

Предисловие

Научно-технический прогресс в сельском хозяйстве — неотъемлемый и важный фактор дальнейшего наращивания объемов производства продовольствия и повышения его качества.

Приоритетными направлениями научно-технического прогресса в области механизации сельского хозяйства являются:

- совершенствование технологических процессов с использованием эффективной техники;

- повышение производительности, снижение затрат и энергоемкости;

- освоение природоохранных систем земледелия, интенсивных и энергосберегающих технологий;

- переход на интегрированные системы защиты растений;

- внедрение прогрессивных технологий уборки.

Для обеспечения устойчивого продовольственного снабжения населения и устойчивого развития АПК в условиях совершенствования производственных отношений и экономических реформ крайне необходимо ускорение использования достижений научно-технического прогресса.

Современная система машин для механизации работ в растениеводстве должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- последовательно механизировать все операции технологического процесса производства от обработки почвы до закладки на хранение готового продукта определенного качества;

- каждая машина в системе машин должна выполнять свою операцию таким образом, чтобы обеспечить успешную работу последующей машины;

- выполняемые отдельными машинами технологические операции должны рассматриваться как звенья единой цепи процесса производства;

- входящие в систему машины должны обеспечивать высокое качество выполнения операций технологического процесса в соответствии с современным уровнем развития агрономической науки;

- входящие в систему машины должны быть взаимно согласованы с энергетическими средствами и представлять собой единый сельскохозяйственный агрегат.

Систему машин разрабатывают с учетом природно-климатических условий функционирования сельскохозяйственной техники, постоянно

совершенствуют, дополняют и изменяют на основе достижений науки и техники. Она включает большое количество наименований сельскохозяйственной техники. Так, система машин для возделывания только зерновых колосовых культур включает более 200 наименований.

В других странах необходимость создания новой машины или совершенствования ее параметров определяется службой маркетинга. При этом на основании запросов практиков формулируются основные требования к параметрам будущей машины. После изготовления опытной партии и проведения испытаний параметры машины могут уточняться и совершенствоваться, после чего оформляется техническая документация и организуется производство машин.

Большое разнообразие фирм и компаний, возделываемых культур и условий работы вызывает необходимость применения значительного количества различных типов сельскохозяйственных машин и орудий.

При изложении материала использованы результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных в области механизации сельского хозяйства в различных странах. Основополагающими материалами являются труды академика В. П. Горячкина и его многочисленных последователей, а в учебно-методическом плане – учебники проф. М. Н. Летошнева, проф. Н. И. Кленина и проф. В. А. Сакуна, другая учебная, научная и справочная литература.

Основная особенность данной книги – выделение в качестве приоритета технологических основ и их применение для расчета сельскохозяйственных машин. Согласно классическому толкованию «задача технологии как науки – выявление физических, химических, механических и других закономерностей с целью определения и использования на практике наиболее эффективных и экономичных производственных процессов.

Именно технологические основы постоянно учитывались акад. В. П. Горячкиным при рассмотрении различных сельскохозяйственных машин и орудий. Правильный выбор и учет технологических основ позволяет обоснованно и правильно определять основные параметры сельскохозяйственных машин и вести их дальнейшее проектирование. Это направление было многосторонне развито белорусской школой, в частности академиком М. Е. Мацелуро и его учениками в трудах «Земледельческая механика».

Глава 1

СВОЙСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ КАК ОБЪЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Работа сельскохозяйственных машин и орудий имеет определенную специфику, во многом связанную с особенностями обрабатываемых материалов. К ним относятся почва, удобрения, семена, пестициды, растительные материалы. При анализе технологических процессов работы машин, проектировании конструктивных схем и рабочих органов, расчетах их параметров в обязательном порядке необходимо учитывать физико-механические свойства обрабатываемых сред или объектов переработки. Это позволяет снизить энергетические затраты на выполнение работы, повысить качественные показатели процессов, сохранить необходимые биологические характеристики растений, семян. Главную роль во всей системе возделывания сельскохозяйственных культур играет почва как источник плодородия и благосостояния общества.

1.1. ПОЧВА КАК ОБЪЕКТ ОБРАБОТКИ

Почва – плодородный и пригодный для произрастания культурных растений поверхностный слой земной коры. Она представляет собой трехфазную дисперсную среду, состоящую из твердой, жидкой и газообразной фаз.

Твердая фаза почвы – это «скелет», содержащий каменистые включения (частицы более 1 мм) и мелкозем (частицы до 1 мм). *Жидкой фазой* почвы является вода, которая находится в свободном или связанном состоянии. *Газообразной* – воздух. Все фазы почвы пе-

ремешаны более или менее равномерно, поэтому она называется дисперсной.

Применительно к обработке почвы различают физические и технологические свойства.

К *физическим свойствам* почв относятся: механический состав; влажность; скважность; плотность; структура; каменность.

Свойства почвы, которые проявляются в процессе ее обработки, называются *технологическими*. К таким свойствам относятся: твердость; коэффициенты внешнего и внутреннего трения; удельное сопротивление рабочим органам; абразивные свойства; липкость.

В агрономической практике дополнительно учитываются содержание в почве органического вещества (гумуса), физическая и биологическая спелость (как показатели пригодности к обработке и соответствия требованиям растений) и другие показатели. В соответствии с почвообразующими факторами почвы разделяют на типы. В Беларуси преобладают дерново-подзолистые почвы (61...69 %), дерново-подзолистые и глеевые (28 %) и торфяно-болотные (10 %). При этом около 22 % площади пахотных земель засорено камнями.

1.2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

Механический состав твердой фазы почв является ее важной характеристикой. Размеры частиц твердой фазы почвы бывают от молекулярных величин до грубых дисперсий – песка и камней. В зависимости от размеров твердые частицы почвы подразделяются на:

- а) каменные включения (частицы >1 мм);
- б) песок (частицы 1...0,05 мм);
- в) пыль (частицы 0,05...0,001 м);
- г) ил (менее 0,001 мм).

При определении типа почвы по механическому составу по классификации Н. А. Качинского анализируется только мелкозем, который делится на две фракции (табл. 1.1):

- а) физический песок (частицы >0,01 мм);
- б) физическая глина (частицы <0,01 мм).

Таблица 1.1. Классификация почв подзолистого типа по Н. А. Качинскому (основная шкала)

Содержание физической глины (частиц $\varnothing < 0,01$ мм), %	Содержание физического песка (частиц $\varnothing > 0,01$ мм), %	Название почвы по механическому составу
0...5	100...95	Песок рыхлый (включая гравий)
5...10	95...90	Песок связный
10...20	90...80	Супесь
20...30	80...70	Суглинок легкий
30...40	70...60	Суглинок средний
40...50	60...50	Суглинок тяжелый
50...65	50...35	Глина легкая
65...80	35...20	Глина средняя
80	20	Глина тяжелая

По количеству входящей в почву физической глины различают:

- а) глинистые почвы (более 50 % физической глины);
- б) суглинистые почвы (50...20 % физической глины);
- в) супесчаные почвы (20...10 % физической глины);
- г) песчаные почвы (менее 10 % физической глины).

Чем больше в почве содержится физической глины, тем она труднее поддается обработке.

По классификации международного общества почвоведов выделяют следующие фракции: песок – 2...0,02 мм, пыль – 0,02...0,002 мм и ил – менее 0,002 мм. При этом песок подразделяется на крупно- (2...0,2 мм) и мелкозернистый (0,2...0,02 мм).

Соотношение данных компонентов определяет тип почвы и ее свойства. С помощью треугольника Фере (рис. 1.1) определяют разновидность почвы по процентному содержанию песка, пыли и ила. Когда точка, представляющая содержание песка, пыли и ила в почве попадает на линию между двумя названиями почв по механическому составу, то используют название более мелкой фракции. Например, почва, содержащая 40 % ила, 30 % пыли и 30 % песка (точка А), называется глиной, а не иловатым суглинком.

Влажность почвы считается оптимальной, если вода заполняет 3/4 имеющихся в ней капиллярных скважин.

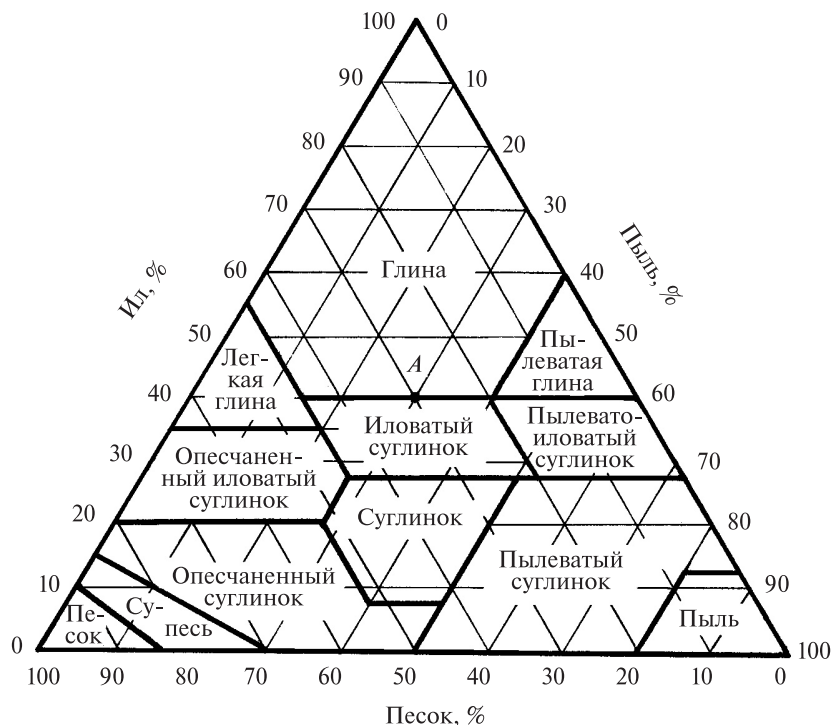


Рис. 1.1. Классификация почв по гранулометрическому составу

О количестве воды в почве судят по величине абсолютной влажности $W_{\text{абс}}$, которую вычисляют по формуле

$$W_{\text{абс}} = \frac{m_{\text{в}} - m_{\text{с}}}{m_{\text{с}}} \cdot 100 \%, \quad (1.1)$$

где $m_{\text{в}}$, $m_{\text{с}}$ – масса соответственно влажной и абсолютно сухой почвы, г.

Оптимальная абсолютная влажность для обработки суглинистых почв составляет 15...22 %, черноземных – 17...30, песчаных – 12 %.

Относительная влажность почвы $W_{\text{отн}}$ равна отношению абсолютной влажности $W_{\text{абс}}$ к полевой влагоемкости $W_{\text{п}}$:

$$W_{\text{отн}} = \frac{W_{\text{абс}}}{W_{\text{п}}} \cdot 100 \%. \quad (1.2)$$

Полевой влагоемкостью $W_{\text{п}}$ почвы называют количество воды, которое способна удержать в себе обильно смоченная почва после стекания гравитационной влаги. Полевая влагоемкость суглинистых и глинистых почв в зависимости от содержания перегноя находится в пределах 30...50 %, песчаной почвы – 5...20, торфяной почвы – 100 % и более.

Оптимальная относительная влажность составляет 60...70 %, удовлетворительная – 50...60 %, избыточная – свыше 80 %. Обработка супесчаных и песчаных почв допускается при относительной влажности 100 %.

Влажность почвы обычно определяют способом высушивания навески при температуре 105...110 °С.

Скважность (пористость) – это объем пустот в почве, заполненный воздухом и водой.

Общую скважность почвы P определяют из выражения

$$P = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{о}}} \cdot 100 \%, \quad (1.3)$$

где $V_{\text{п}}$ – объем пустот почвы в объеме $V_{\text{о}}$ исследуемого образца, см³.

Так как $V_{\text{о}} = V_{\text{п}} + V_{\text{т}}$, или $V_{\text{п}} = V_{\text{о}} - V_{\text{т}}$, где $V_{\text{т}}$ – объем твердых частиц почвы, получим

$$P = \frac{V_{\text{о}} - V_{\text{т}}}{V_{\text{о}}} \cdot 100 \%. \quad (1.4)$$

Учитывая, что $V_{\text{о}} = m/\gamma$, а $V_{\text{т}} = m/\delta$, где m и γ – соответственно масса (г) и объемная масса (г/см³) образца, δ – плотность (г/см³) твердых частиц, общую скважность почвы определим, как

$$P = \frac{V_{\text{о}} - V_{\text{т}}}{V_{\text{о}}} \cdot 100 = \frac{m/\gamma - m/\delta}{m/\gamma} \cdot 100 = \frac{\gamma - \delta}{\gamma} \cdot 100 \%. \quad (1.5)$$

Чем меньше диаметр твердых частиц, образующих почву, тем больше ее скважность.

Плотность почвы оценивается по плотности твердой фазы почвы δ , г/см³, и действительной объемной массе $\gamma_{\text{д}}$, г/см³.

Плотность твердой фазы почвы (минерал + перегной) составляет 2,4...2,7 г/см³. Она зависит от количества перегноя, плотность которого составляет 1,2...1,4 г/см³. Проблема плотности почвы и ее

уплотнение при выполнении машинных операций рассматривалась и решалась в трудах профессоров В. В. Кацыгина, А. М. Кононова, А. Т. Вагина.

Объемная масса γ почвы представляет собой отношение массы абсолютно сухой почвы m_c с ненарушенным сложением (включая поры) к ее объему V_o :

$$\gamma = \frac{m_c}{V_o}. \quad (1.6)$$

Действительная объемная масса почвы рассчитывается по формуле

$$\gamma_d = \frac{m_b}{V_o}, \quad (1.7)$$

где m_b – масса пробы почвы с имеющейся в ней влагой, г; V_o – объем пробы почвы с ненарушенной структурой, см³.

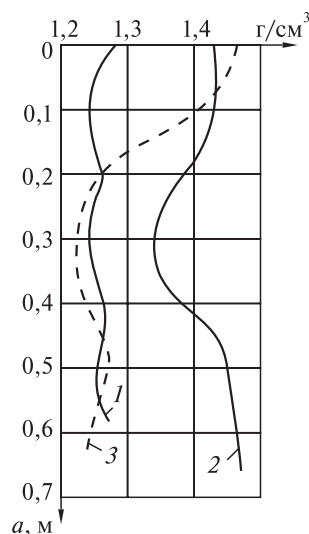


Рис. 1.2. Распределение объемной массы γ почвы по глубине a : 1 – благоприятное; 2 – необходимость рыхления в пахотном и подпахотном горизонтах; 3 – необходимость рыхления верхнего (0...20 см) слоя

Действительная объемная масса γ_d одного и того же образца почвы больше его объемной массы γ . Объемная масса почвы изменяется в зависимости от глубины расположения слоя (рис. 1.2) и должна учитываться при определении рациональной глубины обработки почвы.

При обработке почвы важное значение имеют ее структура и коэффициент структурности. В результате почвообразования за счет слияния гумуса (органического вещества почвы) с минеральными частицами создаются почвенные агрегаты различного размера. Структурные образования (почвенные агре-

гаты) размером до 0,25 мм принято считать микроагрегатами почвы, а более крупные (больше 0,25 мм) – макроагрегатами. Агротомическая наука считает, что при механической обработке почвы нельзя допускать ее разрушения до частиц меньше 0,25 мм, так как это приводит к обесструктуриванию почвы. Агрегаты размером до 1 мм являются эрозионно опасными.

Для оценки качества обработки почвы служит коэффициент структурности почвы K , определяемый по формуле

$$K = \frac{m_1}{m_2}, \quad (1.8)$$

где m_1, m_2 – масса агрегатов почвы размером 0,25...7 мм и остальной части почвы, г, соответственно.

В зависимости от наличия в почве камней определяют ее *каменность*. Камнями в почвоведении называют первичные частицы размером более 1 мм. Почвы по данному признаку делятся на:

- а) некаменистые (менее 0,5 % камней);
- б) слабокаменистые (0,5...5 % камней);
- в) среднекаменистые (5...10 % камней);
- г) сильнокаменистые (более 10 % камней).

Обработка каменистых почв затруднена и в ряде случаев требует применения специальных орудий.

1.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Технологические свойства почвы проявляются в процессе их обработки.

Твердость почвы – это способность почвы сопротивляться внедрению в нее какого-либо тела в виде конуса, цилиндра или шара.

Твердость – показатель механических свойств почвы. Наблюдается связь между твердостью и тяговым сопротивлением при работе почвообрабатывающих машин. Для измерения твердости почвы применяются специальные приборы – твердомеры (рис. 1.3). Форма и площадь F наконечников стандартизованы. Для замера твердости почв применяются наконечники конической формы с $F = 1 \text{ см}^2$ и углом при вершине $2\alpha = 22^\circ$ и для рыхлых почв с $F = 2 \text{ см}^2$

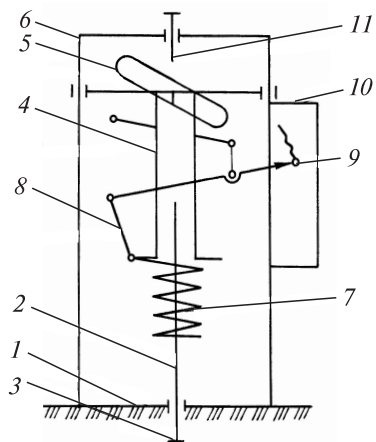


Рис. 1.3. Схема твердомера Ревякина:

1 – основание; 2 – шток; 3 – наконечник; 4 – штанга; 5 – рукоятка; 6 – направляющая штанга; 7 – пружина; 8 – рычаги самописца; 9 – держатель; 10 – планка; 11 – крепежный винт

Для записи диаграммы изменения твердости на записывающем устройстве закрепляют бумагу и карандаш, основание прибора опускают на почву, вывинчивают винт 11, чем приводят рукоятку 5 телескопической штанги в рабочее положение. При надавливании на рукоятку 5 наконечник 3 прибора внедряется в почву, сминая и уплотняя ее, а записывающее устройство вычерчивает на бумаге диаграмму (рис. 1.4). В направлении оси X (вдоль штока) записывается глубина погружения наконечника, а на оси Y – величина деформации пружины. Среднюю твердость P почвы (в ньютонах на сантиметр квадратный) по данным полученной диаграммы вычисляют по формуле

$$P = \frac{R}{F} = 10^4 \frac{R}{F}, \quad (1.9)$$

где R – среднее сопротивление почвы вдавлению наконечника, Н; F – площадь поперечного сечения наконечника, см².

