

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
БРЮХОВЕЦКИЙ ФИЛИАЛ

Трубилин Е.И., Абликов В.А., Соломатина Л.П., Лютый А.Н.

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ**

(Конструкция, теория и расчет)

ЧАСТЬ I

2008 г.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
БРЮХОВЕЦКИЙ ФИЛИАЛ

Трубилин Е.И., Абликов В.А., Соломатина Л.П., Лютый А.Н.

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ**

(Конструкция, теория и расчет)

**ЧАСТЬ I**

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по агроинженерному образованию в качестве учебного пособия для студентов высших сельскохозяйственных заведений, обучающихся по специальности 311300 Механизация сельского хозяйства

2008 г.

Е.И. ТРУБИЛИН, В.А. АБЛИКОВ, А.Н. ЛЮТЫЙ, СОЛОМАТИНА Л.П.  
Сельскохозяйственные машины (конструкция, теория и расчет)  
ЧАСТЬ I: Учебное пособие / КГАУ, 2-е издание перераб. и дополн.  
Краснодар, 2008. 200 с.

Представлен материал по классификации и анализу рабочих органов с.х. машин и орудий для обработки почвы, посеву семян и посадке растений, внесению удобрений и защите растений от с.х. вредителей и болезней. Изложены известные физико-механические и другие свойства почвы, семян и различных частей растений, имеющие существенное значение при их машинной обработке. На этой базе даны основы теории и расчета рабочих органов с.х. машин и орудий, а также предложения по их рациональному применению, основам их расчета и проектирования.

При написании учебного пособия авторы использовали известные литературные источники, а также результаты собственных научных исследований.

Рецензенты: Кафедра эксплуатации МТП Кубанского Госагро-  
университета - зав. кафедрой, заслуженный деятель  
науки России, доктор технических наук, профессор  
Маслов Г.Г.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ МАШИНЫ И ОРУДИЯ	9
<b>1.1. Плуги</b>	10
1.1.1 Физико-механические свойства почвы	10
1.1.2 Агротехнические требования	18
1.1.3оборот пласта и построение профиля борозды	22
1.1.4 Рабочая поверхность корпуса плуга, как развитие трехгранного клина. Сопротивление почвы движению клина	25
1.1.5 Типы лемешно-отвальных поверхностей плуга и способы их построения	31
1.1.6 Расчет навесного плуга	37
1.1.7 Расчет тягового сопротивления по В.П. Горячкину, КПД плуга	44
1.1.8 Равновесие плугов в работе	51
<b>1.2. Культиваторы</b>	56
1.2.1 Типы рабочих органов культиваторов	56
1.2.2 Основные параметры рабочих органов культивато- ров и их расчет	58
1.2.3 Размещение рабочих органов на раме культиватора	61
1.2.4 Типы крепления рабочих органов культиватора к раме	63
<b>1.3. Зубовые бороны</b>	67
1.3.1 Классификация зубовых борон	67
1.3.2 Динамика работы зуба	68
1.3.3 Размещение зубьев на раме бороны	70
<b>1.4. Дисковые почвообрабатывающие машины</b>	74
1.4.1 Основные параметры дисковых рабочих органов	74
1.4.2 Расстановка дисков борон и лушильников	77
1.4.3 Силы, действующие на дисковые рабочие органы	78
1.4.4 Равновесие дисковых орудий	80
<b>1.5. Почвенные фрезы</b>	81
1.5.1 Кинематика рабочих органов фрез	81

1.5.2 Основные параметры технологического процесса работы фрезы	83
1.5.3 Затраты мощности на работу фрезы	84
<b>2. ПОСЕВНЫЕ И ПОСАДОЧНЫЕ МАШИНЫ</b>	87
<b>2.1 Технологические свойства семян и клубней</b>	87
<b>2.2 Агротехнические требования к посеву и посадке</b>	91
<b>2.3 Способы посева и посадки</b>	93
<b>2.4 Классификация посевных и посадочных машин</b>	98
<b>2.5 Семенные емкости сеялок и сажалок</b>	103
<b>2.6 Высевальные аппараты сеялок и сажалок</b>	106
2.6.1 Катушечные высевальные аппараты	106
2.6.2 Дисковые высевальные аппараты	111
2.6.3 Пневматические высевальные аппараты	114
2.6.4 Рассадопосадочные аппараты	118
2.6.5 Аппараты для высадки клубней картофеля	122
2.6.6 Струйные высевальные аппараты	130
<b>2.7 Семяпроводы сеялок</b>	133
<b>2.8 Сошники сеялок и сажалок</b>	137
2.8.1 Типы сошников	137
2.8.2 Рабочий процесс сошников	140
2.8.3 Взаимодействие сошников с почвой	142
2.8.4 Взаимодействие сошников с семенами	147
2.8.5 Равновесие сошников	148
<b>2.9 Установка зерновой сеялки</b>	150
2.9.1 Установка зерновой сеялки на заданную норму высева семян	150
<b>2.10 Расчет вылета маркера</b>	154
<b>3. МАШИНЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ</b>	157
<b>3.1 Виды удобрений и способы их использования</b>	157
<b>3.2 Типы аппаратов для внесения удобрений</b>	161
<b>3.3 Расчет тарельчатых туковывсевающих аппаратов</b>	164
<b>3.4 Расчет центробежных туковывсевающих аппаратов</b>	168
<b>3.5 Расчет барабанных аппаратов для внесения твердых органических удобрений</b>	171

<b>3.6 Машины для разбрасывания жидких удобрений</b>	174
<b>4. МАШИНЫ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ</b>	177
<b>4.1 Химические способы борьбы с вредителями</b>	177
<b>4.2 Агротехнические требования к машинам для химической защиты растений</b>	179
<b>4.3 Основы теории и расчета опрыскивателей</b>	181
4.3.1 Распиливающие наконечники и их расчет	182
4.3.2 Расчет поршневого насоса	186
4.3.3 Критерии качества опрыскивания	187
4.3.4 Малообъемное опрыскивание	189
<b>4.4 Расчет параметров опыливателей</b>	190
4.4.1 Типы распиливающих устройств	191
4.4.2 Расчет основных параметров опыливателей	193
<b>4.5 Расчет параметров протравливателей</b>	197
<b>ЛИТЕРАТУРА</b>	199

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач современного сельскохозяйственного производства является улучшение инженерно - технической службы. В свете этого возрастает роль и значение инженера механика как организатора использования сельскохозяйственной техники. Для правильного и рационального функционирования инженерно - технической службы в сельском хозяйстве инженеру нужны глубокие знания конструкции и теории рабочих процессов сельскохозяйственных машин, умение настраивать эти машины на оптимальный режим работы в зависимости от изменяющихся свойств и состояния обрабатываемого материала. Именно поэтому в данном учебном пособии освещаются основы теории и расчета рабочих органов сельскохозяйственных машин и особенности технологических процессов, раскрываются основные закономерности, связывающие качество работы и расход энергии с технологическими свойствами обрабатываемых материалов, т.е. те вопросы, которые необходимо знать инженеру - механику для решения задач современной инженерной практики.

Каждый раздел учебного пособия охватывает группу машин, объединенных общностью выполняемых ими технологических процессов и операций, которые изложены в традициях школы академика В.П. Горячкина, заложенных в земледельческой механике. Учитывая, что марки машин часто меняются, а принципы их действия остаются без существенных изменений, в основу учебного пособия положены особенности технологических процессов рабочих органов и машин.

Земледельческая механика - это прикладная техническая дисциплина, изучающая законы теоретической

механики применительно к анализу работы сельскохозяйственных машин, т.е. воздействию рабочих органов сельскохозяйственных машин на объекты обработки (почву, растения, удобрения, семена и т.п.). Физико - механические свойства объектов обработки обуславливают форму, размеры и конструкцию рабочих органов сельскохозяйственных машин и в конечном итоге влияют на технологический процесс машины.

Основоположником теории сельскохозяйственных машин является русский ученый, академик В.П. Горячкин (1868 - 1935), впервые открывший эту область прикладных знаний. В своем классическом труде "Земледельческая механика", вышедшем в 1923 году он впервые применил законы механики для анализа рабочих органов сельскохозяйственных машин и тем самым открыл широкие возможности использования этих законов в целях создания рациональных конструкций и определении оптимальных режимов работы машин.

Благодаря классическим трудам В.П. Горячкина, трудам его последователей академиком В.А. Желиговского, И.Ф. Василенко, Н.Д. Лучинского, П.М Василенко, А.Н. Карпенко, М.В. Сабликова, М.Н. Летошнев, А.Н. Гудкова, А.Ф. Ульянова, Н.И. Кленина, В.А. Сакуна, Г.Е. Листопада, Э.И.Липковича и многих других в нашей стране сложилась стройная наука о сельскохозяйственных машинах, послужившая основой подготовки высококвалифицированных инженерных кадров по механизации сельского хозяйства.

В.П. Горячкин видел в теории могучее средство познания законов, которым следуют технологические процессы, выполняемые сельскохозяйственными машинами и орудиями. Знания этих законов позволяет управлять процессами в целях получения наибольшего эф-



фекта при изменяющихся условиях работы.

В предлагаемом учебном пособии рассмотрены вопросы теории и расчета почвообрабатывающих машин, машин для посева и посадки, внесения удобрений, химической защиты растений от вредителей и болезней. Изучение теории этих машин должно сопровождаться выполнением лабораторно - практических и расчетно-графических работ.

# **1. ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ МАШИНЫ И ОРУДИЯ**

Обработка почвы – это приемы механического воздействия на почву, способствующие повышению ее плодородия и созданию лучших условий для роста и развития растений. Правильная обработка почвы – одно из главных звеньев повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Отдельные приемы обработки почвы должны: придавать пахотному слою оптимально рыхлое, мелкокомковатое строение, как можно меньше разрушая его; улучшать водный, воздушный и тепловой режимы почвы; усиливать круговорот питательных веществ, извлекая их из более глубоких горизонтов почвы; очищать поля от сорных растений; заделывать в почву растительные остатки и удобрения; защищать почву от водной и ветровой эрозии; создавать наилучшие условия для заделки семян культурных растений на оптимальную глубину.

Все технологические процессы обработки почвы сводятся к следующим основным операциям: рыхление (крошение), оборачивание, перемешивание, выравнивание, подрезание сорняков, создание борозд, гряд и гребней.

Рыхление изменяет размеры почвенных, частиц и их взаимное расположение, что способствует улучшению водо- и воздухопроницаемости. Рыхление уничтожает также твердую почвенную корку, задерживающую рост растений и усиливающую потерю влаги.

Оборачивание почвы – перемещение в вертикальном направлении слоев почвы, различающихся по агрономическим свойствам. Оборачивание почвы необхо-

димо также для заделки пожнивных остатков, дернины, удобрений, осыпавшихся семян сорняков.

Перемешивание почвы создает однородный пахотный слой. Оно способствует равномерному распределению продуктов разложения органических веществ, минеральных удобрений, извести и гипса.

## 1.1. Плуги

### 1.1.1. Физико-механические свойства почвы

Почва – многофазная дисперсная среда, состоящая из твердых частиц, воды, воздуха и живых организмов, перемешанных между собой в различных соотношениях. Свойства почвы имеют решающее значение для качественных и энергетических показателей работы почвообрабатывающих машин.

Процентное содержание механических элементов в почве характеризует ее производственную ценность. Так, почвы с высоким содержанием илистых частиц относятся к тяжелым. Они имеют большое удельное сопротивление при обработке, плохо поглощают влагу, медленнее прогреваются, растительные остатки в них разлагаются медленно. Почвы с большим содержанием песков относятся к легким. Они хорошо поглощают влагу, но плохо ее сохраняют, хорошо воспринимают тепло. Лучшими по механическому составу считают суглинистые и супесчаные почвы с содержанием илистых частиц от 10 до 40%.

*Механический состав.* В зависимости от размеров твердые частицы почвы подразделяются на каменистые включения (размер частиц более 1 мм) и мелкозем. При определении типа почвы по механическому составу

анализируют только мелкозем, который делится на две фракции: физический песок (частицы более 0,01 мм) и физическую глину (частицы менее 0,01 мм). По количеству физической глины различают почвы глинистые (более 50% глины), суглинистые (50 - 20% глины), супесчаные (20 - 10% глины) и песчаные (менее 10% глины). Чем больше в почве физической глины, тем труднее она в обработке.

Различают почвы структурные и бесструктурные. Структурные почвы могут распадаться на отдельные различные по величине и форме агрегаты и залегают рыхлым слоем. Бесструктурная почва обычно или представляет плотную массу из мелких пылевидных частиц, или же состоит из плотных крупных глыбистых комков. Бесструктурные почвы плохо запасают и сохраняют влагу и имеют слабую воздухопроницаемость. Тяговое сопротивление при обработке структурной почвы меньше, чем при обработке бесструктурной.

*Структура почвы.* Со временем в почве первичные частицы коагулируют и сменяются, в результате чего создаются новые, более крупные агрегаты различного размера. Структурные образования размером более 0,25 мм условно принято называть микроагрегатами, а более крупные - макроагрегатами почвы. Считается, что при механической обработке почвы нельзя допускать разрушение ее до частиц меньше 0,25 мм, так как это приводит к разрушению структурных агрегатов и ветровой эрозии почв.

*Коэффициент структурности почвы* служит ее оценкой после обработки. Он вычисляется по формуле:

$$k = \frac{m_1}{m_2}, \quad (1)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  - соответственно массы агрегатов размером 0,25 - 7 мм и остальной части почвы.

*Плотность почвы.* Плотность  $\rho$  представляет собой отношение массы  $m$  абсолютно сухой почвы с ненарушенным сложением (включая поры) к ее объему  $V$ , то есть

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (2)$$

Плотность минералов, образующих почву, равна 2,4 - 2,8 г/см<sup>3</sup>, твердой фазы почвы - 2,4 - 2,7 г/см<sup>3</sup>, перегнойная - 1,2 - 1,4 г/см<sup>3</sup>. У культурной пашни  $\rho = 1,0$ -1,1 г/см<sup>3</sup>; при 1,2 г/см<sup>3</sup> она уплотнена, а при 1,3 - 1,4 г/см<sup>3</sup> - сильно уплотнена.

*Влажность почвы.* Влажность почвы считают оптимальной, когда вода заполняет три четверти имеющихся в ней капиллярных скважин.

О количестве воды в почве судят по ее абсолютной влажности  $W_a$ , которую вычисляют по формуле

$$W_a = \frac{(m_B - m_C) \cdot 100}{m_C}, \quad (3)$$

где  $m_B$  и  $m_C$  - соответственно масса влажной и сухой почвы.

Влажность почвы существенно влияет на ее обработку. Большим рабочим скоростям соответствует большая влажность почвы.

Оптимальной влажностью почвы при ее обработке можно считать: для подзолистой песчаной 12%, дерновоподзолистых суглинистых - 12 - 22%; черноземов -

17-30%.

*Коэффициент пористости*  $\varepsilon$  служит для характеристики сложения почв. Он равен отношению объема пустот  $V_{\Pi}$  к объему твердых частиц  $V_T$ , то есть

$$\varepsilon = \frac{V_n}{V_T} = \frac{\rho_T - \rho}{\rho}, \quad (4)$$

где  $\rho_T$  - плотность твердых частиц. При  $0,5 < \varepsilon < 1,5$  почва уплотнена, а при  $\varepsilon > 1,5$  -рыхлая.

*Способность почвы к крошению* выражается отношением массы комков размером меньше 50 мм к массе почвы в пробе, выраженным в процентах.

Пределом нецелесообразности обработки почвы считают количество пылевых частиц, близкое к 30% по объему.

Идеальной считается такая обработка почвы, когда на глубине заделки семян ее составные части достигают размеров 0,25-7 мм, ниже этого слоя объемная масса составляет  $1,1 \pm 0,1$  г/см<sup>3</sup> в зависимости от типа почв и возделываемой культуры.

Минимальный размер частиц для почв, подверженных эрозии, не должен быть менее 1 мм.

*Твердость почвы* – способность сопротивляться внедрению в нее под давлением какого-либо деформатора, [2].

Для измерения твердости почвы служат приборы – твердомеры.

Твердомеры снабжают самописцами. При внедрении в почву наконечника вычерчивается диаграмма (рис. 1), по которой определяют среднюю твердость почвы  $R$  по формуле:

$$R = \frac{P}{F} = \frac{mh}{F}, \quad (5)$$

где  $P$  – среднее усилие, необходимое для вдавливания наконечника до предела пропорциональности, Н;

$F$  – площадь максимального поперечного сечения деформатора (наконечника),  $\text{см}^2$ ;

$m$  – жесткость пружины, определяемая тарировкой, Н/см;

$h$  – средняя величина ординаты диаграммы, найденная планиметрированием, см;

Коэффициент объемного смятия почвы равен

$$\delta = \frac{P}{\lambda F}, \quad (6)$$

где  $\delta$  – коэффициент объемного смятия почвы,  $\text{Н/см}^3$   
 $\lambda$  – погружение деформатора в почву, см.

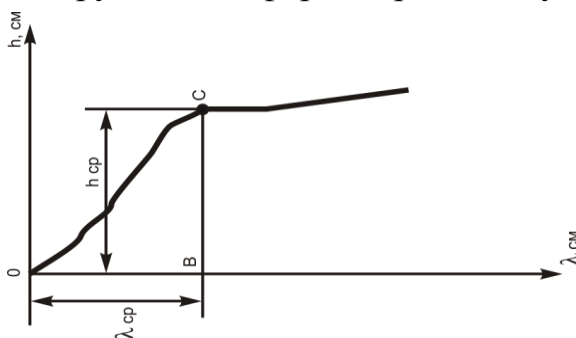


Рис. 1. Диаграмма твердости почвы

Для жнивья паров и лугов  $\delta = 5-10 \text{ Н/см}^3$ , для грунтовой дороги  $\delta = 50-90 \text{ Н/см}^3$ .

*Коэффициент внешнего трения.* Под трением по-

нимается сопротивление скольжению одной поверхности по другой. Сила трения

$$F = fN = N \operatorname{tg} \varphi, \quad (7)$$

где  $N$  - нормальная сила, Н;

$f$  и  $\varphi$  - соответственно коэффициент и угол внешнего трения.

Сила трения - пассивная сила (реакция), поэтому она не может быть больше  $fN$ , (рис. 2).

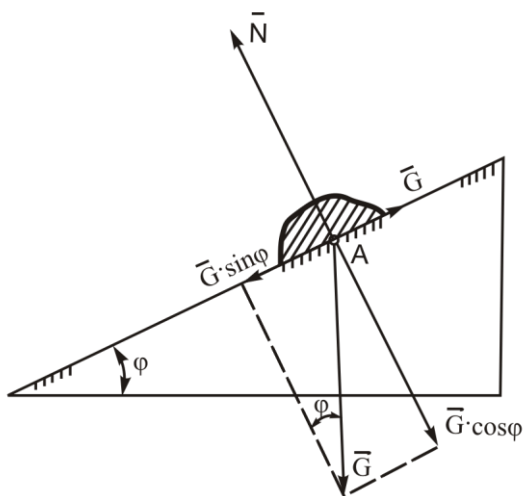


Рис. 2. К определению коэффициента внешнего трения

Коэффициент трения для разных почв колеблется от 0,25 до 0,90, угол трения  $\varphi$  - от 14 до 42°. Для ориентировочных расчетов принимают  $f=0,5$ , что соответствует углу трения  $\varphi=26^{\circ}30'$ .

*Удельное сопротивление почв.* В качестве показателя трудности обработки почв принято удельное сопротивление почвы  $k$  (Н/см<sup>2</sup>), которое определяется по



формуле

$$k = \frac{P}{abn}, \quad (8)$$

где  $P$  - общее сопротивление плуга, измеренное динамометром, Н;

$a$  - глубина пахоты, см;

$b$  - ширина захвата корпуса см;

$n$  - число корпусов плуга.

Удельное сопротивление почвы зависит от ее механического состава, структуры, степени уплотненности, задернелости, влажности и т. п.

Почвы с удельным сопротивлением до 3 Н/см<sup>2</sup> считаются легкими, от 3 до 5 - средними, от 5 до 7 - среднетяжелыми и от 7 до 12 Н/см<sup>2</sup> - тяжелыми.

*Липкость почвы* – способность почвы прилипать к различным поверхностям. Липкость характеризуется усилием, отнесенным к 1 см<sup>2</sup> соприкасающейся с почвой стальной поверхности и необходимым для ее отрыва.

Липкость почвы зависит от влажности, дисперсности, свойств материала рабочего органа, чистоты его поверхности и удельного давления. С увеличением дисперсности липкость почвы увеличивается. Поэтому глинистые почвы наиболее липкие.

*Абразивные свойства.* Под абразивными понимаются свойства почвы, способствующие износу поверхностного слоя металла рабочих органов движущимися почвенными частицами. Из минералов, образующих почву, наибольшую твердость имеет кварц, входящий в состав песчаных почв. С увеличением влажности песчаных почв износ рабочих органов увеличивается. На

глинистых и суглинистых почвах наблюдается обратное явление.

### 1.1.2. Агротехнические требования

#### *Агротехнические требования к основной обработке почвы*

Учеными установлено, что низкое качество пахоты приводит к снижению производительности уборочных агрегатов на 40-50% и увеличению потерь зерна при уборке урожая в 2-3 раза. Вспашка и в ближайшие годы будет оставаться основным приемом агротехники и применяться не менее, чем на 50% площади пашни. Глубина вспашки под зерновые колосовые и зернобобовые 20-22 см, под пропашные - 25-27 см, под сахарную свеклу - 32-35 см.

Зяблевую вспашку старопахотных земель и первичную вспашку целинных земель выполняют лемешными плугами с предплужниками. Перепашку пара и запашку навоза проводят без предплужников. В районах недостаточного увлажнения пахут без оборота пласта. Задернелые почвы обрабатывают с оборотом, но без рыхления пласта (для рыхления применяют другие орудия). На почвах, засоренных камнями, используют плуги с предохранителями.

Вспашка проводится в заданные сроки и на глубину не менее 20 см, а на почвах с недостаточной толщиной пахотного слоя - на его полную глубину с постепенным углублением почвоуглубителями и отклонением от заданной глубины не более чем на  $\pm 5\%$  (на ровном рельефе - это  $\pm 1$  см, на склонах -  $\pm 2$  см).

Вспашка должна быть прямолинейной с равномерной гребнистостью не более 5 см.

Высота свальных гребней и глубина развальных борозд - не более 7 см.

Оборот пласта должен быть полным, вспаханный слой рыхлым, пожнивные остатки, сорняки, удобрения должны быть полностью запаханы (не менее 95 %).

Глыбы размером более 10 см должны составлять не более 15% по объему на глубине вспаханного слоя.

Выравненность поверхности - длина профиля не должна превышать 10,7 м на отрезке 10 м.

Огрехи и необработанные поворотные полосы, а также незаделанные разъемные борозды и свальные гребни не допускаются.

Склоны пашут способом в свал поперек (по горизонтали).

### *Агротехнические требования к лущению стерни*

Лущение стерни подразделяется на дисковое (на глубину до 6-12 см) и корпусное (до 16 см). Цель лущения – мелкая обработка почвы для уничтожения сорняков, уменьшения испарения влаги (ежедневно после уборки пшеницы испаряется 40 – 100 т влаги с каждого гектара) и сокращения затрат энергии до 35% на последующую глубокую обработку. Кроме того, при лущении гибнут сельхозвредители. С опозданием лущения на неделю сопротивление почвы при зяблевой вспашке повышается на 20%, а там, где лущения не проводили - на 36. В системе обработки почвы под пропашные культуры (кукурузу, подсолнечник, сахарную свеклу) в начале проводят дисковое лущение на глубину 6 - 10 см, а через 20 - 25 дней (после отрастания сорняков) - корпусное на глубину 14 - 16 см. Это особенно необходимо для борьбы с корнеотпрысковыми сорняками (осот и др.).

Стерню лущат одновременно с уборкой урожая

или не позднее 1 - 2 дней после уборки на глубину 6 - 8 см дисковыми луцильниками, 10 - 12см (при значительной засоренности и твердости почвы) дисковыми боронами, а на глубину 14 - 16 см - корпусными луцильниками. Отклонение средней глубины - от заданной не должно превышать  $\pm 10\%$ .

Полное подрезание сорняков.

Отсутствие огрехов на взлущённом поле.

Гребнистость не более 4 см.

Перекрытие смежных проходов 15-20 см.

В стыке средних батарей луцильников дисковых борон развальная борозда не должна превышать глубины лушения, [27].

### *Агротехнические требования к предпосевной культивации*

Предпосевную культивацию и посев зерновых колосовых культур проводят с минимальным разрывом по времени.

Глубина рыхления почвы должна быть одинаковой по всей ширине захвата агрегата с отклонениями от заданной не более 1 см.

В обработанном слое почвы не должно быть комков размером более 10 см.

При обработке почвы нижние слои не должны обнажаться и перемешиваться с верхним слоем.

Сорняки должны быть полностью подрезаны.

Высота гребней и глубина борозд после культивации не должна превышать 4 см.

Культивацию проводят поперек или под углом к направлению вспашки, а повторные обработки - поперек предшествующих культивации.

Смежные проходы агрегатов должны перекрываться на 10-15 см.

Поворотные полосы обрабатывают после основного массива.

На склонах культивацию проводят в направлении горизонталей, [9].

### *Агротехнические требования при уходе за посевами пропашных культур*

При бороновании засеянного поля зубья борон должны крошить почву на глубину 3 - 4 см, допускаются комки до 3 - 5 см, гребни высотой 2 - 3 см, поврежденных и засыпанных растений - не более 3 - 5 %.

Бороны не должны извлекать на поверхность семена, проростки или клубни картофеля.

После прореживания фактическое число растений в рядке на 1 м не должно отклоняться от заданного более чем на 3, количество букетов с числом растений, превышающим расчетное, должно быть не более 25 %, засыпанных растений – не более 10%.

При подкормке отклонение фактической дозы внесения удобрений от заданной должно быть не более  $\pm 15$  %, неравномерность высева туков по рядкам – не более  $\pm 5\%$ , отклонение глубины заделки туков от заданной – не более  $\pm 3$  см, повреждение культурных растений – не более 5 %.

При внесении гербицидов и других ядохимикатов не должно быть пропусков и необработанных участков (огрехов). Отклонение фактической дозы внесения гербицидов от заданной допускается не более чем на +15% и -20%.

При культивации посевов рабочие органы не

должны повреждать более 1 % растений, отклоняться от заданной глубины обработки более чем на  $\pm 1$  см при мелком рыхлении и  $\pm 2$  см при глубоком, не выносить влажный слой почвы на поверхность, полностью подрезать сорные растения в междурядьях, в процессе окучивания нагребать почву к растениям ровным слоем высотой 5 - 8 см, покрывать дно и стенки борозды должны рыхлым слоем почвы.

### 1.1.3. Оборот пласта и построение профиля борозды

В процессе работы плужный корпус лезвием лемеха подрезает пласт шириной  $b$  на глубине вспашки  $a$ . Отделение пласта вдоль стенки борозды производится дисковым ножом или полевым обрезом отвальной поверхности (рис. 3). Подъем пласта с поворотом его в сторону борозды выполняется грудью отвала, а окончательное опрокидывание пласта – крылом отвала.

Для анализа технологической операции оборота пласта сделаем допущение, что пласт в процессе продвижения по отвалу не деформируется, т. е. его размеры  $a$  и  $b$  не изменяются.

Поворот пласта в первоначальный момент будет происходить относительно ребра  $A$ , до того, как пласт займет вертикальное положение, а затем относительно ребра  $D'$  до тех пор, пока грань  $D'C''$  не ляжет на ранее отвальный пласт.

Из треугольника  $D'A_1D_1$  определим угол  $\delta$  наклона отвального пласта к горизонту.

$$\sin \delta = \frac{A_1 D_1}{D_1 D} = \frac{a}{b} = \frac{1}{k}, \quad (9)$$

где  $k = \frac{b}{a}$ ,

$$\delta = \arcsin \frac{1}{k}.$$

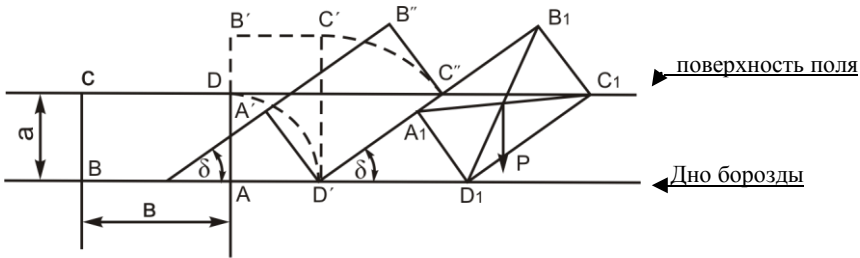


Рис. 3. Схема оборота пласта

Из этого выражения видно, что угол наклона пласта уменьшается с увеличением соотношения сторон пласта  $k$ , т. е. оборачивание пласта будет тем совершеннее, чем больше ширина захвата корпуса и меньше глубина пахоты, а растительные остатки будут заделываться более плотно, [8].

Устойчивое положение пласта будет только в том случае, если вектор силы тяжести  $P$  пересечет дно борозды справа от точки его опоры  $D_1$  (рис. 3).

Неустойчивое положение пласта будет в случае, когда его диагональ  $BD$ , располагается вертикально (рис. 4). Такой пласт после прохода корпуса может упасть обратно в борозду.





#### 1.1.4. Рабочая поверхность плуга как развитие трехгранного клина. Сопротивление почвы движению клина

Академик В. П. Горячкин показал, что несмотря на чрезвычайное разнообразие рабочих органов почвообрабатывающих орудий, геометрическая форма рабочей поверхности каждого из них сводится к клину, т. е. клин лежит в основе и является прототипом как культиваторной лапы, так и плужного корпуса.

В пространстве трех измерений можно представить три прямых плоских двугранных клина (рис. 5), обладающих различными технологическими свойствами.

Клин  $ABCDEF$  (рис. 5а) имеет рабочую грань  $ABCD$  и опорную  $BCEF$ . Ребро  $BC$ , перпендикулярное к направлению движения, подрезает почвенный пласт в горизонтальной плоскости, а рабочая грань  $ABCD$  поднимает его на себя. При подъеме пласт изгибается и крошится. Основная характеристика этого клина – угол  $\alpha$ , расположенный в продольно-вертикальной плоскости. Чем он больше, тем больше изгиб и крошение пласта, поэтому угол  $\alpha$  и получил название угла крошения.

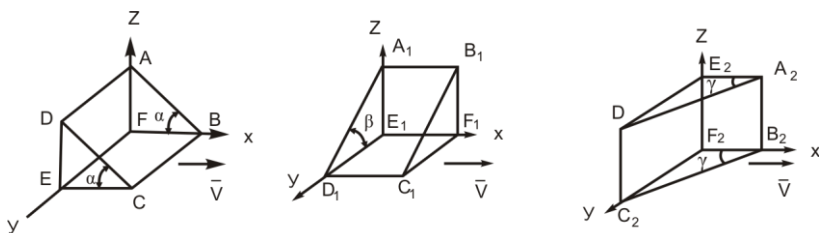


Рис. 5. Двугранный клин: а) с углом  $\alpha$ , б) с углом  $\beta$ , в) с углом  $\gamma$

Другой элементарный клин  $A_1B_1C_1D_1E_1F_1$  (рис. 5б) снабжен рабочей гранью  $A_1B_1C_1D_1$  и опорной гра-

нью  $C_1D_1E_1F_1$ . Его рабочая грань наклоняет пласт в направлении, перпендикулярном движению, что способствует оборачиванию пласта. Основная характеристика этого клина – угол  $\beta$ , расположенный в поперечно-вертикальной плоскости. Чем угол  $\beta$  больше, тем больше поворот пласта в поперечно-вертикальной плоскости. Следовательно, угол  $\beta$  характеризует способность рабочей поверхности оборачивать пласт.

