКАМИ  
С УСЕЧЕННО-КОНУСНЫМИ БОРОЗДОБРАЗОВАТЕЛЯМИ-  
УПЛОТНИТЕЛЯМИ

Монография

Редактор Е. Г. Бутова  
Технический редактор Н. Л. Якубовская  
Корректор Л.С. Разинкевич

Подписано в печать . Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная  
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. Уч.- изд. л.  
Тираж 100 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Свидетельство о ГРИИРПИ №1/52 от 09.10.2013  
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.