и $2\alpha = 30^\circ$. Международный стандарт ASAE предлагает использование конических наконечников с углом $2\alpha = 30^\circ$ и диаметром 12,83 или 20,27 мм.

Применяемый для определения твердости почвы твердомер Ревякина (см. рис. 1.3) включает устанавливаемое на почву основание 1, через отверстие в котором проходит шток 2 с наконечником 3. На верхний конец штока свободно надета телескопическая штанга 4 с двумя нажимными рукоятками 5, которая при вдавлении наконечника 3 в почву скользит по направляющим штангам 6. Штанга 4 связана со штоком 2 наконечника 3 через пружину 7. К пружине 7 прикреплено записывающее устройство, включающее систему рычагов 8, держатель 9 карандаша и планку 10 для крепления бумаги.

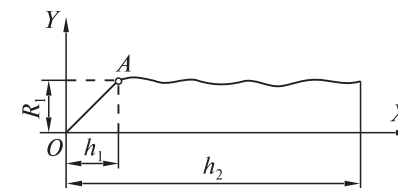


Рис. 1.4. Диаграмма твердости почвы

Сопротивление почвы R (в ньютонах) измеряется по сжатию пружины

$$R = \Delta Y_{cp}, \quad (1.10)$$

где Δ – жесткость пружины твердомера, Н/мм; Y_{cp} – средняя ордината диаграммы (сжатие пружины), мм.

На диаграмме (см. рис. 1.4) можно выделить два участка: участок h_1 , на котором сопротивление смятию возрастает по закону прямой, и участок $(h_2 - h_1)$, где почва продолжает деформироваться без дальнейшего возрастания сопротивления (почва «течет» подобно металлу под нагрузкой после превышения предела прочности). Так как при воздействии наконечника на почву сминаемая площадь остается неизменной, а возрастает лишь глубина вдавливания и вместе с ней усилие вдавливания, то можно принять, что сила R_1 сопротивления почвы смятию (до начала течения) пропорциональна объему V вытесненной при смятии почвы, т. е.

$$R_1 = qV, \quad (1.11)$$

где R_1 – значение усилия в конце смятия, Н; q – коэффициент пропорциональности, или коэффициент объемного смятия почвы, Н/см³.

Коэффициент q показывает, насколько возрастает сопротивление почвы смятию при увеличении вытесняемого объема на 1 см³. Силу R_1 определяют из диаграммы. Объем V (в сантиметрах кубических) вытесненной при смятии почвы рассчитывают по площади F наконечника и глубине h_1 его погружения

$$V = Fh_1. \quad (1.12)$$

Тогда

$$q = R_1/V. \quad (1.13)$$

Для свежеспаханной почвы q составляет 1...2 Н/см³, для лугов – до 5...10 Н/см³.

Работу A_1 , которая совершается при смятии почвы в пределах прямой пропорциональности (в джоулях), определяют как площадь треугольника:

$$A_1 = \frac{1}{2} R_1 h_1. \quad (1.14)$$

Формула определения работы A_2 в пределах текучести почвы имеет вид:

$$A_2 = R_2 (h_2 - h_1), \quad (1.15)$$

где R_2 – среднее усилие на деформацию в пределах текучести, Н; $(h_2 - h_1)$ – деформация почвы в пределах текучести, м.

Характерной особенностью почвы является неодинаковое ее сопротивление различным видам нагрузки. Для суглинистых почв при деформации пределы прочности на растяжение составляют 5...6 кПа, на сдвиг – 10...12 кПа и на сжатие – 65...108 кПа. Рыхления почвы с минимальным расходом энергии можно добиться при использовании деформаций растяжения и сдвига. Наибольшие нагрузки почва выдерживает при напряжениях сжатия. Данные особенности почвы важно использовать в технологических целях при проектировании соответствующих рабочих органов.

Работа большинства почвообрабатывающих машин и орудий по воздействию на почву носит ударный характер, поэтому для определения сопротивления почвы динамической нагрузке проф. А. Н. Зелениным предложен специальный твердомер. Он представляет собой стержень с круглым наконечником площадью 1 см² (диаметр 11,4 мм), по которому с высоты 0,4 м на буртик падает груз массой 2,5 кг, производя за каждый удар работу в 10 Дж. Оценочным показателем является количество ударов, необходимое для погружения наконечника на глубину 10 см. Данный метод устраняет погрешность известных твердомеров, у которых получаемые диаграммы зависят от скорости приложения нагрузки.

Динамический твердомер усовершенствован и представляет собой конструкцию с упругими элементами (пружинами), через которые передается энергия на наконечник от падающего груза

(рис. 1.5). Этот метод позволяет моделировать динамику процесса технологического воздействия на почву с целью поиска рациональных режимов обработки и снижения энергозатрат на деформацию почвы.

Коэффициент внешнего трения почвы по поверхности рабочего органа определяется по формуле

$$f = \operatorname{tg} \varphi = F_{\text{тр}} / N, \quad (1.16)$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения, Н; N – сила нормального давления почвы на рабочую поверхность, Н; φ – угол трения, град.

Сила трения $F_{\text{тр}} = N \operatorname{tg} \varphi$ – пассивная сила (реакция в зоне трения), поэтому она не может быть больше fN , но может быть как угодно мала.

Исследованиями установлено, что трение почвы о сталь – явление многофазное и для каждой фазы (рис. 1.6) появляются свои законы, которые зависят от количества влаги W , поступающей к трущимся поверхностям.

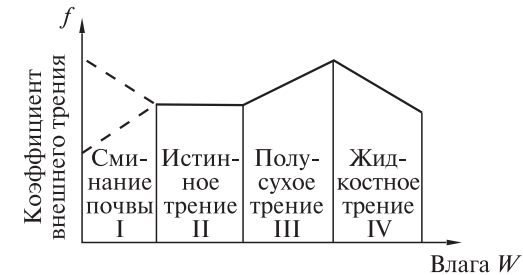


Рис. 1.6. Зависимость коэффициента трения по стали от влажности почвы: I...IV – фазы процесса

Фаза I – характеризуется тем, что почва сминается до тех пор, пока ее несущая способность не становится выше, чем предельное значение удельного давления N . Значение коэффициента трения f в этой фазе трудно определить.

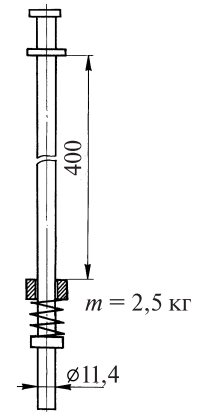


Рис. 1.5. Плотномер для моделирования динамики технологического воздействия на почву

Фаза II – фаза истинного трения, которая продолжается до тех пор, пока к трущимся поверхностям не подойдет влага, вытесненная из почвы. Коэффициент трения постоянный.

Фаза III – фаза полусухого трения. При некотором количестве влаги коэффициент трения становится максимальным, так как трение сопровождается прилипанием. Коэффициент трения растет.

Фаза IV – фаза жидкостного трения. В данной фазе наблюдается выделение влаги, которая выполняет роль смазки, и коэффициент трения уменьшается. Поступление почвенной влаги при этом зависит не только от состояния почвы, но и от удельного давления и скорости перемещения рабочего органа.

Изменение коэффициента трения в зависимости от содержания физической глины можно представить графиком (рис. 1.7). С повышением содержания глинистых частиц коэффициент трения возрастает.

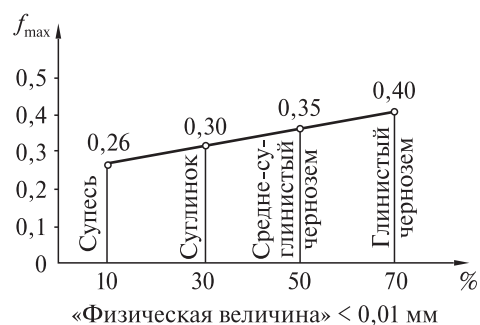


Рис. 1.7. Зависимость коэффициента трения почвы о сталь от содержания глинистых частиц

Для каждого типа почвы всегда имеется абсолютная влажность W_{abs} , при которой коэффициент трения имеет максимальное значение. Коэффициент трения для различных почв колеблется от 0,3 до 1,1 (табл. 1.2). Коэффициент трения для чисто шлифованной стали ниже, чем для грубо обработанной. Наиболее низкий коэффициент трения имеют полимеры фторопласт и тефлон. Для снижения коэффициента трения применяются вибрация рабочих органов, гидросмазка, воздушная смазка, полимерные покрытия. Тяговое сопротивление орудий при этом уменьшается.

Таблица 1.2. Коэффициент трения скольжения стали по почве (удельное давление $p = 3...8 \text{ Н/см}^2$)

Почва	Влажность почвы, %		Коэффициент трения скольжения f
	абсолютная	относительная	
Дерново-подзолистая, легкосуглинистая	2...15	7...55	0,4...0,5
Дерново-подзолистая, среднесуглинистая	3...20	11...77	0,4...0,8
Лесостепная темно-серая, тяжелосуглинистая	20...23	–	0,5...0,8
Чернозем оподзоленный, тяжелосуглинистый	4...37	13...108	0,6...1,0
Чернозем выщелоченный, глинистый	23	–	0,7
Чернозем тяжелосуглинистый	7...16	21...47	0,4...0,7
Чернозем среднесуглинистый	6...27	19...88	0,5...0,8
Чернозем обыкновенный глинистый	10...30	24...72	0,7...1,1
Чернозем южный, глинистый	5...30	–	0,3...0,6

В качестве показателя *удельного сопротивления почв при пахоте* для классификации почв по трудности обработки принято удельное сопротивление K (в паскалях) почвы при вспашке, определяемое по формуле

$$K = \frac{P}{abn}, \quad (1.17)$$

где P – общее сопротивление плуга, замеренное при динамометрировании, Н; a – глубина пахоты, м; b – ширина захвата корпуса, м; n – количество корпусов плуга, шт.

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

Почвы с удельным сопротивлением до 20...35 кПа – легкие, 35...55 кПа – средние, 55...80 кПа – тяжелые и 80...130 кПа – весьма тяжелые. Удельное сопротивление почвы связано с содержанием физической глины (частиц до 0,01 мм).

Зависимость удельного сопротивления дерново-подзолистой почвы от влажности показывает (рис. 1.8), что при низкой влажности удельное сопротивление принимает наивысшее значение до 60 кПа. Пахать пересохшую почву весьма затруднительно, и вспашка сопровождается образованием больших глыб. Минимум удельного сопротивления 42 кПа наблюдается при средней влажности

(17...18 %), после чего дальнейшее нарастание влажности ведет к увеличению удельного сопротивления из-за прилипания почвы. При выполнении вспашки на разных почвах требуются различные тяговые усилия. Большое значение имеет предшественик, которым было занято поле перед вспашкой. Вспашка залежи дает удельное сопротивление почти в 1,5 раза выше, чем мягкая пашня.

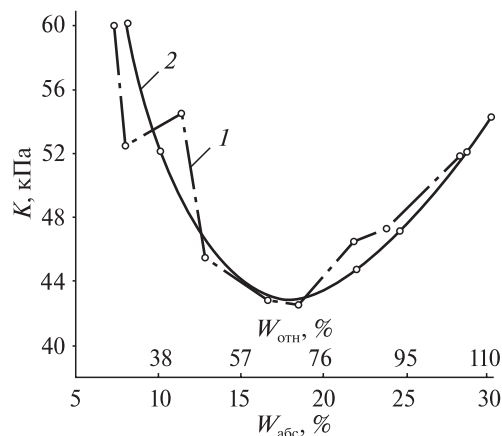


Рис. 1.8. Зависимость удельного сопротивления почвы от влажности (дерново-подзолистая почва, данные П. У. Бахтина):
1 — экспериментальная кривая; 2 — расчет

Абразивные свойства — это свойства почвы, способствующие износу поверхностного слоя металла рабочих органов движущимися почвенными частицами. Наибольшую твердость имеет кварц — основа песчаных почв, который вызывает повышенный износ рабочих органов. С увеличением влажности износ увеличивается, а у глинистых почв наоборот.

Липкость почвы (удельная сила адгезии) — способность частиц почвы склеиваться и прилипать к различным поверхностям. Липкость характеризуется удельным усилием, необходимым для отрыва соприкасающейся с почвой поверхности. Липкость почвы зависит от влажности, дисперсности, свойств материала рабочего органа, чистоты его поверхности и удельного давления. Глинистые почвы наиболее липкие. Фторопласт обладает минимальной липкостью.

Агрофизические методы исследования почв выделяются почвоведомы в качестве специфической сферы научного изучения.

1.4. СВОЙСТВА УДОБРЕНИЙ И ПЕСТИЦИДОВ

Физико-механические свойства удобрений — физические, размерные, весовые, фрикционные, прочностные и аэродинамические — изменяются в широких пределах и в большинстве случаев взаимосвязаны. К наиболее важным физико-механическим свойствам всех видов твердых удобрений, оказывающих влияние на работу машин, относятся влажность, гигроскопичность, объемная масса, гранулометрический состав, угол естественного откоса, сыпучесть, слеживаемость, способность к сводообразованию и обрушению, вязкость, липкость, рассеиваемость, сопротивление сдвигу, угол внешнего трения, парусность.

Существуют соответствующие стандарты на показатели удобрений и специальные методики их определения. Одним из основных показателей является влажность, от которой в значительной степени зависят физико-механические свойства. Стандартная влажность минеральных удобрений составляет 1,4...8,8 % и зависит от их вида и формы. Стандартная влажность органических удобрений — 53...54 %, а полужидкого и жидкого навоза — 80...90 %.

Свойства удобрений должны учитываться при проектировании машин и соответствующих рабочих органов (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Основные показатели физико-механических свойств некоторых минеральных удобрений при оптимальной влажности

Удобрения	Оптимальная влажность, %	Типичный размер частиц, мм	Плотность, г/см ³	Минимальная объемная масса, г/см ³
Аммиачная селитра:				
гранулированная	1...2	2...3	1,66...1,72	0,87...0,89
кристаллическая	1...2	1...2	1,66...1,72	0,80...0,82
Карбамид	1...2	0,5...1	1,33...1,34	0,61...0,63
Сильвинит	4,6...5,6	2...5	1,89...1,99	1,12...1,13
Калийная соль	3...4	0,5...3	1,89...1,99	0,89...0,90
Калия хлорид	4,5...5,5	0,5...1	1,81...1,92	0,72...0,74
Суперфосфат:				
гранулированный	4...5	2...3	2,51...2,55	1,02...1,03
двойной гранулированный	3	2...3	2,52	1,1
порошкообразный	14...16	0,25...0,5	2,51...2,55	0,88...0,91
Фосфоритная мука	1...2	0,25...0,5	2,93...2,96	1,36...1,40
Нитрофоска	2...3	3...5	2,0	0,96...0,98

Рассмотрим наиболее важные свойства минеральных удобрений.

Гигроскопичность — способность поглощать влагу из воздуха. По гигроскопичности удобрения можно разделить на три группы: сильногигроскопичные (нитрофоска, аммиачная селитра), среднегигроскопичные (сильвинит, калийная соль) и слабогигроскопичные (суперфосфат).

Сыпучесть удобрений характеризуется возможностью проходить через отверстия. С увеличением влажности сыпучесть удобрений снижается и повышается склонность к сводообразованию.

Слеживаемость — способность удобрений образовывать сплошную массу в процессе хранения. Сильно слеживающиеся удобрения выпускаются в гранулированном виде или с добавками.

Рассеиваемость — способность удобрений к рассеву, т. е. прохождению через высеивающие аппараты и воронки, не образуя сводов, и распределяться по ширине захвата. Лучшими для рассеивания свойствами обладают удобрения, имеющие частицы размером 1...5 мм.

Липкость — склонность удобрений при соприкосновении со стенками бункеров и туковых ящиков, валами, разбрасывающими рабочими органами, мешалками и т. п. налипать на поверхности, что нарушает технологический процесс машин. Способность к налипанию зависит от вида удобрения, его влажности и свойств поверхностей, с которыми контактирует удобрение.

Основными свойствами органических удобрений, влияющими на работу машин, являются коэффициент трения скольжения, липкость, сопротивление сдвигу и разрыву.

Коэффициент трения органических удобрений весьма высок. Для навоза он составляет 0,85...1,0.

Сопротивление сдвигу и разрыву органических удобрений возрастает с увеличением в них количества соломистых материалов.

Определенные особенности имеют жидкие формы минеральных удобрений — карбамид-аммиачная смесь (КАС) и жидкие комплексные удобрения (ЖКУ).

Растворы КАС выпускаются различных марок — КАС-28, КАС-30, КАС-32. Цифры в марке показывают процентное содержание азота.

Плотность КАС различных марок — 1,28...1,31 г/см³, что в среднем на 7 % ниже плотности ЖКУ 10-34-0, равной 1,4±0,03 г/см³

(цифры в марке ЖКУ показывают процентное содержание соответственно азота, фосфора и калия). При температурах минус 18...26 °С в КАС образуются кристаллы или происходит замерзание жидкости. После оттаивания растворы полностью восстанавливают свои физико-химические свойства.

ЖКУ содержат азот (8...12 %), фосфор (24...40 %) и не содержат свободного аммиака, поэтому их можно вносить по поверхности поля.

При внесении КАС нельзя применять фильтры из цветных металлов и рукава из пластинчатой резины (марки МБС), поскольку они разрушаются под действием активных веществ удобрений.