Третий элементарный клин  $A_2B_2C_2D_2E_2F_2$  (рис. 5в) имеет рабочую грань  $A_2B_2C_2D_2$  и опорную  $A_2B_2F_2E_2$ . Ребро  $A_2B_2$  этого клина отрезает почвенный пласт в вертикальной плоскости. Под воздействием рабочей грани пласт сдвигается в сторону, одновременно изгибаясь в горизонтальной плоскости. При изгибе пласт крошится. Характеристика этого клина – угол  $\gamma$ , расположенный в горизонтальной плоскости.

Таким образом, клин с углом  $\gamma$  оказывает в горизонтальной плоскости такое же воздействие на пласт, как и клин с углом  $\alpha$  в вертикальной плоскости. Следовательно, совместное воздействие двух клиньев с углами  $\alpha$  и  $\gamma$  способствует разрушению пласта в двух разных плоскостях.

Однако воздействовать на почву тремя последовательно расположенными элементарными клиньями с углами  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  было бы непрактично.

Академик В. П. Горячкин показал, что существует такой клин, который один совмещает в себе все перечисленные технологические свойства трех элементарных клиньев. Это косой трехгранный клин  $ABEF$  (рис. 6). Он снабжен одной рабочей гранью  $ABE$  и двумя опорными гранями  $ABF$  и  $BEF$ . Косой трехгранный клин характеризуется теми же углами  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ , следо-

вательно, один обладает технологическими свойствами всех трех элементарных клиньев в совокупности.

Кроме трех вышеприведенных углов, часто пользуются еще одним – углом  $\varepsilon$ , определяющим наклон рабочей грани клина к горизонтальной плоскости (ле- меха к дну борозды), [8].

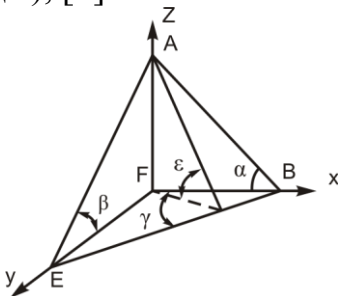


Рис. 6. Трехгранный клин

Характер деформации почвы зависит как от установки рабочей грани клина к горизонтальной и вертикальной плоскостям, так и от физико-механических свойств почвы.

### *Сопротивление почвы движению клина*

При перемещении клина со стороны почвы на него действуют сила нормального давления пласта  $N$  и сила трения  $F$  (рис. 7). Сила  $N$  определяется весом пласта, а сила трения пропорциональна нормальному давлению и коэффициенту трения.

Сила трения действует в плоскости рабочей поверхности клина и направлена в сторону, обратную движению клина.

Равнодействующая  $R$  сил  $N$  и  $F$  отклоняется от нормали к рабочей поверхности на угол трения  $\varphi$  и равна

$$R = \frac{N}{\cos \varphi}, \quad (12)$$

где  $\varphi$  - угол трения почвы о рабочую поверхность.

Спроецируем силу  $R$  на направление движения клина и получим силу  $R_x$ , которая определяет сопротивление клина перемещению:

$$P = R_x = R \sin(\alpha + \varphi) = \frac{N}{\cos \varphi} \sin(\alpha + \varphi). \quad (13)$$

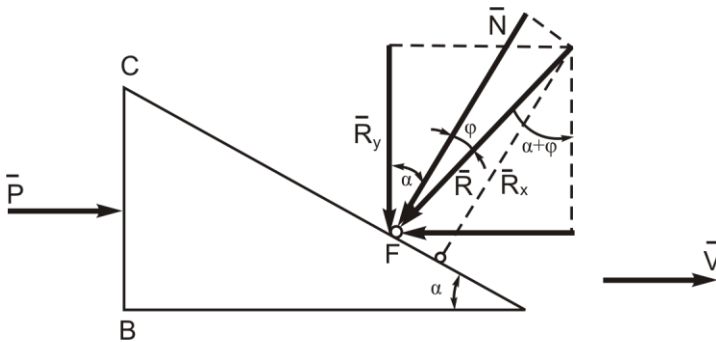


Рис. 7. Силы, действующие на двухгранный клин

Трехгранный клин можно рассматривать, как прямой двугранный с лезвием, повернутым так, что оно составляет с направлением движения острый угол  $\gamma$ . Деформации почвы, возникающие при действии трехгранного клина, тождественны деформациям, возникающим при работе двугранного клина.

#### 1.1.5. Типы лемешно-отвальных поверхностей корпуса плуга и способы их построения

Агротехнические требования, предъявляемые к пахоте и заключающиеся главным образом в рыхлении пласта и его обороте для глубокой заделки растительных остатков, определяют форму рабочей поверхности корпуса плуга.

Как показал акад. В. П. Горячкин, плоский трехгранный клин, двигаясь в почве, в элементарном виде выполняет основные задачи обработки почвы: подъем и сдвигание пласта с одновременным его разрушением, а также некоторый оборот пласта.

В общем случае рабочая поверхность корпуса плуга может рассматриваться как дальнейшее развитие трехгранного клина. Если отнести рабочую поверхность к пространственной системе координат, в которой ось  $ox$  совпадает с направлением движения корпуса (рис. 8), то любую точку  $A$  поверхности можно представить как элементарный трехгранный клин с вершиной в этой точке  $A$  и с углами  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ . Угол  $\alpha$  представляет собой угол наклона касательной к точке  $A$  кривой  $mt$  сечения поверхности продольно-вертикальной плоскостью (параллельной плоскости  $zox$ ),  $\beta$  - угол наклона касательной к точке  $A$  кривой  $nn$  сечения поверхности поперечно-вертикальной плоскостью и  $\gamma$  - угол наклона касательной к точке  $A$  кривой  $qq$  сечения поверхности горизонтальной плоскостью (в частном случае  $qq$  - прямая линия).

Совокупность элементарных клиньев с непрерывно изменяющимися углами  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  образует криволинейную поверхность. Перемещаясь в почве, такая поверхность поднимает отрезанный пласт, деформирует и разрушает его, оборачивает и сбрасывает в борозду. Степень крошения и оборота пласта обусловлена степе-

нью и характером развития каждого из углов  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ , которые определяют тип рабочей поверхности.

Применительно к различным почвенным условиям степень и характер изменения этих углов должны быть различными. Однако до настоящего времени точные количественные соотношения между параметрами рабочей поверхности плужного корпуса и агротехническими требованиями (степень крошения и оборота пласта) отсутствуют. Поэтому существующие методы проектирования рабочих поверхностей имеют в своей основе главным образом геометрические соотношения, косвенно связанные с технологическим процессом вспашки.

Наиболее распространенной классификацией рабочих поверхностей плужных корпусов является разделение их на цилиндрические, культурные, полувинтовые и винтовые, [26].

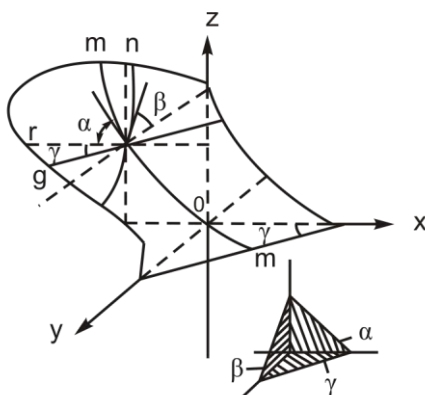


Рис.8. Элементарный трёхгранный клин и его развитие в рабочую поверхность корпуса плуга

Основным признаком для такой классификации являются степень и характер воздействия поверхности на почвенный пласт. Так, цилиндрические и винтовые

поверхности, занимая крайние положения в рассматриваемой группе, резко отличаются между собой по своей оборачивающей и крошащей способности. Цилиндрическая поверхность, обеспечивая крошение пласта, слабо оборачивает его (угол  $\beta$  развит слабо). Винтовая поверхность, наоборот, обладая значительной оборачивающей способностью, плохо крошит пласт. Поэтому эти поверхности могут быть использованы для обработки почв, резко отличающихся по своим механическим свойствам; цилиндрические - для малосвязных, сыпучих; винтовые - для связных, задернелых. Культурные и полувинтовые рабочие поверхности по крошащей и оборачивающей способности занимают промежуточное положение и предназначены для обработки средних по связности почв, причем поверхности культурного типа по своим свойствам приближаются к цилиндрическим поверхностям и применяются для обработки старопахотных малосвязных почв. Полувинтовые поверхности способны лучше оборачивать пласт, чем культурные, и поэтому используются для вспашки связных и задернелых почв.

Подавляющее большинство современных плугов снабжается культурными и полувинтовыми рабочими поверхностями. Некоторое распространение получили в зарубежной практике винтовые поверхности для вспашки связных и задернелых почв.



## *Способы построения рабочих поверхностей плужных корпусов*

Аналитическое решение задачи проектирования рабочей поверхности по заданным показателям технологического процесса вспашки представляет значительные трудности из-за отсутствия количественных соотношений между этими показателями (например, степенью и характером крошения и оборота пласта) и соответствующими параметрами поверхности (например, характером изменения углов  $\alpha$  и  $\beta$ ).

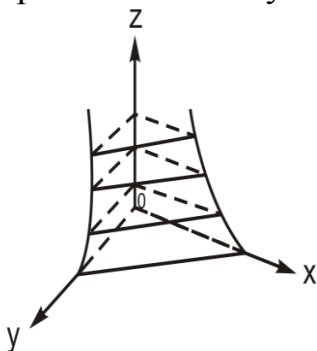


Рис. 9. Образование рабочей Поверхности с направляющими Кривыми в плоскости  $xoz$  и  $xoy$

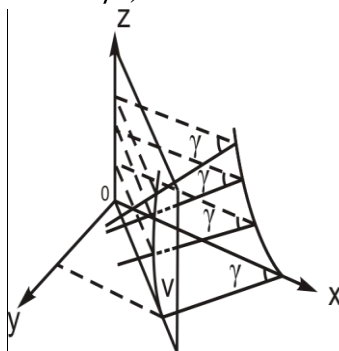


Рис. 10. Образование рабочей поверхности с направляющими в плоскостях  $xoz$  и  $yo$

Поэтому для построения рабочих поверхностей пользуются графическими приемами, выбирая для плужного корпуса подходящие с точки зрения технологических задач вспашки поверхности и, в частности, линейчатые поверхности.

Линейчатая поверхность описывается движением прямолинейной образующей, пересекающей заданные направляющие кривые, соответствующим образом ориентированные в пространстве. Такие поверхности относятся к группе цилиндрических. Применительно к плуж-

ному корпусу наиболее просто рабочую поверхность можно получить, если перемещать прямолинейную образующую параллельно дну борозды по двум направляющим кривым, расположенным, например, в двух взаимно перпендикулярных плоскостях  $zox$  и  $zoy$  (рис. 9) или по кривым, расположенным одна в плоскости  $zox$  стенки борозды, а другая в вертикальной плоскости  $V$ , перпендикулярной лезвию лемеха (рис. 10). В обоих случаях получается так называемый горизонтальный цилиндроид.

Можно также строить горизонтальный цилиндроид, задавшись направляющей кривой в плоскости  $V$  и законом изменения угла  $\gamma = f(z)$ . В частности, при движении образующей по направляющей кривой с сохранением  $\gamma = const$  получаем цилиндрическую поверхность.

Способ построения культурной и полувинтовой рабочих поверхностей плужных корпусов с расположением направляющей кривой в плоскости  $V$ , перпендикулярной лезвию лемеха, с заданием разработан проф. Н. В. Щучкиным и лег в основу построения рабочих поверхностей отечественных плужных корпусов.

#### 1.1.6. Расчет навесного плуга

##### *Определение сил действующих на плуг.*

В процессе пахоты на корпус плуга со стороны почвы действует много различных сил, которые между собой непараллельны и не пересекаются ни в одной точке. Следовательно, привести все эти силы к одной результирующей невозможно. Однако суммарное воздействие элементарных сил сопротивления почвы на

корпус плуга можно представить несколькими результирующими, которые имеют определенные величины и направления действия.

Рекомендуется учитывать силы  $R_{zx}$  и  $R_{xy}$ . Горизонтальная составляющая этих сил направлена вдоль оси  $x$  и равна

$$R_x = \eta_{nl} \cdot k \cdot a \cdot b \cdot n, \quad (21)$$

где  $\eta_{nl}$  - к.п.д. плуга; среднее значение 0,7;

$k$  - удельное сопротивление почвы, Н/см<sup>2</sup>, (легкие 1,9...2,04, средние 3,9...4,9, тяжелые 5,88...7,84);

$a$  - глубина пахоты, см;

$b$  - ширина захвата одного корпуса, см

$n$  - число корпусов.

Вертикальная составляющая, направленная вдоль оси  $z$ , может быть определена из выражения

$$R_z = \pm 0,2 R_x. \quad (22)$$

Тогда

$$R_{zx} = \sqrt{R_z^2 + R_x^2}. \quad (23)$$

Знак (+) берется при новых, острых лемехах(и тогда сила  $R_z$  направлена сверху вниз), знак (-) берется при тупых изношенных лемехах ( в этом случае сила  $R_z$  направлена снизу вверх).

Составляющая силы  $R_{xy}$ , направленная вдоль оси  $y$ , определяется по формуле (рис. 12)

$$R_y \cong \frac{1}{3} R_x. \quad (24)$$

Сила  $R_{zx}$  приложена в точке  $C$  полевого обреза корпуса на расстоянии, равном  $0,5 \cdot a$  от дна борозды. Точка приложения силы  $R_{xy}$  находится на расстоянии  $0,5 \cdot b$  от носка лемеха.

При анализе силового взаимодействия плуга с почвой предполагают, что составляющие силы  $R_z$ ,  $R_y$ ,  $R_x$  действуют на каждый корпус плуга и могут быть приведены к одному среднему корпусу. Если число корпусов плуга четное, то за средний принимают условный (фиктивный) корпус, носок лемеха которого расположен на одинаковом расстоянии от носков лемехов переднего и заднего корпусов.

Кроме указанных сил сопротивления почвы, на плуг действуют его вес  $G$ , приложенный в точке  $M$  центра тяжести; сила трения  $F$  полевых досок о стенку и дно борозды; реакция  $Q$  поверхности поля на обод опорного колеса.

Сила  $F$  приложена к концу полевой доски среднего корпуса и проходит через середину ее ширины (ши-

рина полевой доски обычно равна 70...80 мм).

Величина силы  $F$  зависит от силы  $R_y$ .

$$F = fR_y, \quad (25)$$

где  $f$  - коэффициент трения стали о почву, 0,5.

Реакция  $Q$  почвы на обод опорного колеса плуга передается на ось колеса. Направление ее отклонено от вертикального радиуса на угол  $\theta$ , соответствующей коэффициенту  $\mu$  перекачивания колеса по почве. Значение  $\mu$  берется в пределах 0,15...0,2.

$$\theta = \arctg \mu \quad (26)$$

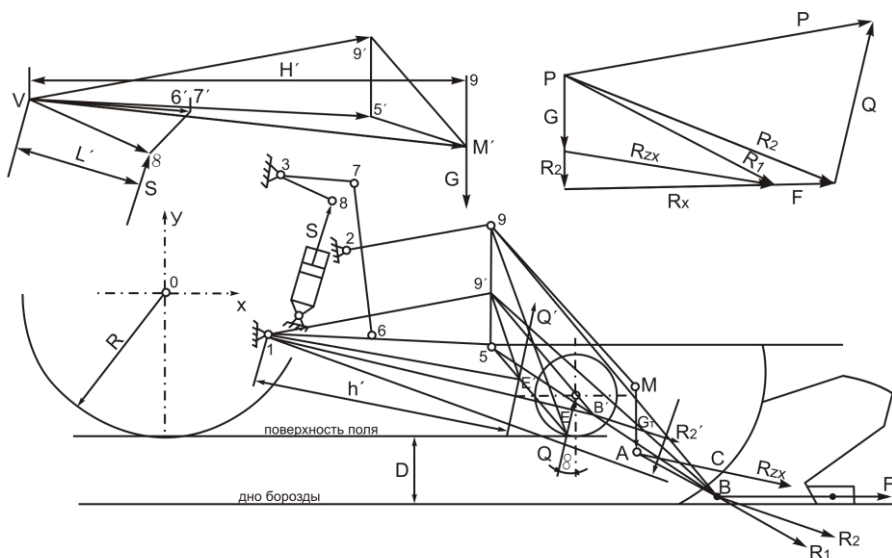


Рис. 11. К определению сил, действующих на навесной плуг

*Определение реакции  $Q$  почвы на обод опорного колеса плуга.*

Так как навесной плуг соединяется с трактором с помощью механизма навески, то верхнее регулируемое

по высоте звено 2-9 и два нижних звена 1-5 (в вертикальной плоскости проекции они сливаются в одну линию) совместно со стойкой плуга 5-9 и рамой трактора 1-2 образуют четырехзвенник 1-5-9-2. Силы действующие на плуг, воспринимаются звеном 5-9, которое не имеет постоянного центра вращения. Мгновенный центр вращения этого звена находится на пересечении продолжения звеньев 1-5 и 2-9 (т.е. вне пределов чертежа).

Для определения реакции  $Q$  почвы на опорное колесо плуга необходимо составить уравнение моментов всех сил, действующих на плуг относительно мгновенного центра вращения навесного плуга.

Для удобства силы  $R_{zx}$ ,  $G$  и  $F$  заменяют результирующей  $R_2$ , значения которой находят с помощью многоугольника сил. Для этого из произвольной точки  $\rho$  откладывают в масштабе силы  $G$ ,  $R_{zx}$  и  $F$ . Сумма сил  $G$  и  $R_{zx}$  есть результирующая  $R_1$ , а сумма сил  $R_1$  и  $F$  даст результирующую силу  $R_2$ . (здесь  $R_{zx}$  есть сумма сил  $R_z$  и  $R_x$ ).

Чтобы определить точку приложения результирующей  $R_2$ , на схеме плуга находят точки  $A$  и  $B$ . Точка  $A$  лежит на пересечении линий действия силы веса  $G$  и  $R_{zx}$ . Эта точка является точкой приложения результирующей  $R_1$ , сил  $G$  и  $R_{zx}$ . На пересечении линий действия  $R_1$  и  $F$  находится точка  $B$ , к которой приложена результирующая  $R_2$  от сил  $R_1$  и  $F$  или (более подробно) от сил  $G$ ,  $R_{zx}$  и  $F$ .

Результирующую  $R_2$  под тем же углом наклона к горизонту переносят из силового многоугольника в точку  $B$  на схеме плуга.

Пользуясь методом Н.Е. Жуковского за полюс плана скоростей принимают шарнир 1 на раме трактора.

Строят план скоростей повернутый на  $90^\circ$  и совмещенный с механизмом навески. Вектор скорости точки 5 (оси подвеса плуга), направленный в действительности перпендикулярно звену 1-5, по методу Н.Е. Жуковского нужно повернуть на  $90^\circ$ , расположив его вдоль самого звена. При этом масштаб следует выбирать таким, чтобы величина вектора скорости точки 5 равнялась длине звена 1-5. Для определения скорости точки 9 на плане скоростей необходимо провести линию 1-9', параллельную звену 2-9, так как вектор скорости точки 9, повернутый на  $90^\circ$ , будет располагаться именно по направлению звена 2-9. Кроме этого известно, что

$$\overline{V}_9 = \overline{V}_5 + \overline{V}_{9-5}, \quad (27)$$

т. е. вектор скорости точки 9 можно рассматривать как сумму векторов скорости точки 5 и скорости точки 9 относительно точки 5. Вектор скорости  $\overline{V}_{9-5}$  будет располагаться вдоль звена 5-9. Поэтому точка 9' пересечения звена 5-9 с линией действия  $\overline{V}_9$  определит значение  $V_9$ .

Далее необходимо построить векторы скоростей точек приложения сил  $Q$  и  $R_2$ . Учитывая, что эти силы приложены к деталям плуга, жестко связанным со звеном (стойкой плуга) 5-9, скорости конечных точек (5 и 9) которого уже определены, можно воспользоваться методом подобия. На плане скоростей проводится линия 5-9 и линия 9'-В', параллельная 9-В. Точка пересечения этих линий позволит определить конец вектора скорости точки В. Аналогично находят и вектор скорости точки Е.

Согласно теореме Н.Е. Жуковского, векторы сил  $R_2$  и  $Q$  следует перенести параллельно самим себе в од-

ноименные точки В и Е' построенного плана скоростей. На плане скоростей силы  $R_2$  и Q обозначают  $R'_2$  и Q'.

Теперь сумма моментов от сил  $R'_2$  и Q' относительно полюса (точка 1) будет равна нулю, т.е.

$$\sum M_1 = Q' h' - R'_2 l' = 0; \quad (28)$$

Отсюда

$$Q' = Q = \frac{R'_2 \cdot l'}{h'}, \quad (29)$$

здесь  $R'_2 = R_2$ .

В силовом многоугольнике необходимо провести из конца силы  $R_2$  линию действия силы Q (параллельно из схемы плуга) и параллельно звену 2-9 линию действия силы Р в этом звене.

Таким образом определится усилие Р, действующее в звене 2-9.

### *Определение усилия S на штоке гидроцилиндра*

Усилие S возникает при подъеме плуга из рабочего в транспортное положение. Для его определения необходимо построить план скоростей (вне механизма навески), пользуясь методом Н.Е. Жуковского.

Скорость точки 5 оси подвеса в произвольном масштабе находят следующим образом. Проводят линию из полюса V, параллельно звену 1-5. Получают скорость V-5, затем из полюса проводят линию V-9', параллельную звену 2-9, а из точки 5' - линию 5'-9', параллельную звену 5-9. Точка 9' пересечения этих линий определяет конец вектора скорости точки 9. На отрезке 5'-



9' строят треугольник, подобный треугольнику 5-9-М. Вектор  $\overline{VM'}$  представляет собой скорость центра тяжести плуга (точки М). Вектор скорости точки 6 будет меньше вектора скорости точки 5 настолько, насколько звено 1-6 меньше звена 1-5. Скорость точки 7 можно рассматривать как составляющую двух скоростей:

$$\overline{V_7} = \overline{V_6} + \overline{V_{7-6}}. \quad (30)$$

Поэтому из полюса V плана скоростей проводится линия V-7', параллельная звену 3-7, до пересечения с линией 6'-7', проведенной из точки 6', параллельно звену 6-7. На отрезке V-7' строят треугольник, подобный треугольнику 3-7-8. Так определится вектор скорости точки 8, т.е.  $\overline{V8'}$ .

К концам векторов скоростей  $\overline{V8'}$  и  $\overline{VM'}$  прикладываются соответственно силы S и G (перенесенные из схемы плуга параллельно). Теперь можно составить уравнение равновесия относительно полюса V:

$$\sum M_v = SL' - GH' = 0, \quad (31)$$

откуда

$$S = \frac{G \cdot H'}{L'} \quad (32)$$

#### 1.1.7. Расчет тягового сопротивления плуга по В.П. Горячкину, КПД плуга

В результате изучения сопротивлений при движе-

нии плуга академик В. П. Горячкин пришел в выводу, что при равномерном рабочем движении плуга необходимую силу тяги можно представить слагающейся из трех сил: силы для преодоления сопротивлений трения плуга по поверхности поля при его движении  $P_1$ , силы, требующейся для сообщения деформаций почве –  $P_2$  и силы, необходимой для сообщения скорости почве, непрерывно поступающей на рабочую поверхность корпусов –  $P_3$ :

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (33)$$

$$P_1 = fG, \quad (34)$$

где  $f$  – общий коэффициент трения, учитывающий, что плуг частично опирается на скользящие опоры, частично – на колеса;  
 $G$  – сила тяжести плуга.

Силу  $P_2$  можно считать прямо пропорциональной площади поперечного сечения пластов

$$P_2 = kavn, \quad (35)$$

где  $k$  – удельное сопротивление почвы, зависящее главным образом от ее физико-механических свойств, а также от геометрической формы и расположения рабочих поверхностей корпусов, их состояния и остроты лезвия лемехов;  
 $a$  – глубина пахоты;  
 $b$  – ширина захвата одного корпуса;  
 $n$  – число корпусов.

Третий член уравнения (33) можно определить из условия равенства импульса силы и количества движе-

ния:

$$P_3 t = m V_{\Pi}, \quad (36)$$

где  $t$  – время, в течение которого действует сила  $P_3$ ;  
 $m$  – масса почвы;  
 $V_{\Pi}$  – скорость отбрасываемой почвы.  
 Если принять время  $t$  равным единице, то  $m=m_0$  и

$$P_3 = m_0 V_{\Pi}, \quad (37)$$

Масса почвы, обрабатываемой в единицу времени, равна ее объему, умноженному на объемный вес и деленному на ускорение силы тяжести:

$$m_0 = \frac{abV_{\text{об}} n}{q}, \quad (38)$$

где  $V$  – скорость движения плуга;  
 $V_{\text{об}}$  – объемный вес почвы.

Можно считать, что скорость, сообщаемая почве корпусом плуга, прямо пропорциональна скорости движения плуга, [16]:

$$V_n = CV, \quad (39)$$

где  $C$  – коэффициент пропорциональности.  
 Следовательно,

$$P_3 = \frac{abV_{\text{об}} cnV}{g} = \varepsilon abnV^2, \quad (40)$$

где  $\varepsilon = \frac{CV_{об}}{g}$ .

После подстановки значений  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  в уравнение (33) получим:

$$P = fG + kabn + \varepsilon abnV^2. \quad (41)$$

Полученное уравнение является рациональной формулой В. П. Горячкина. Она может иметь применение не только в отношении плугов, но и других почвообрабатывающих и посевных машин. По опытным расчетам, произведенным В. П. Горячкиным, величины коэффициентов, входящих в рациональную формулу, следующие:  $f = 0,5-0,9$ ,  $k$  на легких почвах равен 20 000, на средних – 30 000, на тяжелых – 40 000 – 50000 Н/м<sup>2</sup>,  $\varepsilon = 150-200$  кг с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>.

#### *Анализ формулы В.П Горячкина*

Далее необходимо отметить, в какой мере опыт оправдывает выражение силы тяги по формуле (41). Перепишем эту формулу в таком виде:

$$P = fG + (k + \varepsilon V^2)abn. \quad (42)$$

При неизменной скорости  $V$  расход тягового усилия на одной и той же почве выражается линейной зависимостью от площади  $(ab)$  сечения пласта. Иными словами, в координатах  $y = P$  и  $x = ab$  выражение (41) представляет прямую линию.

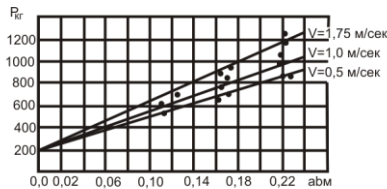


Рис. 12. Сопротивление четырёхкорпусного плуга

Огромное количество наблюдений за изменением силы тяги в зависимости от глубины  $a$  пахоты (а следовательно, и  $ab$ ), произведенных В.П. Горячкиным, вполне подтвердили указанную закономерность.

Несомненно однако, что линейная зависимость силы тяги от  $ab$  сохраняется лишь для тех случаев, когда коэффициент  $k$  не меняется с глубиной пахоты, а сохраняет постоянство. В противном случае, линейная зависимость переходит в криволинейную (рис. 14). По этому поводу В.П. Горячкин замечает: "Уклонения от этого правила (т.е. линейной зависимости) могут быть приписаны влиянию изменчивого сопротивления почвы, например, когда затрагивается подпочва и т.п.". Но такие случаи, хотя и возможны, но не типичны; В.П. Горячкин относит их к аномальным случаям, изучение которых очень полезно с точки зрения уточнения природы коэффициента  $k$ .

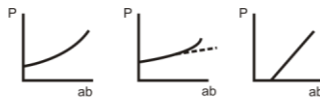


Рис. 13 . Аномальные формы зависимости сопротивления  $P$  от  $ab$

Наконец, чтобы убедиться, в какой мере опыт

подтверждает влияние на величину тягового усилия скорости, учитываемой формулой (41), перепишем последнюю в таком виде, [16]:

$$P = (fG + kabn) + \varepsilon abnV^2. \quad (43)$$

Из формулы видно, что с изменением скорости при остальных равных условиях расход тяги возрастает по параболическому закону. Многократные измерения тяги, произведенные Горячкиным, в основном подтверждают и это положение, в чем можно убедиться, например, по данным, приведенным на рис. 14, где отмечается возрастание силы тяги  $P$  со скоростью при вспашке одного и того же поля на одну и ту же глубину. Правда, возрастание довольно слабое, что указывает на небольшую величину последнего члена формулы (43) сравнительно со значением других ее слагаемых.

Итак, рациональная формула силы тяги для плугов в основном подтверждается опытными данными. Каждый из ее членов характеризует определенную категорию сопротивлений, возникающих в процессе работы плуга, поэтому вся формула получает ясное в механическом отношении содержание.

### *Коэффициент полезного действия плуга*

Как уже отмечалось, формула (41) может иметь следующий вид:

$$P = fG + (k + \varepsilon V^2) abn.$$

По определению В.П. Горячкина, постоянный член рациональной формулы  $fG$  характеризует "мерт-

вое" сопротивление плуга и непроизводительную трату энергии, а член  $(k + \varepsilon V^2)abn$  - полезное живое сопротивление почвы. Поэтому он предложил считать КПД плуга отношением

$$\eta = \frac{(k + \varepsilon V^2)abn}{fG + (k + \varepsilon V^2)abn}, \quad (44)$$

или  $\eta = \frac{P - fG}{P} = 1 - \frac{fG}{P}.$

КПД для прицепных плугов 0,75–0,55, для навесных - 0,8–0,6.

КПД является характеристикой того, насколько целесообразно использован в данной конструкции плуга затраченный на его изготовление металл. Вместе с тем КПД плуга показывает, в какой мере тяговое усилие и совершаемая работа расходуются на выполнение технологического процесса обработки почвы, а не для бесполезного перемещения по полю тяжелого агрегата. Недостаток формулы (44) в том, что не учтены потери на передвижение всего агрегата.

### 1.1.8. Равновесие плугов в работе

Плуг во время работы находится под воздействием весьма разнообразных по величине и направлению сил, из которых одни следует считать активными (сила тяги, вес); другие, возникающие в результате действия первых, являются пассивными (сопротивление почвы, реакция опор, силы инерции).

Движение плуга во время работы не бывает устойчивым из-за непостоянства сопротивления почвы,

неровностей поля и т.п., поэтому для решения вопросов равновесия недостаточно уравнений статистики и динамики и требуется введение дополнительных усилий, что связано с весьма сложными исследованиями. Но для простоты приходится ограничиваться лишь статистическим равновесием, которое практически позволяет уяснить основные моменты правильной установки плуга, учитывая сравнительно небольшие рабочие скорости пахотных агрегатов.

Силы сопротивления почвы, преодолеваемые при работе корпусом плуга, представляют собой пространственную систему и не могут быть приведены к одной равнодействующей. Однако в каждой плоскости проекций суммарное действие элементарных сил сопротивления почвы можно представить одной результирующей силой определенной величины и направления. Величину этих сил можно определить пространственным динамометрированием плужного корпуса.

### *Равновесие плуга в вертикальной плоскости*

Равновесие плуга в вертикальной плоскости, т.е. его устойчивый ход на заданной глубине обработки почвы, возможно только при условии равновесия сил, действующих на плуг в вертикальной плоскости (рис. 15).