ЖКУ и КАС слабо корродируют черные металлы, что для их перевозки и внесения позволяет использовать автомобильные и тракторные заправщики, подкормщики для жидких удобрений и переоборудованные опрыскиватели. По сварным швам и в зоне термического влияния коррозия не усиливается. В качестве замедлителя (ингибитора) коррозии в растворы КАС добавляют фосфат аммония или ЖКУ 10-34-0 из расчета 0,2 % P₂O₅. В ЖКУ можно вводить микроэлементы, гербициды, инсектициды.

Растворы пестицидов в большинстве случаев по физико-механическим характеристикам незначительно отличаются от воды, однако некоторые рабочие растворы имеют специфические химические характеристики по кислотности, действию на пластмассы и металлы.

1.5. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В сельском хозяйстве возделывается значительное количество культур, различающихся по биологическим особенностям и физико-механическим характеристикам. Важнейшими из них являются размерные, прочностные параметры, характеристики трения, объемные показатели.

Для зерновых культур количественные и размерные показатели растений изменяются в значительных пределах (табл. 1.4). Средняя длина стеблей может составлять от 40 до 165 см. При технологических расчетах машин следует учитывать полные пределы изменения

размерных характеристик с целью обеспечения работоспособности при любых условиях работы и исключения потерь урожая. На энергетические показатели работы влияют прочность стеблей и работа на поперечный разрыв или перерезание стебля. Эти показатели также зависят от вида растений, состояния стебля и изменяются в значительных пределах. Весовое соотношение продуктов обмолота (отношение зерна к соломе с половой) составляет для различных культур:

- пшеницы – от 1:4 до 1:1;
- ржи – от 1:4 до 1:2;
- ячменя – от 1:1,2 до 1:0,6;
- овса – от 1:1,6 до 1:0,4.

Таблица 1.4. Количественные и размерные показатели растений

Культура и сорт	Количество стеблей на 1 м ²	Полная длина стеблей, см			Длина колоса (метелки, початка), см		
		минимальная	средняя	максимальная	минимальная	средняя	максимальная
Пшеница	300...800	45	70...110	130	4,5	5,0	6,0
Рожь	455...600	55	100...165	215	7,0	7,5	8,5
Ячмень	380...540	35	50...90	105	–	7,0	–
Овес	270...340	30	40...70	100	–	15,5	–
Кукуруза	80...120	50	100...300	700	4,0	20...24	50

Данные соотношения учитываются при проектировании молотильно-сепарирующих органов зерноуборочных машин. Иногда в расчетах учитывают весовые характеристики отдельных семян. Затраты работы на вымолот одного зерна изменяются в зависимости от культуры и сорта, а также от индивидуальных особенностей растений.

Специфические технологические особенности имеют лен, картофель, свекла. Они определяют конструкцию и процесс работы уборочных машин. Усилие на теребление стебля льна к моменту созревания составляет 4...21 Н, на разрыв стебля – 35...65 Н, поэтому теребление может быть вполне обеспечено без разрыва стеблей. При проектировании картофелеуборочных машин учитывают глубину залегания клубней (8...24 см), ширину расположения крайних клубней. Размерные характеристики клубней картофеля в основ-

ном укладываются в пределах 25...120 мм. При сжатии статической нагрузкой клубни выдерживают 300...900 Н, а комки почвы одинаковых размеров – 130...620 Н [11].

Физико-механические свойства трав учитываются при проектировании технологий заготовки кормов, выборе параметров и режимов работы соответствующей кормоуборочной техники. Жесткость стеблей влияет на качество кошения. При незначительной жесткости стеблей (2,7...5,9 Н/см²) возрастают потери урожая за счет несрезанных растений. Различные ботанические группы растений отличаются неравномерным распределением растительной массы по высоте травостоя. Для свежескошенной травы влажностью 55...83 % коэффициент трения по стали составляет 0,51...1,48. Сухое сено имеет коэффициент трения в пределах 0,13...0,16. В значительных пределах применяются и другие характеристики травянистых материалов. Для конкретных расчетов их показатели следует уточнять по справочным материалам или экспериментально.

Определенную специфику имеют овощные культуры (столовые корнеплоды, капуста, лук), плоды и фрукты, которые имеют повышенную чувствительность к повреждениям.

Важнейшими из них являются размерные характеристики, коэффициенты трения, удельные сопротивления деформациям и резанию.

Размеры, кривизна и объемная масса растительных материалов могут быть самые разнообразные. Некоторые размеры различных материалов приведены в табл. 1.5. Эти размеры необходимо учитывать при проектировании рабочих органов сельскохозяйственных машин, взаимодействующих с растительными материалами.

Таблица 1.5. Размеры различных видов растительных материалов

Вид растительного материала	Размеры, мм		
	Длина	Ширина	Толщина
Корень	2...5000	1...1000	1...1000
Стебель	10...3000	1...20	1...20
Ветка, побег, цветонос	10...5000	1...20	1...20
Листья	1...500	1...100	0,1...1
Цветок, почка	1...200	1...200	0,1...2
Плод, клубень, кочан	5...500	5...500	5...500
Колос	30...250	5...20	5...20

Окончание табл. 1.5

Вид растительного материала	Размеры, мм		
	Длина	Ширина	Толщина
Семенная коробочка	4...10	4...10	4...10
Зерно	2...10	1...5	1...5
Семя	0,5...5	0,5...4	0,2...2
Элемент цветка (лепесток, чашелистик, столбик, рыльце, пыльник и др.)	2...20	1...10	0,1...2
Сорное растение	2...5000	1...1000	1...1000

Размеры растительных материалов во многом зависят от их влажности. При снижении влажности эти размеры уменьшаются, причем у ряда материалов (сорняки, листочки) значительно.

По характеру размещения товарной части урожая растения делятся на три категории: надземные, наземные и подземные.

Товарная часть надземных растений в основном расположена над поверхностью почвы. К ним относится обширная группа растений, различающихся по многим признакам, но объединенных тем, что их товарная часть размещена на определенной высоте от поверхности почвы. Наземные растения стелются по почве, и урожай их размещен на ее поверхности (семейство тыквенных и др.). К подземным относятся корнеклубнеплоды.

Растения могут быть толсто- (грубо-), средне-, тонко-, эластично- и бесстебельные. Из этих растений грубо-, средне- и тонкостебельные легко выдерживают собственный вес и не полегают. Эластичностебельные не в состоянии выдерживать собственный вес и полегают (например, вика, горох) или же, цепляясь своими усиками за смежные опоры, передают им нагрузку (хмель, виноград). Бесстебельные растения в год посева не дают нормального стебля (например, капуста, салат, лук на перо).

Рассмотрим размерные и урожайные данные некоторых культур.

Полная длина стеблей пшеницы – 45...130 см, ржи – 55...215, ячменя – 35...105, овса – 30...100, кукурузы – 100...270, подсолнечника – 96...153, льна-долгунца – 40... 140 см.

Средняя масса 1000 растений в период уборки пшеницы – 1,65...2,51 кг, ржи – 2,16 кг. Средняя масса одного растения кукурузы – 0,35...0,55 кг, подсолнечника – 0,40...0,45, льна-долгунца – 0,0005...0,0025 кг.

Количество зерен (среднее) в колосе пшеницы 18...30 шт., ржи – 23...38 шт. Масса одного зерна пшеницы – 0,025...0,046 г, ржи – 0,013...0,034, ячменя – 0,036...0,046, овса – 0,026...0,034, кукурузы – 0,25...0,30, подсолнечника – 0,070...0,095 г.

Урожайность озимой пшеницы – 1,2...7 т/га, ржи – 1,1...8,5, ячменя – 1,1...7,5, овса – 1...5, кукурузы – 8...20, подсолнечника – 2,5...10, льна-долгунца – 0,4...1, льносоломки – 2,7...9, льноволокна – 0,6...2 т/га.

У картофеля урожайность клубней с 1 га составляет 5...50 т, глубина залегания клубней в почве равна 0...24 см, масса клубней одного куста – 0,05...2,15 кг.

У сахарной свеклы урожай корней составляет 20...70 т, длина корня находится в пределах 7...35 см, диаметр корня 3...17 см, масса корня равна 0,2... 1,8 кг. Высота надземной части свеклы составляет 10...40 см, моркови – 10...45, помидоров – 20...85, огурцов – 10...25 см. Масса корнеплода моркови равна 0,01...0,43 кг, плода зрелого помидора – 0,01...0,25 кг. Длина корнеплода моркови находится в пределах 4...30 см, толщина – 1...6 см, а у плода зрелого помидора – соответственно 3...6 и 2,5...8 см.

При определении объемной массы материала учитывается забираемый им в целом объем, включая и полую часть.

Значения объемной массы ряда растительных материалов представлены в табл. 1.6. В таблице указаны пределы изменения объемной массы. Конкретные значения ее зависят от сорта, культуры, условий произрастания, сроков уборки и многих других факторов.

Таблица 1.6. Значения объемной массы растительных материалов

Материал	Объемная масса, кг/м ³	Материал	Объемная масса, кг/м ³
Корень	500...800	Горох, вика, чечевица	650... 800
Стебель	60... 120	Семя льна, конопли	800...1150
Лист	180...300	Семенная коробочка	120... 180
Плод	400...1150	Цветок	250...440
Клубень, корень свеклы	570...770	Сено и солома: прессованные непрессованные	120...500
Пшеница, рожь, ячмень, рис, кукуруза	650...810		30...120
Овес	390... 500	Силос	50...190
Подсолнечник	400...420	Мука	450...660
Просо	660...850	Качан	400... 600

Объемная масса группы материалов – это отношение массы абсолютно сухой пробы группы материалов к занимаемому им объему. Объемная масса в разных местах группы материалов одинакова у однородных материалов и неодинакова у неоднородных.

Растительный материал может содержать влагу следующих видов: конституционную (химически связанную с его веществом); гигроскопическую (впитываемую из окружающего воздуха) и внешнюю (образующую водяную пленку на поверхности материала (молекулярная влага) или заполняющую свободные пространства между частицами (гравитационная вода)). Материалы, содержащие внешнюю влагу, называют влажными. Если же они имеют только конституционную и гигроскопическую влагу, то их считают воздушно-сухими.

Чтобы определить влажность растительного материала, необходимо предварительно взвешенную навеску из этого материала высушить и повторно взвесить. Влажность может быть абсолютной или относительной.

Важными в технологических расчетах являются показатели трения.

Пределы изменения коэффициентов трения в основном для материалов в воздушно-сухом состоянии приведены в табл. 1.7. Конкретные значения коэффициентов зависят от условий произрастания материалов, их сорта, влажности, сроков уборки и других факторов. С увеличением влажности материалов коэффициенты трения возрастают.

Таблица 1.7. Коэффициенты трения ряда растительных материалов

Растительный материал	Поверхность трения	Значение коэффициентов трения	
		статического	динамического
Пшеница, рожь, ячмень, рис, кукуруза, овес, подсолнечник	Сталь	0,36...0,58	0,33...0,48
	Дерево	0,33...0,62	0,28...0,52
	Резина	0,47...0,66	0,47...0,62
Просо, горох, вика, чечевица, семена льна и конопли	Сталь	0,31...0,38	0,30...0,36
	Дерево	0,33...0,41	0,33...0,40
	Резина	0,36...0,44	0,38...0,48
Картофель, лук, свекла, морковь, репа	Сталь	0,50...0,70	0,45...0,70
	Дерево	0,50...0,78	0,48...0,75
	Резина	0,60...0,90	0,57...0,90

Окончание табл. 1.7

Растительный материал	Поверхность трения	Значение коэффициентов трения	
		статического	динамического
Непрессованное сено и солома	Сталь	0,25...0,35	0,24...0,39
	Дерево	0,30...0,37	0,30...0,36
	Резина	0,38...0,42	0,36...0,41
Свежеубранные стебли льна	Сталь	0,40...1,00	0,35...0,96
	Дерево	0,50...0,60	0,48...0,59
	Резина	0,60...0,90	0,56...0,90
Сухие стебли льна	Сталь	0,20...0,40	0,20...0,38
	Дерево	0,20...0,60	0,20...0,57
	Резина	0,20...0,50	0,20...0,50
Листья	Сталь	0,40...0,80	0,38...0,80
	Дерево	0,50...1,00	0,47...0,98
	Резина	0,80...1,20	0,80...1,20
Плоды яблок	Сталь	0,36...0,44	0,24...0,36
	Дерево	0,38...0,48	0,25...0,40
	Резина	0,55...0,70	0,40...0,60
Полова	Сталь	0,31...0,57	0,30...0,55
	Дерево	0,32...0,68	0,32...0,66
	Резина	0,46...0,54	0,44...0,53

У волокнистых материалов с увеличением давления коэффициенты трения уменьшаются, а с увеличением скорости скольжения – возрастают или переходят через максимум, причем при больших давлениях коэффициент трения меньше зависит от скорости скольжения, чем при малых. При значительном возрастании давления точка максимума на кривой отсутствует.

Вместо коэффициентов трения качения для характеристики материалов шарообразной, цилиндрической или эллипсоидной формы используют такой показатель, как угол качения:

$$\varphi = \arcsin k/r, \quad (1.18)$$

где k – коэффициент трения качения (измеряется в единицах длины); r – радиус кривизны части поверхности материала в точке ее контакта с плоскостью, по которой он катится.

У клубней картофеля $\varphi = 16^\circ$ при качении по стали и $\varphi = 13^\circ$ при качении по резине. У початков кукурузы при качении по стали $\varphi = 15...18^\circ$, при качении по дереву $\varphi = 13...17^\circ$, при качении по резине $\varphi = 14...18^\circ$. Для корней редиски $\varphi = 16...18^\circ$ по стали и $\varphi = 15...18^\circ$ по дереву и резине. У плодов помидоров $\varphi = 12^\circ$ по ста-

ли и $\varphi = 12...24^\circ$ по резине. Для яблок по стали $\varphi = 4...13^\circ$, если яблоко катится на боку, и $\varphi = 9...26^\circ$, когда яблоко катится, находясь на чашечке или воронке.

Трение группы растительных материалов может быть внешнее (относительно других тел или поверхностей) и внутреннее, т. е. внутри слоя. Внешнее трение оценивается коэффициентом внешнего трения, а внутреннее – коэффициентом внутреннего трения. Эти коэффициенты взаимозависимы. Коэффициенты внешнего трения группы материалов такие же, как у единичных материалов, а коэффициенты внутреннего трения несколько больше коэффициентов внешнего трения.

Истирающая способность материалов – это свойство истирать при движении соприкасающиеся с ними поверхности (щитки, транспортерные иглы, направляющие прутки, зубья молотильных барабанов, очесывающих устройств и др.). Степень истирающей способности у разных растительных материалов в основном одинакова, но меньше, чем у почв и насыпных грузов, однако в тех случаях, когда в материалах содержатся почвенные частицы, истирающая способность резко повышается.

Одной из важных характеристик сопротивления материалов резанию является показатель удельного сопротивления резанию. Его значения получены при обобщении результатов исследований многих авторов и представлены в табл. 1.8. Следует отметить, что данный показатель для каждой культуры зависит от остроты лезвия, влажности материала, его спелости и условий произрастания.

Таблица 1.8. Удельное сопротивление резанию ряда растительных материалов

Материал	Удельное сопротивление, Н/м
Стебель: пшеницы	2...6
кукурузы	5...15
Клубень картофеля	1...2
Корень сахарной свеклы	1...6
Ботва сахарной свеклы	1...4
Кочерыга капусты: у корневой шейки	30...50
в середине	8...15
в верхней части	5...10
Огурцы	2...5
Трава	1...2

При работе некоторых уборочных машин наблюдается деформация излома обрабатываемых материалов.

Из анализа представленных данных (табл. 1.9) следует, что сила излома у стеблей кукурузы значительно выше, чем у других стеблей, причем эта сила больше в нижней части стебля и меньше в верхней его части. При проведении опытов прогиб стебля кукурузы находился в пределах 15...35 мм.

Таблица 1.9. Сопротивление излому растительных материалов

Культура	Место прогиба стеблей	Значение силы излома P , Н	
Кукуруза	Нижняя часть	300...500	
	Середина	200...350	
	Верхняя часть	150...250	
Пшеница	Нижняя часть	0,75...8,0	
	Верхняя часть	0,3...2,5	
Лен-долгунец	Свежевытербленные: нижняя часть	0,1...7	
		середина	0,1...5
		верхняя часть	0,03...0,15
	Сухие: нижняя часть	1...18	
		верхняя часть	0,5...9

У стеблей кукурузы среднее усилие излома плодоножки составляет 40 Н при влажности 73 % и 19 Н при влажности 12 %, а у основания початка – соответственно 41 и 23 Н. Среднее усилие на излом плодоножки диаметром 15 мм равно 30 Н, а при диаметре 35 мм – 190 Н. Прочность плодоножки на изгиб в несколько раз меньше прочности на разрыв. Среднее значение силы излома зеленых стеблей кукурузы составляет 300 Н, а сухих – 260 Н.

Для разных сортов пшеницы сила излома стебля при расстоянии между опорами 100 мм находится в пределах 2,5...7 Н. Наиболее слабым местом стебля при изгибе являются узлы. На сопротивление излому стеблей существенно влияет их влажность. При изгибе стебля льна радиус кривизны дуги, по которой происходит излом, зависит от влажности и диаметра стебля. У сухих стеблей диаметром 0,74 мм радиус излома составляет 40 мм, при диаметре 1,11 мм – 65, а при диаметре 1,64 мм – 94 мм. У свежих вытербленных стеблей диаметром 0,85 мм радиус равен 49 мм, а при диаметрах 1,25 и 1,83 мм – 47 мм.

Глава 2

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

При работе плуги, культиваторы, бороны, фрезы и другие почвообрабатывающие орудия и машины производят резание, рыхление, оборачивание, перемешивание почвы. Вследствие сложных характеристик почвы как обрабатываемой среды данные процессы взаимосвязаны и взаимообусловлены. Однако можно выделить некоторые общие характеристики рабочих процессов почвообрабатывающих машин и элементов конструкции их рабочих органов: клиновидную форму и особенности ее воздействия на почву, а также процесс работы лезвия. Так, согласно утверждению академика В. П. Горячкина, несмотря на чрезвычайное разнообразие разного рода сельскохозяйственных орудий, форма орудий, применяемых для обработки при помощи разрушения частей тела, сводится к простой схеме, а именно к клину.

2.1. КЛИНОВИДНАЯ ФОРМА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Воздействие на почву рабочих органов почвообрабатывающих машин осуществляется клином.

В зависимости от типа рабочей поверхности клина различают: плоский – его поверхность представляет собой плоскость; криволинейный – имеет криволинейную поверхность.

Плоский клин в зависимости от количества рабочих поверхностей, одновременно участвующих в процессе взаимодействия, бывает одно-, двух- и трехгранным.

В одногранном клине рабочей гранью является поверхность AB , установленная под углом α к горизонту (рис. 2.1, *a*). Другая грань AC – нерабочая, и она не оказывает воздействия на почву.

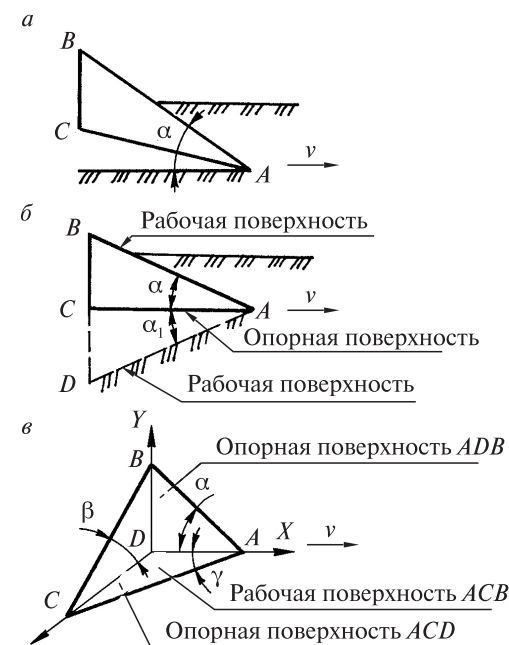


Рис. 2.1. Особенности конструкции одногранного (*a*), двухгранного (*б*) и трехгранного (*в*) плоских клиньев

Двухгранный клин ABD (рис. 2.1, *б*) имеет две рабочие грани (поверхности) – AB и AD . Этот клин может рассматриваться как совокупность двух простых клиньев, у которых рабочие грани установлены под углами α и α_1 к горизонту. При $\alpha_1 = 0$ грань AD совпадает с гранью AC , которая станет опорной плоскостью клина ABC .

Трехгранный клин $ABCD$ представляет собой тетраэдр. В общем виде он может иметь три рабочих грани ABC , ACD и ABD (рис. 2.1, *в*). В частном случае рабочей гранью может служить лишь одна ABC , а грани ACD и ABD могут быть опорными плоскостями. Для указанного условия необходимо, чтобы ребро AD совпадало с направлением перемещения клина. Иногда этот клин называют косо поставленным или косым клином.

Трехгранный клин характеризуется углами α , β , γ , которые образуют его ребра с соответствующими координатными осями X , Y , Z . Рассмотрим значение каждого угла трехгранного клина, используя одногранные (простые) клинья (рис. 2.2): угол α характеризует

крошащую способность, угол β – оборачивающую способность и угол γ – сдвигающую способность.

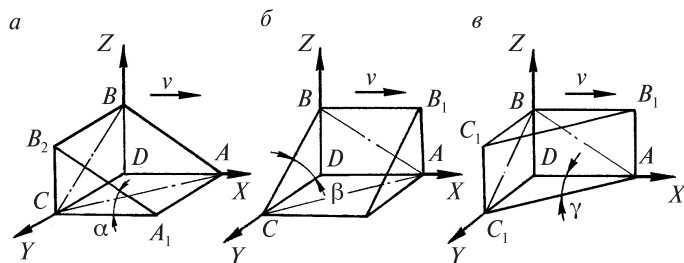


Рис. 2.2. Технологические характеристики углов трехгранного клина:
а – угол α ; б – угол β ; в – угол γ

Воздействие на почву трехгранного клина можно представить как действие трех простых клиньев с углами α , β , γ . При движении трехгранного клина подрезанный пласт крошится, поворачивается и сдвигается (отбрасывается в сторону), в результате одновременного воздействия трех простых клиньев.

Криволинейный клин более интенсивно действует на почву. У него углы α , β и γ не постоянны, а изменяются в определенных пределах. При воздействии на почву одногранного клина, например с углом α , пласт деформируется только при переходе на рабочую грань. В дальнейшем, перемещаясь по плоскости грани, он не получает дополнительного воздействия со стороны рабочей поверхности клина.

Для более интенсивного воздействия на пласт со стороны клина на пути его перемещения по клину с углом α необходимо поставить новый клин, у которого рабочая грань поставлена под углом α_1 , т. е. большим, чем α и т. д. Таким образом, для непрерывного деформирования пласта при движении по поверхности клина нужно воспользоваться криволинейной поверхностью. Такой клин называется криволинейным одногранным.

У криволинейного трехгранного клина углы α , β и γ непрерывно меняются. Деформирующие воздействия криволинейной поверхности повышается с увеличением углов α и γ , а оборачивающие свойства – с увеличением угла β . По такому принципу образована лемешно-отвальная поверхность корпуса плуга.

2.2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КЛИНА С ПОЧВОЙ

Под воздействием одногранного (простого) клина деформация почвы в основном складывается из двух последовательно чередующихся фаз.

Первая фаза – смятие почвы рабочей гранью AB клина. При перемещении клина из положения 1 в положение 2 частица a почвы займет положение a' , а частица $b - b'$ (рис. 2.3, а).

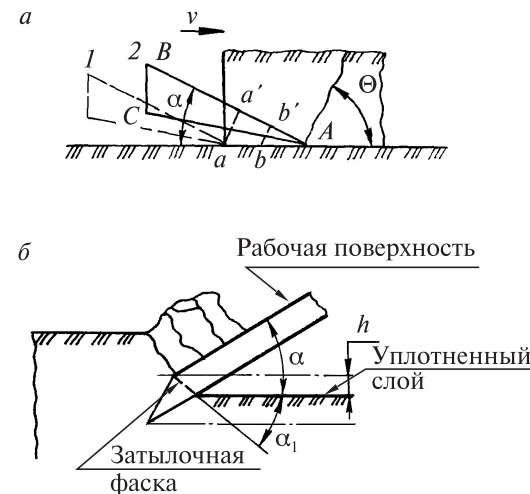


Рис. 2.3. Основные фазы взаимодействия клина с почвой (а) и схема образования затылочной фаски (б)

Так как $aa' > bb'$, то напряжение в точке a больше, чем в точке b . Это приведет к тому, что нормальное давление пласта на клин будет иметь большее значение не на лезвии клина, а несколько выше. Смятие почвы клином происходит до некоторого предела, обусловленного прочностью пласта.

Вторая фаза – разрушение пласта – характеризуется появлением трещины за счет излома или скалывания почвы. Разрушение скалыванием происходит в основном при воздействии одногранного клина на супесчаную влажную почву. Для случая скалывания супесчаного влажного пласта направление трещины относительно

дна борозды характеризуется углом Θ , который определяется по формуле Зворыкина–Мора:

$$\Theta = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha + \phi + \phi'}{2}, \quad (2.1)$$

где ϕ – угол трения пласта о поверхность клина; ϕ' – угол внутреннего трения почвы.

Угол Θ наклона трещины к оси, вдоль которой движется клин, лежит в пределах $45^\circ < \Theta < 90^\circ$ в зависимости от свойств почвы и угла α установки клина.

Двухгранный клин воздействует на почву как два простых клина, наклоненных в разные стороны от направления движения. В процессе износа лезвия простого (одногранного) клина образуется затылочная фаска и одногранный клин превращается в двухгранный. В данном случае рабочая грань деформирует почву, как простой клин, а затылочная фаска сминает ее (рис. 2.3, б).

Трехгранный клин деформирует почву в результате многофакторного воздействия. При этом движение трехгранного клина можно представить из чередующихся элементарных перемещений перпендикулярно лезвию и вдоль него. Характер деформации почвы при взаимодействии с трехгранным клином зависит как от физико-механических свойств, так и от работы простых клиньев.

Технологическое преимущество при деформации почвы клином заключается в том, что наиболее эффективно используются напряжения растяжения и сдвига. Предел прочности почвы при таких деформациях (п. 1.3) относительно невелик. Выдвинута новая гипотеза описания процесса крошения почвы криволинейными поверхностями. В соответствии с ней частицы движутся относительно изогнутой поверхности по винтовым траекториям, вследствие чего внутри почвы возникает динамическая сила, стремящаяся разрушить пласт. С увеличением шага винтовых траекторий по ширине пласта увеличивается динамическая сила, благодаря чему повышается степень крошения почвы.

Современные исследования по земледельческой механике уточняют многие аспекты процесса взаимодействия рабочих элементов почвообрабатывающих орудий с почвой. При работе клина с возрастающей кривизной деформация почвы может претер-

певать различные изменения. Форма полосы почвенного пласта, входящего в фазу деформации, определяется его подъемом. Если подъем представляет собой установившееся резание, полоса почвы непрерывна. Если при подъеме образовались открытые трещины, то пласт будет более или менее растрескавшимся в нижней части. Участки пласта выше трещин действуют как шарниры. Подъем пласта со сдвигом дает полосу, состоящую из движущихся фрагментов, разделенных параллельными плоскостями разрушения. Таким образом, в процессе взаимодействия могут участвовать почвенные пласты трех типов (рис. 2.4, а):

- цельный;
- из шарнирно соединенных фрагментов;
- состоящий из фрагментов, движущихся один по другому.

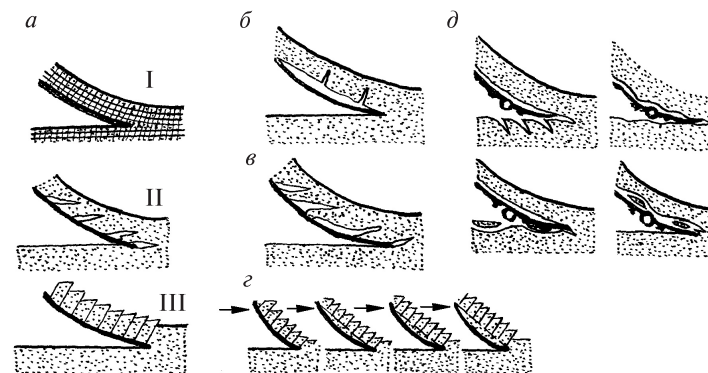


Рис. 2.4. Основные закономерности взаимодействия криволинейного клина с пластом почвы (по А. Кулену и Х. Куиперсу):

- а – типы пластов; б – образование трещин; в – расширение трещин при повороте пласта; г – заполнение вогнутого пространства землей;
- д – образование «язычков», выемок и свободных срезов

При движении почвы по клину могут происходить различные явления (рис. 2.4, б–д), зависящие от типа и состояния почвы. Если трещина заходит ниже конца клина, на дне борозды образуются «язычки». Когда уровень фронта трещины лишь немного выше линии движения лезвия клина, отделяются только почвенные комочки. На дне образуемой борозды могут наблюдаться сколы почвы и другие смешанные картины взаимодействия.

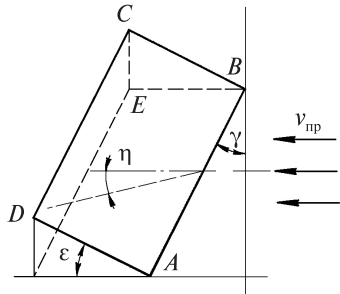


Рис. 2.5. Траектория движения почвы по поверхности клина

Траектория движения почвы по поверхности клина $ABCD$ (рис. 2.5) с высокой точностью описывается уравнением

$$\operatorname{tg} \eta = \operatorname{tg} \gamma \cos \varepsilon, \quad (2.2)$$

где η – угол, характеризующий траекторию движения пласта по клину; γ – угол установки лезвия к направлению движения; ε – угол наклона плоскости клина.

Коэффициент трения почвы о поверхность клина в пределах скоростей

1...3,5 м/с не влияет на траекторию движения почвы по клину.

2.3. СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТЫ КЛИНА

Важным преимуществом клиновидной формы рабочих органов с рабочим углом α является то, что при относительно небольшой продольной силе P_x можно получить значительные нормальные усилия:

$$N = P_x / \sin \alpha. \quad (2.3)$$

Например, при угле $\alpha = 30^\circ$ развиваемое нормальное усилие N в 2 раза превышает приложенную силу P_x .

При деформации одногранным клином почва оказывает сопротивление в виде нормальной силы N и силы трения $F = N \operatorname{tg} \varphi$ (рис. 2.6, а).

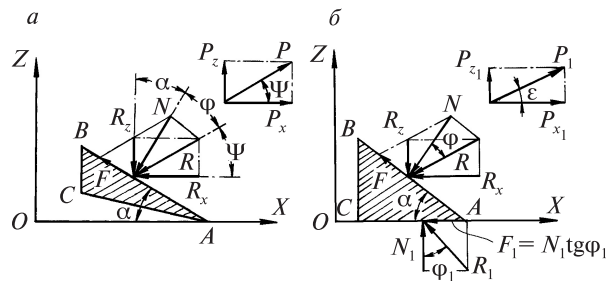


Рис. 2.6. Сопротивление почвы при работе клина: а – одногранного; б – двухгранного

При деформации двухгранным клином почва оказывает сопротивление в виде сил N и $F = N \operatorname{tg} \varphi$, действующих на рабочую поверхность, и сил N_1 и $F_1 = N_1 \operatorname{tg} \varphi_1$, действующих на опорную поверхность (рис. 2.6, б).

Разложим результирующую силу R на горизонтальную R_x и вертикальную R_z составляющие.

Вертикальная составляющая R_z определяет заглубляемость клина. Она уравнивается вертикальной составляющей тягового усилия P_z (для простого клина) и опорными устройствами почвообрабатывающего орудия (колесами). Вертикальную составляющую R_z считают положительной, если она направлена вниз и способствует заглублению клина.

Тяговое усилие приложено к клину и обеспечивает его перемещение. Под тяговым усилием понимается такая внешняя сила P или P_1 (см. рис. 2.6), которая уравнивается равнодействующей R или $(R + R_1)$ сил сопротивления перемещению клина в почве. Сила P направлена в сторону, противоположную равнодействующей R .

Для простого одногранного клина (см. рис. 2.6, а) продольную составляющую силы тяги можно определить как

$$\sum X = 0; \quad P_x - N \sin \alpha - N \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha = 0; \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} P_x &= N \sin \alpha + N \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha = \frac{N}{\cos \varphi} (\sin \alpha \cos \varphi + \cos \alpha \sin \varphi) = \\ &= \frac{N}{\cos \varphi} \sin(\alpha + \varphi). \end{aligned} \quad (2.5)$$

Вертикальная составляющая силы тяги будет равна

$$\sum Z = 0; \quad P_z - N \cos \alpha + N \operatorname{tg} \varphi \sin \alpha = 0; \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} P_z &= N \cos \alpha - N \operatorname{tg} \varphi \sin \alpha = \frac{N}{\cos \varphi} (\cos \alpha \cos \varphi - \sin \alpha \sin \varphi) = \\ &= \frac{N}{\cos \varphi} \cos(\alpha + \varphi). \end{aligned} \quad (2.7)$$

Значение тягового усилия определяем как $P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$ или с учетом выражений для P_x и P_z (2.5) и (2.7)

$$P = \frac{N}{\cos \phi} \sqrt{\sin^2(\alpha + \phi) + \cos^2(\alpha + \phi)} = \frac{N}{\cos \phi}. \quad (2.8)$$

Следовательно, тягОВОЕ сопротивление простого клина увеличивается при увеличении N и угла трения ϕ .

Для двухгранного клина (рис. 2.6, б), у которого грань AB – рабочая, а грань AC – опорная, составляющие тягОВОГО усилия могут быть определены по формулам

$$\sum X = 0; P_{x_1} - R_x - F_1 = 0; \quad (2.9)$$

$$P_{x_1} = R_x + N_1 \operatorname{tg} \phi_1 = \frac{N}{\cos \phi} \sin(\alpha + \phi) + N_1 \operatorname{tg} \phi_1; \quad (2.10)$$

$$\sum Z = 0; P_{z_1} - R_z + N_1 = 0; \quad (2.11)$$

$$P_{z_1} = R_z - N_1 = \frac{N}{\cos \phi} \cos(\alpha + \phi) - N_1, \quad (2.12)$$

где ϕ, ϕ_1 – углы трения почвы соответственно по рабочей поверхности AB и по опорной поверхности AC ; N_1 – нормальная реакция к опорной поверхности.

Если сравнить выражения P_x и P_{x_1} , то можно заметить, что продольная составляющая P_{x_1} двухгранного клина больше P_x одногранного клина на величину $F_1 = N_1 \operatorname{tg} \phi_1$ (сила трения по опорной поверхности).

Сравнение выражений P_z и P_{z_1} показывает, что вертикальная составляющая двухгранного клина P_{z_1} меньше P_z одногранного клина на величину реакции почвы, приложенной к опорной грани AC .

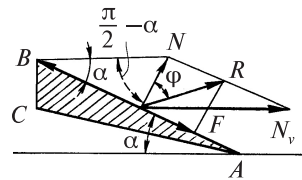


Рис. 2.7. Схема к определению условия перемещения пласта по рабочей поверхности клина

Следовательно, одногранный (простой) клин требует меньшего тягОВОГО усилия, чем двухгранный, что говорит о нежелательности образования затылочной фаски на лезвии одногранного клина.

Рассмотрим условия перемещения пласта по рабочей грани двухгранного клина.

Нормальная сила N действует на частицу пласта со стороны клина. Разложим силу N на две составляющие – N_T и N_v (рис. 2.7).