На плуг в вертикальной плоскости действуют силы:  $P_{zx}$  - сила тяги трактора;  $R_{zx}$  - проекция результирующей элементарных сил сопротивления почвы на плоскости  $ZX$ ;  $F_{nx}$  - результирующая сил трения полевых досок о дно борозды;  $R_n$ ,  $R_6$ ,  $R_3$  - реакция полевого, бороздного и заднего колес;  $G$  - вес плуга.

Для обеспечения равновесия плуга в вертикаль-



ной плоскости сумма проекций сил и моментов должна равняться нулю:

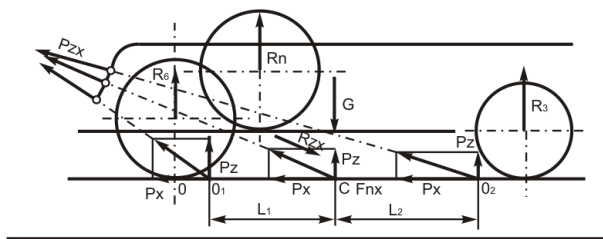


Рис. 14. Схема сил, действующих на плуг в вертикальной плоскости

$$\left. \begin{aligned} P_{zx} + R_{zx} + G + F_{nx} + R_n + R_o + R_3 &= 0 \\ \sum M(P_{izx}) &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (47)$$

Если продолжение направления тягового усилия  $P_{zx}$  в вертикальной плоскости пересекает дно борозды в точке  $O_1$  перед следом центра тяжести (след  $C$  центра тяжести - проекция центра тяжести плуга на дно борозды), то возникает момент  $M_1 = P_z l_1$  от вертикально составляющей силы тяги  $P_z$  и силы тяжести  $G$ , который будет стремиться выглубить передние корпуса плуга. Плуг будет работать неустойчиво по глубине.

Если же направление линии тяги  $P_{zx}$  проходит за следом центра тяжести (допустим, в точке  $O_2$ ), то возникает момент  $M_2 = P_z l_2$ , обратный той же вертикальной составляющей силы тяги и веса плуга, который будет стремиться заглубить передние корпуса и выглубить задние. От действия этого момента будут перегружаться передние колеса, увеличивая износ подшипников, возрастет тяговое сопротивление плуга и ухудшится качество вспашки.

Следовательно, наивыгоднейшим направлением тягового усилия  $P_y$  в вертикальной плоскости должно

быть такое, когда вектор силы при своем продолжении встречает след центра тяжести, т.е. проходит через точку  $C$ , [2].

### *Равновесие плуга в горизонтальной плоскости*

Устойчивый ход плуга в горизонтальной плоскости возможен только при условии равновесия сил, действующих на плуг в горизонтальной плоскости.

Поместим на горизонтальной проекции плуга действующие силы (рис. 16) и запишем условия равновесия:

$$\left. \begin{aligned} P_{xy} + R_{xy} + F_{nx} + Q_n + Q_{\delta} + Q_z &= 0 \\ \sum M(P_{i\ xy}) &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (48)$$

где  $P_{xy}$  - горизонтальная составляющая силы тяги;

$R_{xy}$  - проекция результирующей элементарных сил сопротивления почвы на плоскость почвы на плоскость  $xO_y$ ;

$F_{ny}$  - результирующая сила трения полевых досок о стенки борозд (она отклонена от нормали к стенке борозды на угол трения  $\varphi$ );

$Q$  - сопротивление колес перекатыванию.

Проекция результирующей силы сопротивления всего плуга в горизонтальной плоскости будет приложена в некоторой точке 2, причем пространственным динамометрированием плугов установлено, что точка 2 не всегда совпадает с положением следа центра тяжести плуга (точка  $C$ ), но обычно она находится вблизи него. Если предположить, что эта точка сохраняет свое положение в пространстве во время работы, то сила  $P_{xy}$  должна располагаться в вертикальной плоскости, па-

параллельной стенке борозды, и проходит через эту точку.

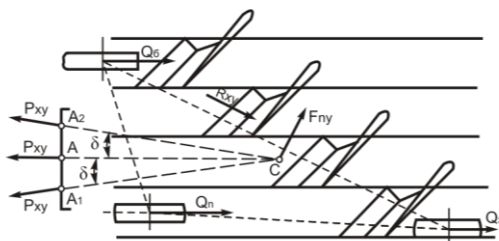


Рис.15 Схема сил, действующих на плуг в горизонтальной плоскости

Сила  $P_{xy}$  не будет иметь боковой составляющей только в случае, если она проходит через точки  $A$  и  $C$ . Если точку прицепа перенести влево в точку  $A_1$ , то направление линии тяги образует с осью  $X$  угол  $\delta'$ . В этом случае плуг под действием боковой составляющей стремится отклониться в сторону вспаханного поля, что приведет к увеличению силы трения между полевыми досками и стенками борозд и, как следствие, увеличению тягового сопротивления плуга.

При смещении точки прицепа вправо в точку  $A_2$  линия тяги образует с осью  $X$  угол  $\delta''$ . Горизонтальная составляющая силы  $P_{xy}$  будет стремиться отклонить плуг в сторону вспаханного поля, что приведет к уменьшению ширины захвата плуга и его производительности, хотя и с одновременным уменьшением тягового сопротивления.

Таким образом, для равновесия плуга в горизонтальной плоскости линия тяги должна лежать в вертикальной плоскости, параллельной стенке борозды и проходящей через след центра тяжести.

След центра тяжести можно определить непосредственно на плуге путем его взвешивания по опорам.

## 1.2. Культиваторы

### 1.2.1. Типы рабочих органов культиваторов

Культиваторы представляют собой группу орудий для предпосевной обработки почвы, а также для выполнения работ по уходу за парами и посевами сельскохозяйственных культур.

Различают культиваторы для сплошной обработки почвы, пропашные и универсальные. По конструкции рабочих органов и характеру их воздействия на почву различают культиваторы с пассивными (укрепленными на жестких стойках) и активными (штанговыми, ротационными) рабочими органами.

Особую группу орудий для сплошной обработки почвы составляют культиваторы-плоскорезы, входящие в систему машин для обработки почв, подверженных ветровой эрозии.

Для выполнения различных операций сплошной и междурядной обработки почвы культиваторы снабжаются комплектами рабочих органов различной формы и размеров. Наиболее распространенными формами рабочих органов культиваторов являются: лапы, подкормочные ножи, лемешные корпуса и игольчатые диски. Рабочие органы-лапы культиваторов выполняют операции рыхления почвы и подрезания сорняков, поэтому их подразделяют на полольные и рыхлительные.

Односторонние полольные лапы (рис. 16) применяются на пропашных культиваторах и имеют вертикальные щитки, предохраняющие растения от присыпания.

Стрельчатые лапы (рис. 16а) используются как на культиваторах для сплошной обработки, так и на про-

пашных. Они бывают плоскорежущие и универсальные. У плоскорежущих лап угол крошения  $\beta=18^\circ$ , а у универсальных  $\beta=28...30^\circ$ . Универсальные лапы при своем движении в почве, помимо подрезания сорняков, производят и рыхление почвы.

Рыхлительные лапы предназначены для рыхления почвы на глубину до 25 см. Различают оборотные (рис. 16а), копьевидные (б) и долотообразные (в) рыхлительные лапы.

Оборотные и копьевидные лапы на жестких стойках используются для глубокого рыхления почвы. Оборотные лапы на пружинных стойках применяются для предпосевного рыхления почвы и уничтожения корневищных сорняков путем их вычесывания.

Узкорыхлительные лапы (рис. 17в) в виде загнутого зуба используют на пропашных культиваторах для междурядного рыхления почвы на глубину до 16 см.

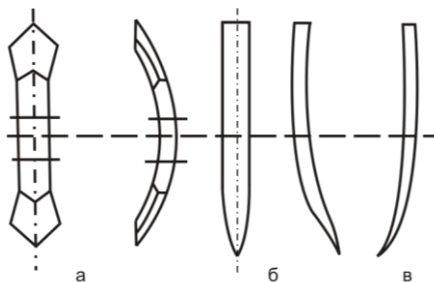


Рис.16. Односторонние (а) и стрелчатые (б) полые лапы.

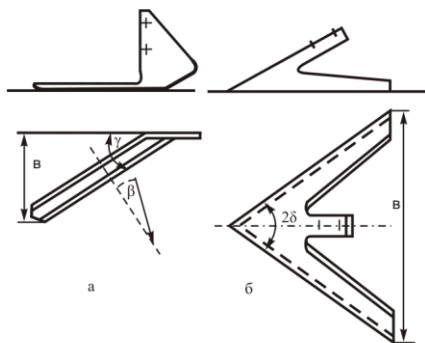


Рис.17. Типы рыхлительных лап

### 1.2.2. Основные параметры рабочих органов культиваторов и их расчет

Подрезные полольные лапы предназначены для подрезания корней сорных растений. Форма подрезной лапы определяется в основном углом раствора  $2\gamma$  и углом  $\beta$  постановки крыла лапы на горизонтальной плоскости (рис. 18). Наряду с этим существенны и такие показатели, как ширина захвата лапы  $b$ , затылочный угол  $\Delta\epsilon$  и угол заточки  $i$  (рис. 18).



Рис.18. Способы заточки лап

Заточка культиваторных лап может быть осуществлена в трех вариантах - верхняя (а), комбинированная (б) и нижняя (в). Лучше всего лапы затачивать снизу, так как в этом случае лапа изнашивается равномернее и обладает некоторой способностью самозатачиваться.

Угол заточки  $i$  берется в пределах  $12-15^\circ$ , а заты-

лочный угол  $\Delta\varepsilon=10^\circ$ . Тогда угол крошения  $\beta=i+\Delta\varepsilon=22\dots25^\circ$ . Универсальные лапы имеют  $\beta=28\dots30^\circ$ .

Угол раствора лезвия  $2\gamma$  имеет большое значение для качества выполнения работы. Обоснование величины угла раствора необходимо для обеспечения скольжения стеблей и корней растений по лезвию с тем, чтобы облегчить перерезание их и устранить обволакивание лапы, если перерезания не происходит.

При больших значениях угла  $\gamma$  возникающее между корнем и лезвием трение приводит к обволакиванию лапы растениями.

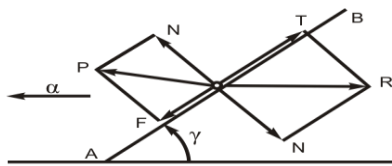


Рис.19. Взаимодействие лезвия лапы со стеблем

Пусть лезвие АВ (рис. 19), расположенное под углом  $\gamma$  к направлению движения, встречает стебель, перемещаясь по направлению скорости  $V$ . Если лапа при движении в почве встречается со стеблем, то сопротивление  $R$  дает составляющую  $T$ , которая стремится продвинуть стебель вдоль лезвия. С другой стороны, сила трения удерживает стебель на лезвии. Очевидно, условием скольжения стебля вдоль лезвия будет.

$$F = N \operatorname{tg} \varphi < T, \quad (49)$$

где  $\varphi$  - угол трения стебля о лезвие.

Так как

$$N = R \sin \gamma; T = R \cos \gamma, \quad (50)$$

то равенство (49) приводится к условию

$$R \sin \mu g \varphi < R \cos \gamma; \quad (51)$$

$$tg \varphi tg \gamma < 1,0; tg \varphi < ctg \gamma. \quad (52)$$

Зная, что  $ctg \gamma = tg(90^\circ - \gamma)$ , можно записать

$$tg(90^\circ - \gamma) > tg \varphi; \gamma > 90^\circ - \varphi. \quad (53)$$

Условие (53) обеспечивает резание со скольжением без обволакивания лезвия. Причем, угол  $\varphi$  зависит от вида и состояния почвы и может колебаться в широких пределах. Для лап, используемых при работе на песчаных почвах, принимают  $2\gamma = 75 \dots 80^\circ$ , а для работы на черноземных почвах  $2\gamma = 55 \dots 60^\circ$ .

Одним из основных параметров культиваторной лапы является ширина ее захвата  $b$ . У рыхлительных лап отечественного производства  $b = 45 \dots 60$  мм.

Односторонние плоскорежущие лапы изготавлиются с шириной захвата  $b = 85 \dots 165$  мм.

Стрельчатые лапы паровых и пропашных культиваторов изготавливаются с шириной захвата  $b = 145 \dots 330$  мм.

### 1.2.3. Размещение рабочих органов на раме культиватора

Размещение стрельчатых лап на культиваторах, предназначенных для сплошной обработки почвы, производится с учетом необходимого перекрытия  $\Delta b$  (рис. 21) для полного подрезания сорняков.



Значение  $\Delta b$  колеблется в пределах 40...80 мм. При выбранной величине перекрытия расстояние  $A$  между лапами в ряду будет

$$A = 2(b - \Delta b). \quad (54)$$

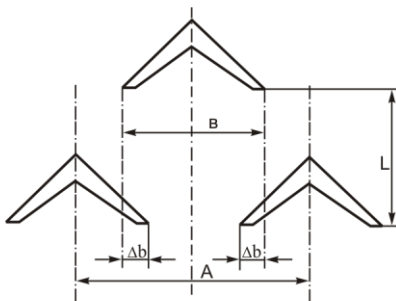


Рис.20. Размещение стрелчатых лап

Лапы культиваторов обычно размещают в два или три ряда из условия предотвращения забивания их растительными остатками. На практике при индивидуально-поводковой системе крепления лап принимают  $L=400...500$  мм.

Расстановка лап на пропашном культиваторе производится по заданным схемам посева с учетом ширины захвата лап и величины защитной зоны  $c$  (рис. 22). Исходным размером для размещения лап является ширина междурядья  $B$ . Величина защитной зоны  $c$  зависит от типа лап, глубины обработки, степени развития растений. Она колеблется в весьма широких пределах и составляет 6-11 см для односторонних лап, 8-16 - для стрелчатых. В основу размещения рыхлительных лап на раме положены соображения о возможной зоне деформации почвы.

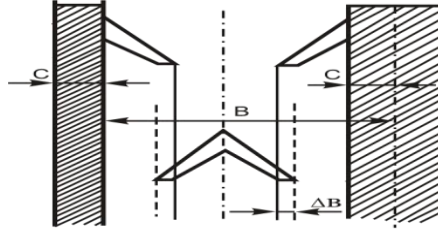


Рис.21. Размещение полойных лап

Пусть рыхлительная лапа перемещается в почве на глубине  $a$  (рис. 22). Область деформации почвы по ходу лапы ограничена линией  $mn$ , отклоненной от нормали к носку лапы под углом трения  $\varphi$ , а в поперечном направлении - плоскостями  $m_1n_1$ , наклоненными под углами  $\theta/2$  к линии  $mn$ . Тогда ширина зоны деформации почвы

$$b_1 = b + 2mntg \theta/2, \quad (55)$$

где  $b$  - ширина рыхлительной лапы;  
 $\theta$  - угол внутреннего трения почвы.

Так как

$$mn = \frac{a}{\cos(\alpha + \varphi)}, \text{ то } b_1 = u + \frac{2atg \theta/2}{\cos(\alpha + \varphi)}, \quad (56)$$

где  $\alpha$  - угол входа лапы в почву.

Расстояние  $L$  между рядами рыхлительных лап

должно устанавливаться из условия  $L \geq l_1 + l_0$ , где  $l_0$  - вылет стойки.

Из схемы на рис. 22 видно, что  $l_1 = atg(\alpha + \varphi)$ , тогда

$$L \geq l_0 + atg(\alpha + \varphi). \quad (57)$$

В расчетах можно принять  $\varphi = 25^\circ$ ,  $\theta = 50^\circ$ . Для обеспечения сплошной обработки почвы необходимо, чтобы расстояние  $A$  между лапами в одном ряду удовлетворяло условию

$$2b_1 \geq A > b_1. \quad (58)$$

#### 12.4. Типы крепления рабочих органов культиватора к раме.

Рабочие органы культиваторов прикрепляют к стойкам, а их связывают с рамой машины жестко или шарнирно.

При жестком креплении стойки 1 вместе с рабочими органами 2 прикрепляют болтами к брусу рамы культиватора 3 (рис. 24). Такое соединение применяется в машинах с небольшой шириной захвата и большой глубиной хода рабочего органа (культиваторы-плоскорезы, чизели-культиваторы). Глубина хода рабочих органов в данной схеме определяется силой тяжести машины  $P$  и реакцией почвы  $R_{zx}$  на рабочие органы. Глубина хода регулируется и ограничивается опорными колесами 4.

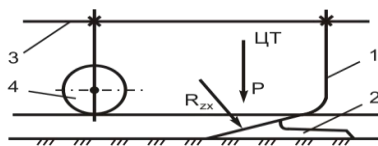


Рис.22.Схема жёсткого крепления рабочих органов к раме культиватора.

Способ жесткого крепления отличается от других простотой конструкции, но ограниченной возможностью копирования рельефа поля. Поэтому неравномерность обработки почвы по глубине зависит от рельефа поля и ширины захвата машины.

Шарнирное присоединение стоек к раме машины бывает одноповодковым и четырехзвенным. Различают индивидуально-поводковую и секционную системы крепления. При индивидуально-поводковой системе к каждому поводку присоединяют по одному рабочему органу, а при секционной - несколько рабочих органов.

Одношарнирная система крепления позволяет лучше, чем жесткое крепление, копировать рельеф поля как в продольном, так и поперечном направлении (рис. 23). При такой системе крепления рабочий орган заглубляется под действием силы тяжести  $P_c$  секции, реакции почвы  $R_{zx}$  на рабочие органы, а также при помощи пружин (сила  $F_n$ ). Устойчивая работа системы будет иметь место в том случае, когда

$$P_c l_1 + F_n l_2 = R_{zx} h + N l_3, \quad (59)$$

где  $N$  - реакция почвы на опорную поверхность лапы;  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  и  $h$  – плечи соответствующих сил относительно точки  $A$  крепления поводка.

Глубина хода рабочего органа ограничивается упорами штанг 1, а регулируется опорными колесами культиватора и степенью натяжения пружин.

Так как сопротивление почвы  $R_{zx}$  - величина переменная, которая зависит от физико-механических свойств почвы и глубины обработки, то и момент  $R_{zx}h$  будет варьировать. Следовательно, глубина хода лапы при одноповодковом креплении будет переменной и неустойчивой.

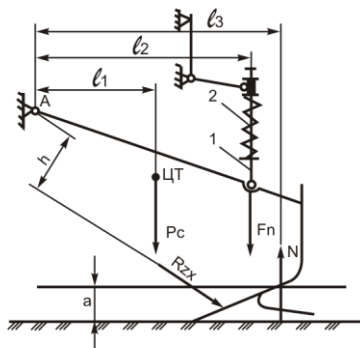


Рис. 23. Одношарнирное крепление рабочих органов к раме

Двухпроводковое крепление рабочих органов (рис. 24) имеет плоскопараллельный четырехзвенный механизм.

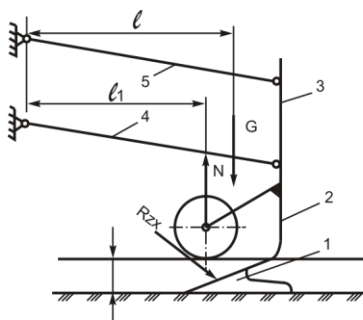


Рис. 24. Схема двухпроводкового крепления рабочих органов

Рабочие органы 1 со стойками 2 прикреплены к грядилю 3, который крепится к раме культиватора через поводки 4 и 5. Регулирование глубины обработки почвы производят опорным колесом 6, при этом угол установки рабочего органа к поверхности поля не меняется.

Двухпроводковая система применяется для креп-

ления лап в пропашных культиваторах, сошников в свекловичных и кукурузных сеялках, а также в посадочных машинах. При этом рабочие органы лучше копируют неровности микрорельефа поля и выдерживают заданную глубину обработки.

Условие равновесия лапы при работе будет

$$N_1 = Gl. \quad (60)$$

Сила сопротивления лапы культиватора  $R_{zx}$  на равновесие рабочей секции не влияет, так как создаваемый ею момент воспринимается горизонтальными тягами четырехзвенника. Верхняя тяга под действием момента сопротивления со стороны почвы будет сжиматься, а нижняя растягиваться.

Двухповодковое крепление особенно ценно при культивации на малую глубину, когда незначительное отклонение по глубине приводит к ухудшению показателей качества работы.

### **1.3. Зубовые бороны**

#### **1.3.1. Классификация зубовых борон**

Бороны используются преимущественно для рыхления верхних слоев почвы после работы плуга, выравнивания поверхности перед посевом, разрушения почвенной корки для сохранения влаги в почве, заделывания семян и удобрения при разбросном посеве, уничтожения сорняков и для ухода за лугами.

Основными рабочими органами борон являются жесткие или пружинные зубья. Бороны общего назначения имеют жесткие зубья квадратного или кругового сечения, а специальные пружинные зубья.

По способу присоединения зубьев к раме полевые бороны разделяют на жесткие, шарнирные и пружинные. Жесткие зубовые бороны делятся на легкие, средние и тяжелые в зависимости от массы бороны, приходящейся на 1 зуб. У легких борон на 1 зуб приходится 0,6...1,0 кг, у средних - 1,2...1,5 кг и у тяжелых - 1,6.. .2,0 кг.

Зубья для тяжелых и средних борон изготавливаются квадратного сечения, а для легких (посевных) - круглого.

К шарнирным относятся зубовые бороны с подвижным соединением элементов рамы, что позволяет отдельным зубьям копировать неровности рельефа поля.

Пружинные зубья имеют изогнутые зубья, изготовленные из пружинной стали. Их применяют на тяжелых и каменистых почвах.

Основные агротехнические требования к зубовым боронам сводятся к следующему:

- рабочие органы борон должны обеспечивать равномерное крошение почвы с преобладанием комков размером не более 25 мм;
- бороны должны иметь устойчивый ход при агрегатировании со всеми видами сцепок.

### 1.3.2. Динамика работы зуба

Рассмотрим три возможных случая крепления зуба к раме бороны.

*Перпендикулярно к раме* (рис. 25а). Обозначим через  $h$  глубину погружения зуба,  $P$  - силу давления зуба на частичку почвы и  $R$  - силу сопротивления почвы.

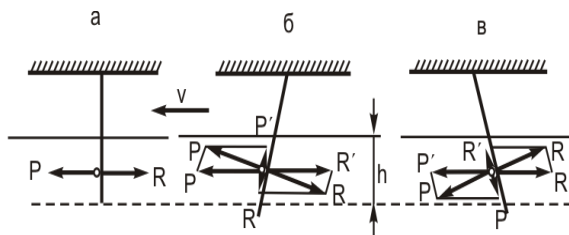


Рис.25. Схема крепления на раме бороны.

Если пренебречь трением, то можно считать сопротивление со стороны почвы нормальным к рабочей грани или ребру зуба.

В рассматриваемом варианте крепления зуба к раме сила воздействует перпендикулярно к грани зуба. Под ее воздействием частица разрушается и обходит зуб по сторонам. Движения частицы почвы по вертикали не наблюдается. Глубина хода зуба в этом случае определится только весом бороны, приходящимся на один зуб. Бороны с такими зубьями хорошо рыхлят почву.

*С наклоном вперед* (рис. 25б). В этом случае силу  $P$  можно разложить на две составляющие  $P'$  - по направлению движения бороны, под действием которой частицы почвы будут разрушаться, и  $P''$  - направленную вверх вдоль зуба, под действием которой частицы будут выноситься к поверхности поля, скользя по грани зуба.

Составляющая  $P''$  полной реакции почвы, действуя на зуб, стремиться заглубить борону. Глубина хода такой бороны зависит от ее массы и угла наклона зуба. Бороны с зубьями, наклоненными вперед, применяются для борьбы с корневищными сорняками.

*С наклоном назад* (рис. 25в). При наклоне зуба назад силу  $P$  можно разложить на две составляющие:  $P'$  - по направлению движения бороны, под действием которой частицы почвы разрушаются, и  $P''$  - направленную вниз вдоль зуба и стремящуюся заглубить почву и рас-



тельные остатки.

Составляющая  $R''$  реакции почвы стремится углубить борону. Такого типа бороны могут быть использованы для разрушения почвенной корки, для неглубокого рыхления и для заделки семян и удобрений разбросном севе.

Жесткие зубья на боронах общего назначения обычно устанавливают перпендикулярно раме.

### 1.3.3. Размещение зубьев на раме бороны

Устойчивый ход зубовой бороны зависит от многих факторов, в том числе и от длины зубьев. Исследованиями установлена оптимальная длина зуба

$$L = (2 \dots 2,5) h, \quad (61)$$

где  $h$  – глубина хода зуба.

Правильное размещение зубьев должно обеспечивать равномерное воздействие бороны на верхний слой почвы и ее спокойный поступательный ход. Для этого следует учесть ряд требований.

1. Борона должна быть односледной, т.е. каждый зуб должен проводить самостоятельную борозду. При этом, расстояние между зубьями, проводящими соседние борозды, должно соответствовать глубине хода.

Двигаясь в почве, зуб деформирует участок большей ширины, чем ширина зуба. В поперечном сечении деформируемый участок имеет форму треугольника (рис. 26).

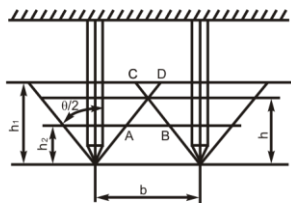


Рис.26. Схема работы зуба

С боковых сторон область деформации почвы ограничивается плоскостями, составляющими с продольно-вертикальной плоскостью угол  $\theta/2$ . Таким образом, зуб бороны обрабатывает почву неравномерно по глубине, а расстояние между зубьями должно быть согласовано с глубиной боронования.

Если зубья поставлены на расстоянии  $b$  друг от друга и движутся на глубине  $h_1$ , то они будут оставлять на поверхности поля неразрыхленный участок АВ.

При глубине хода зубьев  $h_2$  зоны деформации почвы будут перекрываться на величину CD, что приведет к свакиванию почвы и, в конечном итоге, к забиванию бороны.

Оптимальной глубиной хода зубьев будет  $h$ , при которой области деформации почвы соседними зубьями касаются друг друга на поверхности поля.

2. Для обеспечения устойчивости бороны каждый зуб должен работать в одинаковых условиях.

3. Сила тяги должна проходить через след центра тяжести бороны и быть направленной под углом  $18 - 20^\circ$  к горизонту.

4. Расстояние между зубьями должно обеспечивать незабиваемость промежутка между ними.

Рассмотрим, каким образом необходимо располагать зубья на раме бороны, чтобы выполнить все предъявляемые требования.

Наиболее полно агротехническими требованиями

отвечает способ размещения зубьев на раме бороны по прямым линиям, наклоненным под определенным углом к направлению движения. Каждую из этих линий можно рассматривать как развертку винтовой линии многозаходного винта (рис. 27).

Этот способ при соблюдении некоторых правил построения удовлетворяет основным требованиям и применяется при проектировании современных борон. Форма рамы бороны получается зигзагообразной, поэтому и бороны получили название "зиг-заг".

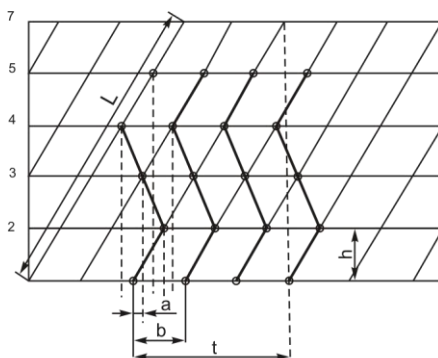


Рис.27. Образование зубового поля бороны

Обозначим шаг винта через  $t$ , полную длину развернутой линии через  $L$ , число ходов винта через  $k$ .

Поскольку все зубья на каждой винтовой линии расположены на равном расстоянии друг от друга, то все первые зубья будут расположены на одной горизонтали, все вторые - на другой и т.д. и, следовательно, их можно расположить на  $M$  поперечных планках, отстоящих друг от друга на равные расстояния  $l$ .

Так как винтовые линии в многозаходном винте сдвинуты друг от друга на одинаковое расстояние, то при  $k$  ходах отрезок, соответствующий шагу  $t$  на образующей цилиндра, разделяется на  $k$  частей. Тогда рас-

стояние между зубьями на одной поперечной планке будет равно

$$b = \frac{t}{k}. \quad (62)$$

Очевидно, что наибольшее число междурядий на расстоянии  $b$  равно числу поперечных планок. Обозначим ширину междурядья через  $a$ , тогда

$$b = Ma \text{ или } a = \frac{b}{M}. \quad (63)$$

Для легких посевных борон ширину междурядья  $a$  принимают равной 30, для средних - 40-50 и для тяжелых - 50-80 м. Расстояние  $l$  принимают равным 200 для легких, 250 - для средних и 300 мм - для тяжелых борон.

При выборе числа ходов  $k$  многозаходного винта необходимо исходить из того, что число ходов винта и число общего множителя равны, ибо величина последнего обусловит прохождение по одной борозде такого же количества зубьев. Например, если взять трехзаходный винт и расположить на его развертке 6 планок, то первый и последний зубья на планках пойдут по одной бороздке.

Тяговое сопротивление бороны  $P$  зависит от ее веса, числа зубьев и удельного сопротивления почв. Для практических целей при определении тягового сопротивления можно пользоваться выражением

$$P = qn, \quad (64)$$

где  $q$  - сопротивление одного зуба;

$n$  - число зубьев бороны.

По опытным данным,  $q = 10...15$  Н для легких,  $20...25$  Н для средних и  $40...50$  Н для тяжелых борон на 1 зуб.

## **1.4. Дисковые почвообрабатывающие машины**

### **1.4.1. Основные параметры дисковых рабочих органов**

Сферические сплошные диски применяются на дисковых плугах, луцильниках и дисковых боронах (рис. 28а), сферические вырезные диски (рис. 28б) - на тяжелых дисковых боронах и плоские диски - на луцильниках, сошниках сеялок и в качестве дисковых ножей на лемешных плугах.

Основными геометрическими параметрами сферических дисков, характеризующими действие дисков на почву, являются диаметр диска  $D$ ; радиус кривизны  $R$ ; угол атаки  $\alpha$  (угол установки диска к направлению движения агрегата); угол  $\beta$  наклона плоскости вращения лезвия к вертикали; центральный угол  $2\varphi$  дуги окружности, образуемой в результате сечения диска экваториальной плоскостью; задний  $\angle \varepsilon$ ;  $\angle \omega$  резания;  $\angle i$  заострения режущей кромки диска. Кроме этого, важным параметром является расстояние "в" между дисками по горизонтальной оси (рис. 29).

Между заданной глубиной  $a$  и диаметром диска  $D$  существует следующая зависимость:

$$D = k \cdot a, \quad (65)$$

где  $k$  – коэффициент равный для плугов 3 - 3,5; для луцильников 5 - 6; для борон 4 - 6.

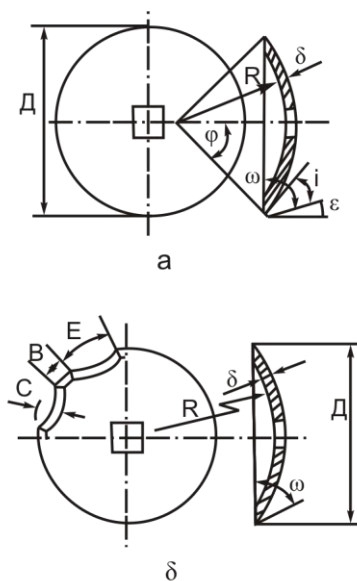


Рис.28. Параметры дисковых рабочих органов : а -сплошных; б – вырезных.