Если условие перемещения пласта по клину

$$N_T > F, \quad (2.13)$$

где F – сила трения пласта по поверхности клина,

то

$$N \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) > N \operatorname{tg} \phi; \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) > \operatorname{tg} \phi. \quad (2.14)$$

Откуда $\alpha < \pi/2 - \phi$ – условие перемещения пласта по клину.

Аналогичным образом рассчитывается условие скольжения растительных остатков по рабочей поверхности:

$$\alpha < \pi/2 - \phi, \quad (2.15)$$

где ϕ – угол трения сорняков и других растительных остатков по клину; α – угол установки лезвия к направлению движения.

Для обеспечения скользящего резания лезвие лемеха плуга и других рабочих органов почвообрабатывающих машин обычно устанавливают под оптимальным острым углом к направлению движения.

2.4. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ ЛЕЗВИЯ

Резание лезвием – один из наиболее распространенных технологических процессов. Он лежит в основе рабочего процесса ножей, плоскорезущих лап, подрезающих лемехов и т. п. В любом ноже различают три элемента: лезвие, фаску и остов. Как правило, тонкая вершина ножа сначала загибается, а затем обламывается, лезвие приобретает форму закругленной поверхности. В результате острота ножа будет определяться не углом заточки, а толщиной лезвия.

К лезвию относят ту часть ножа, которая разрушает разрезаемый материал вследствие его смятия, а к фаскам – те его час-

ти, которые раздвигают уже разрезанный материал и скользят по нему.

В зависимости от угла ξ между направлением скорости резания и нормалью к его поверхности, а также от фрикционных свойств разрезаемого материала различают три режима резания (рис. 2.8, а, б, в):

$\xi = 0$ – рубящее резание;

$0 < \xi < \phi$ – резание с продольным перемещением, но без скольжения;

$\xi > \phi$ – резание со скольжением.

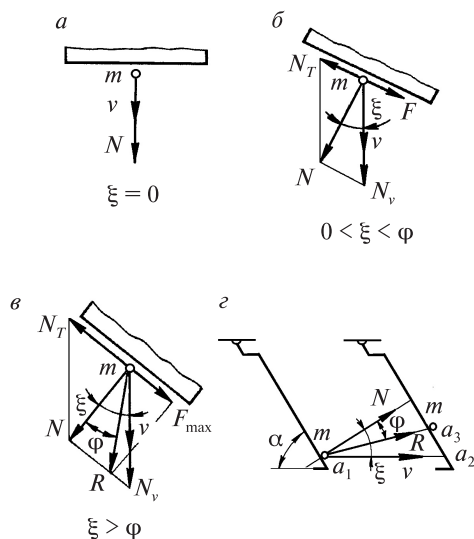


Рис. 2.8. Варианты работы лезвия почвообрабатывающего орудия: а – рубящее резание; б – резание без скольжения; в – резание со скольжением; з – резание черенковым ножом

При рубящем резании лезвие давит на почвенный агрегат m по нормали, а он перемещается в почвенной среде под действием этой силы до тех пор, пока не будет разрушен.

При резании с продольным перемещением без скольжения сила N имеет две составляющие: N_v – по направлению скорости лезвия и N_T – по касательной к лезвию. Так как $\xi < \phi$, то сила $N_T = N \operatorname{tg} \xi$ меньше максимально возможной силы трения $F_{\max} = N \operatorname{tg} \phi$ и уравновешивается силой реакции $F = N_T$. Почвенный

агрегат m перемещается под действием силы N_v по направлению ее действия до тех пор, пока не будет разрушен.

Резание со скольжением наблюдается при $\xi > \phi$, $N_T > F_{\max}$ и характеризуется тем, что сила трения достигает своего максимального значения F_{\max} , но она не в состоянии уравновесить составляющую нормального давления N_T , поэтому наблюдается скольжение почвенных агрегатов вдоль лезвия под действием силы $(N_T - F_{\max})$. Следовательно, на почвенный агрегат m одновременно действуют силы N_v и $(N_T - F_{\max})$ или N и F_{\max} . Сложив их по правилу параллелограмма, получим равнодействующую силу R , направленную под углом ϕ к нормали N . Почвенный агрегат m будет перемещаться под действием этой силы R до тех пор, пока не разрушится.

Чем больше ξ , тем больше степень скольжения. Для определения меры скольжения рассмотрим процесс резания лезвием на примере черенкового ножа (рис. 2.8, з):

$a_2 a_3$ – путь, пройденный почвенным агрегатом m в относительном скольжении по лезвию;

$a_1 a_3$ – абсолютное перемещение почвенного агрегата (деформация смятия почвы), а отношение первого ко второму есть мера скольжения, называемая коэффициентом скольжения:

$$i = \frac{a_2 a_3}{a_1 a_3}. \quad (2.16)$$

На основании теоремы синусов имеем

$$\frac{a_2 a_3}{\sin(\xi - \phi)} = \frac{a_1 a_3}{\sin \alpha} = \frac{a_1 a_3}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right)} = \frac{a_1 a_3}{\cos \xi}; \quad (2.17)$$

$$i = \frac{a_2 a_3}{a_1 a_3} = \frac{\sin(\xi - \phi)}{\cos \xi}. \quad (2.18)$$

Следовательно, i растет с увеличением ξ и уменьшением α и ϕ . При $\xi = \phi$ $i = 0$, при $\xi = \pi/2$ $i \rightarrow \infty$.

Так как $\xi > \phi$, а $\xi = \pi/2 - \alpha$, то для резания черенковым ножом со скольжением его нужно устанавливать под углом

$$\alpha < \frac{\pi}{2} - \phi. \quad (2.19)$$

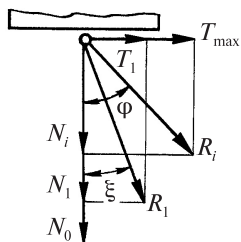


Рис. 2.9. Схема к определению сил сопротивления резанию

Силы сопротивления резанию зависят от условий работы лезвия. Для осуществления рубящего резания при $\xi = 0$ необходимо, чтобы нормальное давление N_0 создавало в материале напряжение смятия, равное пределу его прочности. В этом случае $R = N_0$, $T = 0$ (рис. 2.9). Если направление перемещения ножа отклонить от направления нормали к лезвию на угол $\xi < \phi$, то для разрушения материала потребуется сила R_1 , которую можно разложить на N_1 и T_1 . В пределах $0 < \xi < \phi$ значения N будут уменьшаться, а значение

T – возрастать. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока угол ξ не достигнет значения угла ϕ . При $\xi = \phi$ $T_{\max} = F_{\max} = N \operatorname{tg} \phi$, поэтому при резании со скольжением, т. е. при $\xi > \phi$, направление R не будет изменяться, а независимо от коэффициента скольжения будет оставаться постоянным, т. е. отклоненным на угол ϕ от нормали.

При резании со скольжением с увеличением ξ давление N интенсивно падает. Сила T , прямо пропорциональная N , так как $T_{\max} = N \operatorname{tg} \phi$, будет также уменьшаться. Равнодействующая сила R зависит от N и T , так как связана с ними соотношением

$$R = \sqrt{N^2 + T^2}. \quad (2.20)$$

Уменьшение сил сопротивления резанию при движении лезвия с продольным перемещением зависит от действия рассмотренных факторов кинематического (геометрического) и технологического характера. При этом для различных рабочих органов существуют рациональные значения углов установки лезвия, и выбирается необходимая скорость обработки по критерию минимума затрат.

⇒ **Задача.** Определить угол установки черенкового ножа к горизонту для обеспечения резания растительных остатков со скольжением, если коэффициент трения $f = 0,5$.

Решение. Для резания со скольжением должно выполняться условие (2.19). Тогда $\alpha < \frac{3,14}{2} - \operatorname{arctg} 0,5 = 63,4^\circ$.

Глава 3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ЛЕМЕШНО-ОТВАЛЬНЫХ ПЛУГОВ

Рабочими органами плугов являются корпуса, предплужники или углоснимы, дисковые или черенковые ножи и почвоуглубители.

Лемешно-отвальный корпус – основной рабочий орган плугов, лемешных лушильников, бороздообразователей и других орудий. Основные части лемешно-отвального корпуса – лемех, отвал, стойка, полевая доска (боковина), башмак. Лемех и отвал – рабочие, а полевая доска, башмак и стойка – вспомогательные части корпуса.

3.1. ОБРАЗОВАНИЕ ЛЕМЕШНО-ОТВАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОРПУСА ПЛУГА

Основу лемешно-отвальной поверхности составляет трехгранный клин, у которого элементарные углы α , β , и γ не постоянны, а изменяются в определенных пределах. С увеличением интенсивности изменения углов α и γ растет крошащая способность криволинейной поверхности, а интенсивное изменение угла β способствует обороту пласта.

Криволинейную поверхность отвала получают путем перемещения образующей AB (рис. 3.1) по двум направляющим кривым BK и $B'K$. Для нахождения значений углов α , β и γ в любой точке поверхности отвала используют линии пересечения поверхности отвала соответственно с продольно-вертикальной $MOBK$, горизонтальной AOB и поперечно-вертикальной AOM плоскостями. Касательные, проведенные в продольно-вертикальной плоскости в любой из точек поверхности отвала, образуют с горизонтальной плоскостью угол крошения α , в горизонтальной плоскости –

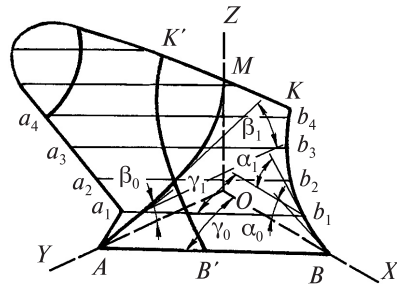


Рис. 3.1. Развитие трехгранного клина в лемешно-отвальную поверхность корпуса плуга

с продольно-вертикальной плоскостью угол сдвига γ , в поперечно-вертикальной плоскости — с горизонтальной плоскостью — угол оборота β .

У цилиндрических отвалов угол α (рис. 3.2, а) увеличивается снизу вверх во всех сечениях продольно-вертикальными плоскостями, угол β во всех сечениях слабо развит и имеет одинаковое значение во всех точках, расположенных на одинаковой высоте. В силу этого обстоятельства цилиндрический отвал хорошо крошит и перемешивает слои почвы, но плохо оборачивает пласт. Растительные остатки равномерно перераспределяются по толщине пласта.

Культурный отвал (рис. 3.2, б) характеризуется значительным изменением не только угла α , но и углов β и γ . Угол γ вначале уменьшается от $\gamma_0 = 42^\circ$ (γ_0 — угол, образуемый лезвием лемеха со стенкой борозды) до $\gamma_{\min} = 40^\circ$ (γ_{\min} — угол, образуемый линией стыка лемеха и отвала со стенкой борозды), а затем снова возрастает до $\gamma_{\max} = 47...48^\circ$ (γ_{\max} — угол, образуемый линией KM со стенкой борозды). Для культурного отвала $\gamma_{\max} - \gamma_0 = 2...7^\circ$. Культурный отвал, обладая хорошей крошашей способностью, достаточно полно оборачивает пласт.

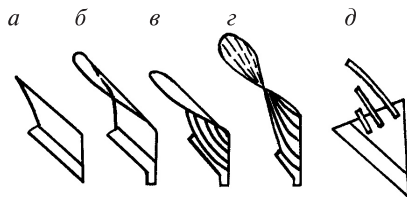


Рис. 3.2. Основные типы отвалов:

а — цилиндрический; б — культурный; в — полувинтовой; г — винтовой; д — несплошной

Полувинтовой отвал (рис. 3.2, в) отличается еще большим по сравнению с культурным развитием углов γ и β ($\gamma_0 = 35...38^\circ$;

$\gamma_{\max} = 42...50^\circ$; $\gamma_{\max} - \gamma_0 = 7...15^\circ$), но слабым нарастанием угла α . Благодаря этому полувинтовой отвал хорошо оборачивает, но слабо крошит пласт.

Винтовой отвал (рис. 3.2, г) представляет собой часть винтовой поверхности, полученной путем перемещения прямой или кривой образующей с одновременным ее вращением вокруг продольной оси. Винтовая поверхность имеет слабо развитый угол α и сильно развитый угол β . Прирост угла γ ($\gamma_{\max} - \gamma_0$) для винтовых отвалов превышает 15° . Винтовой отвал полностью оборачивает пласт почвы, но почти без ее крошения.

Несплошные отвалы (рис. 3.2, д) в зависимости от конструктивных особенностей называются щелевыми, пластинчатыми, полосовыми, прутковыми. Они имеют меньшую площадь воздействия на почву рабочих элементов и поэтому обеспечивают повышенное удельное давление. Ширина щели между рабочими элементами отвала должна расширяться к концу пластин во избежание заклинивания почвы и камней. Ограничения на размер свободного пространства между элементами отвалов обусловлена требованием не допускать прохождения в эти промежутки крупных почвенных комков. Часть мелкой фракции почвы может проходить за отвал, что уменьшает энергозатраты на вспашку, однако оставленная борозда должна быть достаточной для оборота пластов и заделки растительных остатков. Эффективно применение винтообразно изогнутых пластин отвала, которые при работе обеспечивают повышенную динамичность воздействия на пласт при одновременном снижении энергозатрат и повышении качества крошения почвы.

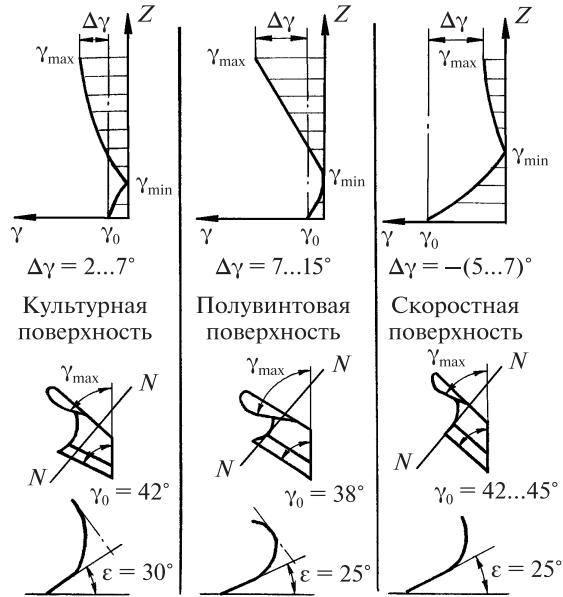
В основе культурной, полувинтовой и некоторых видов скоростной поверхностей лежит поверхность общего вида — цилиндриод.

Цилиндроидальная поверхность образуется поступательным перемещением прямой, параллельной горизонтальной плоскости, по направляющей кривой, которая может быть расположена в плоскости $N-N$, перпендикулярной к лезвию лемеха, при изменении угла γ по тому или иному закону.

Законы изменения углов γ для различных поверхностей представлены на рис. 3.3.

Разновидностями цилиндриодальной поверхности являются культурная, полувинтовая и скоростная.

Закономерности изменения угла γ



Виды направляющей кривой

Рис. 3.3. Характеристики основных типов лемешно-отвальных поверхностей ($N-N$ – плоскость расположения направляющей кривой; ϵ – угол постановки лемеха к дну борозды)

В зависимости от формы отвала определяются области их применения, рекомендуются скорости вспашки и соотношения глубины обработки к ширине захвата корпуса (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Выбор формы отвала с учетом условий работы

Форма отвала	Вид сбоку	Вид сверху	Область применения	Скорость вспашки, км/ч	Соотношение a/b
Культурная			Легкие почвы (пески и супеси)	Низкие и средние – 4...6	1:1
Универсальная			Для всех почв	Средние – 5...7	1:1

Окончание табл. 3.1

Форма отвала	Вид сбоку	Вид сверху	Область применения	Скорость вспашки, км/ч	Соотношение a/b
Полувинтовая			Тяжелые и задерновые почвы	Средние и высокие – 6...8	1:1,2
Винтовая			Целина и залежь	Высокие – 8	1:1,4
Ромбическая			Для всех почв	Средние – 5...7	1:1

3.2. ПАРАМЕТРЫ КОРПУСОВ И РАЗМЕЩЕНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ НА ПЛУГЕ

Исходными величинами при проектировании лемешно-отвальной поверхности являются максимальная глубина пахоты a и ширина захвата корпуса b (рис. 3.4). Ширину захвата корпуса определяют из условия оборота и крошения пласта. В соответствии с теорией акад. В. П. Горячкина при условии оборота недеформируемой почвы устойчивое положение отваливаемых пластов обеспечивается при соотношении ширины захвата b к глубине спашки a : $b/a > 1,27$. Для плугов общего назначения, садовых плугов, лущильников и других плугов, снабженных корпусами с повышенной крошащей способностью, рекомендуется отношение ширины захвата к глубине пахоты b/a , равное 1,3...1,5. Траектория движения почвенного пласта определяет максимальную высоту H_{\max} рабочей поверхности, которую можно вычислить по формуле

$$H_{\max} = \sqrt{a^2 + b^2} + \Delta d, \quad (3.1)$$

где Δd – увеличение высоты корпуса для предотвращения пересыпания почвы, равное 0,02...0,04 м.

Высоту полевой стороны H принимают равной

$$H = b + \Delta h, \quad (3.2)$$

где $\Delta h = 0,01...0,025$ м.

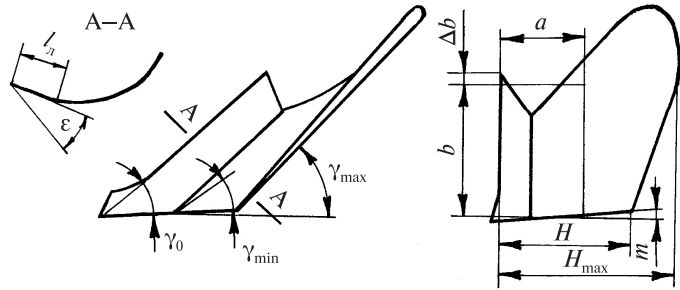


Рис. 3.4. Основные параметры лемешно-отвальных поверхностей

Для предотвращения «задиранья» стенки борозды верхняя точка отвала с полевой стороны должна находиться на расстоянии $m = 5 \dots 10$ мм от плоскости полевого среза. Бороздной обрез отвала не должен задевать укладываемый пласт при движении корпуса.

Значения угла γ при его изменении от γ_0 до γ_{\min} и γ_{\max} зависят от типа и назначения лемешно-отвальной поверхности. Разность углов $\gamma_0 - \gamma_{\min}$ незначительна и обычно не превышает 2° , поэтому тип рабочей поверхности определяют по приращению углов $\Delta\gamma_{\max} = \gamma_{\max} - \gamma_{\min}$. Если $\Delta\gamma_{\max} = 0 \dots 2^\circ$, то поверхность цилиндрическая, если $\Delta\gamma_{\max} = 2 \dots 7^\circ$ – культурная, если $\Delta\gamma_{\max} = 7 \dots 15^\circ$ – полувинтовая, если $\Delta\gamma_{\max} > 15^\circ$ – винтовая.

В сечении А–А получают направляющую кривую, по которой перемещается образующая, и определяют длину лемеха l_l и угол ϵ постановки лемеха к дну борозды. По установленным и принятым основным конструктивным размерам находят остальные геометрические параметры лемешно-отвальных поверхностей корпусов и предплужников.

Высота корпуса H – расстояние от низа рамы до лезвия лемеха – зависит от размеров оборачиваемого пласта, характеристики почвенного покрова, наличия растительных остатков, а также от места расположения корпуса относительно рамы плуга (рис. 3.5). Для улучшения условий прохода пласта и предохранения плуга от забивания корпуса располагают сбоку рамы. Высоту корпуса H при креплении стойки сбоку рамы можно принять равной

$$H = K\sqrt{a^2 + b^2}, \quad (3.3)$$

где K – коэффициент запаса по высоте, равный $1,20 \dots 1,25$.

Для плугов величину H принимают равной $0,6 \dots 0,7$ м.

Расстояние между носками корпусов L по длине плуга должно быть таким, чтобы впереди расположенный корпус не препятствовал скалыванию и отваливанию пласта задним корпусом.

С учетом ряда конструктивных параметров и характерных углов расстояние между корпусами составляет

$$L = l_0 + \frac{a \operatorname{tg}(\epsilon + \phi)}{\sin \gamma_0} - b \operatorname{ctg} \gamma_0, \quad (3.4)$$

где l_0 – расстояние от носка лемеха до конца стойки, м.

При подсчете по этой формуле при $\phi = 20 \dots 25^\circ$ расстояние $L = 600$ мм следует рассматривать как минимально допустимое.

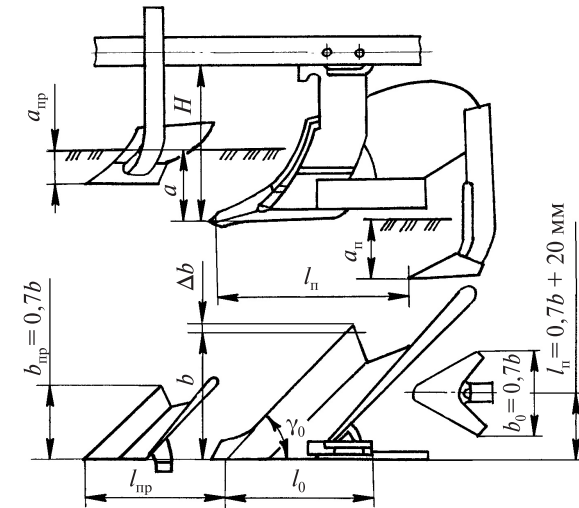


Рис. 3.5. Параметры корпуса плуга, предплужника, почвоуглубителя и их относительного расположения:

$l_{\text{пр}}$, $a_{\text{пр}}$ – вылет и глубина предплужника соответственно; $l_{\text{п}}$ – расстояние до почвоуглубителя; $b_{\text{п}}$ – ширина почвоуглубителя; $l_{\text{п}}$ – смещение почвоуглубителя

Окончательное расстояние L выбирают из условия незабивания плуга растительными остатками. Для плугов общего назначения $L = 700 \dots 800$ мм, для кустарниково-болотных $L = 1000 \dots 1500$ мм.



Задача. Определить расстояние между корпусами плуга, если ширина захвата одного корпуса $b = 0,4$ м; глубина вспашки $a = 0,27$ м; угол между направлением движения и лезвием лемеха $\gamma_0 = 42^\circ$; угол установки лемеха ко дну борозды $\varepsilon = 30^\circ$; угол трения почвы о сталь $\varphi = 25^\circ$; расстояние от носка лемеха до конца стойки $l_0 = 0,35$ м.

Решение. Из уравнения (3.4)

$$L = 0,35 + \frac{0,27 \cdot \operatorname{tg}(30 + 25)}{\sin 42} - 0,4 \cdot \operatorname{ctg} 42 = 0,48 \text{ м.}$$

Исходя из рекомендаций принимаем $L = 0,6$ м.

3.3. ДЕЙСТВИЕ СИЛ НА КОРПУС ПЛУГА

В процессе пахоты на рабочие органы плуга со стороны почвы действует множество элементарных сил, которые не приводятся к одной равнодействующей, так как они не параллельны между собой и не пересекаются в одной точке.

В каждой плоскости проекций суммарное действие элементарных сил может быть определено пространственным динамометрированием плужного корпуса и выражено одной результирующей силой определенной величины и направления.

В горизонтальной плоскости XOY (рис. 3.6, б) на корпус действует сила R_{xy} , направленная под углом $\delta = 15 \dots 25^\circ$ к оси OX и приложенная на расстоянии $e = (0,3 \dots 0,5)b$, где b – ширина захвата корпуса.

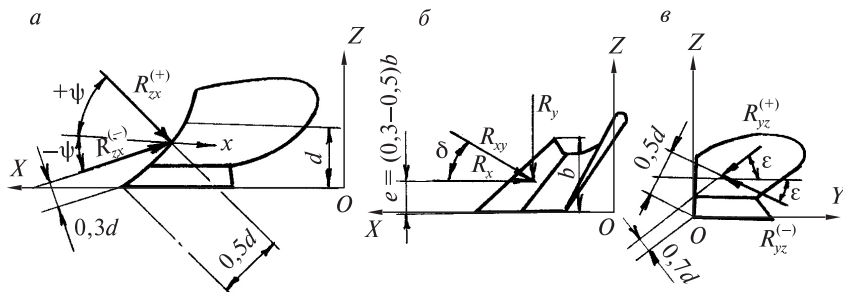


Рис. 3.6. Анализ действующих сил на корпус плуга в разных плоскостях:
а – в продольно-вертикальной; б – в горизонтальной;
в – в поперечно-вертикальной

Проекцию R_x силы R_{xy} на ось OX определяют по выражению

$$R_x = \eta kab, \quad (3.5)$$

где η – КПД плуга, равный $0,6 \dots 0,8$; k – коэффициент удельного сопротивления почвы, Па; a – глубина пахоты, м.

Из рис. 3.6, б следует

$$R_{xy} = \frac{R_x}{\cos \delta} = 1,1 R_x. \quad (3.6)$$

Проекция силы R_{xy} на ось OY

$$R_y = R_x \operatorname{tg} \delta = 0,33 R_x. \quad (3.7)$$

В продольно-вертикальной плоскости ZOX (рис. 3.6, а) на корпус действует сила R_{zx} под углом ψ , колеблющимся от $+18$ до -23° к оси OX . Отрицательное значение угла ψ имеет место при работе с затупленными лезвиями лемехов. При расчетах обычно принимают $\psi = \pm 12^\circ$. Сила R_{zx} приложена на расстоянии $0,5a$ от носка лемеха при положительном значении ψ и $0,3a$ при отрицательном ψ . Значение силы

$$R_{zx} = \frac{R_x}{\cos \psi}. \quad (3.8)$$

Вертикальная проекция R_z силы R_{zx} на ось OZ :

$$R_z = R_x \operatorname{tg} \psi. \quad (3.9)$$

В поперечно-вертикальной плоскости ZOY (рис. 3.6, в) на корпус действует сила R_{yz} под углом $\varepsilon = \pm 45^\circ$ к оси OY и на расстоянии от носка лемеха $0,5a$ при $+\varepsilon$ и $0,7a$ при $-\varepsilon$. Значение силы

$$R_{yz} = R_x \sqrt{\operatorname{tg}^2 \delta + \operatorname{tg}^2 \psi}. \quad (3.10)$$

Проекции главного вектора \vec{R} элементарных сил сопротивления почвы при работе корпуса, определяемые путем пространственного динамометрирования на специальных установках, направлены по осям OX , OY , OZ .

Проекция главного вектора сил сопротивления R_z бывает положительной и отрицательной. Она способствует заглублению или

выглублению плужного корпуса и воспринимается опорными колесами.

Проекция главного вектора сил сопротивления почвы R_x уравновешивается силой тяги P .

Сила R_y прижимает корпус к стенке борозды и воспринимается полевой доской.

Вспашка почвы лемешно-отвальными плугами является одной из наиболее энергоемких операций в сельскохозяйственном производстве, поэтому большое значение имеют способы уменьшения общего сопротивления R и ее составляющих. Затраты энергии при вспашке распределяются между отдельными элементами технологического процесса следующим образом:

подрезание пласта лемехом – 10...18 %;

подъем пласта лемехом – 20...30 %;

оборот пласта отвалом – 30 %;

трение полевой доски – 12...15 %;

сообщение кинетической энергии почве – 5...15 %.

Наибольшее удельное значение имеют общие затраты энергии на работу лемеха. Их частичное сокращение обеспечивается поддержанием заданной (до 1 мм) толщины лезвия лемеха.

➔ **Задача.** Определить силы, действующие на корпус плуга вдоль координатных осей X , Y , Z , если КПД $\eta = 0,8$; коэффициент удельного сопротивления почвы $k = 4 \cdot 10^4$ Па; глубина вспашки $a = 0,25$ м; ширина захвата корпуса $b = 0,4$ м; углы направления сил R_{xy} и R_{zx} к оси X соответственно $\delta = 20^\circ$; $\psi = 10^\circ$.

Решение. Силы, действующие на корпус плуга, определим по уравнениям (3.5), (3.7) и (3.9):

$$R_x = 0,8 \cdot 4 \cdot 10^4 \cdot 0,25 \cdot 0,4 = 3,2 \text{ кН}; R_y = 3,2 \cdot \text{tg}20 = 1,16 \text{ кН}; R_z = 3,2 \cdot \text{tg}10 = 0,56 \text{ кН}.$$

3.4. УСИЛИЕ РЕЗАНИЯ ПОЧВЫ НОЖОМ

Ножами для вертикального резания почвы оборудованы некоторые специальные плуги. Нож представляет собой клин с углом заострения 10...15° и ставится вертикально или под определенным углом к вертикали. При взаимодействии такого ножа с почвой ос-

новными видами деформации являются сжатие и сдвиг. Основная часть почвы под воздействием ножа впрессовывается в стенки прорези.

Рассмотрим некоторые закономерности, влияющие на усилия при резании почвы черенковым ножом (рис. 3.7). При движении ножа на него действует сила сопротивления лезвию $P_{л}$, нормальные давления почвы на фаски ножа N_1 и на его боковые стороны N_2 , силы трения почвы о фаски fN_1 и боковые стороны ножа fN_2 .

Составим уравнение сил, действующих на нож со стороны почвы:

$$P = P_{л} + 2fN_2 + 2N_1 \sin \beta / 2 + 2fN_1 \cos \beta / 2, \quad (3.11)$$

где f – коэффициент трения почвы по стали.

Сопротивление на работу лезвия зависит от глубины хода ножа

$$P_{л} = p_{л}h, \quad (3.12)$$

где $p_{л}$ – удельное сопротивление резанию лезвием, Н/м; h – глубина резания, м.

Составляющие N_1 и N_2 также связаны с глубиной обработки h

$$N_1 = pb_1h, \quad (3.13)$$

где p – удельное сопротивление сжатию, Н/м²; b_1 – ширина фаски ножа, м;

$$N_2 = pb_2h, \quad (3.14)$$

где b_2 – ширина боковой стороны ножа, м.

Подставив выражения $P_{л}$, N_1 , N_2 в уравнение (3.11) получим:

$$P = p_{л}h + 2fpb_2h + 2pb_1h \sin \beta / 2 + 2fpb_1h \cos \beta / 2, \quad (3.15)$$

или

$$P = p_{л}h + 2fph(b_2 + b_1 \cos \beta / 2) + 2pb_1h \sin \beta / 2. \quad (3.16)$$

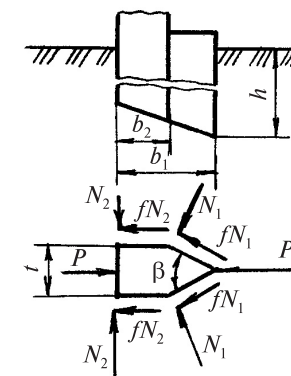


Рис. 3.7. Схема действующих сил при работе ножа

Длину черенкового ножа и его лезвия определяют в зависимости от высоты корпуса и требуемой глубины подрезания пласта. Диаметр дискового ножа также выбирается в зависимости от необходимой глубины прорезания пласта и обычно находится в пределах 250...800 мм.

3.5. ТЯГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЛУГА И ЕГО СВЯЗЬ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ВСПАШКИ

Для определения силы тяги, направленной на преодоление проекции R_x главного вектора элементарных сил сопротивления почвы, академик В. П. Горячкин предложил рациональную формулу для определения взаимосвязи между основными факторами рабочего процесса плуга и общим сопротивлением, возникающим при его работе:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = fmg + kavn + \varepsilon abnv^2, \quad (3.17)$$

где P_1, P_2, P_3 – составляющие силы тяги на трение («мертвое» сопротивление), затрачиваемая на перемещение плуга в открытой борозде, разрушение пласта и его деформацию и сообщение пласту суммарной энергии соответственно, Н; f – коэффициент сопротивления плуга при протаскивании его в борозде, аналогичный коэффициенту трения; m – масса плуга, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; a, b – размеры пласта, м; k – коэффициент удельного сопротивления почвы, Па; n – количество корпусов; ε – безразмерный коэффициент, зависящий от формы отвала и свойств почвы; v – поступательная скорость плуга, м/с.

Составляющая $P_3 = P_v + P_c + P_h$, где P_v – усилие на сообщение пласту кинетической энергии, Н; P_c – усилие на сообщение энергии вращения сходящему пласту, Н; P_h – усилие на сообщение потенциальной энергии пласту, Н.

Коэффициент полезного действия плуга

$$\eta_{пл} = \frac{P - P_1}{P} = \frac{fmg + kavn + \varepsilon abnv^2 - fmg}{fmg + kavn + \varepsilon abnv^2} = \frac{avn(k + \varepsilon v^2)}{fmg +avn(k + \varepsilon v^2)} \quad (3.18)$$

определяет полезную долю использования энергии на деформацию и перемещение почвы ($\eta_{пл} \approx 0,7$).

При работе плуга его сопротивление передается на трактор.

Усилия в тягах механизма навески трактора определяют графически или аналитически из условий равновесия плуга. В первом случае используют метод планов сил, применяемый в кинестатике. Во втором случае составляются обычные уравнения сил в соответствующих плоскостях проекций.

Ограничимся для примера определением проекций усилий P_B и P_H в верхней NK и нижних DM тягах навески при работе навесного плуга на глубине a (рис. 3.8).

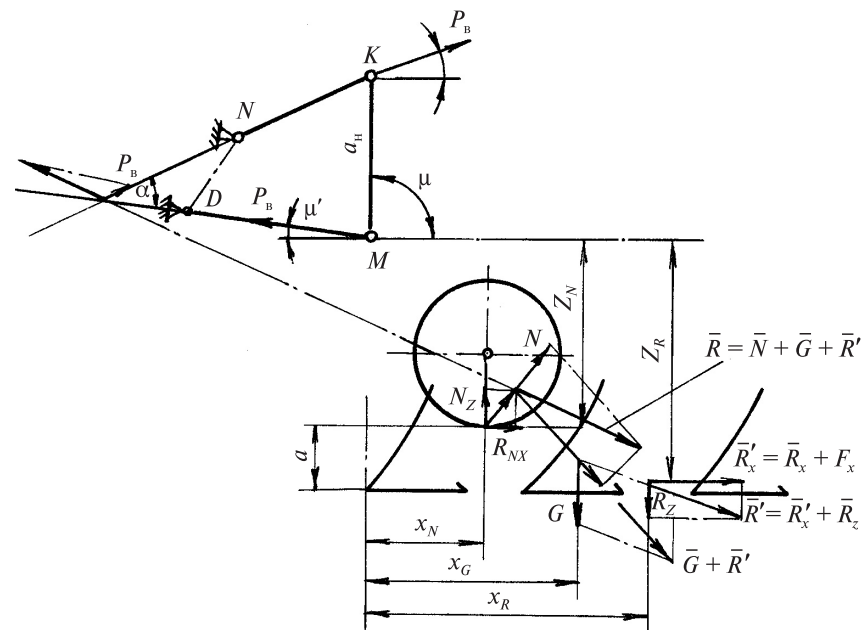


Рис. 3.8. Анализ действующих сил в системе навесного плуга

Взаимодействие плуга с почвой характеризуется действием следующих сосредоточенных сил: силы тяжести G , силы сопротивления почвы $R' = R'_x + R'_z$, включая и силу F_x трения полевых досок о стенку борозды; реакции N на ободе опорного колеса; суммарного усилия P_H в нижних тягах навески; усилия P_B в верхней тяге.

Условия равновесия в продольно-вертикальной плоскости определяются следующими уравнениями проекций на оси OX и OZ :

$$P_B \cos \lambda' - P_H \cos \mu' + R'_x + F_{mx} = 0; \quad (3.19)$$

$$P_B \sin \lambda' + P_H \sin \mu' - G \pm R_z + N_z = 0, \quad (3.20)$$

а также моментом сил относительно точки M

$$P_B a_n \cos \lambda' + G x_G \pm R_z x_R - N_z x_N - F_{nx} z_N - R'_x z_R = 0. \quad (3.21)$$

Из системы уравнений (3.19) и (3.20) можно при известных G , R'_x и R_z вычислить реакцию N на ободе опорного колеса, а также усилия P_H и P_B в тросах навески трактора.