Радиус кривизны диска

$$R = \frac{D}{2 \sin \varphi}; \varphi = \alpha - i - \varepsilon. \quad (66)$$

Толщина сферических дисков (в мм) определяется эмпирической зависимостью.

$$\delta = 0,008D + 1. \quad (67)$$

Для дисков работающих на тяжелых почвах:

$$\delta = 0,008D + 1 \quad (68)$$

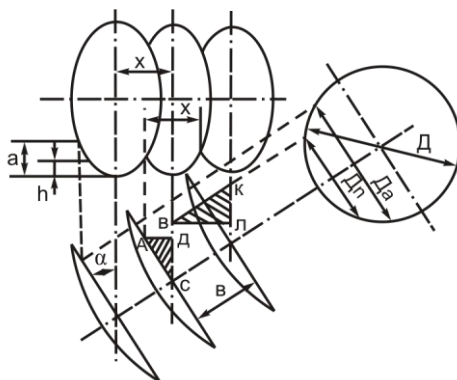


Рис.29. Выбор расстояния между дисками

Лезвие затачивается со стороны выпуклой поверхности диска и только у дисков, устанавливаемых на тяжелых боронах - со стороны вогнутой поверхности.

Угол  $i=10-20^\circ$  - для дисков борон и лушительников, и  $i=15-25^\circ$  - для дисков плугов;  $\varepsilon$  - задний угол резания, т.е. угол между тыльной стороной режущей кромки диска и стенкой борозды рекомендуется выбирать равным  $3-5^\circ$  (в сечении диска горизонтальной плоскостью на расстоянии "а" от дна борозды) [15].

Параметры вырезов вырезанных дисков по кромке лезвия равны:

$$E = 1,5B; B = \frac{1}{20} \pi D; \quad (69)$$

высота среза  $C = \frac{D}{8}$ ;

число вырезов 8, форма округлая.

Характер действия сферических дисков на почву зависит также и от таких параметров, как расстояние между дисками вдоль оси секции "в", угла атаки  $\alpha$ , скорости движения агрегата, массы бороны, направления

линии тяги, диаметра, толщины заточки и кривизны дисков.

#### 1.4.2. Расстановка дисков борон и луцильников

Расстояние между дисками по оси батареи (рис. 31) зависит от диаметра диска  $D$ , угла атаки  $\alpha$  и высоты гребней  $h$ .

Из  $\triangle ADC$  (рис. 31)  $x = D_n \sin \alpha$ .

Из  $\triangle BKL$ ;  $x = b \cos \alpha$

Решая совместно эти уравнения, получим:

$$D_n \sin \alpha = b \cos \alpha; \quad (70)$$

$$b = D_n \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (71)$$

$$D_n = D - 2h. \quad (72)$$

Тогда расстояние между дисками на оси батареи

$$b = (D - 2h) \operatorname{tg} \alpha. \quad (73)$$

#### 1.4.3. Силы, действующие на дисковые рабочие органы

Во время работы сферического диска под воздействием давления почвы возникают силы трения.

Давление почвы на диск можно представить тремя составляющими:  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ .

Все силы действующие на диск, целесообразно свести к двум:  $R'$  и  $R''$  (рис. 30 и рис. 31). Сила  $R'$  лежит в вертикальной плоскости и наклонена к горизонту под углом  $\nu$ , а линия ее действия проходит на расстоянии  $\rho$



от оси вращения диска.

Сила  $R''$  направлена перпендикулярно плоскости вращения диска и линия ее действия расположена параллельно оси вращения диска на расстоянии  $h \cong \frac{a}{2}$  от дна борозды и на расстоянии  $l$  по горизонтали впереди вертикальной плоскости, проведенной через ось вращения диска (из-за сравнительно малых размеров  $\rho$  и  $l$  без большой погрешности значения их можно приравнять к нулю).

Если заданы силы  $R'$  и  $R''$ , то для нахождения составляющих  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  пользуются зависимостями:

$$R_x = R' \cos \nu \cdot \cos \alpha + R'' \sin \alpha; \quad (74)$$

$$R_y = R' \cos \nu \cdot \sin \alpha + R'' \cos \alpha; \quad (75)$$

$$R_z = R' \sin \nu; \nu = \arctg \left( \frac{R_x}{R_x \cos \alpha - R_y \sin \alpha} \right). \quad (76)$$

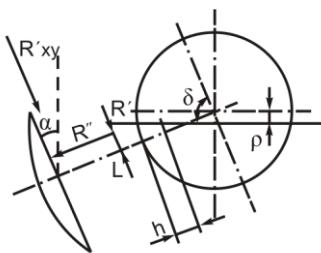


Рис.30.Схема сил, действующих на диск

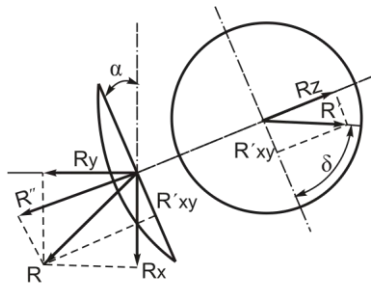


Рис.31. Схема для определения сил  $R'$  и  $R''$

Если известными являются  $R_x$ ,  $R_y$  и  $R_z$ , то  $R'$  и  $R''$  находят по выражениям:

$$R' = \sqrt{R_z^2 + R_{xy}'^2}; R_{xy}' = R_x \cos \alpha - R_y \sin \alpha; \quad (77)$$

$$R'' = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_{xy}'^2}. \quad (78)$$

#### 1.4.4. Равновесие дисковых орудий

При одинаковом погружении в почву дисков, однородности механических свойств почвы, одинаковой остроте лезвия равнодействующие левой  $R_{\text{л}}$  и правой  $R_{\text{п}}$  секции луцильника равны по величине и направлены под углом  $\delta$  к оси вращения дисков (рис. 32). Точка их пересечения лежит на продольной оси луцильника. Линия действия равнодействующей  $R$  сил  $R_{\text{л}}$  и  $R_{\text{п}}$  проходит через точку В прицепа.

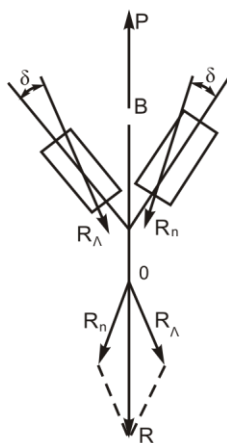


Рис.32. Схема сил, действующих на луцильник.

Поперечные слагающие сил  $R_{\text{л}}$  и  $R_{\text{н}}$  взаимно уравниваются, продольные равны силе тяги  $P$ . При всех прочих равных условиях луцильник будет работать устойчиво, прямолинейно.

Дисковые плуги работают с поступательной скоростью до 7,2 км/ч. При дальнейшем повышении рабочей скорости, при существующих параметрах дисков сильно увеличивается дальность отбрасывания почвы; что приводит к беспорядочной укладке пластов и ухудшению качества вспашки.

Дисковые луцильники могут работать при угле атаки  $30-35^\circ$  со скоростью до 8-12 км/ч. При дальнейшем повышении рабочей скорости наблюдается тот же недостаток, что и у дисковых плугов.

## 1.5. Почвенные фрезы

### 1.5.1. Кинематика рабочих органов фрез

В последнее время среди специалистов определенным вниманием пользуются почвообрабатывающие

машины с активными рабочими органами.

Рабочие органы фрез совершают сложное движение: поступательное (переносное) и вращательное (относительное). Траектория движения какой-либо точки рабочего органа представляет собой циклоиду (трохоиду).

Рассмотрим, например, движение конечной точки А ножа (рис 33), находящейся в начальный момент в положении  $A_0$ . Через промежуток времени  $t$  ось барабана переместится в положение  $O_i$ , пройдет путь  $V_t$ , а диск барабана повернется на угол  $\omega t$ , где  $V$  - поступательная, а  $\omega$  - угловая скорость фрезы. При этом точка А ножа перейдет из положения  $A_0$  в положение  $A_i$  с координатами

$$\left. \begin{aligned} x_i &= V_t + r \cos \omega t \\ y_i &= r \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (79)$$

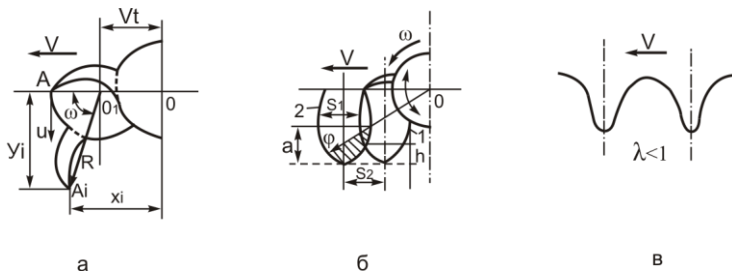


Рис.33. К теории : а – к определению уравнений движения; б – к определению основных показателей работы фрезы; в – траектория штанги культиватора.

Уравнение (79) в параметрической форме характеризуют траекторию абсолютного движения точки А ножа фрезы. Такую же траекторию будет иметь и другая точка ножа.

Геометрическая форма циклоиды будет зависеть от соотношения скоростей

$$\lambda = \frac{U}{V}, \quad (80)$$

где  $U$  - окружная скорость точки А.

Это соотношение называется показателем кинематического режима работы фрезы и является важной характеристикой ее работы. В действительности для любой точки ножа  $\lambda < 1$ , так как в противном случае нож будет воздействовать на почву не лезвием, а затылочной частью.

В штанговых культиваторах  $\lambda < 1$ .

### 1.5.2. Основные параметры технологического процесса работы фрезы

Работа фрезы характеризуется подачей на нож  $S_z$ , глубиной обработки  $a$  и высотой гребней  $h$  (рис. 35).

Подачу на нож  $S_z$  вычисляют по формуле

$$S_z = Vt_z \quad (81)$$

где  $t_z$  - время, за которое последующий нож в относительном движении займет положение предыдущего, то есть повернется на угол, равный центральному углу между ними.

Время  $t_z$  находят из выражения

$$t_z = \frac{t_{об}}{r}, \quad (82)$$

где  $t_{об}$  - время, за которое диск повернется на один оборот;

$r$  - число ножей на одном диске.

Время одного оборота можно определить из условия

$$\omega t_{об} = 2\pi \text{ и } t_z = \frac{2\pi}{\omega r}. \quad (83)$$

После подстановки получим

$$S_z = 2\pi V / \omega z \text{ или} \quad (84)$$

умножив числитель и знаменатель на  $r$  и заменив  $U/V$  через  $\lambda$ , будем иметь

$$S_z = 2\pi r / \lambda r.$$

Из этой формулы видно, за счет каких параметров можно изменить подачу на нож, а следовательно, и степень воздействия фрезы на почву, в том числе крошение и высоту гребней  $h$ . Чем меньше подача на нож, тем меньше высота гребней  $h$ .

От подачи на нож зависит также толщина стружки  $\delta$ , определяющая степень крошения почвы. Приближенно  $\delta_{max} = S_z \cos \varphi_0$ . Из рисунка видно, что глубина обработки  $a = r - r \sin \varphi_0$  откуда  $\sin \varphi_0 = 1 - a/r$  или обозначив  $a/r$  через  $m$ , будем иметь  $\sin \varphi_0 = 1 - m$ , а  $\cos \varphi_0 = \sqrt{2m - m^2}$ .

Подставляя эти значения в формулу для определения толщины стружки, получим  $\delta_{max} = S_z \sqrt{2m - m^2}$ . Из этой формулы следует, что при неизменной подаче  $S_z$  на нож с уменьшением глубины  $a$  обработки почвы степень рыхления возрастает. Толщина стружки - величина переменная, поэтому чаще всего приводят ее максимальное значение.

### 1.5.3. Затраты мощности на работу фрезы

Фрезы потребляют на много больше энергии, чем любое орудие с поступательным движением рабочих органов.

Мощность  $N$  (кВт), затрачиваемую на работу фрезы, можно представить в виде трех слагаемых:

$$N = N_M + N_D + N_C, \quad (85)$$

где  $N_M$ ,  $N_D$ ,  $N_C$  - мощность соответственно на перемещение машины, на деформацию почвы, и на отбрасывание почвенной стружки, кВт.

Затратами мощности на трение в передачах фрезы обычно пренебрегают, так как они сравнительно невелики.

Первое слагаемое определяется из выражения

$$N_M \cong 10^{-2} f Q V, \quad (86)$$

где  $f$  - коэффициент перекачивания ( $f \cong 0,15 - 0,2$ );

$Q$  - масса машины, кг;

$V$  - поступательная скорость машины, м/с.

Второе слагаемое рассчитывают по формуле

$$N_D = 10^{-4} k c h z_0 n / 6, \quad (87)$$

где  $k$  - удельное сопротивление деформации почвы, МПа;

$c$  - сечение почвенной стружки, см<sup>2</sup>;

$h$  - глубина обработки, см;

$z_0$  - общее число ножей;

$n$  - частота вращения фрезерного барабана, мин<sup>-1</sup>.

Третье слагаемое находят из уравнения

$$N_c = 5 \cdot 10^{-4} \delta Q_{\Pi} V^2 P, \quad (88)$$

где  $\delta$  - коэффициент отбрасывания, зависящий от формы рабочего органа (полевой крючок - 0,75, болотный нож - 1);

$Q_{\Pi}$  - масса почвы, отбрасываемая за 1 с;

$V_p$  - окружная скорость барабана, м/с.

Правильный выбор соотношения поступательной и окружной скоростей барабана фрезы, конструкции рабочих органов и время обработки позволяет свести к минимуму распыление почвы.



## 2. ПОСЕВНЫЕ И ПОСАДОЧНЫЕ МАШИНЫ

### 2.1. Технологические свойства семян и клубней

Основными технологическими свойствами семян и клубней, имеющих существенное значение в процессе их посева и высадки в почву, являются следующие [19].

Форма семян может быть эллипсоидная, шаровидная, чечевицеобразная, пирамидальная.

Размеры характеризуются длиной  $l$ , шириной  $b$  и толщиной  $\delta$ . Длина семян зерновых культур изменяется в пределах от 4 (яровая пшеница) до 8,6 мм (овес), пропашных культур - от 1,8 до 13,5 мм. Ширина семян зерновых культур изменяется от 1,4 до 4 мм; толщина от 1 до 4,5 мм; ширина семян пропашных культур - от 1,5 до 11,5 мм; толщина от 1,5 до 8 мм.

Форма и размеры семян влияют на процесс высыпания семян из отверстия бункера, от них зависит выбор типа высевающего аппарата и параметры ячеек высевающих дисков сеялок точного посева.

Плотность  $\rho$  определяется отношением массы семени к его объему. Плотность семян основных полевых культур колеблется от 1 (овес) до 1,4 (горох) т/м<sup>3</sup>. На ее значение влияют влажность, содержание воздуха и химический состав семян. Чем больше плотность семян, тем выше полевая всхожесть.

Абсолютная масса семян (натура) - это масса 1000 семян в граммах, что соответствует средней массе одного семени в миллиграммах. Она у зерновых культур составляет 20-42 г, у кукурузы - 150-300, гороха 100-200, проса 7-9 и у гречихи 15-25 г. Этим понятием пользуются, когда нужно более точно охарактеризовать качество семян.

Объемная масса семян (натура) определяется их абсолютной массой и коэффициентом заполнения объема (плотности укладки), представляющим собой отношение фактической массы единицы объема зерна (г/л) к теоретической массе того же объема. Натура семян основных зерновых культур изменяется в пределах от 400-565 г/л (овес) до 750-880 г/л (озимая пшеница); натура кукурузы - 700-865 г/л.

Значение коэффициента плотности укладки семян для основных зерновых колосовых культур колеблется в пределах 0,58-0,65. Массу 1000 семян и абсолютную массу необходимо учитывать при расчете нормы высева семян и при пересчете с заданной нормы, выраженной в числе зерен на 1 га, на норму, выраженную в кг/га.

Прочность семян определяют исходя из нагрузок, вызывающих их травмирование со снижением всхожести и урожайности. Этот показатель для семян, например хлопчатника и сои, составляет 49-52 Н, кукурузы - 49-50 Н. Его следует учитывать при определении оптимальных параметров рабочих органов и режимов их работы.

Упругость семян характеризуют коэффициентом восстановления при ударе, то есть отношением нормальных составляющих скоростей семени соответственно до и после удара о поверхность.

Этот коэффициент, например для гороха, равен 0,30-0,42. Соударения в рабочих органах наблюдаются при различных процессах: в зерновик сеялках - при движении семян по семяпроводам, в сошниках и в особенности при наличии в них направителей и отражателей семян при падении их на дно борозды; в пропашных - при работе отсекающих и выталкивающих, в процессе гнездообразования и т. д.

Аэродинамические свойства семян характеризуются коэффициентом сопротивления, скоростью витания и коэффициентом парусности. При падении зерна в вертикальных каналах коэффициент сопротивления определяется выражением:

$$K = \frac{Q}{\rho F V_s^2}. \quad (89)$$

Скорость витания:

$$V_s = \sqrt{\frac{Q}{K \rho F}}. \quad (90)$$

Коэффициент парусности:

$$K_{\pi} = \frac{K \gamma F}{Q}, \quad (91)$$

где  $Q$  – вес зерна, кг;

$\gamma$  - объемный вес зерна, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho$  - плотность воздуха  $\left( \frac{\lambda}{g} \right)$  в  $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}^4}$ ,

$\lambda$  – удельный вес воздуха в кг/м<sup>3</sup>;

$F$  - миделево сечение зерна (площадь проекции зерна на плоскость, перпендикулярную скорости падения);

$K$  - коэффициент сопротивления.

Критические скорости для семян зерновых культур находятся в пределах 8 - 11,5 м/с, для калиброванных семян кукурузы - 9,75 - 14,1 м/с, семян льна - от 3,5 до 8,5 м/с, для подсолнечника - от 4 до 14 м/с, красного клевера - от 4 до 8 м/с, тимopheевки - 1,8-6,0 м/с.

Посев высококачественными семенами является одним из способов борьбы за урожай. Показателями высокого качества семян являются их крупность и повышенный абсолютный вес. Семена перед посевом должны быть рассортированы не только по размерам, но и по удельному весу. Очень важно, чтобы семена имели одинаковые размеры и одинаковый удельный вес, поскольку такие семена одновременно всходят.

Фрикционные свойства. Основной вид трения семян - трение скольжения.

Динамический коэффициент внешнего трения  $f_D$  для семян пшеницы, ячменя и кукурузы по различным материалам составляет 0,3-0,5. Со статическим коэффициентом  $f_{ст}$  он находится в соотношении  $f_D = (0,6-0,7)f_{ст}$ . Коэффициент внутреннего трения семян основных зерновых культур  $f' = 0,44-0,57$ .

Угол естественного откоса семян зависит от их влажности. При увеличении влажности зерна пшеницы от 11-12 до 14-15% (критическая влажность зерна) угол естественного откоса увеличивается от 34 до 37° [4].

## **2.2. Агротехнические требования к посеву и посадке**

Общими требованиями при посеве и посадке всех сельскохозяйственных культур являются: а) посев или посадка в наилучшие для каждой культуры сроки в данном районе; б) равномерное распределение семян по площади поля; в) заделка семян на одинаковую глубину; г) строгое соблюдение нормы высева. Глубина заделки обусловлена особенностями высеваемой культуры и почвенно-климатическими условиями районов возделывания [25].

Нормы высева устанавливаются агротехническими требованиями для разных культур в разных районах в соответствии со способом посева и задаются обычно в килограммах или центнерах на гектар. При равномерном распределении семян норма высева определяет среднюю величину площади (площадь питания), приходящуюся на одно растение. По некоторым агротехническим данным растения должны быть размещены так, чтобы не только площади питания были одинаковыми, но и форма их расположения приближалась к квадрату. С агротехнической точки зрения, наиболее важным является обеспечение необходимой (оптимальной) густоты растений на единице площади.

Применительно к рядовому посеву требование равномерного размещения семян по площади поля сводится к равномерному распределению их в рядках и выдержанности ширины междурядий. При выполнении указанного требования для обычной ширины междурядий в 15 см площадь питания представляет собой вытянутый прямоугольник, длинные стороны которого в 10-15 раз больше коротких.

При узкорядном посеве размещение растений более равномерное; при  $a=7,5$  см семена в рядках располагаются примерно вдвое реже.

Дополнительными требованиями для рядового посева являются: прямолинейность рядков, отсутствие огрехов и пересевов и ровная поверхность засеянного поля. Что касается равномерности глубины заделки семян, то при заданной глубине 3-4, 4-5 и 6-8 см средняя глубина заделки может отклоняться от нее не более чем на  $\pm 0,5$ ;  $\pm 0,7$ ;  $\pm 1,0$  см соответственно.

При пунктирном посеве кукурузы гнезда должны располагаться прямолинейными рядами в продольном и поперечном направлениях. Отклонение ширины основных междурядий (от заданной) допускается в пределах  $\pm 2$  см, стыковых  $\pm 5$  см; отклонение центров гнезд от линии поперечных рядков  $\pm 5$  см. Отклонение глубины заделки семян от заданной - в пределах  $\pm 1$  см.

Рядовая и квадратно-гнездовая посадки картофеля выполняются с соблюдением всех вышеуказанных общих агротехнических требований. При квадратно-гнездовой посадке в каждое гнездо должно высаживаться по 2-3 клубня с порцией удобрений. Отклонение ширины основных междурядий (от 70 см) допускается  $\pm 2$  см, стыковых  $\pm 10$  см; отклонение центров гнезд от линии поперечных рядков (на длине, равной трем захватам машины)  $\pm 7$  см. Отклонение глубины заделки от заданной  $\pm 2$  см. Такие же требования предъявляют и к посадке рассады овощных культур (капуста, помидоры) квадратным способом [26].

Для пунктирного посева сахарной свеклы установлены следующие агротехнические требования: расстояния между одиночными клубочками  $a' = 3,5$  и 8 см должны выдерживаться не менее чем на 80% площади

при коэффициенте вариации не более 35%. Следует отметить, что эти требования весьма жесткие и существующие свекловичные сеялки точного высева даже при скорости движения в 4-5 км/ч не обеспечивают такого распределения семян в рядках.

### 2.3. Способы посева и посадки

Рядовой посев - наиболее распространенный способ посева для целого ряда культур - зерновых, технических, овощных и др. Расстояние  $a$  между рядками - ширина междурядий (рис 34, а) - является основной характеристикой этого способа сева и устанавливается для различных культур агротехническими требованиями [25, 23].

Колосовые культуры - пшеница, рожь, ячмень - высеваются со стандартной шириной междурядья  $a = 15$  см. Для получения более правильной конфигурации площади питания семян (менее вытянутый прямоугольник) применяют также и более узкие междурядья,  $a = 6-7$  см (узкорядный посев, рис. 34, в). Пропашные культуры - кукуруза, сахарная свекла, подсолнечник, картофель и другие - высевают (высаживают) с широкими междурядьями (широкорядный посев, рис. 34, д). В зависимости от вида культуры, района ее возделывания и других факторов ширина междурядий колеблется в пределах 30-90 см и более.

Разновидностью рядового посева является ленточный посев. В этом случае несколько рядков (строчек) образуют ленту (рис. 34, б), причем расстояние  $a_2$  между лентами больше расстояния  $a_1$  между строчками в ленте.

Расчетной характеристикой ленточной схемы по-

сева будет расстояние  $A$  между серединами лент. При заданном количестве  $n$  строчек в ленте:

$$A = a_2 + (n - 1)a_1. \quad (92)$$

Чтобы более равномерно разместить растения по плоскости, применяют перекрестный способ посева. В этом случае сеялка проходит по полю в двух направлениях крест-накрест, расходуя половину нормы высева при проходе по каждому направлению. При этом семена и развивающиеся из них растения распределяются в рядках реже, а рядков получается больше и затраты труда на посев перекрестным способом увеличиваются.

Гнездовой способ посева и посадки характеризуется двумя размерами (рис. 34, ж): шириной междурядий  $a$  и шириной междугнездий  $a'$ . Для некоторых пропашных культур - кукурузы, хлопка, рассады овощных культур и др. - применяют квадратно-гнездовую (рис. 34, з) и прямоугольно-гнездовую схему посева (посадки). Размещение гнезд (или отдельных растений) по вершинам квадратов (прямоугольников) дает возможность проводить механизированный уход за посевами и посадками в двух взаимно перпендикулярных направлениях, что является основным достоинством указанных способов. Разновидностью квадратно-гнездового посева является шахматный посев, при котором гнезда (растения) в смежных рядах располагаются в шахматном порядке. При шахматном посеве междурядная обработка может производиться в трех направлениях - продольном и двух перекрестно-диагональных. Схемы квадратно-гнездового и прямоугольно-гнездового посевов определяются агротехническими требованиями для различных культур применительно к условиям разных



районов и комплексной механизации работ по возделыванию этих культур [14, 26].

Пунктирный способ посева получил в последнее время широкое применение для ряда пропашных культур - кукурузы, сахарной свеклы и др. При этом способе семена высеваются по одному (однозерновой способ) на примерно равных расстояниях  $a'$  (рис. 34, е) друг от друга. Расстояние  $a'$  между семенами в рядке колеблется для разных культур и условий в пределах от 3-8 до 20-25 см (кукуруза). Основной задачей этого способа точного сева является получение отдельных растений на примерно одинаковых расстояниях друг от друга в рядке с таким расчетом, чтобы можно было провести механизированное прореживание и, главным образом, избежать трудоемкой операции прорывки растений, которая при других способах сева выполняется вручную.

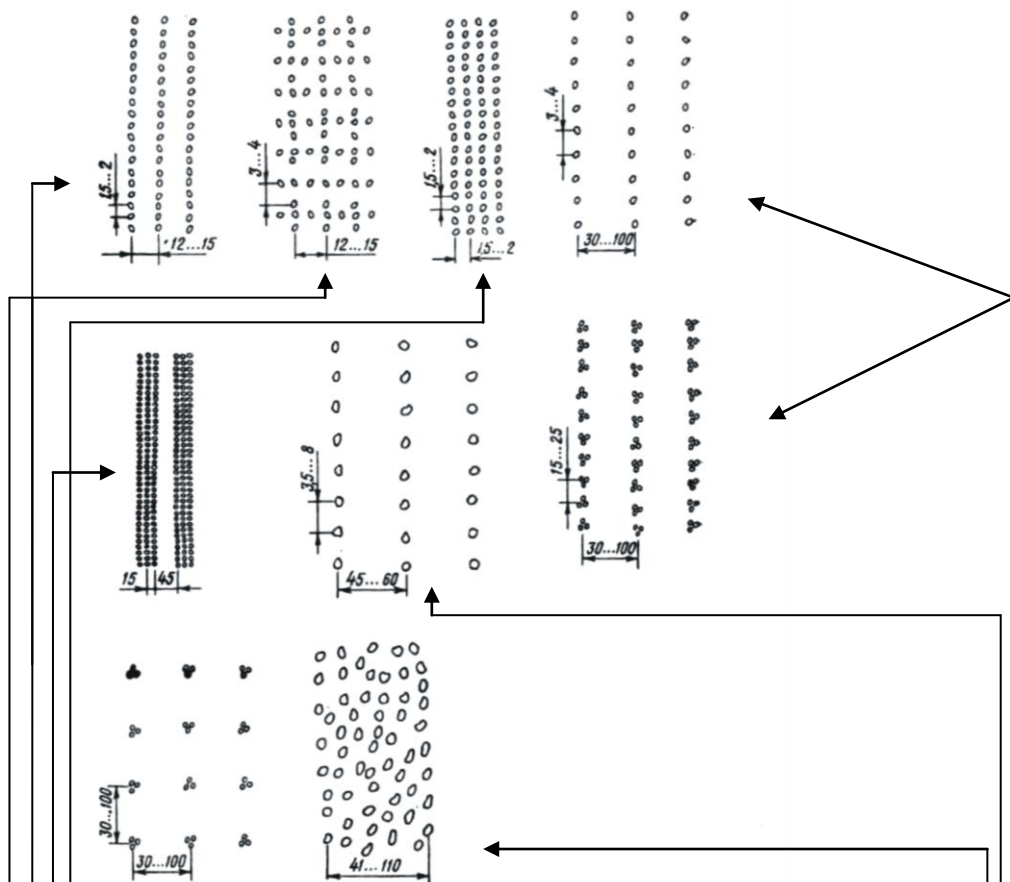


Рис.34. Способы посева и посадки растений ( размеры даны в сантиметрах).

- 1.Рядовой
- 2.Перекрёстный
- 3.Пунктирный
- 4.Широкорядный
- 5.Гнездовой
- 6.Ленточный
- 7.Квадратно гнездовой
- 8.Разбросной

В зарубежных странах схемы посева и посадки некоторых культур несколько отличаются от схем, применяемых в нашей стране. Так, например, колосовые культуры высеваются рядовым способом с междурядьями 15, 18 и 20 см. Картофель и рассадные культуры высаживаются только рядовым способом. При гнездовом посеве кукурузы (в США) ширина междурядий колеблется от 76,2 (30") до 106,68 см (42"), а ширина междугнездий - от 36,8 до 106,68 см [5].

В особых почвенно-климатических условиях применяется ряд специальных способов посева.

Бороздовой посев проводят с целью лучшего удержания и накопления влаги в почве. Этот способ применяется преимущественно в засушливых районах, часто для посева озимых культур. В бороздках зимние атмосферные осадки лучше задерживаются и впитываются в почву.

Гребневой посев проводят на вершинах гребней с целью лучшей аэрации и испарения излишней влаги почвы. Этот способ посева применяется в районах, где избыток влаги отрицательно сказывается на росте и развитии растений.

Разбросной посев, (рис. 36, и) применяется на больших площадях, на избыточно увлажненных почвах и в других специфических условиях, когда нельзя пользоваться наземными посевными агрегатами, а эффективность аэросева считается достаточной в данных ус-

ловиях. Рассеянные самолетом семена (например, риса) обычно не заделываются в почву.

Для одновременного высева семян сельскохозяйственных культур с минеральными удобрениями применяются специальные сеялки; при этом минеральные удобрения высеваются вместе с семенами в одни и те же бороздки или гнезда.

## **2.4. Классификация посевных машин**

На рис. 37. Представлена классификация сеялок и сажалок по ряду общих признаков, имеющих существенное значение. По мере совершенствования техники для посева эта классификация может развиваться и дополняться в соответствующих направлениях.

### *По назначению*

К сеялкам общего назначения относятся сеялки, предназначенные для высева семян зерновых, риса и целого ряда наиболее распространенных культур. К специальным - сеялки высевающие семена только одной определенной культуры, например хлопковые). К универсальным относятся такие сеялки, которые с незначительными регулировками могут высевать семена различных культур различными способами. Комбинированные - это те сеялки, которые одновременно с высевом семян культуры высевают гранулы минеральных удобрений.

### *По высеваемой культуре*

В основу этого признака положено наименование той культуры, семена которой высевают машиной (рис. 37). В представленной классификации не отражены все

машины этого признака, однако следует шире проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по их универсализации. Сеялки универсальные, т.е. для высева нескольких культур, экономически более целесообразны.

### *По способу агрегатирования*

Способ агрегатирования высевающей системы имеет существенное значение. Так, навесные сеялки (рис. 37) более компактные, маневренные, но не обеспечивают требуемое ложе для семян, заданная глубина заделки не всегда выдерживается. Прицепные сеялки более громоздкие, но применяются довольно широко, поскольку удобно агрегатируются со сцепками и обеспечивают выравнивание глубины заделки семян из-за копирования поверхности поля. Прицепные сеялки малой ширины захвата нашли большое применение в фермерских и индивидуальных хозяйствах. Полунавесные - это специальные сеялки. Сеялки авиационные - дорогостоящие, требуют тщательно отработанной технологии посева. Поэтому для такого высева семян нашли широкое применение дельтапланы, оборудованные специальными высевающими системами, работающими на небольших высотах 3-4 м.

### *По типу высевающего (высаживающего) аппарата*

Наибольшее распространение имели механические высевающие аппараты - катушечные и др. Несмотря на надежность конструкции, такие высевающие аппараты значительно повреждают семена, после чего их всхожесть существенно снижается. До сих пор зерновые сеялки имеют такой грубый аппарат высева из-за кото-

рого мы недополучаем 5-10 ц зерна с гектара, что недопустимо.

Пневматические и пневмомеханические высевальные аппараты пропашных сеялок в этом смысле более совершенны, однако в полевых условиях в их работе часты сбои из-за неплотностей вакуумных устройств сеялки.

Струйные высевальные устройства созданы на кафедре сельхозмашин Кубанского госагроуниверситета. Такие высевальные аппараты не имеют подвижных частей, высевают семена воздушным потоком с избыточным давлением и практически не повреждают семена. Конструкция сеялки с такими высевальными аппаратами проста и надежна в работе.

Здесь же разработаны электронные высевальные устройства, работающие за счет вибрации одной из стенок высевающего аппарата. Электронная система такой сеялки управляет частотой и амплитудой колебаний стенки, то есть управляет режимом работы сеялки.

Вибрационные высевальные аппараты. Несмотря на разнообразие конструкций вибрационных аппаратов, все они имеют бункер семян, в нижней части которого расположен вибрационный рабочий орган, совершающий колебания с частотой 10...30 Гц. Привод рабочего органа может быть выполнен механическим (эксцентрик), электрическим (электромагнит), пневматическим.

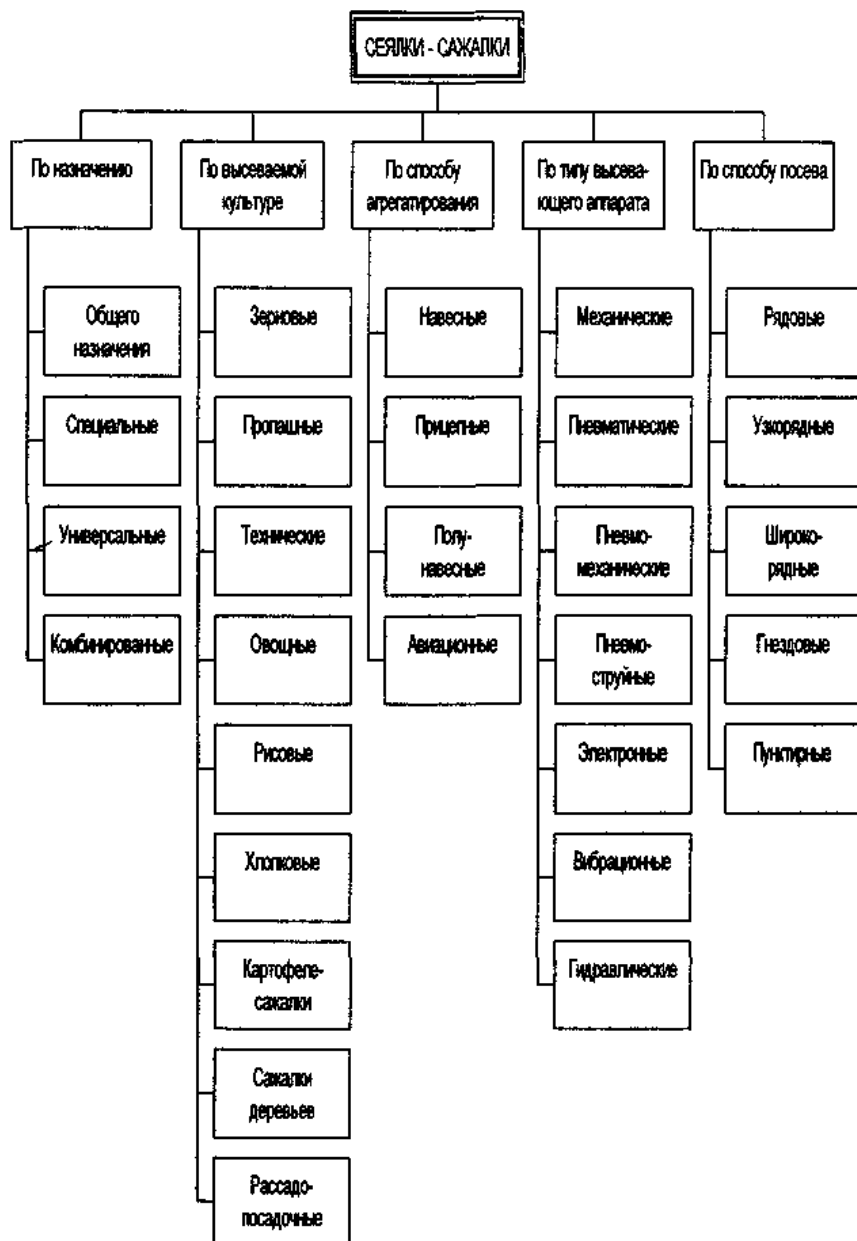


Рис 34. Схема классификации посевных и посадочных машин

Под действием вибрационных колебаний семена приобретают свойства жидкости и истекают через дозирующее отверстие в семяпроводы. Достоинством этих аппаратов является их универсальность, т.е. возможность высева семян с разными физико-механическими свойствами. Норма высева регулируется величиной открытия заслонки дозирующего отверстия, частотой и амплитудой колебаний рабочего органа. Как и все механические и пневмомеханические высевальные аппараты, вибрационные дозаторы имеют недостаток - принципиально отсутствует возможность введения элементов контроля плотности потока семян и автоматического регулирования технологического процесса.

Рабочим органом электрических высевальных аппаратов является бегущее магнитное поле. Предварительно семена обрабатываются железным порошком и через дозирующее отверстие они направляются в зону магнитного поля захватываются им и направляются в семяпровод. Норма высева регулируется скоростью магнитного поля.

Эти аппараты находятся в стадии научной проработки.

Гидравлические высевальные аппараты. Они нашли применение в основном для посева семян трав на откосах железнодорожных насыпей. Рабочим органом гидравлических аппаратов является струйный эжектор; истекающая струя жидкости захватывает семена из бункера и транспортирует их на обрабатываемую поверхность.

### *По способу посева*

Этот признак классификации определен агрономами, отражает направленность хозяйственной деятель-



ности, высеваемыми культурами и технологиями их возделывания.

## **2.5. Семенные емкости сеялок и сажалок**

Семенные ящики посевных машин служат емкостями для семенного материала, они обеспечивают образование семенного потока и истечение семян через выходные отверстия. Ящики должны иметь оптимальную вместимость, равномерно и непрерывно подавать семена к высеваящим аппаратам независимо от направления движения посевного агрегата [20].

Зерно в посевном ящике находится в напряженном состоянии. В самом начале процесса высева в движение приходит вертикальный столб зерна, расположенный над отверстием в дне ящика. Понижение уровня вертикального столба вызывает перемещение зерна, находящегося у стенок ящика, по направлению к центру под углом естественного откоса. Сначала вытекают слои центрального столба отверстия до верха, затем боковые слои от верхнего уровня до дна. Когда угол ската дна будет меньше угла трения зерна по поверхности дна, то на дне наблюдаются остатки зерна. Если при засыпке зерна в ящик более тяжелые семена оказываются внизу, то сначала будет вытекать тяжелое зерно, затем более легкое и, наконец, снова тяжелое.

Обычно в дне семенных ящиков зерновых сеялок делают круглые отверстия, которые имеют наибольшую пропускную способность. Меньшей пропускной способностью обладают эллиптические отверстия и наименьшей - треугольные.

Отверстия в дне ящика целесообразно размещать горизонтально, ибо наклонные отверстия способствуют

образованию заторов. В зерновых сеялках диаметр отверстия равен 60 мм. В некоторых сеялках (свекловичные, овощные) отверстия выполняются в виде прямоугольника, размеры которого согласовываются с размерами входного канала высевающего аппарата. Если дно ящика изготавливается из дерева, то отверстия выполняются с фасками под углом  $45^\circ$ .

Объем семенного ящика можно определить следующим образом. Обозначим через  $L$  длину гона в м, который должна пройти сеялка без досыпки семян,  $B$  - захват сеялки в м,  $Q$  - норму высева в кг/га,  $\gamma_c$  - объемный вес семян в кг/м<sup>3</sup> и  $V_{я}$  - объем ящика. При этих условиях на 1 м<sup>2</sup> площади должно быть высеяно  $\frac{Q}{10000}$  кг семян [20].

Следовательно, при длине гона  $L$  и захвате сеялки  $B$  семенной ящик вмещает:

$$V_{я}\gamma_c = \frac{Q}{10000}LB \quad (93)$$

Отсюда имеем:

$$V_{я} = \frac{QLB}{10000\gamma_c}. \quad (94)$$

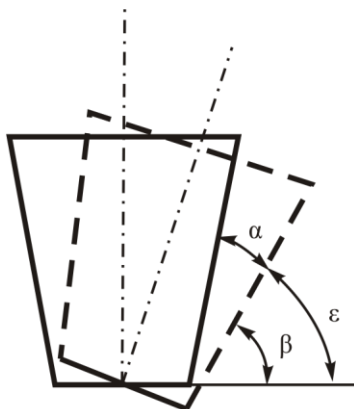


Рис.35. К определению угла наклона стенок семенного ящика

Учитывая то, что в конце каждого заезда в ящике должен остаться запас семян не менее 10-15%, получим:

$$V_{\text{ст}} = \frac{(1,1-1,5)LBQ}{10000\gamma_c}. \quad (95)$$

Практически установлено, что семенной ящик селетки захватом свыше 3-х м должен иметь объем не менее 300 дм<sup>3</sup>, т.е. объем должен составлять около 80 дм<sup>3</sup> на 1 м захвата.

Чтобы семена не задерживались на стенках ящика, угол наклона стенок должен быть (рис. 38):

$$\beta > \varphi + \alpha, \quad (96)$$

где  $\alpha$  - угол подъема стенки, град;

$\beta$  - угол наклона стенок ящика ко дну, град;

$\varphi$  - угол трения семян о стенки, град.

Из рис. 38 видно, что угол наклона ящика к горизонту

$$\varepsilon = \beta - \alpha.$$

Для выполнения указанного выше условия необ-

ходимо, чтобы  $\varepsilon > \varphi$ , следовательно,

$$\beta > \varphi + \alpha, \quad (97)$$

Для малотекучих семян угол наклона стенок ящика необходимо принимать в пределах 55-60°.

Если ширина дна ящика намного больше отверстия, то образуется мертвая зона. Для уменьшения этой зоны дно ящика нужно делать как можно более узким.

Для высева малосыпучих семян, с целью предотвращения образования сводов, семенные ящик снабжаются ворошилками.

У посевных машин для пропашных культур семенные емкости изготавливаются металлическими в форме цилиндрических банок. Число их равно числу высевających аппаратов.

Питающие емкости картофелесажалок представляют собой бункеры с наклонным дном. Клубни из бункера в питающие ковши поступают самотеком. Для лучшей подачи дно бункера оборудуют встряхивателями.

## **2.6. Высевające аппараты сеялок и сажалок**

### **2.6.1. Катушечные высевające аппараты**

Основным рабочим органом катушечного высевającego аппарата является желобчатая катушка. При вращении ее зерна поступают в желобки и выбрасываются в семяпровод. В зависимости от направления движения катушки различают верхний и нижний высев. Для высева семян с мягкой, легкоповреждаемой оболочкой применяют верхний высев, для мелких семян - нижний. При нижнем высеве семена, свободно истекая из семенного ящика, поступают к катушке, захватыва-

ются ее желобками и выталкиваются в семяпровод. При верхнем высеве семена заполняют желобки, последними выносятся из коробки аппарата и выбрасываются в семяпровод [20, 22].

При нижнем высеве семена, попавшие в желобки катушки, будут перемещаться со скоростью, близкой к скорости вращения катушки, (рис. 39). Другая часть семян (небольшой слой) в силу трения между семенами также придет в движение и будет перемещаться. Этот слой называется *активным*. Третья часть семян неподвижно располагается на некоторой части дна семенной коробки и образует так называемый "мертвый слой". Она служит как бы подушкой, по которой перемещаются семена активного слоя. Таким образом, скорость движения семян в поперечном сечении катушки *aa* (рис. 40) по мере удаления от катушки уменьшается до нуля.

При расчете катушечного аппарата определяют размеры рабочей катушки и семенной коробки, массу семян, высеваемых за один оборот катушки, необходимое число оборотов его на единице длины пути сеялки. При расчете учитывают механические свойства семян, требуемые нормы высева на гектар площади, применяемую ширину междурядий [19].



Рис.36. Схема работы катушки

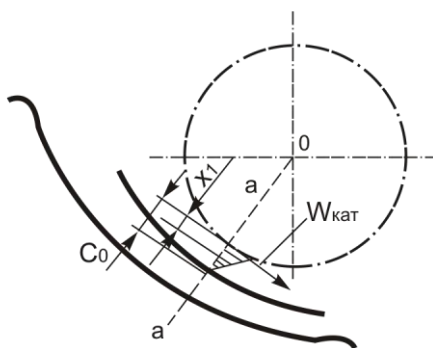


Рис.37. Поперечное сечение катушки

Основными размерами желобка являются ширина  $b$  и глубина  $h$ . Глубина желобка должна быть не меньше среднего поперечного размера наиболее крупных семян, для которых предназначается сеялка, то есть такой, чтобы желобок мог быстро опоражниваться при вращении катушки. У существующих зерновых сеялок глубина желобков  $h$  равна 6 мм, примерно удвоенному среднему поперечному размеру зерен пшеницы. Ширину желобка  $b$  делают больше глубины  $h$  в 1,5—2,5 раза; ребро между смежными желобками имеет обычно ширину  $\delta=1,6$  мм [20, 6].

Диаметр катушки  $d$  определяется как диаметр описанной окружности правильного многоугольника, имеющего  $z$  сторон. Длина стороны равна  $t \approx b + \delta$ . Радиус этой окружности можно найти по формуле

$$r = \frac{t}{2 \sin a_0},$$

$$\text{где } a_0 = \frac{180^\circ}{z}.$$

*Определение длины активной части катушки.*

Количество семян в граммах, высеваемое катуш-

кой за один ее оборот будет равно:

$$q = q_c + q_{ak}, \quad (98)$$

где  $q_{\text{жс}}$  - количество семян, которое выдает катушка своими желобками, г;  
 $q_{ak}$  - количество семян, которое выдает катушка образованная активным слоем, г.

$$q_{\text{жс}} = F \cdot L \cdot z' \cdot \gamma \cdot \varepsilon, \quad (99)$$

где  $F$  - площадь поперечного сечения одного желобка, см<sup>2</sup>;  
 $L$  - рабочая (расчетная) длина катушки, см;  
 $z'$  - число желобков;  
 $\gamma$  - плотность семян, г/см<sup>3</sup>;  
 $\varepsilon$  - коэффициент заполнения желобков семенами,  
 $\varepsilon = 0,8 \dots 0,9$ .

$$q_{ak} = a + \beta \cdot L, \quad (100)$$

где  $a$  и  $\beta$  - экспериментальные коэффициенты для пшеницы и риса,  $a=0,4 \dots 0,45$ ,  $\beta=1,05 \dots 1,2$ .

$$q_1 = q \cdot i, \quad (101)$$

где  $i$  - передаточное число от приводного колеса к валу высевающего аппарата;

$$q_1 = q \cdot i (1 - \eta), \quad (102)$$

где  $\eta$  - коэффициент проскальзывания колес,  
 $\eta=0,05 \dots 0,1$ .

Подставляя значение формул (98, 99, 100, 101) в формулу (102) получим:

$$\begin{aligned} q_1 &= (FLz' \gamma \varepsilon + a + \beta L) \cdot i(1 - \eta), \\ q_1 &= i(1 - \eta)FLz' \gamma \varepsilon + ia(1 - \eta) + \beta Li(1 - \eta), \\ q_1 &= Li(1 - \eta)(Fz' \gamma \varepsilon + \beta) + ia(1 - \eta). \end{aligned} \quad (103)$$

С другой стороны, для обеспечения заданной нормы высева семян сеялка должна высеять:

$$q_1' = \frac{\pi D Q a}{10}, \quad (104)$$

где  $Q$  - норма высева семян, кг/га;

$a$  - ширина междурядий, см;

$D$  - диаметр колеса, см.

Приравнявая одноименные формулы (103) и (104) имеем;

$$\frac{\pi D Q a}{10} = Li(1 - \eta)(Fz' \gamma \varepsilon + \beta) + ia(1 - \eta).$$

Из этого выражения можно определить длину  $L$  активной части катушки, которую следует установить для высева заданного количества семян:

$$L = \frac{\pi D Q a - 10ia(1 - \eta)}{10i(1 - \eta)(Fz' \gamma \varepsilon + \beta)}. \quad (105)$$

## 2.6.2. Дисковые высевающие аппараты

Применяются для точного однозернового посева семян сахарной свеклы, гнездового и пунктирного посева семян кукурузы, хлопка и других культур [6,8].



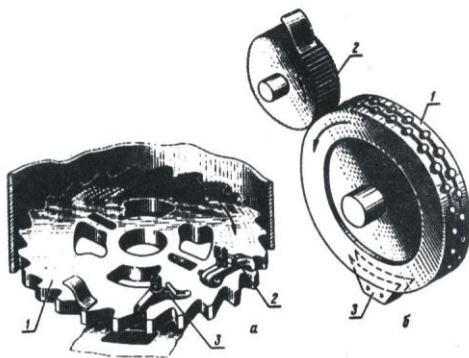


Рис.38. Дисковые высеивающие аппараты:

а – с вертикальной осью; 1 – диск; 2 – отражатель; 3 – выталкиватель

Активным элементом такого аппарата является диск 1 с вертикальной (рис. 38, а) или горизонтальной (рис. 38, б) осью вращения. Поверх диска располагаются отражатель и выталкиватель 3. Раньше применялись дисковые аппараты с наклонной осью вращения.

Диск снабжен рядом отверстий или ячеек, в которые западают семена. При вращении диск силами трения воздействует на прилегающие слои семян и они получают движение относительно диска. Под действием веса и давления вышележащих слоев семена западают в ячейки или отверстия. Отражатели сгребают семена, не полностью уложившиеся в ячейки (или отверстия) диска. Когда ячейки (отверстия) совпадают с отверстием дна семенной банки, семена выпадают из них и далее падают в семяпроводы или раструбы сошников.

Застрявшие в ячейках семена принудительно выбрасываются выталкивателями.

В зависимости от культуры и размерных групп семян применяются различные диски. Количество высеваемых семян регулируется изменением скорости вращения диска, размерами ячеек или установкой над дис-

ком накладки, перекрывающей ряд ячеек диска [6].

Общее число семян на 1 га определяется:

$$Q_c = \frac{10^4 z_c}{al_c}, \quad (106)$$

где  $z_c$  - число семян в гнезде;

$a$  - ширина междурядий, см;

$l_c$  - расстояние между семенами (гнездами), см.

Чтобы засеять 1 га пашни с поступательной скоростью агрегата  $V_M$ , высеваящий аппарат должен подавать  $Q'_c$  (ед/с) семян:

$$Q'_c = \frac{V_M a Q_c}{10^4} = \frac{V_M z_c}{l_c} \quad (107)$$

с частотой образования гнезд  $z_\Gamma$  (ед/с):

$$z_\Gamma = \frac{V_M}{l_c}. \quad (108)$$

Учитывая, что высеваящий диск для однозернового (пунктирного) посева имеет  $z_\Gamma$  ячеек с укладкой в ячейку только одного зерна, определяем секундную подачу семян диском:

$$Q'_c = \frac{z_\Gamma n}{60}, \quad (109)$$

где  $n$  - частота вращения диска,  $\text{мин}^{-1}$ .

Исходя из условия  $z_\Gamma l_c = Q'_c$ , получим необходимое расстояние между зернами при пунктирном посеве:

$$l_c = \frac{60V_M}{z_{я}i(1-\eta)}. \quad (110)$$

В случае привода высевających аппаратов от прикатывающих колес это же расстояние будет выражаться зависимостью

$$l_c = \frac{\pi d}{z_{я}i(1-\eta)}. \quad (111)$$

Действительное же расстояние между зернами будет несколько отличаться от расчетного из-за незаполнения некоторых ячеек диска. Приравнивая уравнения и принимая

$$u = \frac{\pi \cdot d_{\text{д}}}{60}, \quad d_{\text{д}} = \frac{l_{я} z_{я}}{\pi},$$

получим максимальную скорость  $V_{M(max)}$  (м/с) посевного агрегата при пунктирном посеве:

$$V_{M(max)} = \frac{V_{max} \pi d}{i l_{я} z_{я} (1-\eta)}, \quad (112)$$

где  $V_{max}$  – максимальная окружная скорость диска по центру ячеек, м/с;

$d$  – диаметр прикатывающего колеса, м;

$i$  – передаточное отношение от колеса к высевajícíму диску;

$l_{я}$  – шаг ячеек, м;

$\eta$  – коэффициент скольжения прикатывающего колеса (0,003—0,5).

Значение  $V_{M(max)}$  обычно не превышает 0,25-0,35 м/с.

### 2.6.3. Пневматические высевальные аппараты

Пневматические высевальные аппараты применяются для посева калиброванных и некалиброванных семян кукурузы, подсолнечника, сои, клеверины и других пропашных культур [12].

Скорость вращения высевного диска зависит от передаточного числа и скорости движения агрегата.

Путь, пройденный сеялкой за один оборот диска высевального аппарата:

$$L = c \cdot z = \frac{\pi D_k}{\eta i}, \quad (113)$$

где  $D_k$  - диаметр приводного колеса, м;

$i$  - передаточное число от приводного колеса к диску;

$\eta$  - коэффициент скольжения приводного колеса, 0,90-0,95;

$c$  - расстояние между семенами в ряду, м;

$z$  - число ячеек на диске.

Отсюда можно определить передаточное число  $i$ , которое обеспечит заданное расстояние  $c$  между семенами в ряду:

$$i = \frac{\pi D_k}{\eta c z}. \quad (114)$$

Расстояние между зернами в ряду будет соблюдаться в том случае, если каждая ячейка диска высевального аппарата будет подавать строго по одному зерну при заданном передаточном числе.

Для улучшения качества посева семена калибру-

ют (на мелкие и крупные фракции).

Экспериментально установлен профессором А.А. Будаговым, диаметр присасывающего отверстия:

$$d = (0,6 - 0,7) b_c, \quad (115)$$

где  $b_c$  - средняя ширина семени, мм.

Число ячеек на диске:

$$z = \frac{\pi D_\partial}{T}, \quad (116)$$

где  $D_\partial$  - диаметр диска по осям ячеек;

$T$  - шаг ячеек на диске.

Шаг ячеек определяется:

$$T = d + \Delta d, \quad (117)$$

где  $d$  - диаметр присасывающих отверстий;

$\Delta d$  - перемычка между отверстиями.

Шаг ячеек должен быть больше двух максимальных длин семени, т.е.

$$T \geq 2l_{max} \quad (118)$$

Частота вращения диска для наилучшего заполнения ячеек семенами определяется:

$$n = \frac{60V_\partial}{\pi D_\partial}, \quad (119)$$

где  $V_\partial$  - линейная скорость диска по осям ячеек,  
( $V_{min} = 0,25$  м/с;  $V_{max} = 0,4$  м/с).

Расчетное количество семян, высеваемое за один оборот диска, отличается от действительного, что определяется коэффициентом заполнения.

Коэффициентом заполнения называется отношение количества поданных в сошник семян, к числу ячеек на диске:

$$k = \frac{z_d}{z}, \quad (120)$$

где  $z_d$  - количество семян, посеянных за один оборот диска;

$z$  - количество ячеек на диске.

Необходимая величина присасывающей силы определяется по формуле:

$$F_{np} = a\Delta FS, \quad (121)$$

где  $a$  - коэффициент присасывания, определяется экспериментально;

$\Delta F$  - разрежение (вакуум), создаваемое в камере разрежения, Па;

$S$  - площадь отверстия, м<sup>2</sup>,

Коэффициент  $a$ , учитывающий суммарное воздействие различных факторов, равен для сахарной свеклы 0,78; пшеницы 0,96; гороха 1,25; кукурузы 1,5; подсолнечника 0,85. Разрежение  $\Delta F$  подбирается опытным путем, из условия выноса семян из слоя. Обычно исходят из отношения  $F_{np}$  к силе тяжести  $Q=mg$ . Принимают  $F_{np}$  равным: 25,7 - для клещевины; 32,2 - для кукурузы; 125 - для сахарной свеклы; 28 - для подсолнечника.

Теоретическая необходимость разрежения определяется из условия равновесия семени на отверстии

диска.

Практически высев заданного количества семян достигается подбором высевающего диска и передаточного числа по специальным таблицам.

## 2.6.4 Рассадопосадочные аппараты

Рассадный способ посадки позволяет значительно сократить сроки возделывания культур, продвинуть их в более северные районы страны, а в южных районах получить два урожая в год [28].

Технологический процесс посадки рассады, выполняемый современными посадочными машинами, включает в себя следующие основные операции, образование борозды, перемещение и укладку рассады в открытую борозду, полив и заделку растений с уплотнением почвы вокруг корней. Качество посадки рассады машиной, ее производительность зависят от работы посадочного аппарата, выполняющего перемещение и укладку рассады в открытую сошником борозду.

Поскольку рассада в зажимы посадочного аппарата подается вручную, допустимая скорость движения машины будет ограниченной.

Опыт эксплуатации рассадопосадочных машин показывает, что скорость поступательного движения  $V_M$  составляет всего 0,35 - 0,4 м/с, т. е. значительно меньше обычных рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов. Поэтому для работы с рассадопосадочными машинами тракторы оборудуются ходоуменьпителями.

Существенной особенностью рабочего процесса рассадопосадочной машины является то, что укладка рассады в открытую борозду и заделка ее почвой производится на ходу при определенной скорости  $V_M$ . Оче-

видно, что при выполнении указанных операций абсолютная скорость рассады должна быть равна нулю, т.е.

$$\bar{V}_M + \bar{V}_p = 0, \quad (122)$$

где  $V_p$  - линейная скорость точки захвата рассады держателем в момент высадки ее в почву.

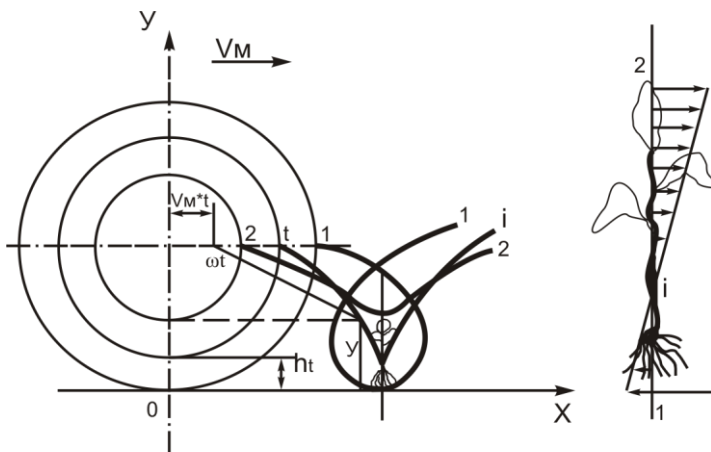


Рис.39.Траектория движения рассады при посадке

Для обеспечения этого условия необходимо, чтобы в некоторый промежуток времени, необходимый для высадки рассады, линейная скорость захвата аппарата была равна скорости машины и противоположно ей направлена.

Так как привод рассадопосадочных аппаратов в большинстве случаев осуществляется от ходовых или прикатывающих колес, имеющих скольжение, то условие (122) практически не выполняется. Поскольку рассада имеет вполне определенную (установленную агротехническими требованиями) длину (рис. 39), то получить необходимую абсолютную скорость в момент за-



делки рассады в почву возможно только для одной точки рассады [28].

Наилучшие результаты по качеству высадки рассады при работе дискового аппарата получаются в том случае, когда эта точка расположена на уровне поверхности поля, при глубине бороздки  $h_i$ . В этом случае в принятой системе координат уравнение траектории абсолютного движения точки  $l$  в параметрической форме будет:

$$\begin{aligned}x &= V_M t + R_1 \cos \omega t, \\y &= R_1 + h_1 - R_1 \sin \omega t.\end{aligned}$$

Скорость точки  $i$  по оси  $x$  определится из следующего выражения:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = V_M - R_1 \omega \sin \omega t. \quad (123)$$

В момент заделки растения  $V_x=0$  и угол поворота конца зажима  $\omega t = \frac{\pi}{2}$ , т.е. выражение (123) будет иметь следующий вид:

$$V_x = V_M - R_1 \omega = 0. \quad (124)$$

Следовательно,  $V_M = R_1 \omega$ . Отношение линейной скорости движения крайней точки захвата рассады к поступательной скорости всего агрегата носит название Кинематического показателя работы посадочного аппарата и обозначается  $\lambda$ .

В данном случае  $\lambda=1$ , а эпюра скоростей частей растения будет такой, как показано на рис. 39.

Количество воды  $Q_b$ , необходимое для полива растений на одном гоне, можно определить по формуле:

$$Q_{\epsilon} = \frac{qnL}{a}, \quad (125)$$

где  $q$  – норма полива одного растения, л;  
 $n$  – число посадочных аппаратов.;  
 $L$  – длина гона, м;  
 $a$  – шаг посадки, м.

Количество рассады (шт.) потребное на 1 гон, находят по формуле

$$Z = \frac{60V}{a_p p z}, \quad (126)$$

Сжать следует челночным способом, начиная со стороны, удаленной от границы поля (дороги), куда подвозят воду и рассаду. Во время остановок необходимо перекрывать сливной кран. Качество посадки проверяют на первом проходе агрегата и в течение всей работы. На пропусках рассаду подсаживают вручную.

#### 2.6.5. Аппараты для высадки клубней картофеля

Процесс работы вычерпывающего аппарата картофелесажалок складывается из следующих элементов: захват клубня ложечкой из общей массы, фиксация его в ложечке зажимом, перенос клубня в зону выброса из ложечки и освобождение клубня зажимом. Все эти элементы выполняются за один оборот диска [6, 9].

Равномерность распределения клубней в рядке и одинаковое количество клубней в гнезде во многом зависят от режима выполнения каждого элемента.

*Захват клубня ложечкой* определяется как конструкцией и установкой вычерпывающего аппарата, так и

количеством клубней в питающем ковше. Оптимальное значение указанных параметров полностью зависит от размеров высаживаемых клубней.

Рассмотрим, как влияют частота вращения диска, величина зазора между элементами ковша (боковина и дно) и ложечки, количество клубней в питательном ковше на захват клубней ложечкой. Все эти параметры можно изменять.

Необходимое число  $n$  оборотов диска определяется схемой размещения клубней и скоростью  $V$  машины, т. е.

$$n = \frac{60V}{a_p p z}, \quad (127)$$

где  $a_p$  – расстояние между клубнями (гнездами) в ряду, м;

$p$  - число клубней в гнезде;

$z$  - число ложечек на диске.