С учетом того что у многих навесных плугов углы $\mu = 90^\circ$ и $\mu' = 4 \dots 6^\circ$, для практических расчетов принимаем $\cos \mu = 1$; $\sin \mu = 0$.

Тогда

$$\left. \begin{aligned} P_B &= \frac{G(x_N - x_G) \pm R_z(x_N - x_R) + G f_n z_N + R'_x z_R}{a_n \cos \alpha + x_N \sin \alpha}; \\ P_H &= \frac{G(x_N - x_G) \pm R_z(x_N + x_R) + G f_n (a_n + z_N + x_N \operatorname{tg} \alpha)}{a_n + x_N \operatorname{tg} \alpha} + \\ &+ \frac{R'_x (a_n + z_R + x_N \operatorname{tg} \alpha)}{a_n + x_N \operatorname{tg} \alpha}. \end{aligned} \right\} (3.22)$$

Исследованиями установлено, что при $a = 0,17$ м и $v = 1,4$ м/с $N_z = 3,2$ кН, $P_H = 10,3$ кН и $P_B = 10,1$ кН; при $a = 0,150$ м и $v = 2,25$ м/с $N_z = 1,3$ кН, $P_H = 6,0$ кН и $P_B = 6,4$ кН.

При расчетах значения R'_x , R_z и f_n ($f_n = 0,15 \dots 0,20$ – коэффициент перекачивания опорного колеса) принимают обычно: $R'_x = kaB$; $R_z = 0,25R'_x$ где k – удельное сопротивление почвы; B – ширина захвата плуга.

В горизонтальной плоскости на плуг действуют сила R_{xy} (см. рис. 3.6, б), а также составляющие сил трения полевых досок и опорного колеса. правильным выбором параметров механизма навески обеспечивают равномерное распределение силы сопротивления по тросам.

Рассмотренная система определяет идеализированную статическую модель плуга, где входными воздействиями являются сосредоточенные силы R'_x и R_z , а выходными сигналами – усилия P_B и P_H в тросах навески.

Динамическая модель плуга существенно отличается от статической. Ее можно представить в виде модели (рис. 3.9), где

входными воздействиями являются неровности поверхности почвы $z(t)$ и сопротивление почвы $R(t)$, а выходными – глубина хода $a(t)$, от величины которой зависят $P_B(t)$ и $P_H(t)$.

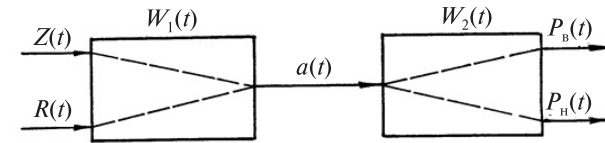


Рис. 3.9. Структурная схема динамической модели плуга

На стадии проектирования для ориентировочного расчета используется статическая модель, но после испытания макета плуга и получения соответствующей информации о входных и выходных величинах расчет уточняется по динамической модели.

Важной задачей является снижение тягового усилия при использовании плугов и других почвообрабатывающих орудий. Возможные решения заключаются в совершенствовании технологии обработки почвы, а также применяемых рабочих органов. Технологии обработки почвы имеют зональный характер, с соответствующим адаптированным техническим обеспечением.

Глава 4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЧИЗЕЛЬНЫХ ОРУДИЙ

Современные чизельные орудия делят на три основные группы: чизельные культиваторы, чизельные плуги и глубокорыхлители. Чизельные культиваторы рыхлят почву на глубину до 0,15...0,25 м, плуги – до 0,4 м и глубокорыхлители – до 0,6 м. Это деление чизельных орудий по глубине обработки носит в известной мере условный характер, так как чизельные плуги могут обрабатывать почву на глубину до 25 см.

Чизельные орудия применяются в системе безотвальной обработки почвы. В условиях Беларуси чизельные плуги используются для рыхления почвы и уничтожения плужной подошвы. Чизельные культиваторы эффективны на предпосевной подготовке почвы, при обработке полей после пропашных культур. Глубокое рыхление или щелевание почвы – эффективный агроелиоративный прием, улучшающий водно-физические свойства слабоводопроницаемых почв. В почве нарезаются щели на глубину 0,4...0,5 м с расстоянием между ними 1,0...1,4 м. При этом значительно улучшается ее водопроницаемость и влагоемкость, более равномерно перераспределяется влага по почвенному профилю и частям склона, разуплотняется подпахотный слой.

На склонах щели нарезаются в направлении близком к горизонтальным. Щелевание эффективно также для борьбы с вымоканием на временно переувлажненных почвах. Данный прием проводят осенью на посевах озимых, по зяби под яровые культуры, на посевах многолетних трав, сенокосах и пастбищах.

Щелевание зяби под картофель поздней осенью перед наступлением заморозков и при промерзании почвы на глубину до 5 см практически предотвращает при весеннем снеготаянии смыв почвы на склонах.

В качестве рабочих органов чизельных орудий применяются (рис. 4.1) жесткие, подпружиненные и пружинные рыхлители различной конструкции.

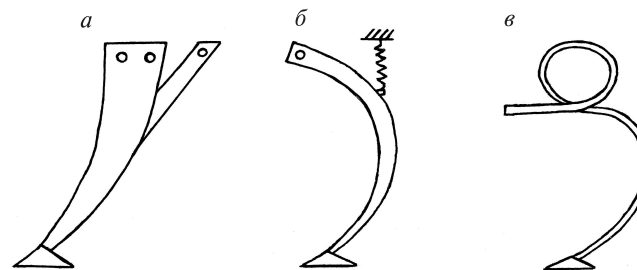


Рис. 4.1. Рабочие органы чизельных орудий:
а – жесткие; б – подпружиненные; в – пружинные

Важнейшие параметры чизельных орудий – расстояние между рабочими органами в ряду, количество рядов, величина междуследий, расстояние между рядами рабочих органов, просвет под рамой, ширина наральников и максимальная глубина обработки. При их выборе учитывают особенности деформации почвы.

4.1. ДЕФОРМАЦИЯ ПОЧВЫ ЧИЗЕЛЬНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Особенностью чизельных орудий является то, что они не полностью подрезают наральниками нижнюю часть обрабатываемого пласта. Полное рыхление верхней части пласта достигается за счет боковых деформаций почвы. Рассмотрим профили деформации почвы для двух типичных случаев:

глубина хода a рабочих органов не превышает критической глубины $h_{кр}$ (рис. 4.2, а);

глубина хода a рабочих органов превышает критическую глубину $h_{кр}$ (рис. 4.2, б).

Понятие критической глубины резания было введено Е. Динглингером, затем было развито Ю. А. Ветровым, В. В. Труфановым.

При движении чизельного рабочего органа на глубине, меньшей критической, боковое скалывание под углом Θ происходит у нижней части наральника. С увеличением глубины хода рабочих органов увеличивается поперечное сечение взрыхленной почвы. Начиная с некоторой критической глубины хода $h_{кр}$, возникают изменения в соотношениях полной глубины хода рабочих органов

и ширины верхней части разрыхленной зоны. При этом резко увеличивается тяговое сопротивление из-за того, что в зоне, лежащей ниже критической глубины, происходит уплотнение стенок. Оно сопровождается пластическими и упругими деформациями почвы без образования почвенных стружек (см. раздел 2).

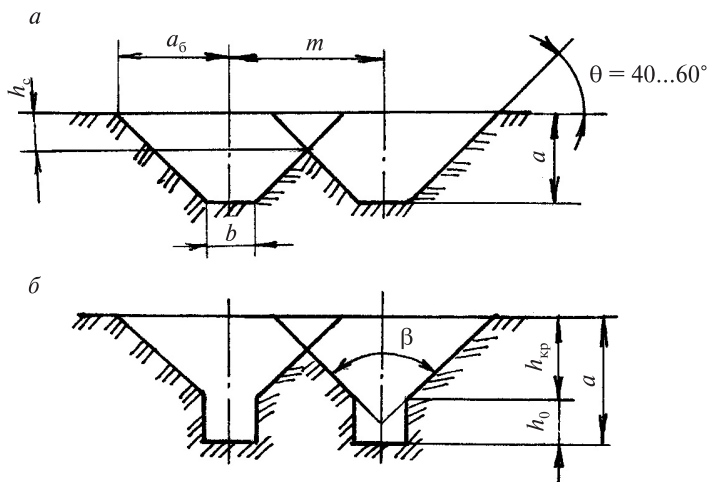


Рис. 4.2. Схема поперечных профилей почвы после прохода чизельных рабочих органов:

M – величина междуследий; b – ширина наральника;
 h_c – глубина сплошного рыхления

Критическую глубину резания почвы $h_{кр}$ рыхлительной лапой можно представить как некоторую часть общей глубины обработки (рис. 4.2, б):

$$h_{кр} = a - h_0, \quad (4.1)$$

где a – глубина обработки почвы, м; h_0 – глубина заблокированного резания без отделения почвенной стружки с боковых сторон лапы, м.

При обработке почвы на глубину $a > h_{кр}$ скалывание почвы с боковых сторон лапы, достигнув предельного значения a_6 прекращается, т. е.

$$a_6 = c = \mu_0 h_{кр}, \quad (4.2)$$

где c – постоянная величина для определенных параметров лапы и физико-механических свойств почвы, м.

В этом случае нижний слой пласта на глубину h_0 разрезается без отделения почвенной стружки.

Критическая глубина резания без учета параметров рабочих органов и физико-механических свойств почвы будет иметь вид

$$h_{кр} = \frac{a_6}{\mu_0}. \quad (4.3)$$

Исходя из условий деформации почвы, преобразуем выражение (4.3) с учетом влияния угла крошения α (угла наклона лапы ко дну борозды) и физико-механических свойств обрабатываемой почвы. В поперечном сечении пласта (рис. 4.3, в)

$$BD = h_{кр} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}, \quad (4.4)$$

$$A = 2h_{кр} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + b, \quad (4.5)$$

где A – ширина полосы деформации почвы на поверхности, м; b – ширина захвата лапы, м.

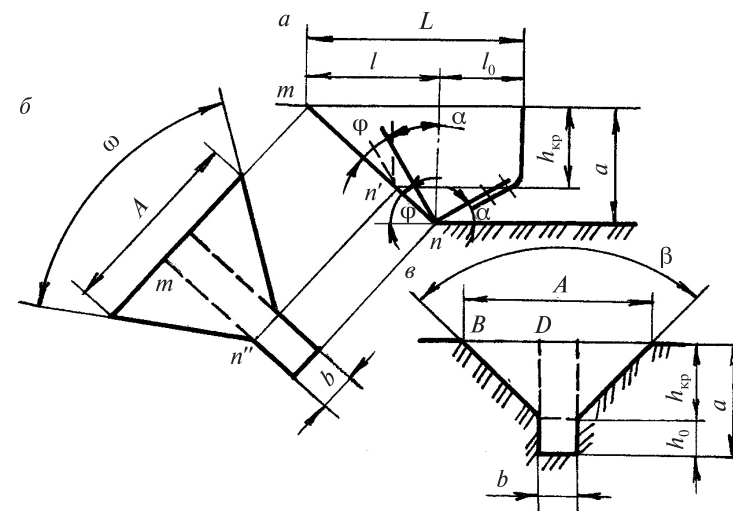


Рис. 4.3. Схема деформации почвы при работе чизельного рабочего органа

Подставив в формулу (4.5) значение $h_{кр}$, получим

$$A = \frac{2a_6}{\mu_0} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + b. \quad (4.6)$$

Ширина полосы A деформации почвы на поверхности перед лапой на расстоянии l от носка имеет следующую зависимость (рис. 4.3, б)

$$A = 2mn' \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} + b, \quad (4.7)$$

$$mn' = \frac{h_{кр}}{\cos(\alpha + \varphi)},$$

$$A = \frac{2h_{кр} \operatorname{tg}(\omega/2)}{\cos(\alpha + \varphi)} + b, \quad (4.8)$$

где ω – угол, характеризующий область деформации почвы в плоскости скалывания mn' , град.; α – угол крошения, град.; φ – угол трения почвы по стали, среднее значение которого принимают равным 25° .

После преобразований уравнения (4.8) получим

$$h_{кр} = \frac{a_6 \operatorname{tg}(\beta/2) \cos(\alpha + \varphi)}{\mu_0 \operatorname{tg}(\omega/2)}. \quad (4.9)$$

Экспериментально-теоретическими исследованиями установлено, что

$$\operatorname{tg}(\omega/2) = \operatorname{tg}(\beta/2) \sin \psi. \quad (4.10)$$

Подставляя значения $\operatorname{tg}(\omega/2)$, после преобразований получим

$$h_{кр} = \frac{a_6 \cos(\alpha + \varphi)}{\mu_0 \sin \psi}, \quad (4.11)$$

где ψ – угол наклона плоскости скалывания (рис. 4.3, а), град.

Формула для определения $h_{кр}$ выражает зависимость критической глубины резания рыхлительной лапой чизельного орудия от величины скалывания почвы с боковых сторон лапы, угла наклона лапы к дну борозды и физико-механических свойств почвы (тре-

ние почвы по металлу и внутреннее трение). На основании этого выражения следует ожидать, что с уменьшением углов крошения и трения почвы по стали и увеличением угла внутреннего трения критическая глубина резания при прочих равных условиях должна возрасти. Кроме того, с уменьшением угла α угол резания $\beta_0 = \alpha + \varphi$ лапы снижается и уменьшается возможность сгуживания почвы впереди рабочего органа.

4.2. ПАРАМЕТРЫ ЧИЗЕЛЬНЫХ ОРУДИЙ

Согласно агротехническим требованиям при сплошной обработке почвы чизели должны иметь такую ширину междуследия рабочих органов, при которой зоны распространения деформации почвы с боковых сторон в процессе рыхления пересекаются в обрабатываемом слое (рис. 4.4, а). В результате в верхнем слое до некоторой глубины h_c обеспечивается сплошное рыхление почвы по ширине захвата орудия. При этом высота гребней над дном борозды меньше глубины обработки почвы.

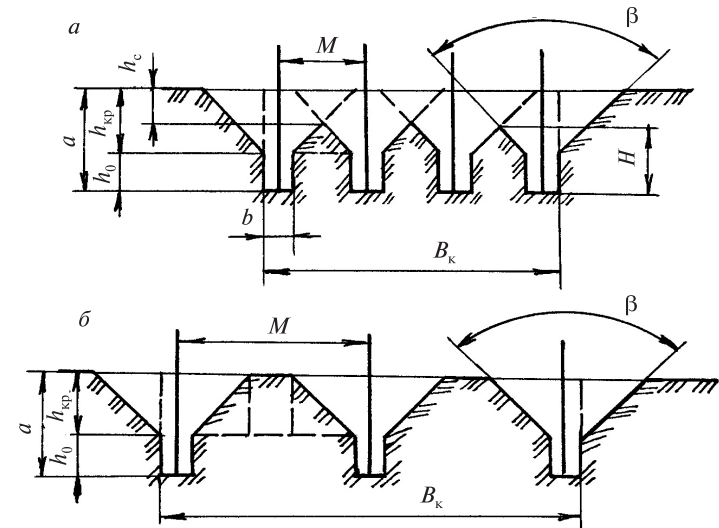


Рис. 4.4. Поперечные профили пласта при работе орудий с чизельными рабочими органами:
а – при чизелевании; б – при щелевании

При расстановке рабочих органов на раме чизельного плуга или культиватора для осуществления операции чизелевания почвы необходимо соблюдать условие

$$\frac{M - b}{2} \leq a, \quad (4.12)$$

где M – ширина междуследия рабочих органов, м; b – ширина захвата рабочих органов, м; a – глубина обработки почвы, м.

В этом случае зоны распространения деформации почвы с боковых сторон рабочих органов пересекаются, в верхнем слое обрабатываемого пласта обеспечивается сплошное рыхление.

При работе орудия в качестве щелереза высота гребней над дном борозды за счет увеличения ширины междуследия рабочих органов достигает глубины обработки почвы.

При использовании орудия в качестве щелереза (рис. 4.4, б) для осуществления операции щелевания почвы должно соблюдаться условие

$$\frac{M - b}{2} > a. \quad (4.13)$$

Поперечные профили сечения пласта при чизелевании и щелевании почвы орудием шириной захвата B , с чизельными рабочими органами изображены схематически на рис. 4.4.

Во избежание забивания рабочих органов между передним и задним рядами лап при их расстановке в два или несколько рядов на раме орудия в шахматном порядке необходимо, чтобы зона деформации почвы под воздействием лап заднего ряда не достигала стойки переднего ряда:

$$L \geq l + l_0, \quad (4.14)$$

где L – расстояние между стойками лап по ходу орудия, м (см. рис. 4.3); l_0 – вынос стойки, определяемый конструкцией, м; l – длина зоны деформации почвы перед лапой, м.

Непременным условием сплошного чизелевания, определяющим необходимое расстояние между чизельными лапами в поперечном направлении, является то, что между соседними бороздками (в междуследии) не должно оставаться необработанных полос и

не должно быть заклинивания почвой пространства между стойками соседних лап в каждом ряду.

Стреловидная многорядная схема (рис. 4.5, а) с расположением рабочих органов по прямой линии, направленной под некоторым углом γ к направлению движения агрегата, позволяет увеличить пространство между рабочими органами по ширине захвата. В результате обеспечивается свободный проход обрабатываемой почвы и растительных остатков вдоль орудия при достаточной ширине междуследия M и определенном вылете лап относительно друг друга. Преимуществом стреловидной многорядной схемы является то, что она позволяет сократить количество рабочих органов, работающих в сплошной (блокированной) среде.