Из этой формулы можно найти требуемую частоту вращения диска без учета скольжения ходовых колес машины или буксования колес трактора (с приводом от ВОМ) при условии, что все ложечки заполняются клубнями.

Из выражения (127) следует, что с увеличением скорости машины частота вращения диска растет. Однако изменение частоты вращения влияет на захваты-вающую способность вычерпывающего аппарата. Так, увеличение скорости высаживающего диска может вызывать выпадение клубней из ложечек [6].

Для выяснения этого рассмотрим равновесие в ложечке клубня шарообразной формы (рис. 43).

Выпадение клубня возможно при опрокидывании

его относительно наружного края ложечки (точка А).

Без учета влияния бокового щитка на клубень, расположенный в ложечке, действуют следующие силы: вес  $G$ , центробежная сила  $P_j$ , нормальная  $N$  в касательная  $F$  реакции ложечки.

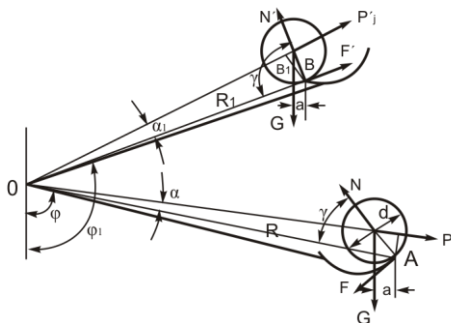


Рис.40. Схема к определению момента выпадения клубня.

Клубень не выпадает из ложечки при условии:

$$Ga > P_j b \quad (128)$$

Как видно из рисунка 43,

$$a = \frac{d}{2} \sin(\varphi - \gamma), b = R \sin \alpha,$$

где  $d$  - диаметр клубня;

$R$  - расстояние от центра вращения до края А ложечки.

Так как

$$G = 9,8m_k \text{ и } P_j = m_k R \omega^2,$$

где  $m_k$  - масса клубня,

$\omega$  - угловая скорость диска, то

$$\sin(\varphi - \gamma) \geq \frac{2R^2 \omega^2 \sin \alpha}{9,8d}. \quad (129)$$

Из выражения (129) видно, что при малых значениях угла  $\varphi$  поворота диска клубень будет выпадать из ложечки, однако этому будет препятствовать слой картофеля в питательном ковше. Если ложечка выйдет из слоя, а угол  $\varphi$  будет меньше значения, определяемого по выражению (129), то клубень выпадет.

При одинаковом слое клубней в питательном ковше выпадение их из ложечки тем опаснее, чем больше скорость диска и размеры клубня (с увеличением размеров угол  $\gamma$  растет).

Результаты расчета и опыты показывают, что частота вращения дисков вычерпывающих аппаратов современных посадочных машин может быть повышена только до 26-29 об/мин. Следовательно, работа посадочных машин на повышенных скоростях - 8-15 км/ч требует конструктивного совершенствования вычерпывающего аппарата.

а работу вычерпывающего аппарата существенное влияние оказывает зазор между боковиной питательного ковша и ложечкой. Оптимальные зазоры в зависимости от массы клубня могут быть следующими:

2 - 4 мм	при массе клубня	30 - 40 г.
8 - 10	»    »    »    »	60 - 70 »
7 - 12	»    »    »    »	50 - 80 »

Зазор можно регулировать смещением боковины питательного ковша, для чего отверстия под крепящие болты выполнены овальными.

Зазор между наружной кромкой ложечки и дном питательного ковша влияет на повреждение клубней. При больших зазорах повреждается кожица и мякоть клубня. Наилучшим остается зазор 3-5 мм.

Ложечки могут не захватывать клубни, если кар-

тофеля недостаточно в питательном ковше. При его из-  
бытке увеличивается повреждение клубней. Оптималь-  
ным считается слой клубней толщиной 10-15 см. Нуж-  
ное количество клубней в питательном ковше достига-  
ется изменением положения заслонки, регулирующей  
проход клубней из бункера в ковш.

*Фиксация* клубня в ложечке совершается в тот  
момент, когда ложечка выходит из слоя клубней, а ры-  
чажок зажима сходит с направляющей. Стержень пово-  
рачивается и прижимает клубень к ложечке. При не-  
своевременном зажиме клубни будут выпадать из ложе-  
чек. Выпадение возможно опрокидыванием через край  
В ложечки (рис. 41).

Клубень не выпадет при условии

$$Ga_1 \leq P'_f b_1. \quad (130)$$

Решая это неравенство, получаем:

$$\sin(\varphi_1 - \gamma_1) \leq \frac{2R_1^2 \omega^2 \sin \alpha_1}{9,8d}. \quad (131)$$

Из этого выражения определяется угол  $\varphi_1$  поворо-  
та диска, при котором клубень должен быть зажат в ло-  
жечке.

Фиксация клубня в ложечке высаживающего ап-  
парата картофелесажалки СН-4Б происходит при  
 $\varphi_1 \approx 90-115^\circ$ . Зажатые клубни поворотом диска перено-  
сятся к горловине сошника.

### 2.6.6. Струйные высеваяющие аппараты

Принципиальное отличие этих аппаратов от механических и пневмомеханических состоит в том, что в процессе дозирования под действием аэродинамических полей изменяются реологические свойства семян: они приобретают свойства потока жидкости. Рабочим органом этих аппаратов является свободные затопленные струи воздуха которые осуществляют выбор семян из бункера, формирование однорядных потоков и транспортировку их в семяпроводы.

Ввиду того, что рабочим телом являются воздушные струи, это позволяет ввести элементы автоматического контроля и управления технологическим процессом с использованием достижений струйной автоматизации.

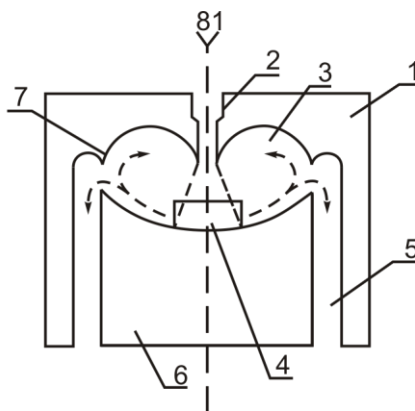


Рис.41. Струйный высеваяющий аппарат

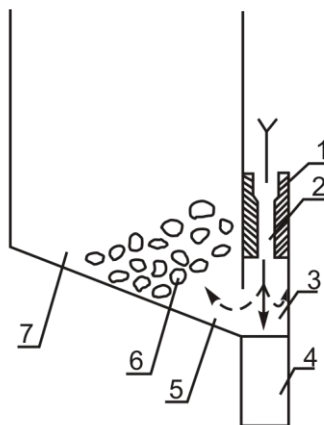


Рис.42. Схема разрушения семян в бункере:

1 – корпус; 2 – сопло; 3 – вихревая камера; 4 – вкладыш; 5 – зона избыточного давления; 6 – свод семян; 7 – бункер.

Преимущества этих аппаратов: исключается повреждение посевного материала - возможность высева семян с разными физико-механическими свойствами; малая материалоемкость; отсутствие подвижных и вращающихся частей; высокая надежность и простота эксплуатации; возможность введения в конструкцию этих аппаратов элементов контроля и автоматического управления технологическим процессом высева; высокий КПД.

Двухканальный СВА (рис. 41) имеет корпус 1 с соплом 2, под которым расположена вихревая камера 3 в виде симметричной фигуры, полость которой через дозирующее отверстие 4 связана с бункером (на рис. не указан). Подача семян производится через каналы 5. Нижняя часть камеры 3 выполнена в виде вкладыша 6 и может перемещаться относительно клиновых делителей 7, что позволяет дозировать семена разных размеров. Вид СВА сбоку в разрезе показан на рис. 42.

При работе истекающая из сопла 2 струя воздуха ударяется о вкладыш 6 и направляется в бункер 7, около



дозировочного отверстия создается зона 5 избыточного давления, семена приобретают свойства жидкости и поступают в вихревую камеру, захватываются пристеночными струями и направляются в каналы 5. Клиновые делители 7 разделяют поток семян на два, один из которых возвращается снова в камеру 3. При высеве плохосыпучих семян в бункере периодически образуется свод 6 (рис. 42), который в последующем разрушается.

Известные расчетные зависимости обычного пневмотранспорта сыпучих материалов не могут использоваться при расчете струйных высевальных аппаратов.

При разработке методики инженерного расчета аппарата его конструктивные элементы должны выбираться с учетом геометрии струй. Скорость витания семян и скорость по поверхности позволяют определить мощность струи.

Под скоростью имеется в виду скорость воздушного потока, при котором тело находится во взвешенном состоянии, для большинства семян эти скорости определены опытным путем. Под скоростью трогания имеется в виду скорость воздушного потока, при котором начинается движение тела, в литературе отсутствуют данные по этому вопросу, поэтому нами они определялись опытным путем.

Струйные высевальные системы как новое направление в области посевных машин разработаны на кафедре сельскохозяйственных машин Кубанского госагро-университета под руководством доцента В.П. Иванова. На базе этих аппаратов были изготовлены приспособления к серийным сеялкам и культиваторам для точного посева семян, которые были внедрены в хозяйствах края. Кроме того Украинским НИИ Сельхозмаши-

ностроения начат выпуск таких приспособлений под названием «Родничок».

## **2.7. Семяпроводы сеялок**

Функцией семяпроводов является направление семян, выбрасываемых высевающим аппаратом, в сошник. Верхняя часть семяпровода (воронка) шарнирно присоединяется к коробке высевающего аппарата, а нижняя (трубка) вставляется в сошник. Семяпроводы оказывают существенное влияние на равномерность высева и являются важным рабочим органом сеялок [20].

Семяпровод должен обладать удовлетворительной гибкостью во всех направлениях без нарушения сечения. Внутренне сечение канала семяпровода должно обеспечивать проход семян без образования заторов. Внутренняя поверхность канала семяпровода должна быть гладкой во избежание задержки семян при движении.

В зависимости от применяемого материала семяпроводы бывают резиновые, прорезиненные, металлические и пластиковые. Первые из них легки по весу, обладают хорошей гибкостью и способны пропускать разного вида семена при условии достаточного сечения трубки. Недостаток этих семяпроводов состоит в трудности хранения. Они не выдерживают резких изменений температур (жара, мороз), не могут храниться в изогнутом состоянии. При хранении их необходимо наполнять песком.

Заслуживают внимания гофрированные прорезиненные семяпроводы. Металлические семяпроводы более прочны. Они бывают воронкообразные, спирально-ленточные, телескопические и спирально-проволочные.

Воронкообразные семяпроводы обладают рядом недостатков: малой гибкостью, возможностью увлажнения, т.е. они ненадежны в работе.

Спирально-проволочные характеризуются достаточной гибкостью, но имеют большой вес, кроме того, они легко растягиваются, что затрудняет высев.

Семяпроводы оказывают существенное влияние на движение семян, изменяя взаимное расположение их, выравнивая или нарушая равномерность посева. Влияние семяпроводов на равномерность зерновой струи изучалось В. И. Александровым, В. В. Барановым, Д. Г. Вальяновым и др.

Исследованиями кандидата сельскохозяйственных наук Д. Г. Вальянова установлено, что:

при сбрасывании семян в центр прямого вертикально установленного семяпровода последний, независимо от состояния его внутренней поверхности, не оказывает влияния на равномерность посева;

при наклонном положении гладкие цельнотянутые семяпроводы дают лучшие показатели, чем резиновые, спирально-ленточные и воронкообразные; последнее в этом случае непригодно для совершенных аппаратов;

гладкие цельнотянутые трубки диаметром 20 мм в телескопическом семяпроводе при наклоне на  $25^\circ$  не ухудшают равномерности посева.

При проектировании сеялок возникает необходимость располагать семяпровод под некоторым углом к поверхности почвы. Небольшие углы могут привести не только к нарушению равномерности зерновой струи, но и к прекращению ее движения.

Представим себе, что движение семян по семяпроводу протекает как движение материальных частиц

по шероховатой скатной кривой путем скольжения [20,10].

Обозначим (рис. 43) через:  $m$  - массу зерна,  $V$  - скорость движения зерна,  $\alpha$  - угол между касательной кривой и горизонтом,  $N$  - нормальную реакцию,  $g$  - ускорение силы тяжести,  $\rho$  - радиус кривизны кривой и  $f$  - коэффициент трения скольжения.

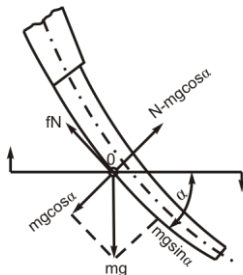


Рис.43. К обоснованию угла наклона семяпровода

В этом случае дифференциальное уравнения движения зерна будут:

$$m \frac{dV}{dt} = mg \sin \alpha - fN; \quad (135)$$

$$m = \frac{V^2}{\rho} = N - mg \cos \alpha. \quad (136)$$

Определив из уравнения (136) нормальную реакцию  $N$  и подставив ее значение в уравнение (135), получим

$$m \frac{dV}{dt} = mg \sin \alpha - fmg \cos \alpha \pm m \frac{fV^2}{\rho},$$

Или

$$\frac{dV}{dt} = g \sin \alpha - fg \cos \alpha \pm \frac{fV^2}{\rho}. \quad (137)$$

Движение зерна по семяпроводу прекратится, если правая часть уравнения (137) будет равна нулю. Тогда уравнение примет вид:

$$g \sin \alpha - fg \cos \alpha = 0.$$

Отсюда находим

$$\operatorname{tg} \alpha = f \quad (138)$$

Итак, если  $\operatorname{tg} \alpha < f$ , то движение семян по семяпроводу прекратится. Следовательно, наклон семяпровода в любой точке должен быть таким, чтобы удовлетворялось условие

$$\operatorname{tg} \alpha > f, \quad (139)$$

т.е. необходимо, чтобы угол наклона семяпровода в любой точке был больше коэффициента трения семян по поверхности семяпровода.

## 2.8. Сошники сеялок и сажалок

### 2.8.1. Типы сошников

Сошник делает бороздку, укладывает в нее семена или клубни и частично заделывает их почвой.

Сошники бывают с острым, прямым и тупым углом вхождения в почву. К первому типу относятся анкерные, ко второму трубчатые, к третьему килевидные, полозовидные, двухдисковые и однодисковые сошники [6].

*Анкерный сошник* состоит из раструба, к которому

присоединен наральник. Угол  $a$  вхождения наральника в почву меньше  $90^\circ$ .

Заглубление сошника регулируют навешиванием на него грузов или изменением угла  $a$ .

Действуя на почву, анкерный сошник раздвигает и поднимает почвенные частицы, что приводит к их перераспределению: нижние, влажные, поднимаются, а верхние, иссушенные, сыпаются вниз. Такое действие сошника ограничивает применение его в засушливых районах.

На засоренных почвах сошник обволакивается растительными остатками. Его тяговое сопротивление при заделке семян на глубину 5 – 6 см составляем 50 Н.

Сошники с острым углом вхождения применяют и на картофелесажалках.

Для посева с одновременным внесением удобрений применяют комбинированные анкерные сошники с двумя раструбами передний для семян, задний для удобрений.

*Трубчатый сошник* применяется при посеве по необработанной стерне. Он состоит из тех же элементов, что и анкерный, но несколько иной формы. Угол вхождения наральника в почву  $\approx 90^\circ$ . Трубчатые сошники достаточно прочны.

*Килевидный сошник* образует бороздку, перемещающая частицы почвы в стороны и вниз, тем самым не иссушая ее. Дно бороздки получается уплотненным, что желательно при посеве в засушливых районах. Глубину хода сошника регулируют навешиванием груза на хвостовик или натяжением пружины.

Такие сошники применяются для посева на небольшую глубину (до 4 см) семян льна, трав, свеклы и т.д. На засоренных и плохо обработанных комковатых

почвах они не могут работать. Тяговое сопротивление килевидного сошника 30 - 40 Н. Угол вхождения наральника в почву  $> 90^\circ$ .

*Полозовидный сошник* имеет развитый ножевидный наральник и удлиненные щеки. На почву он действует аналогично килевидному сошнику. Такие сошники широко применяются в машинах для посева семян кукурузы, хлопчатника, свеклы, овощных и других культур.

Глубину хода сошника изменяют натяжением пружины штанги и перестановкой каточков, идущих за сошником (кукурузные сеялки), или перестановкой ограничительных полозков (свекловичные и хлопковые сеялки).

Полозовидные сошники применяются для заделки семян на глубину от 1,5 до 12 см. На хорошо подготовленной почве они обеспечивают равномерную заделку.

*Дисковые сошники* бывают с двумя или одним диском.

Двухдисковый сошник снабжен корпусом относительно которого вращаются два диска, установленные под углом  $10-11^\circ$  один к другому. В передней части диски сходятся, образуя в плане клин. Раструб для подвода семян расположен между дисками.

В однодисковом сошнике раструб для подвода семян расположен сбоку в задней половине диска. Бороздка раскрывается таким сошником при вращении диска, который одновременно перерезает растительные остатки. Вращаясь, диск очищается от налипшей почвы, для чего предусмотрены чистики. Все это позволяет применять дисковые сошники на полях с растительными остатками и влажной почвой. Однодисковый сошник лучше заглубляется, чем двухдисковый, поэтому он

больше пригоден для твердых почв. Однако он уступает двухдисковому в равномерности заделки семян. Однодисковые и двухдисковые сошники сложнее анкерных и килевидных, так как трущиеся пары требуют более частого ухода и ремонта.

Глубину хода дисковых сошников регулируют изменением нажатия пружин.

Для получения равномерной глубины посева диски овощных сеялок снабжают ограничительными ребордами. Раздвигая реборды в радиальном направлении, можно изменить глубину хода сошника.

Тяговое сопротивление двухдисковых сошников составляет 80 - 90 Н при глубине посева до 6 см.

### 2.8.2. Рабочий процесс сошников

Сошник значительно влияет на характер распределения семян в рядке и на равномерность их заделки по глубине. Рассмотрим только часть бороздообразования, касающуюся осыпания почвы в подсошниковую полость.

Почву в той или иной мере можно отнести к сыпучей среде. Поэтому частицы ее, раздвинутые щеками сошника, осыпаются, как только щеки освободят их от своего воздействия. При осыпании почва заходит в пространство между щеками. Осыпавшаяся почва располагается в подсошниковой полости по некоторой наклонной поверхности  $ab$  (рис. 48). Тогда семена, попавшие на подсошниковую поверхность осыпавшейся почвы, оказываются заделанными на разную глубину  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  [6].



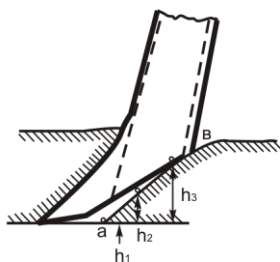


Рис.44. Осыпание почвы в подсошниковой полости

Опытами установлено, что с увеличением скорости движения сошника интенсивность осыпания почвы растет, а следовательно, больше ее количество проникает в подсошниковую полость. По этой причине на скоростях движения 10-15 км/ч равномерность заделки семян по глубине ухудшается.

Семена необходимо направлять так, чтобы они меньше попадали на ссыпавшуюся почву подсошниковой полости. С этой точки зрения желательно, чтобы они попадали в бороздку ближе к передней части сошника, куда не проникает ссыпавшаяся почва. Однако изменение направления потока семян не должно увеличивать неравномерность их распределения в рядке.

В полости сошника поток семян движется так же, как и в семяпроводе, подчиняясь законам свободного падения. Однако на свободное падение накладывается влияние стенок раструба сошника, поверхностей вращающихся дисков, отражателей и т. д. Ударяясь о них, семена изменяют траекторию падения, в связи с чем ухудшается равномерность распределения их вдоль и поперек рядка.

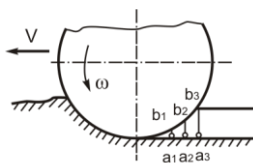


Рис.45. Осыпание почвы со стенок борозды на семена

Исходя из этого, целесообразно направлять семяпровод в сошнике так, чтобы семена меньше ударялись об элементы его поверхности. Это возможно при вертикальном или близком к нему направлении семяпровода в сошнике.

В дисковых сошниках между дисками ставят чистики, которые наряду с очисткой диска выполняют роль отражателей. Семена, ударяющиеся о чистики, семена направляются ближе к передней части сошника, чтобы попасть на дно бороздки, а не на осыпавшуюся почву.

Для равномерного посева при работе на скоростях 10-15 км/ч почву следует хорошо разрыхлять на одинаковую глубину.

Сошники оказывают влияние и на засыпание почвой семян, уложенных в борозду. Агротехнически лучше засыпать семена влажными слоями почвы. Для этого необходимо, чтобы она ссыпалась с некоторой глубины бороздки. Конструктивная форма сошников помогает достичь этого. Так, в дисковом сошнике (рис. 45) почва на семена ссыпается поочередно, начиная с нижних слоев  $a_1b_1$ ,  $a_2b_2$ ,  $a_3b_3$  и т.д. После прохода сошника начинают ссыпаться верхние слои. В анкерных и килевидных сошниках для этого предусмотрены вырезы.

### 2.8.3. Взаимодействие сошников с почвой

Форма, размеры и состояние бороздки, вскрывае-

мой сошником, зависят от угла вхождения сошника в почву, формы любой поверхности сошника и ее размеров, взаимного расположения дисков у двухдискового сошника и поступательной скорости агрегата, а также от формы и размеров опорной поверхности сошников и ее положения.

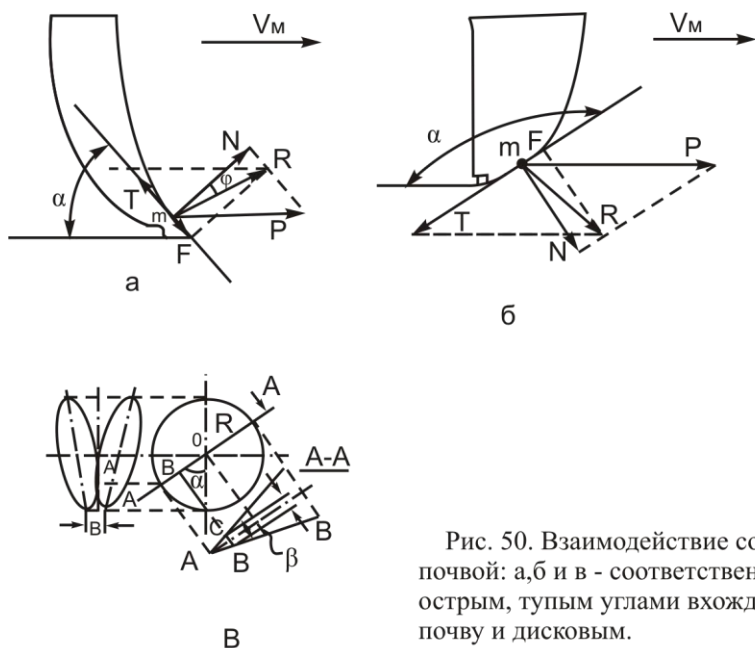


Рис. 50. Взаимодействие сошников с почвой: а, б и в - соответственно с острым, тупым углами вхождения в почву и дисковым.

Заделка семян почвой после прохода сошника зависит от формы и размеров лобовой поверхности сошника, поперечного сечения раструба сошника, размеров боковых щек сошника, их ориентировки и их заднего обреза, а также поступательной скорости агрегата.

Состояние почвы над сошником зависит от наличия уплотнителя и его параметров.

Противоэрозионная устойчивость почвы зависит от наличия уплотнителя-сепаратора, прикрепленного сзади сошника и его параметров.

Рассматривая работу сошников (рис. 46) с острым

и тупым углом вхождения в почву, можно констатировать, что в первом случае движение почвенной частицы  $m$  вверх по сошнику возможно, если  $T \geq F$ , то есть если  $Ntg(\pi/2 - \alpha) \geq Ntg\varphi$ . Отсюда  $\pi/2 - \alpha \geq \varphi_1$  или  $\alpha \leq \pi/2 - \varphi$ , где  $\varphi$  - угол внешнего трения почвы по сошнику.

При таком угле подъема сошника частицы почвы идут вверх по его лобовой поверхности, на поверхность извлекаются влажные слои почвы, а сошник под действием реакции почвенного пласта  $R$  заглубляется в почву, образуя неровный волнистый макрорельеф. Это явление нежелательно, поэтому реальный угол вхождения сошника в почву должен быть больше рассчитанного.

Во втором случае движение почвенной частицы вниз по сошнику будет происходить тогда, когда

$$\begin{aligned} Ntg[\pi/2 - (\pi - \alpha)] &\geq Ntg\varphi \text{ или} \\ Ntg\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) &\geq Ntg\varphi, - \text{отсюда} \\ \alpha - \pi/2 &\geq \varphi, \text{ или } \alpha \geq \varphi + \pi/2. \end{aligned} \tag{140}$$

При работе этого сошника частицы почвы будут подминаться сошником, сам же сошник будет стремиться выйти из почвы, что также нежелательно.

Таким образом, анализ работы этих двух типов сошников показывает, что значение угла вхождения сошника в почву должно быть в пределах

$$\frac{\pi}{2} + \varphi \geq \alpha \geq \frac{\pi}{2} - \varphi, \tag{141}$$

что подтверждается рядом исследователей.

Если считать, что коэффициент трения чернозема по металлу равен 0,6, то пределы изменения угла  $\alpha$  бу-

дуг  $121^\circ \geq \alpha \geq 59^\circ$ . Этот расчет косвенно указывает на целесообразность применения сошников, у которых  $\alpha = \pi/2$ , то есть прямой угол вхождения.

Такой сошник создан на кафедре сельхозмашин ХИМЭСХ, исследован процесс его работы по сравнению с серийными рабочими органами, он показал лучшие результаты.

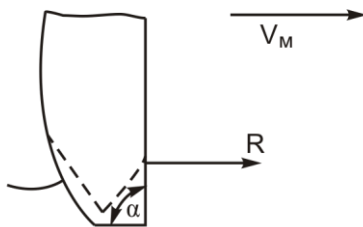


Рис.47. Экспериментальный сошник с прямым углом вхождения в почву

Этот сошник (рис. 47) с прямым углом вхождения в почву, лобовая поверхность в поперечном сечении представляет дугу окружности, плавно переходящую, в вертикально поставленные параллельные щеки; раструб заканчивается сверху воронкой для семяпровода. Сошник опирается на опорную пластину, которая сзади заканчивается гребенкой с зубьями, отогнутыми вниз. Задняя стенка сошника выполнена криволинейной и выполняет роль направителя семян, а в передней части внутри раструба установлен криволинейный отражатель семян, который ориентирует семена таким образом, что горизонтальная составляющая скорости потока семян направлена в сторону, противоположную движению сошника. К боковым щекам сзади шарнирно крепится уплотнитель-сепаратор почвы.

В дисковых сошниках плоскости дисков выполняют роль щек, а смыкающаяся передняя часть дисков заменяет наральник. Поэтому на размеры и форму бо-

роздки влияют не только угол между дисками, но и высота расположения точки стыка кромок дисков.

Пусть точка  $M$  стыка дисков находится на высоте, определяемой углом  $\alpha_1$  наклона радиуса  $OM=r$  (рис. 47) к вертикали, а угол раствора дисков  $\phi$ . Разрезать диски по их горизонтальному радиусу, развернув половины дисков на  $\pi/2$  и совместить их с горизонтальной плоскостью. Тогда расстояние  $BC$  будет шириной вскрываемой сошником бороздки  $b_1$ . Из треугольника  $BMC$  получаем  $BC=MB\sin\phi/2$ . Но  $MB=MO-BO=MO-OM\cos\alpha_1=r(1-\cos\alpha_1)$ , следовательно,

$$b_1=2r(1-\cos\alpha_1)\sin\phi/2. \quad (142)$$

Когда точка  $M$  стыка поднята слишком высоко ( $\alpha > \pi/r$ ), каждый из дисков работает отдельно, проводя самостоятельную бороздку, что агротехнически недопустимо при обычном посеве и используется в двухдисковом сошнике для узкорядных посевов.

Из выражения (142) можно определить угол  $\phi$ . Так как высота  $h$  точки стыка дисков над опорной плоскостью будет  $n=r(1-\cos\alpha_1)$ , то  $\sin\phi/2=b_1/2h$ .

## 2.8.4 Взаимодействие сошников с семенами

Для повышения равномерности распределения семян в почве и размещения их в лучшие условия используются три способа: устанавливают в растребе сошника пластину (отклонением назад верхнего ее конца), о которую семена ударяются и отбрасываются к носку сошника; кроме установки в сошнике пластины (направителя), в передней части растреба устанавливают отражатель семян (с отклонением нижнего его конца назад), который обеспечивает направление скорости полета семян относительно сеялки назад; снабжают сошник щеками, удерживающими стенки борозды от осыпания на время, пока все семена упадут на дно борозды [19,15].

В сошнике с направителем и отражателем семян их падение может происходить двумя путями. Первый - когда семена попадают на направитель (заднюю стенку) и, скользя по нему, попадают на отражатель. По отражателю семена скользят вниз и укладываются на дно борозды, причем горизонтальная составляющая скорости полета семян направлена в сторону, противоположную движению сошника. Второй - когда семена сразу попадают на отражатель, а далее движутся так же, как в первом случае.

Для нахождения оптимальных поверхностей направителя и отражателя семян, удовлетворяющих агроэксплуатационным требованиям, необходимо определить характер движения точки в зависимости от заданных сил.

По методике П. М. Василенко, дифференциальными уравнениями движения являются:

$$m = \frac{dV}{dt} = mg \sin \alpha - fN; \quad (142)$$

$$N = mg \cos \alpha + \frac{mV^2}{\rho}. \quad (143)$$

После преобразования и решения этих уравнений получают выражения направителя и отражателя в параметрической форме.

Наилучшие показатели равномерности распределения семян дают экспериментальные сошники с прямым углом вхождения в почву и включающие направители и отражатели семян, наихудшие - дисковые сошники.

#### 2.8.5. Равновесие сошников

При движении сошника в почве на него действуют следующие силы (рис. 48):  $G_c$  - вес сошника и части поводка, приложенный в центре тяжести;  $P$  - тяговое усилие, приложенное к шарниру поводка (точка  $O$ ),  $R_c$  - сопротивление почвы, приложенное к сошнику,  $Q_{пр}$  - давление на сошник дисковый от нажимной пружины (рис. 49) [20,22].

Угол  $\beta$  определяет направление реакции почвы.

Для анкерных сошников угол  $\beta$  колеблется в пределах от  $20^\circ$  до  $22^\circ$ , для по-лозовидного сошника он составляет около  $30^\circ$ .



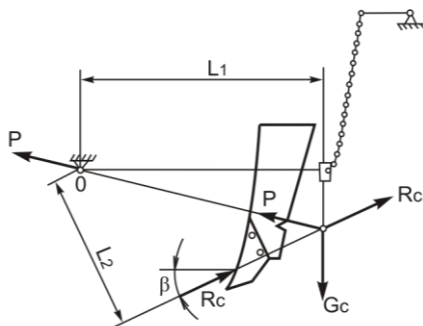


Рис.48. Силы действующие на анкерный сошник

Условие равновесия для сошников анкерной сеялки может быть представлено как равенство моментов:

$$R_c l_2 = G_c l_1.$$

Для дискового сошника:

$$R_c h_2 = G h_1 + Q_{np} h_3. \quad (145)$$

Из уравнений (144), (145) следует, что устойчивый ход сошника в основном зависит от сопротивления почвы  $R_c$ . Сопротивление же почвы, как известно, зависит от качества ее обработки. Поэтому для обеспечения устойчивого хода сошника и, следовательно, равномерной заделки семян нужно производить качественную предпосевную обработку поля.

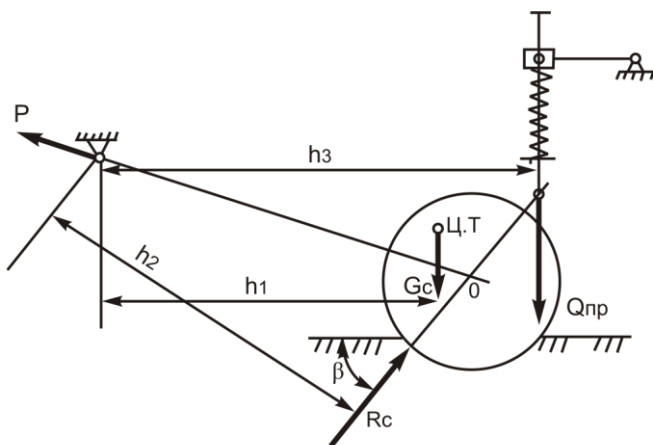


Рис.49. Силы, действующие на анкерный сошник

## 2.9. Установка зерновой сеялки

### 2.9.1. Установка зерновой сеялки на заданную норму высева семян

Каждую сеялку нужно отрегулировать так, чтобы масса высеянных семян соответствовала требуемой норме высева. Сошники следует расставить на одинаковом расстоянии один от другого [9,23].

Сошники прицепной сеялки гидросистемой опускают на размеченную установочную доску, положенную на ровную площадку. Сошники навесной сеялки опускают на установочную доску вместе с машиной. Каждый сошник совмещают с соответствующей меткой на доске, перемещая их поводки по сошниковому брусу.

Для установки сеялки на норму высева вращают высевающие аппараты, подставив под раму подпорки, чтобы освободить колесо. Под аппараты или семяпроводы подставляют коробочки или подвешивают мешочки. Вращают колесо, собирают и взвешивают семена. Массу их сравнивают с заданной нормой высева.

Если норма высева  $Q_1$  данной партии семян задана в численном выражении (миллионах семян на 1 га), то следует подсчитать эквивалентную весовую норму высева  $Q$  (кг/га) по формуле

$$Q = \frac{Q_1 m}{1000 \cdot 1000}, \quad (146)$$

где  $m$  – масса 1000 семян, г.

Колесо нужно провернуть столько раз, сколько оно обернется при засеве 1/50 или 1/100 га. Соответственно и масса высыпавшихся семян должна быть в 50 или 100 раз меньше нормы высева (рис. 50).

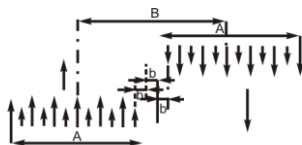


Рис.50. Определение ширины захвата сеялки

Чтобы определить, сколько раз обернется колесо сеялки при засеве гектара, нужно знать ширину захвата сеялки и длину окружности обода колеса.

Обозначим ширину захвата сеялки  $B$ , ширину междурядья  $b$ , число сошников  $n$ , расстояние между крайними сошниками сеялки  $A$ . При движении в направлении стрелки сеялка засеивает, полосу шириной  $A$ , в обратном направлении - такую же полосу, смещенную относительно первой на ширину' междурядья  $b$ .

Следовательно, после каждого прохода сеялки к засеянной полосе прибавляется ширина одного междурядья, называемого стыковым; ширина последнего обычно

равна основному междурядью. Таким образом, ширину захвата сеялки можно определить по формуле  $B = A + b$ .

Так как число междурядий сеялки меньше числа сошников  $n$  на одно междурядье, то расстояние между крайними сошниками находят по формуле:

$$A = b(n - 1). \quad (147)$$

Следовательно, ширина захвата сеялки:

$$B = b(n - 1) + b = bn. \quad (148)$$

За один оборот колеса сеялка засеивает площадь  $f$  ( $\text{м}^2$ ), равную ширине захвата сеялки  $b$ , умноженной на длину окружности обода колеса:

$$f = B\pi D. \quad (149)$$

Чтобы засеять площадь  $S$ , равную 1 га, колесо сеялки должно обернуться  $N$  раз:

$$N = \frac{S}{f} = \frac{10000}{B\pi D}. \quad (150)$$

Эта формула действительна для случая, когда одно колесо сеялки приводит в действие все высевальные аппараты. Если же каждое колесо приводит половину аппаратов сеялки, следует числитель в формуле (150) увеличить в 2 раза.

Разделив  $N$  на 50 или 100, находят число оборотов колеса, необходимое для высева требуемого количества семян на площади 1/50 или 1/100 га. Затем вращают колесо найденное число раз, взвешивают высеянные се-

мена и умножают их массу соответственно на 50 или 100. Сравнив массу высыпающихся семян с нормой высева, определяют, в какую сторону следует передвинуть рычаг регулятора высева. Целесообразно, чтобы фактический высев семян прицепной сеялкой превышал заданный на 2%, так как во время работы вследствие увеличения диаметра колеса из-за налипающей земли высев семян снижается.

Навесная сеялка легче прицепной, и колеса ее перекатываются по полю со значительным скольжением. Поэтому найденную частоту вращения колеса навесной сеялки следует уменьшить на 10%.

Количество семян, которое должно высыпаться за определенное число оборотов приводного колеса, можно подсчитать и другим способом. На 1 м<sup>2</sup> поля должна быть высеяна масса семян  $q_2$  (кг):

$$q_2 = \frac{Q}{10000}. \quad (151)$$

Так как за один оборот колеса сеялка засеивает площадь  $f = B\pi D$ , то за один оборот колеса она должна высеять массу семян  $q_1$ :

$$q_1 = q_2 f = \frac{Q}{10000} B\pi D = \frac{QB\pi D}{10000}, \quad (152)$$

а за  $m$  оборотов колеса (15 или 20):

$$q = q_1 m = m \frac{QB\pi D}{10000}. \quad (153)$$

Если сеялка имеет два приводных колеса, то за  $m$  оборотов каждого должно быть высеяно вдвое меньше

семян.

## 2.10. Расчет вылета маркера

Для получения прямолинейных рядов семян с одинаковыми стыковыми междурядьями, посевной агрегат направляют по следу специального приспособления - *маркера*.

Обычно применяют дисковый маркер в виде штанги, шарнирно присоединяемой к сеялке. На пружинном конце штанги надет свободно вращающийся диск, оставляющий на поле бороздку, по оси которой направляют во время следующего прохода колесо или гусеницу трактора. Расстояние от бороздки крайнего сошника до диска маркера называют *вылетом маркера*.

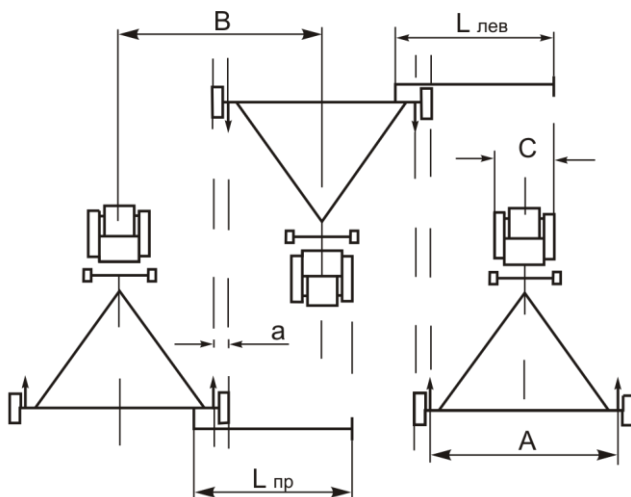


Рис.51. К расчёту вылета маркера

При движении агрегата (рис. 51). Состоящего из колесного трактора и одной прицепной сеялки по направлению, указанному стрелкой, сеялка засекает поло-

су  $A$ , ширина которой равна расстоянию между крайними сошниками сеялки [12,13].

После поворота агрегата крайний правый сошник сеялки должен двигаться на расстоянии  $a$  (стыковое междурядье) от рядка, засеянного крайним сошником предыдущего прохода агрегата. Стыковое междурядье равно ширине междурядья между внутренними сошниками сеялки. Правое переднее колесо трактора должно перекашиваться по бороздке, оставленной маркером.

Вылет правого маркера равен:

$$L_{np} = B - \frac{A}{2} - \frac{C}{2},$$

где  $L_{np}$  – вылет правого маркера, расстояние от крайнего рядка до бороздки маркера, м;

$B$  – ширина захвата сеялки, м;

$A$  – расстояние между крайними сошниками сеялки, м;

$C$  – расстояние между осями передних колес трактора, или между внутренними кромками гусениц, м.

Ширина захвата сеялки равна:

$$B = A + a.$$

Подставив значение  $B$  в формулу для определения вылета маркера получим:

$$l_{np} = B - \frac{A}{2} - \frac{C}{2} = \frac{A - C}{2} + a \quad (153^a)$$

Вылет левого маркера можно определить по формуле:

$$l_{лев} = B - \frac{A}{2} + \frac{C}{2} = \frac{A + C}{2} + a. \quad (154)$$

### 3. МАШИНЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

#### 3.1. Виды удобрений и способы их использования

Важнейшая задача земледелия - увеличение урожайности возделываемых культур за счет повышения плодородия почв [9].

С каждым урожаем растения выносят из почвы значительное количество элементов питания. Чтобы возместить эти потери, нужно рационально использовать минеральные и органические удобрения.

Удобрения содержат основные элементы питания растений: фосфор (P), калий (K) > азот (N) и вещества, которые улучшают физические, химические и биологические свойства почвы и тем самым способствуют повышению урожайности культурных растений.

Промышленность выпускает минеральные удобрения в виде гранул размером 1-5 мм, кристаллов, порошков или жидкие (азотные).

Минеральные удобрения бывают простые, полные, комплексные, сложные, смешанные.

Простое минеральное удобрение содержит один элемент питания растений; полное; - N, P, K; комплексное - два и более элементов питания; сложное - не менее двух элементов; смешанное получают при механическом смешивании простых и сложных удобрений.

*Фосфорные удобрения.* Простой и двойной суперфосфат выпускается заводами в виде гранул и порошков. Не слеживается, имеет достаточную сыпучесть.

Фосфоритная мука, полученная путем тонкого размола фосфоритов, представляет собой не слеживающийся сильно пылящий порошок.



*Калийные удобрения* - хлористый калий и калийные соли. Хлористый калий хорошо смешивается с другими удобрениями. При хранении слеживается.

*Азотные удобрения* содержат азот в форме аммиака, связанного с кислотой. Аммиачная селитра и карбамид представляют собой белые гранулы, гигроскопичны, слеживаются. Сульфат аммония и хлористый аммоний - кристаллические порошки, слабо слеживающиеся.

Жидкие аммиачные удобрения - безводный сжиженный аммиак, водный аммиак (аммиачная вода), аммиакаты. Внесение в почву жидких удобрений часто совмещают с обработкой почв, внесением гербицидов, ядохимикатов.

Безводный аммиак хранят и транспортируют в стальных цистернах и баллонах, рассчитанных на давление 2,5 - 3,0 МПа. Для хранения и перевозки аммиачной воды нужна герметичная тара из углеродистой стали, рассчитанная на давление 0,2 МПа.

Промышленность выпускает также сложные и комплексные минеральные удобрения: нитрофоски, аммофос, калиевую селитру. Комплексные удобрения обеспечивают многостороннее питание растений, содержат мало балласта, имеют устойчивые гранулы, удобны для перевозки, складирования, внесения в почву.

Микроудобрения содержат бор, медь, цинк, кобальт, молибден в малых дозах.

Химическая промышленность приступила к выпуску перспективных жидких комплексных удобрений (ЖКУ), содержащих два - три питательных элемента, микроэлементы, гербициды. ЖКУ не теряют азот при хранении и внесении в почву.

Известковые и гипсосодержащие материалы (мелиоранты) косвенно воздействуют на почву, их применяют для нейтрализации кислотности почв и мелиорации солонцов.

*Органические удобрения:* навоз, торфо-минеральные аммиачные удобрения, жидкий навоз, компосты, навозная жижа - богатые источники питательных веществ, способствующие повышению воздушного и водного режимов в почве и ее биологической активности.

Органические удобрения, содержащие органические вещества животного или растительного происхождения, имеют почти все элементы питания растений. Навоз перепревший, жидкий, полужидкий, навозную жижу собирают на животноводческих фермах с применением способов, обеспечивающих сохранение питательных элементов и получение массы, наиболее пригодной для механизированного разбрасывания по полю.

*Способы использования минеральных удобрений:* предпосевной, припосевной и подкормка растений.

Предпосевной способ, называемый основным, сплошным или разбросным, применяют при внесении основной массы туков, всех мелиорантов и органических удобрений.

При сплошном способе удобрения, равномерно разбросанные (рассеянные) по полю, во время вспашки или предпосевной культивации заделывают в почву на глубину 10-20 см. Удобрения, размещенные в зоне наиболее развитой корневой системы растений, доступны для них в течение вегетационного периода. Припосевное внесение - удобрения вносят в почву вместе с семенами. Подкормка - удобрения вносят в почву одновременно с культивацией междурядий.

Расширяется применение прогрессивного способа - локального внесения туков, размещение их концентрированными очагами (лентами, гнездами) во влагообеспеченном слое почвы. Удобрения размещают на оптимальном расстоянии от семян, обеспечивающем доступность корней растений к источнику питания.

Путем механизации локального припосевного внесения туков и подкормки растений в процессе вегетации достигается значительное повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Одновременно снижается расход удобрений, улучшается охрана природы вследствие уменьшения выноса химикатов со сточными водами, облегчается управление развитием растений.

Расширяется внесение удобрений сельскохозяйственной авиацией. Применение самолетов и вертолетов для рассева удобрений целесообразно при подкормке растений в оптимальные агротехнические сроки, когда работа наземных машин затруднена из-за повышенной влажности почвы.

### 3.2. Типы аппаратов для внесения удобрений

*Катушечно-штифтовые аппараты* (рис. 52, а) применяются для высева гранулированных туков.

Удобрения поступают из ящика 1 к катушке 4 самотеком, а для улучшения подачи служит мешалка 2. Катушка 4, на поверхности которой расположены в два ряда штифты, вращается и сбрасывает удобрения в тукопровод.

Количество вносимых удобрений регулируют открытием заслонки 3 питающего окна и изменением частоты вращения катушки.

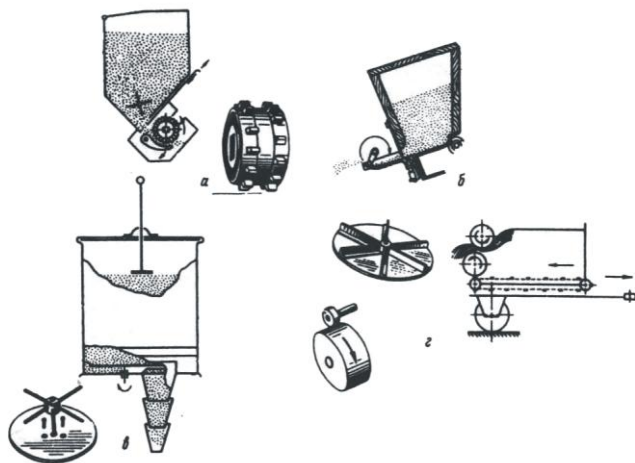


Рис.52. Схемы аппаратов для внесения удобрений.

а – катушечно -штифтовой; б – тарельчатый; в - дисковый; г – транспортёрный

В зависимости от размера гранул (туков) и свойств удобрений регулируют зазор между катушкой и доньшком 5. Такие аппараты устанавливают на комбинированных сеялках.

Рабочий процесс аппарата аналогичен катушечному высевающему аппарату для семян.

*Тарельчатые аппараты* (рис. 52, б) устанавливаются на разбрасывателях туков для сплошного внесения удобрений, а также для рядового способа внесения удобрений совместно с культивацией, посевом или посадкой.

Удобрения из емкости 1 (ящик или банка) выносятся, вращающейся тарелкой 6. Сбрасыватели 7 в виде вращающихся лопастей (дисков) или неподвижных скребков сыпают их на щиты (сплошное внесение) или в тукопроводы (рядковый способ внесения удобрений). Своды из удобрений, образующиеся в емкостях, разрушаются колеблющимися стенками или ворошителями.

Тарельчатые аппараты обеспечивают требуемую точность высева удобрений.

Изменяя скорость вращения тарелки, а также ширину щели между ее дном и заслонкой 3, регулируют количество высева.

*Дисковые аппараты* (рис. 52, в) применяются в машинах для сплошного и рядового внесения удобрений.

На кукурузных, хлопковых и других сеялках, посадочных машинах и культиваторах устанавливают унифицированный дисковый аппарат марки АД-2.

Диск 9, вращаясь, выносит удобрения к скребку-направителю, который сыпает их в тукопровод 12. На удобрения активно воздействует ворошитель 10, вращающийся вместе с диском. За уровнем удобрений в емкости следят по указателю 11.

Количество высева удобрений регулируют изменением частоты вращения диска, а также величины угла установки скребка-направителя.

*Транспортерные аппараты* (рис. 52, г) находят широкое применение в основном для сплошного внесе-

ния минеральных, органических удобрений и извести.

Удобрения засыпают в кузов какого-либо прицепа, а оттуда их выносит транспортер 13 и направляет к разбрасывающим устройствам.

На навозоразбрасывателях, например, ставят двух- или однобарабанные разбрасывающие устройства. В двухбарабанных аппаратах нижний барабан 14, вращаясь против хода часовой стрелки, штифтами измельчает навоз и через себя сбрасывает его на поле, а верхний барабан 15 выравнивает слой навоза, подаваемого транспортером 13.

Однобарабанный аппарат - обычно барабан с винтовой гребенкой. Такие устройства обеспечивают ширину разбрасывания в пределах 2,5-3,5 м.

Для разбрасывания минеральных удобрений и извести применяются диски 16 с вертикальной осью вращения или вращающееся резиновое кольцо 17 с роликом 18. Удобрения поступают на диск или внутрь кольца и под действием центробежной силы разбрасываются по полю.

Транспортерные аппараты применяются еще и для внесения удобрений при посадке картофеля.

### **3.3. Расчет тарельчатых туковывсевающих аппаратов**

Туковые сеялки с тарельчатыми высевальными аппаратами применяются для внесения концентрированных минеральных удобрений, которые требуют при малых нормах высева высокой равномерности рассева [12,4].

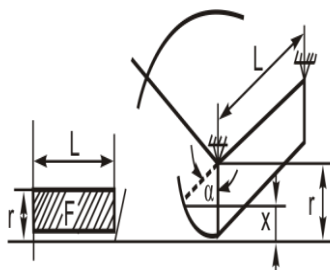


Рис.53. Параметры высевающего отверстия тарельчатого высевающего аппарата

Для проектирования туковысевающих аппаратов необходимо узнать размер высевных отверстий  $F$  (рис. 53), производительность питателя, угол среза банки, обороты тарелки и другие параметры,

Объем банки определяется путем умножения площади круга на высоту с вычетом объема срезанной площади цилиндра.

Площадь отверстия  $F$  для выхода туков из банки при открытии заслонки зависит от угла  $\alpha$  поворота рычага (рис. 56) и определяется из следующего выражения:

$$F = lx, \quad (155)$$

где  $l$  – длина заслонки, см;

$x$  – высота открытия щели.

Из рис. 53. Видно, что  $x = r - r \cos \alpha = r(1 - \cos \alpha)$ , где  $r$  – радиус заслонки. Подставляя значение  $x$  в формулу площади, будем иметь:

$$F = lr(1 - \cos \alpha). \quad (156)$$

Производительность питателя  $Q$  зависит от площади отверстия  $F$  и скорости вращения  $V$ , т.е. можно записать:

$$Q = FV\gamma, \quad (157)$$

где  $\gamma$  - объемная масса туков.

Подставляя значение  $F$  из уравнения (156) и выразив скорость вращения тарелки через обороты, получим:

$$Q = \frac{ir\pi R_{cp}\gamma}{30}(1 - \cos \alpha), \quad (158)$$

где  $R_{cp}$  - средний радиус тарелки туковысевающего аппарата.

При проектировании питателя его площадь для заданной максимальной производительности рассчитывают по формуле:

$$f = lr = \frac{30Q_{max}}{\pi R_{cp}\gamma(1 - \cos \alpha)}. \quad (159)$$

При работе тарельчатого туковысевающего аппарата не должно быть самопроизвольного сбрасывания туков через верхний край тарелки. Удобрения с тарелки должны сбрасываться принудительно специальными сбрасывателями.

Допустим, что борт тарелки представляет собой наклонную плоскость под углом  $\beta$  к горизонту. Частица удобрения  $m$ , находится на наклонной плоскости, удалена от оси вращения тарелки на расстояние  $R$ .

Для определения предельной частоты вращения тарелки рассмотрим схему сил, действующих на частицу удобрения.



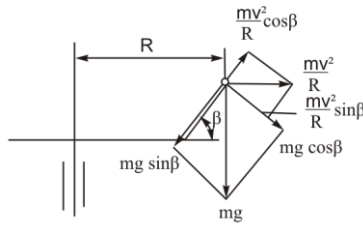


Рис.54. Схема сил действующих на частицу удобрения.

На рис. 54 изображены сила тяжести  $mg$  и центробежная сила  $\frac{mV^2}{R}$ . Силу тяжести можно разложить на силу  $mg \sin \beta$  и силу  $mg \cos \beta$ . Центробежную силу - на  $\frac{mV^2}{R} \cos \beta$  и  $\frac{mV^2}{R} \sin \beta$ .

Вниз по наклонной плоскости действует сила  $mg \sin \beta$ , вверх  $\frac{mV^2}{R} \cos \beta$ . Поэтому движущей силой вверх по образующей будет:

$$F_{\text{ов.}} \frac{mV^2}{R} \cos \beta - mg \sin \beta. \quad (160)$$

Препятствует движению удобрений вверх сила трения:

$$F_{TP} = tg \varphi \left( \frac{mV^2}{R} \sin \beta + mg \cos \beta \right), \quad (161)$$

где  $\varphi$  - угол трения.

Таким образом, движение частицы т вверх по борту тарелки будет только в случае, если

$$\frac{mV^2}{R} \cos \beta - mg \sin \beta \geq tg \varphi \left( \frac{mV^2}{R} \sin \beta + mg \cos \beta \right). \quad (162)$$

После решения этого выражения относительно  $V$  определяемая скорость тарелки, при которой удобрения начинают сбрасываться, будет

$$V \geq \sqrt{gRtg(\beta + \varphi)}. \quad (163)$$

Имя ввиду, что  $V = \frac{\pi n R}{30}$ ,

$$n \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{tg(\beta + \varphi)g}{R}}. \quad (164)$$

Для того, чтобы удобрения не сбрасывались с тарелки, частота ее вращения должна соответствовать условию

$$n \leq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{tg(\beta + \varphi)g}{R}}. \quad (165)$$

### 3.4. Расчет центробежных туковысевающих аппаратов

Рабочий процесс центробежного аппарата характеризуется наличием двух фаз. К первой фазе относится та часть процесса, в пределах которой частицы находятся на рабочей поверхности диска.

Ко второй фазе относится та часть процесса работы разбрасывателя, когда частицы материала, получив необходимую скорость, покидают диски и совершают свободный полет до соприкосновения их с поверхно-

стью почвы.

Рассмотрим движение частиц по поверхности диска. Пусть частица массы  $m$  в произвольной точке  $M$  подается на равномерно вращающийся диск с начальной скоростью, равной нулю (рис. 55). Тогда силами, приложенными к частице и действующими в плоскости диска, будут: сила трения  $F$  и центробежная сила  $I_e$  переносного движения.

При этом

$$F = fmg \text{ и } I_e = mr_0\omega^2, \quad (166)$$

где  $f$  – коэффициент трения тука о диск;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$r_0$  – расстояние от центра диска до точки  $M$  подачи тука.

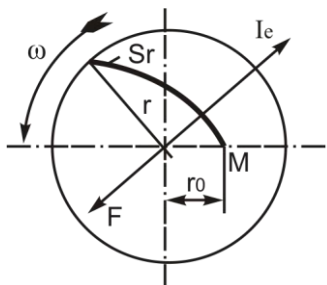


Рис.55. Движение частицы по вращающемуся диску

Точка  $M$  диска имеет окружную скорость, равную  $V_e = r_0\omega$ , которую частица может приобрести мгновенно, если сила трения окажется достаточной для удержания этой частицы в состоянии относительного покоя. Для этого случая уравнение равновесия будет:

$$I_e - F = 0; mr_0\omega^2 - fmg = 0, \quad (166)$$

из которого можно определить минимальное число обо-

ротов диска

$$\omega = \sqrt{\frac{fg}{r_0}} = \frac{\pi n_{\min}}{30}, \quad (167)$$

откуда

$$n_{\min} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{fg}{r_0}}. \quad (168)$$

При меньшем числе оборотов диска частицы материала будут лишены возможности перемещаться по поверхности диска и центробежный аппарат потеряет свою работоспособность.

Кинематические особенности рассева гладкими вращающимися дисками, установленными горизонтально, характеризуются наличием спиралевидных траекторий движения частиц по диску и относительно невысокими значениями скоростей при сходе их с диска.

При вращении диска с угловой скоростью  $\omega$  частица материала в точке  $M$  в относительном движении будет перемещаться по поверхности диска со скоростью  $V_r$  и через некоторое время придет в точку  $M_1$ . Сила трения оказывается недостаточной и частица отстает от диска, описывая траекторию в виде спиралевидной кривой  $S_r$ . П. М. Василенко предложил принять кривую  $S_r$  за логарифмическую спираль, уравнение которой

$$r = r_0 e^{a\theta},$$

где  $r$  и  $\theta$  – текущие полярные координаты;

$a = \operatorname{ctg} \alpha = \operatorname{const}$  ( $a$  – угол между касательной к спирали и радиусом  $r$ , близкий к прямому).

Переносным движением в данном случае является

вращательное движение диска, при котором частица имеет переносную скорость  $V_e = r\omega$ . Абсолютная траектория частицы представлена кривой  $S_e$ , а абсолютная скорость - вектором  $V_e$ . Как видно из схемы, векторы  $V_r$  и  $V_e$  могут быть направлены в разные стороны, в результате чего скорость схода частиц с диска оказывается малой, что ограничивает ширину полосы разбрасывания туков.

Следует отметить, что с уменьшением угловой скорости диска полярный угол  $\theta = f(t)$  увеличивается. Конечное значение этот угол, называемый углом схода частиц, обозначаемый  $\theta_{cx}$  получает при сходе частицы с диска. Таким образом, угол схода  $\theta$  — центральный угол, на который поворачивается диск за время относительного движения частицы по диску от момента подачи ее на диск до момента схода.

Однако характер движения материала по диску зависит не только от выбранного режима работы диска, но и от его конструкции. Разбрасывающие диски бывают плоскими или коническими, гладкими или снабженными лопастями. В свою очередь, лопасти могут быть прямолинейными, расположенными радиально или с наклоном к радиусу, и, наконец, встречаются лопасти криволинейные.

### **3.5. Расчет барабанных аппаратов для внесения твердых органических удобрений**

Технические средства для внесения органических удобрений будут совершенствоваться в направлении повышения их грузоподъемности, увеличения ширины разбрасывания, создания прицепных разбрасывателей с небольшой высотой погрузки и с меньшим удельным

давлением на почву, улучшения проходимости [19].

Технологический процесс работы прицепа-разбрасывателя протекает следующим образом: при поступательном движении агрегата верхняя ветвь транспортера, перемещаясь с небольшой скоростью назад вдоль кузова, подводит слой удобрений к вращающимся шнековым барабанам. Нижний измельчающий барабан шнековой лентой с прерывистым зубчатым профилем разрыхляет, измельчает массу и ровным слоем перебрасывает через себя. Верхний разбрасывающий барабан, вращаясь в том же направлении, что и нижний, принимает от него удобрения, выравнивает, дополнительно измельчает, отбрасывает излишек к передней части кузова и распределяет удобрения по поверхности поля.

Скорость движения транспортера определяют исходя из секундной подачи удобрений. В свою очередь, масса (кг) сброшенных на поле удобрений в секунду:

$$q = V_{тр} H L \gamma, \quad (169)$$

где  $V_{тр}$  – скорость перемещения транспортера, м/с;  
 $H$  – толщина слоя удобрений в кузове, м;  
 $L$  – длина шнекового барабана, м;  
 $\gamma$  – объемная масса удобрений, кг/м<sup>3</sup>.

Норма внесения удобрений  $Q_H$  (кг/м<sup>2</sup>) на единицу площади находится в прямой зависимости от секундного расхода:

$$Q_H = \frac{q}{B_{п} V_M}, \quad (170)$$

где  $B_{п}$  – ширина полосы разбрасывания, м;  
 $V_M$  – поступательная скорость агрегата, м/с.

Принимая во внимание выражение (169) и подставляя значение  $q$  в формулу (170), получим

$$Q_H = \frac{V_{TP} HL \gamma}{B_{II} V_M}. \quad (171)$$

Значения величин  $H$ ,  $L$ ,  $B_{II}$  и  $\gamma$  - лимитируемые параметрами кузова и для определенных машин являются постоянными. Из формулы (171) видно, что норма внесения удобрений прямо пропорциональна поступательной скорости транспортера  $V_{TP}$  и обратно пропорциональна скорости агрегата  $V_M$ , т. е. ее можно регулировать изменением скоростей  $V_{TP}$  и  $V_M$ .

При известных конструктивных параметрах разбрасывателя и заданной формы внесения удобрений скорость транспортера

$$V_{TP} = \frac{Q_H B_{II} V_M}{HL \gamma}. \quad (172)$$

Для обеспечения нормальной работы разбрасывающего устройства необходимо, чтобы производительность шнековых барабанов была равна или больше производительности транспортера, т. е.

$$Q_{бар} \geq Q_{TP}, \quad (173)$$

или

$$bhV_0 \geq HB_{TP} V_{TP} \quad (174)$$

где  $b$  и  $h$  — соответственно ширина и высота захвата массы шнековым барабаном, м;

$V_0$  — окружная скорость шнекового барабана, м/с;

$H$  – толщина слоя удобрений, подаваемых транспортером, м;

$B_{\text{тр}}$  – ширина слоя удобрений, подаваемого транспортером, м;

$V_{\text{тр}}$  – скорость транспортера, м/с.

Окружная скорость шнекового барабана

$$V_0 = \frac{\pi n r}{30}, \quad (175)$$

где  $n$  – частота вращения шнекового барабана;

$r$  – радиус шнекового барабана.

Подставляя значение  $V_0$  в формулу (174), получим

$$\frac{bh\pi n r}{30} \geq HB_{\text{тр}}V_{\text{тр}}, \quad (176)$$

откуда минимальная частота вращения барабана

$$n = \frac{30HB_{\text{тр}}V_{\text{тр}}}{bn\pi r}. \quad (177)$$

### **3.6. Машины для разбрасывания жидких удобрений**

Машины для разбрасывания жидких удобрений предназначены для откачки жижи из жижесборников животноводческих помещений, перевозки ее в поле и по верхностного сплошного внесения в почву. Все они выполнены по примерно одинаковой схеме, т. е. каждый представляет собой одноосный тракторный полуприцеп, на котором смонтирована горизонтальная цилиндрическая цистерна, оборудованная эжектором или вакуумным насосом для заправки перемешивающей и напор-



ной системами для перемешивания и создания рабочего давления и распределительным устройством для разбрызгивания удобрений. В машинах вместимостью 1,8 и 3,6 м<sup>3</sup> для создания вакуума при заправке применяют эжектор, а в машинах вместимостью 4 - 16 м<sup>3</sup> - специальный вакуумный насос [7, 18].

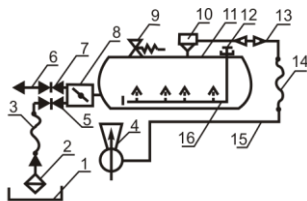


Рис.56. Принципиальная схема разбрасывателя жидких органических удобрений

В качестве примера рассмотрим принципиальную схему машины, оборудованной эжектором (рис. 56). Для заправки затвор 8 и задвижку 5 открывают, а задвижку 7 закрывают; гибкий заборный шланг 3 с фильтром 2 опускают в жижеборник (жижехранилище). Выпускные газы поступающие от трактора, проходя через эжектор 4, создают разрежение в трубопроводах 15, 14, 13 и цистерне 11, под действием которого жидкость заполняет цистерну. При перемешивании колпачок 12 вывертывают, а в цистерне 11 при помощи эжектора 4 создают вакуум. При этом наружный воздух под действием атмосферного давления входит сверху в трубу 16 и, выходя через отверстие горизонтальной части этой трубы, перемешивает жидкость. При распределении по полю или выливе жидкости с помощью выпускных газов, проходящих по трубам 15, 14 и 13 в цистерне 11 создают избыточное давление. При этом задвижка 5 закрыта, а задвижка 7 открыта и жидкость через нее поступает к распределительному устройству 6

которое веерообразным потоком разбрызгивает ее по полю. Норму внесения удобрений от 10 до 40 т/га регулируют сменой жиклера (диаметр 20, 30 и 38 мм), изменением скорости движения агрегата, давления выпускных газов и положения распределительного лотка. Наибольшая ширина поливаемой полосы или наименьшая норма внесения жидких удобрений получается при угле наклона 30 - 45°. Ширина разлива жидкости 3 - 11 м, рабочая скорость до - 2,2 м/с (10 км/ч).

## 4. МАШИНЫ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

### 4.1. Химические способы борьбы с вредителями и болезнями растений

Борьба с вредителями и болезнями сельскохозяйственных растений ведется преимущественно химическим способом, при котором ядохимикаты в мелкораспыленном виде наносятся на вегетативные органы сельскохозяйственных растений, сорняков или вносятся в почву. Химические вещества, применяемые для борьбы с вредителями и болезнями растений, подразделяются на инсектициды, фунгициды и гербициды. *Инсектициды* применяются для борьбы с вредными насекомыми, *фунгициды* - для борьбы с возбудителями болезней сельскохозяйственных растений и *гербициды* - для уничтожения сорных растений [24].

По химическому действию различают три вида инсектицидов: кишечные, или яды внутреннего действия (мышьяковистые соединения, препараты фтора, бария и др.); яды контактного внешнего действия (препараты никотина, гексахлорана и др.) и фумиганты (хлорпикрин, углеводород и др.).

Инсектициды и фунгициды применяют методом опрыскивания, опыливания, газификации, протравливания, а также аэрозольным способом.

При *опрыскивании* из ядохимиката готовят водный раствор, суспензию или эмульсию, которые подаются на вегетативные органы растений в тонкораспыленном состоянии. Мельчайшие капельки рабочей жидкости плотно прилипают к поверхности растений и хорошо удерживаются на ней. После испарения воды на

поверхности растений остается тонкий равномерный слой ядохимиката. Рабочая ядовитая жидкость в зависимости от назначения может состояться из одного или нескольких не реагирующих между собой химикатов.

Машины, предназначенные для опрыскивания растений рабочей ядовитой жидкостью, называются опрыскивателями. Они нашли широкое применение в сельском хозяйстве. Для сокращения расхода воды и затрат труда и энергии для опрыскивания используют более концентрированные рабочие жидкости, что значительно повышает эффективность применения опрыскивателей.

При *опыливании* химическое вещество подается на растение в пылеобразном состоянии и покрывает вегетативные органы растений тонким слоем ядохимиката.

Машины, предназначенные для опыления растений, называются *опыливателями*. Они менее громоздки, чем опрыскиватели, так как, работая без воды, затрачивают меньше труда и механической энергии. Но расход ядохимиката при этом способе борьбы с вредителями и болезнями бывает значительно больше, так как сухой ядохимикат хуже прилипает к поверхности растений.

При *фумигации* ядовитая жидкость вносится в почву в дозированном количестве, испаряется, распространяется в порах почвы и попадает в организм вредителей через дыхательные органы или поверхностный покров.

Машины, предназначенные для внесения в почву фумигантов, называются *фумигаторами*.

При *аэрозольном* способе борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных растений раствор

ядохимиката и минерального масла термомеханическим или механическим путем распыляется в мельчайшие капельки, которые образуют туман, оседающий на растениях равномерным слоем. При этом способе расход жидкости бывает значительно меньше, что способствует сокращению трудовых затрат.

При *протравливании* семенной материал перемешивают с дозированным количеством сухого или жидкого ядохимиката, который покрывает поверхность семян тонким слоем. Машины, предназначенные для протравливания семян, называются *протравливателями*.

#### **4.2. Агротехнические требования к машинам для химической защиты растений**

Машины для химической борьбы с вредителями, болезнями и сорняками должны: 1) выполнять работы в оптимальные сроки, установленные с учетом развития растений, биологических особенностей вредных организмов, почвенных и метеорологических условий; 2) равномерно распределять ядохимикаты по обрабатываемому объекту с заданной нормой расхода (степень неравномерности не должна превышать 5%, а отклонение от нормы расхода - 3%); 3) иметь истребительный эффект не менее 95% для вредителей и болезней и 90% - для сорняков; 4) повреждение культурных растений не должно превышать 0,5% [2, 5].

Кроме того, к машинам предъявляются дополнительные специфические агротехнические требования.

Протравливатели должны хорошо перемешивать семена с ядохимикатами, выдерживая норму расхода яда; рабочие органы протравливателей не должны повреждать семена; протравливатели должны быть герме-

тичны и безопасны при работе, особенно при сухом протравливании; передаточные механизмы должны иметь защитное устройство, обеспечивающее безопасность работы и не затрудняющее обслуживание машины.

Опрыскиватели должны иметь распыливающие устройства, обеспечивающие наиболее равномерный распыл жидкости по размеру капель; они должны точно дозировать ядохимикаты, сохранять требуемый расход жидкости за весь период опорожнения резервуара независимо от скорости движения агрегата. Неравномерность состава рабочей жидкости не должна превышать  $\pm 5\%$ . Покрытие всего растения или его части в зависимости от места расположения вредителей или возбудителей болезни должно быть равномерным; неравномерность не должна превышать 50% по ширине захвата машины и 20% по ходу движения агрегата. При обработке садовых насаждений воздушный поток должен подавать распыленную рабочую жидкость на высоту не менее 8 м. Скорость воздушного потока на входе внутрь кроны должна быть не более 30 м/с.

Опыливатели должны быть универсальны, то есть: обрабатывать как садовые насаждения, так и полевые культуры; обеспечивать тонкое распыливание ядохимикатов; создавать равномерную по ширине захвата пылевую волну и обеспечивать равномерный и полный охват растений этой волной и равномерное их покрытие ядохимикатом. Неравномерность дозирования пылевидного ядохимиката не должна превышать  $\pm 15\%$ .

### **4.3. Основы теории и расчета опрыскивателей**

Опрыскиватели являются наиболее распростра-

ненными машинами, предназначенными для химической защиты растений, что объясняется рядом преимуществ способа нанесения на растения жидкого ядохимиката. Яды, наносимые на растения в виде растворов, хорошо прилипают к ним, поэтому расходуются экономичнее, чем при опиливании. Опрыскиванием смесью ядохимикатов можно одновременно обрабатывать растения против двух и более видов вредителей или против вредителей и болезней. Недостатком опрыскивателей является громоздкость их конструкции и быстрый износ деталей, соприкасающихся с агрессивной средой [5].

В зависимости от способа нанесения распыленной рабочей жидкости на обрабатываемые растения опрыскиватели подразделяют на *гидравлические* и *вентиляторные*.

Гидравлические опрыскиватели распиливают рабочую жидкость и наносят ее на растения только под воздействием напора жидкости, создаваемого насосом.

Вентиляторные опрыскиватели наносят распыленную под напором насоса жидкость на растения с помощью воздушных потоков, создаваемых вентилятором. Вентиляторные опрыскиватели являются более компактными и производительными.

#### 4.3.1. Распыливающие наконечники и их расчет

Распыливающие наконечники являются самой ответственной частью опрыскивателя, так как от их работы зависит равномерность покрытия растений распыленной жидкостью. По назначению и устройству распыливающие наконечники разделяют на полевые и садовые, (рис. 57) [5,12].

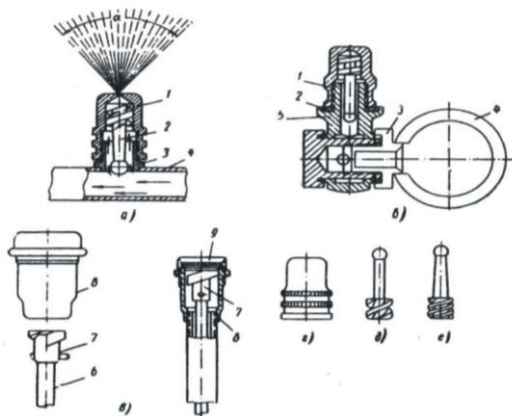


Рис.57. Распыливающие наконечники опрыскивателей:

а и б – полевые; в – садовые (брандспойты); г – колпачок; д – обыкновенный сердечник ( шаг резьбы 8 мм); е – экономичный сердечник ( шаг резьбы – 3мм); 1 – колпачок; 2 – сердечник; 3 – штуцер; 4 – штанга; 5 – шарнирная головка; 6 – стержень; 7 – распылитель; 8 – корпус; 9 – крышка

*Полевые наконечники*, (рис. 57, а, б) применяют для опрыскивания низкорослых растений (полевых культур, виноградников и т.д.). Они хорошо распыляют жидкость при небольших давлениях (3-5 ат) и дают короткую (1-2 м) струю с широким распылом.

Размер частиц распыленной жидкости в большой степени зависит от угла подъема и площади сечения винтовых каналов распылителя. С уменьшением их уменьшается средний размер частиц жидкости, а также расход жидкости наконечником. В зависимости от этого полевые наконечники подразделяют на обыкновенные и экономичные. Распылители имеют винтовую ленточную нарезку для придания жидкости вращательного движения и лучшего распыления. Распылители плотно вставляют в колпачок; пространство между дном колпачка и концом распылителя называется камерой завих-



рения, величина которой в наконечниках этого типа постоянная. По конструкции полевые наконечники подразделяются на одинарные, у которых колпачок жестко прикреплен непосредственно к штуцеру штанги, и двойные, состоящие из средней головки, ввинчиваемой в штуцер штанги или в трубку брандспойта, закрытой и открытой головок, винтовой шпильки с затяжной гайкой, двух распылителей и двух колпачков. Крайние головки наконечника можно поворачивать на шпильке и закреплять под различными углами для различного направления распыляемой жидкости. Полевые наконечники стандартизированы.

*Садовые наконечники* (рис. 57, в) укрепляют на конце трубки брандспойта. У распылителя 7, вставляемого в корпус 8, нарезка более крупная, чем у полевых наконечников. Благодаря этому распыляемая жидкость не получает сильного завихрения, струя приобретает хорошую дальнобойность. Распылитель жестко соединен со стержнем 6 ручки брандспойта. В корпус наконечника вставляют сменные диафрагмы, различающиеся по диаметру и числу выходных отверстий для получения различного расхода и степени распыла жидкости. Диафрагму крепят к корпусу крышкой 9. Величину камеры завихрения, а вместе с этим степень распыла и угол конуса распыла можно изменять путем поворота брандспойта.

Для хорошей работы садовых наконечников требуется давление 20-25 ат, они дают струю распыленной жидкости высотой 8-9 м. Для обработки деревьев высотой до 12 м применяют дальнобойные брандспойты.

Действие наконечников обоих типов состоит в следующем: жидкость, поданная насосом под давлением в корпус наконечника, проходит через винтовые ка-

налы сердечника и приобретает вращательное движение. Затем она поступает в камеру завихрения, откуда с большой скоростью выбрасывается через выходное отверстие колпачка или диафрагмы наружу и мелко распыливается под действием центробежной силы и удара об окружающий воздух. В результате образуется конусообразный факел мелкораспыленной жидкости.

Расход жидкости через наконечник определяют по формуле

$$Q = s\mu\sqrt{2gH}, \quad (178)$$

где  $s$  – площадь выходного отверстия наконечника, м;  
 $\mu$  – коэффициент (для обычных полевых наконечников  $\mu=0,43...0,47$ , для экономичных  $\mu=0,22...0,25$ );

$g$  – ускорения силы тяжести;

$H$  – напор, создаваемый насосом, мм вод. ст.

Расход жидкого ядохимиката за единицу времени зависит от суммарной площади выходных отверстий рабочих органов и напора жидкости, создаваемого насосом.

Расход жидкости при работе опрыскивателя с полевыми наконечниками, имеющими постоянный расход жидкости, определяют по формуле

$$Q = \frac{VBq}{10 \cdot 60}, \quad (179)$$

где  $V$  – рабочая скорость машины, км/ч;

$B$  – ширина захвата машины, м;

$q$  – норма расхода раствора ядохимиката, л/га.

Для определения расхода жидкости опрыскивателями с наконечниками садового типа в предыдущую

формулу вводят коэффициент  $\varphi$ . Формула принимает вид

$$Q = \frac{VBq}{\varphi \cdot 10 \cdot 60}. \quad (180)$$

Величину  $\varphi$  выбирают в пределах 0,5 - 0,7. Этот коэффициент учитывает изменение величины конуса распыла и дальности струи при обработке деревьев.

Норма расхода жидкости должна быть согласована с производительностью насоса.

#### 4.3.2. Расчет поршневого насоса

*Производительность поршневого насоса* определяют по формуле

$$q = \frac{\pi d^2}{4} \sin \alpha, \quad (181)$$

где  $d$  - диаметр поршня, дм;

$S$  - ход поршня, дм;

$n$  - число двойных ходов поршня в минуту или число оборотов вала кривошипа в минуту;

$i$  - число цилиндров насоса;

$\alpha$  - коэффициент объемного наполнения насоса, учитывающий разницу между действительной и теоретической подачей жидкости  $\alpha=0,8-0,9$ ).

Мощность, потребную для привода насоса в действие, определяют по формуле

$$N = \frac{Q \gamma H}{60 \cdot 75 \cdot \eta}, \quad (182)$$

где  $Q$  - действительная подача жидкости насосом, л/мин;

$\gamma$  - удельный вес жидкости, кг/л;

$H$  - давление в м вод. ст.;

$\eta$  - общий к. п. д. насоса ( $\eta=0,6-0,75$ ).

Высоту распыленной струи опрыскивателей с наконечниками садового типа (брандспойта) определяют по следующей эмпирической формуле:

$$h_1 = d_1 + 5,5, \quad (183)$$

дальнобойного

$$h_2 = 4,7d_2 - 0,7, \quad (184)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  - диаметры отверстий наконечников, мм.

#### 4.3.3. Критерии качества опрыскивания

У всех опрыскивателей рабочая жидкость дробится на капли наконечниками. Вентиляторы дополнительно дробят и транспортируют жидкость или же только транспортируют ее [12,15,18].

*Средний диаметр капли* - критерий дисперсности распыла жидкости. Он может быть вычислен по формуле:

$$d_k = \frac{d_{cl}}{\sqrt[3]{\frac{4 \sin^3 \alpha}{2 + \cos^3 \alpha - 3 \cos \alpha}}}, \quad (185)$$

где  $d_{сл}$  - замеренный диаметр следа капли;  
 $\alpha$  - угол между касательной к сфере капли в точке ее сечения обрабатываемой поверхностью и самой поверхностью.

Обычно средний размер капель  $d_k \approx \frac{2}{3}d_{сл}$  и составляет 150 - 300 мкм, а при аэрозольном опрыскивании - 50 - 100 мкм.

Средний диаметр капли - это первый критерий качества работы опрыскивателей.

*Степень покрытия каплями обрабатываемой поверхности*  $M(\%)$  - второй критерий оценки работы опрыскивателей.

$$M = \frac{100\pi}{4F_0} (d_1^2 n_1 + d_2^2 n_2 + \dots + d_n^2 n_n) = \frac{25\pi}{F_0} \sum d_i^2 n_i, \quad (186)$$

где  $d_1; d_2 \dots d_n$  - диаметр следов капли, мкм;  
 $n_1, n_2 \dots n_n$  - количество капель каждого размера;  
 $F_0$  - исследуемая площадь, мкм<sup>2</sup>.

Коэффициент эффективного действия капли, равный отношению общей площади эффективного действия к площади, образованной следом капли - третий критерий качества опрыскивания:

$$k_{эф} = \frac{F_{эф}}{F_{сл}} = \frac{(d_{сл} + 2r)^2}{d_{сл}^2}. \quad (187)$$

Здесь площадь следа капли

$$F_{сл} = 0,78d_{сл}^2, \quad (188)$$

а площадь эффективного действия капли

$$F_{эф} = 0,78( d_{сл} + 2\kappa )^2, \quad (189)$$

где  $r$  - зоны эффективного действия, равная 100 - 200 мкм.

Отсюда степень эффективного покрытия каплями обрабатываемой поверхности

$$M_{эф} = k_{эф} M. \quad (190)$$

С уменьшением размеров капли увеличивается коэффициент эффективного действия.

Мелкокапельное дробление требует высокого давления, но увеличение давления связано с возрастанием потребляемой мощности, увеличением размера и массы гидравлических насосов, что нежелательно как с конструкторской, так и с эксплуатационной точки зрения.

Поэтому для получения мелкокапельного дробления используют насосы низкого давления с частичным дроблением жидкости вентиляторами.

Кроме того, скорость потока рабочей жидкости, распыленной на мелкие капли, падает быстрее по мере удаления от сопла, чем скорость потока жидкости более крупного распыла. Следовательно, мелкокапельное дробление не обеспечивает большую дальность действия опрыскивателя.

#### 4.3.4. Малообъемное опрыскивание

Рабочая жидкость складывается из двух основных компонентов - ядохимиката и воды. Если первый из них - действующий фактор, то вода - это разбавитель и но-

ситель яда. Производительность опрыскивателей и стоимость обработки ими одного гектара посадки непосредственно зависит от расхода воды: чем больше расход, тем ниже производительность и тем выше стоимость работы химической защиты растений [15].

*Особенности малообъемного опрыскивания.* Расход воды при опрыскивании колеблется в широких пределах, обычно от 300 до 1000 л/га, при конструктивных возможностях опрыскивателей от 100 до 2000 л/га.

Если повысить концентрацию ядохимиката в рабочей жидкости, то это позволит значительно уменьшить ее расход. Опрыскивание концентрированной жидкостью при уменьшенном ее расходе на гектар посадки (или на одно дерево) называется малообъемным.

Малообъемное опрыскивание может быть только мелкокапельным. Мелкие капли концентрированной ядовитой жидкости лучше проникают внутрь кроны и хорошо оседают на нижней стороне листьев и дольше удерживаются на ней.

Требование достаточно большой энергии потока рабочей смеси не позволяет ставить на малообъемных опрыскивателях насосы' низкого давления - они оборудуются насосами высокого давления.

#### **4.4. Расчет параметров опыливателей**

Опыливатели предназначены для нанесения на растения сухих или увлажненных порошкообразных ядохимикатов. Обработка порошкообразными ядами ввиду большого рабочего захвата опыливателей является менее трудоемким и более производительным по сравнению с опрыскиванием, но имеет существенные недостатки. Из-за слабого прилипания порошка к листь-

ям растений расход ядохимиката при опылировании в 3 - 4 раза больше, чем при опрыскивании. При незначительном (2-3 м/с) негре производить опылирование нельзя, так как порошок сдувается с растений.

#### 4.4.1. Типы распыливающих устройств

С помощью распыливающих устройств распиливают порошкообразный ядохимикат и наносят его на обрабатываемые растения. В опыливателях применяют распыливающие устройства двух типов: бокового дутья - для обработки садов; прямого дутья - для обработки полевых культур и виноградников [5,11].

*Распыливающие устройства бокового дутья* выбрасывают пылевой поток ядохимиката на растения сбоку из одного или двух металлических трубопроводов, соединенных с выходным отверстием вентилятора. На другом конце трубопроводов устанавливают распыливающие наконечники.

*Распыливающие устройства прямого дутья* выбрасывают пылевой поток ядохимиката на растения сверху или с боков из шести-восьми трубопроводов, присоединенных к выходному отверстию вентилятора посредством специальной распределительной коробки. На концах трубопроводов также устанавливают наконечники.

*Наконечники* придают пылевому потоку направление и скорость, необходимые для полного и равномерного охвата обрабатываемых растений распыленным ядохимикатом. В опыливателях применяют наконечники следующих типов (рис. 58): плоские конические, открытые ложкообразные, секирообразные и цилиндрические.



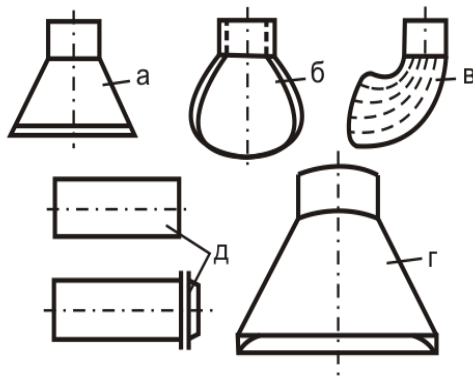


Рис.58. Наконечник опыливателей: а и г – плоские конические; б – открытый ложкообразный; в – секирообразный; д – цилиндрические

Конические, секирообразные и ложкообразные наконечники предназначены для обработки полевых, огородных и других низкорослых культур, а также виноградников; при этом ложкообразные наконечники применяют для опыливания нижних поверхностей листьев низкорослых культур хлопчатника, винограда), так как они дают сравнительно широкую и короткую волну, направленную под некоторым углом вверх.

Плоские конические наконечники имеют выходное отверстие в виде прямоугольной щели; они создают пылевой поток с определенным направлением. Скорость движения воздушного потока на выходе из этих наконечников составляет 5 - 8 м/сек.

Секирообразные наконечники благодаря наличию в их выходных отверстиях специальных регулируемых направляющих планок дают еще более определенное направление пылевого потока.

Цилиндрические наконечники предназначены для обработки садов и лесозащитных полос боковым дульем. Эти наконечники дают пылевой поток длиной до

40 м и высотой до 20 м.

Расчет расхода ядохимиката опыливателями сводится к определению его количества, которое должно быть подано за определенное число оборотов ходового колеса:

$$g = \frac{n\pi DBG}{10000}, \quad (191)$$

где  $n$  - число оборотов ходовых колес, сделанных за время установки;

$D$  - диаметр ходового колеса, м;

$B$  - ширина захвата пылевой волны, м;

$G$  - норма расхода ядохимиката, кг/га.

Для тракторного опыливателя:

$$g = \frac{VBG}{10 \cdot 60}, \quad (192)$$

где  $V$  - скорость движения опыливателя, км/ч;

$B$  - ширина захвата пылевой волны, м,

$G$  - норма расхода ядохимиката, кг/га.

#### 4.4.2. Расчет основных параметры опыливателей

Главный рабочий орган опыливателей - питатель, который одновременно служит дозатором. Различают питатели четырех видов: шнековые, плоскостерочные, дисковые и пневматические - скоростные [5,15].

Производительность шнекового питателя определяется по уравнению основанному на формуле В.П. Горячкина ( $\text{м}^3/\text{с}$ ):

$$q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{k_H s \omega}{60} \cong 0,13 d^2 k_H s \omega, \quad (193)$$

где  $d$  - диаметр витка шнека, м;  
 $k_H$  - коэффициент наполнения;  
 $s$  - шаг витка, м;  
 $\omega$  - угловая скорость ленточного шнека, рад/с (4,5 - 6,0).

Производительность плоскостерочного питателя, применяемого для ручных опыливателей,  $\text{дм}^3/\text{с}$ :

$$q = \frac{F V_0 K_H n_D}{10}, \quad (194)$$

где  $F$  - площадь одного дозирочного окна,  $\text{дм}^2$ ;  
 $V_0$  - начальная скорость падения препарата, м/с;  
 $K_H$  - коэффициент наполнения (для порошков 0,7 - 0,8);  
 $n_D$  - количество дозирочных окон.

*Пропускная способность пневматических скоростных питателей*, устанавливаемых на тракторных и автомобильных опыливателях, вычисляется по формуле ( ).

*Производительность дисковых питателей* ( $\text{дм}^3/\text{с}$ ), которыми оборудуются конные и некоторые тракторные опыливатели, определяют по формуле:

$$q = 10 k_H f V F_0, \quad (195)$$

где  $F_0$  - площадь кольцевого просвета между плоскостью диска и нижним обрезом дозирочной манжеты (муфты),  $\text{дм}^2$ ;  
 $V$  - окружная скорость диска, м/с,  
 $k_H$  - коэффициент наполнения (0,7 - 0,8);

$f$  - коэффициент трения массы препарата о плоскости диска.

*Суммарный расход распыливающего механизма - штанги опыливателя:*

$$q = V \frac{\pi \left( \frac{D+d}{2} \right)^2}{4} = V (F_1 + F_2 + \dots + F_n), \quad (196)$$

где  $D$  - диаметр штанги (трубы) в середине (на входе);  
 $d$  - диаметр штанги в конце;

$F$  - площадь сечения распиливающих щелей.

Воздушная струя, выходящая из опыливателя, образует угол  $\pi/2$  с направлением его движения. При перемещении опыливателя по обрабатываемому участку траектория струи принимает криволинейную форму.

*Степень опыляемости растений*, т. е. количество пылинок на  $1 \text{ мм}^2$  листа - критерий качества опыливания. Степень опыляемости  $\Delta$  есть функция угла атаки:

$$\Delta = \delta(1 + k \sin \alpha), \quad (197)$$

где  $\delta$  - степень опыляемости обратной стороны листьев, не зависящая от угла атаки;

$k$  - безразмерный коэффициент, определяемый концентрацией яда в воздухе;

$\alpha$  - угол атаки (угол между осью потока и плоскостью опыливаемого объекта).

*Абсолютная скорость воздушного потока* определяется из выражения:

$$V = \sqrt{V_{om}^2 + V_M^2 + 2V_{om} V_M \cos \beta}, \quad (198)$$

где  $V_{от}$  - относительная скорость воздушного потока;  
 $V_m$  - скорость машины;  
 $\beta$  - угол между  $V_{от}$  и  $V_m$ .

При скорости передвижения машин 1,1 м/с максимальная опыляемость наблюдается, когда  $\beta=75^\circ$ .

В нормальных условиях опыливания с боковым дутьем распыливающие наконечники должны быть отведены от куста на расстояние

$$L = \frac{h}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (199)$$

где  $h$  - высота куста;  
 $\alpha$  - угол расширения конуса распыла в вертикальной плоскости.

Расстояние  $L$  ограничивается противоположным (с другой стороны междурядий) рядом кустов до величины

$$L \leq m - \frac{c}{2}, \quad (200)$$

где  $m$  - ширина междурядий;  
 $c$  - ширина куста.

Угол  $\beta$  наклона к горизонту распыливающих наконечников зависит от условий работы.

Дальность струи при работе опыливателей зависит от внешних факторов. Поэтому если увеличивается диаметр сопла, то необходимо повысить давление в трубопроводе, чтобы сохранить дальноточность машины.

## 4.5. Расчет параметров протравливателей

*Производительность перемешивающего шнека - основного рабочего органа протравливателя (т/ч) - находят по уравнению:*

$$q = 3600 F_M V_{\Pi} \gamma, \quad (201)$$

где  $F_M = \frac{\pi d^2}{4} k_H V$  - площадь поперечного сечения слоя перемещаемого материала, м<sup>2</sup>;

$d$  - диаметр шнека, м;

$k_H$  - коэффициент заполнения желоба шнека;

$V$  - коэффициент, учитывающий снижение производительности шнека вследствие его наклона к горизонту;

$V_{\Pi}$  - скорость продольного перемещения материала, м/с;

$\gamma$  - объемная масса материала, кг/м<sup>3</sup>.

*Скорость продольного перемещения материала вычисляют по формуле:*

$$V_{\Pi} = \frac{sn}{60}, \quad (202)$$

где  $s$  - шаг витка шнека, м;

$n$  - частота вращения, об/мин.

Средняя скорость движения зерна пшеницы от 0,017 до 0,027 м/с.

При проверке расхода яда протравливателями сначала определяется опытным путем расхода семян при наибольшей их подаче, затем, - также из опыта, - подача ядохимиката. Оба показателя приводятся в соответствие. Отклонение в расходе яда не должно превы-

шать 10% от показателей шкалы регулятора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абликов В.А., Дремов Г.Г., Северин Ю.Д., Методические указания, Краснодар, КГАУ, 1989.
2. Босой Е.С. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин. М.: Машиностроение, 1977.
3. Горячкин В.П. Собрание сочинений. Том 2., М.: Колос, 1965.
4. Григорьев С.М. Сельскохозяйственные машины, практикум. М. - Л., Сельхозгиз, 1957.
5. Иванов И.С. и др. Сельскохозяйственные машины. М.: Машиностроение, 1970.
6. Кленин Н.И., Попов И.Ф., Сакун В.А., Сельскохозяйственные машины. М.: Колос, 1970.
7. Кленин Н.И., Сакун В.А., Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос, 1980.
8. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос, 1994г.
9. Карпенко А.Н., Халанский В.М., Сельскохозяйственные машины. М.: Колос, 1983.
10. Ю. Камаритов В.Е., Дунай Н.Ф. Сельскохозяйственные машины. М.: Колос, 1984.
11. Киртбая Ю.К. Механизация сельского хозяйства. М.: Колос, 1974.
12. Красниченко А.В. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин., (I и II том). М.: Машиностроение, 1961.
13. Кленин Н.И. и др. Практикум по сельскохозяйственным машинам и орудиям. М.: 1963.
14. Комаристов В.Е., Одинцов Л.А. Практикум по сельскохозяйственным машинам. М.: Колос, 1978.
15. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос, 1976.



16. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. М.: Сельхозгиз, 1955 г.
17. Любимов А.И. и др. Практикум по сельскохозяйственным машинам. М.: Колос, 1971.
18. Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Шебалкин А.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Агропромиздат, 1986 г.
19. Морозов И.В. Основы теории сельскохозяйственных машин., М.: ВСХИЗО, 1993.
20. Петрусов А.И., Комаристов В.Е. Машины для посева, посадки и внесения удобрений. Харьков, 1961.
21. Сабликов М.В. Сельскохозяйственные машины, часть первая. М.: Колос, 1968.
22. Сабликов М.В. Сельскохозяйственные машины, ч. II. М.: Колос, 1968.
23. Сабликов М.В. и др. Механизация сельского хозяйства. М.: Колос, 1980.
24. Саакян С.С. Сельскохозяйственные машины. М. 1962.
25. Семенов А.Н. Зерновые сеялки, Киев, Машгиз, 1959.
26. Турбин Б.Г. Сельскохозяйственные машины (Теория и технологический расчет). Л.: Машиностроение, 1967 г.
27. Трубилин Е.И. Технология и правила производства механизированных полевых работ. Краснодар: КубГАУ, 1996.
28. Чубарин М.И. Рассадопосадочные машины. - М.: Машиностроение, 1972.