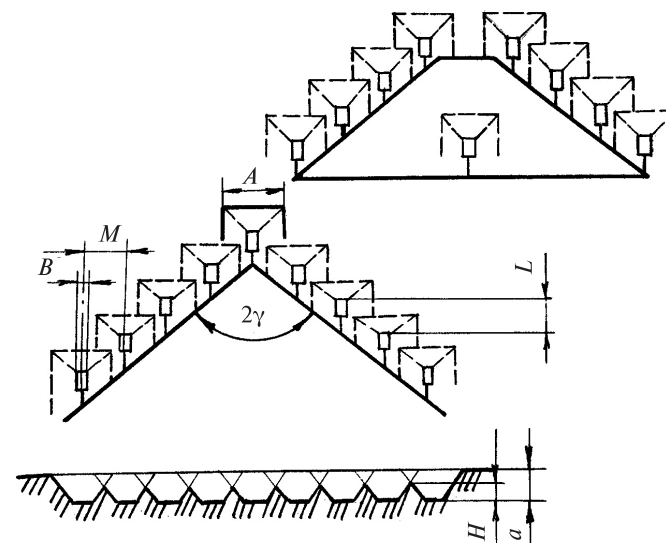


Рис. 4.5. Схемы расстановки чизельных рабочих органов на раме орудия: а – стреловидная; б – комбинированная; M – междуследие; B – ширина стойки; L – расстояние между рыхлителями по ходу; H – высота неразрыхленных гребней на глубине обработки; a – максимальная глубина обработки; 2γ – угол раствора брусьев рамы

Однако при глубокой обработке влажных почв с большим количеством стерни возможно забивание орудия почвой и пожнивными остатками в пространстве между рабочими органами первого и второго ряда, если ширина междуследия менее 400 мм.

Комбинированная многорядная схема (рис. 4.5, б) с выносом средней лапы назад повышает возможность прохождения взрыхленной почвы и растительных остатков в переднем ряду.

Чтобы предупредить забивание рабочих органов почвой и растительными остатками при размещении их по стрелообразной и комбинированной схемам, необходимо правильно выбрать основные технологические и конструктивные параметры орудия.

Расстояние L между рыхлителями по ходу агрегата (см. рис. 4.5, а) при расстановке их по прямой линии под углом к направлению движения можно определить по формуле

$$L = Mctg\gamma, \quad (4.15)$$

где M – ширина междуследия рабочих органов, м; γ – половина угла раствора стрелообразной рамы орудия, град.

Уменьшение вылета лапы L может привести к заклиниванию почвы между лапами по ходу агрегата, а его увеличение нежелательно, так как повлечет удлинение рамы.

Увеличение ширины междуследия M способствует снижению забиваемости, но при этом ухудшается качество работы. Может происходить недорез пласта с образованием крупных глыб на поверхности и оставление гребней высотой H над дном борозды, снижение крошения почвы в обрабатываемом слое. Значительное уменьшение ширины междуследия при глубокой обработке приводит к заклиниванию почвы между смежными лапами.

Чизельные плуги в отличие от чизельных культиваторов имеют повышенную ширину междуследий – свыше 0,24 м. Максимальная допустимая величина междуследий M , как правило, не превышает 0,40...0,45 м.

Делаются попытки определения оптимального соотношения параметров чизельного плуга для различных условий работы. Номограмма, представленная на рис. 4.6, может служить одним из примеров реализации таких попыток. По этой номограмме, исходя из величины междуследий, можно определить необходимое количество рыхлительных лап и расстояние между стойками в ряду, которое должно превышать 0,60 м для исключения забивания рабочих органов растительными остатками и предотвращения сгуживания почвы. По этим причинам расстояния между рядами стоек составляет около 0,70 м, а минимальный просвет под рамой – 0,60 м.

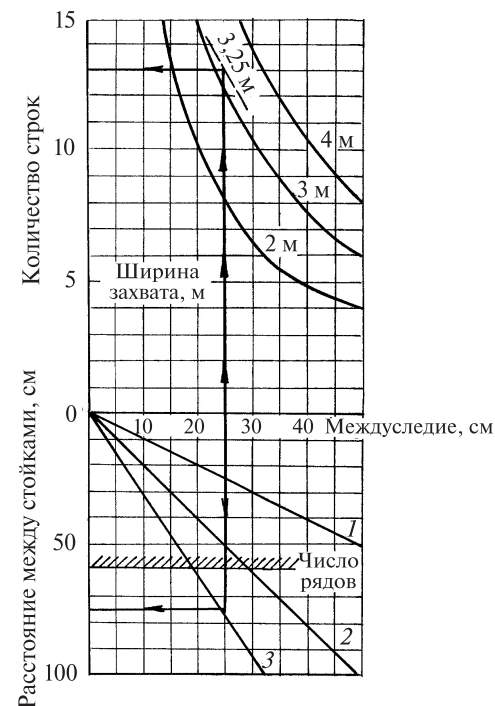


Рис. 4.6. Номограмма для выбора основных параметров чизельного плуга

4.3. ТЯГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЧИЗЕЛЬНЫХ ОРУДИЙ

Для определения тягового сопротивления чизельных плугов В. В. Труфановым предложена усовершенствованная рациональная формула (3.17) академика В.П. Горячкина:

$$P_{кр} = fG + KF_{кр} + eF_{кр}v^2, \quad (4.16)$$

или

$$P_{кр} = fG + (K + ev^2)F_{кр}, \quad (4.17)$$

где $F_{кр}$ – площадь сечения взрыхленной части пласта при обработке почвы в слое до критической глубины резания, м²; f – коэффициент трения; G – вес орудия, Н; K – коэффициент удельного сопротивления (деформации почвы), Па; e – скоростной коэффициент, зависящий от параметров рабочих органов и свойств почвы, Н·с²/м⁴; v – рабочая скорость, м/с.

Затраты энергии на обработку почвы возрастают с увеличением площади распространения деформации почвы в поперечном сечении пласта.

После подстановки $F_{кр}$ с учетом действительной зоны распространения деформаций и конструктивных параметров орудий формула тягового сопротивления (4.16) может быть представлена в виде

$$P_{кр} = fG + (K + ev^2) \left(aB_k - \frac{1}{4}(n-1)(M-b)^2 \right), \quad (4.18)$$

где n – количество рабочих органов; a – глубина обработки почвы, м; M – ширина междуследия, м; B_k – конструктивная ширина захвата, м; b – ширина рабочего органа, м.

При работе чизеля рабочие органы расставляют на раме с таким междуследием, чтобы зоны распространения деформации почвы с боковых сторон рабочих органов при любой глубине обработки пересекались.

При постоянной скорости движения агрегата уравнение (4.18) представляет собой линейную зависимость до критической глубины резания, когда технологический процесс осуществляется с отделением почвенной стружки. Если глубина обработки почвы больше критической глубины резания ($a > h_{кр}$), то произойдет блокированное резание почвы без отделения почвенной стружки. В результате тяговое сопротивление резко возрастет. В этом случае общее тяговое сопротивление чизельного орудия P_q будет складываться из двух видов сопротивления:

$$P_q = P_{кр} + P_0, \quad (4.19)$$

где $P_{кр}$ – тяговое сопротивление при глубине обработки до критической, Н; P_0 – приращение тягового сопротивления при блокированном резании почвы рабочими органами на глубине, выше критической, Н.

При работе чизеля в блокированной среде приращение тягового сопротивления P_0 , как показали экспериментальные исследования, находится в следующей зависимости от скорости движения и площади сечений прорезей

$$P_0 = (K' + e'v^2)F_0, \quad (4.20)$$

где K' – коэффициент деформации почвы, Н/м²; F_0 – суммарная площадь сечений прорезей в слое h_0 ниже критической глубины резания, м²; e' – коэффициент, зависящий от параметров рабочих органов и свойств почвы, Н·с²/м⁴.

Подставив значение F_0 в уравнение (4.20), получим

$$P_0 = (K' + e'v^2)nb(a - h_{кр}). \quad (4.21)$$

Тогда уравнение для P_q можно записать в следующем виде:

$$P_q = fG + (K + ev^2) \left(aB_k - \frac{1}{4}(n-1)(M-b)^2 \right) + (K' + e'v^2)nb(a - h_{кр}). \quad (4.22)$$

4.4. ТЯГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЩЕЛЕРЕЗА

При использовании чизельного орудия в качестве щелереза рабочие органы расставляют на раме так, чтобы зоны распространения деформации почвы с боковых сторон рабочих органов не пересекались (см. рис. 4.4, б). Площадь сечения взрыхленной части пласта $F_{кр}$ при обработке почвы в слое до критической глубины резания в пределах конструкционной ширины захвата орудия определяется выражением

$$F_{кр} = h_{кр}B_k - F_2, \quad (4.23)$$

где B_k – конструкционная ширина захвата щелереза; F_2 – суммарная площадь сечения неразрушенных гребней в слое до критической глубины резания ($a \leq h_{кр}$).

Площадь F_2 недеформированной почвы (см. рис. 4.4, б) определяется выражением

$$F_2 = (n-1)F'_t, \quad (4.24)$$

где F'_t – площадь трапеции, высота которой соответствует критической глубине резания.

Приняв значение $\beta = 90^\circ$, после преобразований формулы (4.24) получим

$$F'_t = h_{кр}(M - b - h_{кр}). \quad (4.25)$$

После подстановки значения выражения F'_t (4.25) в формулу (4.24) формула для F_2 примет вид

$$F_2 = (n-1)(M - b - h_{кр})h_{кр}. \quad (4.26)$$

Тогда $F_{кр}$ будет определяться по зависимости

$$F_{кр} = h_{кр}B_k - F_2 = h_{кр}B_k - (n-1)(M-b-h_{кр})h_{кр} \quad (4.27)$$

или при $a \leq h_{кр}$

$$F_{кр} = aB_k - (n-1)(M-b-a)a. \quad (4.28)$$

Подставляя значение выражения в формулу тягового сопротивления (4.18), получим уравнение тягового сопротивления щелереза при работе до критической глубины резания ($a \leq h_{кр}$)

$$P_{кр} = fG + K(aB_k - (n-1)(M-b-a)a) + ev^2(aB_k - (n-1)(M-b-a)a) \quad (4.29)$$

или

$$P_{кр} = fG + (K + ev^2)(aB_k - (n-1)(M-b-a)a). \quad (4.30)$$

Если глубина обработки почвы больше критической глубины резания ($a > h_{кр}$), то в слое ниже критической глубины произойдет блокированное резание почвы без отделения стружки.

В этом случае аналогично соответствующему варианту работы чизельных орудий формула общего тягового сопротивления будет состоять из двух членов

$$P_{ш} = P_{кр} + P_0. \quad (4.31)$$

Подставив в уравнение (4.31) значение $P_{кр}$ и значение P_0 , получим общее тяговое сопротивление щелереза:

$$P_{ш} = fG + (K + ev^2)(aB_k - (n-1)(M-b-a)a) + nb(a-h_{кр})(K' + e'v^2). \quad (4.32)$$

Средние значения коэффициентов для определения тягового сопротивления чизельных орудий приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Средние значения коэффициентов f, K, e, K', e' при работе чизельных плугов и щелерезов на разных типах почвы

Тип почвы и фон	f	$K, \text{Н/м}^2$	$e, \text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^2$	$K', \text{Н/м}^2$	$e', \text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$
Легкие почвы по фону отвальной и безотвальной вспашки	0,4	$35 \cdot 10^2$	$16 \cdot 10^2$	$19 \cdot 10^4$	$158 \cdot 10^2$
Средние почвы по стерне	0,4	$40 \cdot 10^3$	$16 \cdot 10^2$	$22 \cdot 10^4$	$158 \cdot 10^2$
Тяжелые почвы по стерне	0,4	$43 \cdot 10^3$	$16 \cdot 10^2$	$25 \cdot 10^4$	$158 \cdot 10^2$

Глава 5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Дополнительная обработка позволяет:

- разрыхлить верхний слой на глубину посева семян;
- выровнять поверхность поля;
- обеспечить мелкокомковатое строение посевного слоя;
- уплотнить почву на глубине посева семян;
- уничтожить всходы сорняков;
- заделать внесенные удобрения;
- сохранить влагу в посевном и пахотном слоях;
- улучшить биологическую активность и питательной режим почвы;
- создать условия для производительной работы сельскохозяйственных машин на последующих операциях.

Дополнительная обработка почвы может включать следующие основные операции:

1) *боронование* – применяют различные типы борон в сцепках, а также бороновальные агрегаты (АБ-5/9, АБН – 6/9/12) с пружинными зубьями. При бороновании посевов скорость агрегата составляет 5–7 км/ч;

2) *культивация* – проводят для закрытия влаги, рыхления и выравнивания почвы. Применяют паровые культиваторы со стрельчатыми или пружинными лапами. Глубина культивации – 5–7 см;

Прикатывание – предпочтительно проводить одновременно со вспашкой. Используют гладкие, ребристые, кольчато-зубчатые, кольчато-шпоровые и специальные катки. Не допускается прикатывание переувлажненной и запыренной почвы. На поверхности поля должен создаваться мульчирующий слой почвы.

Обработка почвы комбинированными агрегатами – обеспечивает агротехнические и технико-экономические преимущества. Агрегаты типа АКШ одновременно осуществляют рыхление, выравнивание и уплотнение почвы, что за один проход создает оптимальные условия

для развития растений. Применяют агрегаты с пассивными или активными рабочими органами.

Основными орудиями для дополнительной обработки почвы являются бороны, культиваторы, фрезы, дисковые и ротационные орудия, катки. Каждое из этих орудий имеет специфические рабочие органы, рациональное сочетание которых позволяет создавать комбинированные агрегаты.

5.1. БОРОНОВАНИЕ

При бороновании осуществляются важные технологические операции рыхления и выравнивания почвы, уничтожения сорняков. Зубовая борона является незаменимым самостоятельным орудием и составным элементом многих комбинированных почвообрабатывающих агрегатов.

Зубовые бороны с жесткой конструкцией рамы для лучшего приспособления к рельефу поля выполняют в виде звеньев небольшой ширины захвата (0,6...1,0 м). По давлению, передаваемому на почву одним зубом, бороны подразделяются на легкие (6...10 Н), средние (12...15 Н) и тяжелые (16...20 Н). Длина зуба соответственно равна 100, 150 и 180 мм. Зубья легких борон имеют круглое сечение и затачиваются под конус. Зубья средних и тяжелых борон имеют квадратное сечение и одностороннюю заточку (рис. 5.1, б). От направления движения зуба зависит глубина обработки почвы.

Зубья с круглым и эллипсовидным сечением имеют меньшее тяговое сопротивление. Особую форму имеет зуб лапчатой бороны, которая используется в почвозащитной технологии для сохранения запасов почвенной влаги. На луговой бороны применяются ножи (рис. 5.1, а). Несмотря на очевидные преимущества, зубья с эллипсовидным сечением широко не применяются.

Зубья с многоугольным сечением представлены на рис. 5.1, б. Известны зубья с сечением в виде квадрата, треугольника и ромба. Наибольшее распространение получили зубья с квадратным сечением из-за удобства проката стержней.

Пружинные зубья (рис. 5.1, в) при работе вибрируют и лучше самоочищаются. Первый из них ставится за культиватором или сеялкой, а следующие три — на сетчатых бороны. Последние зубья этой группы применяются для обработки твердых и глыбистых почв.

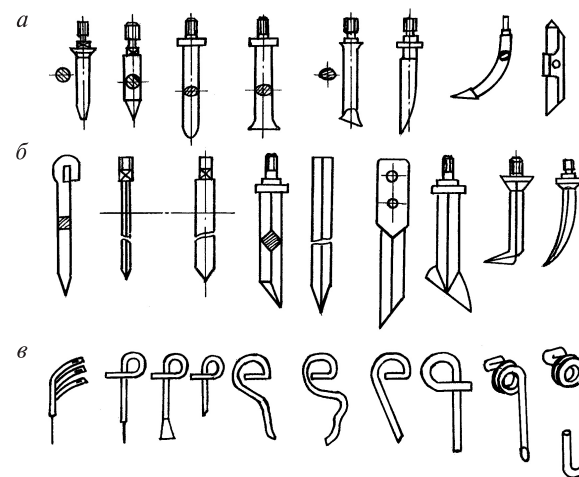


Рис. 5.1. Конструкции рабочих органов зубовых борон: а — зубья круглого и эллипсовидного сечения; б — зубья многоугольного сечения; в — пружинные зубья

Работа борон должна отвечать следующим требованиям:

1) расстояние между бороздками по всей ширине захвата должны быть одинаковыми и равными заданному значению. По каждой бороздке должен проходить один зуб;

2) бороны не должны забиваться растительными остатками и почвой. Для этого зубья, образующие смежные бороздки, должны быть достаточно удалены друг от друга по направлению движения;

3) бороны должны быть устойчивы в работе. Боковое воздействие на зуб со стороны недеформированной почвы больше, чем со стороны деформированной, поэтому зуб, идущий рядом с бороздкой, будет стремиться сойти в нее. Устойчивое движение бороны будет обеспечено, если все зубья будут работать в одинаковых условиях или боковые усилия на отдельные зубья будут взаимно уравновешены.

Выполнение этих требований может быть достигнуто при соответствующем размещении зубьев на раме. Известны разные способы размещения зубьев и разные конструкции звеньев борон. Зубья современных борон размещают на развертках многоходовых винтов (основного и дополнительного).

Точки пересечения разверток винтовых линий расположены на образующих развернутой на плоскость цилиндрической поверхности, соответствующих поперечным рядам зубьев бороны, образуя так называемое зубовое поле.

Необходимо иметь в виду, что по одной бороздке пойдет только один зуб в том случае, если количество поперечных рядов зубьев M и количество заходов винта K не имеет общего множителя. В противном случае по одной бороздке пройдет количество зубьев, равное этому множителю. Непригодно для построения звена бороны число заходов одного из винтов, равное единице. По этой причине и приняты $M = 5$, а $K = 2$ или 3 .

Среднюю часть продольных зигзагообразных планок необходимо располагать вдоль развертки винта с меньшим количеством заходов, а концы планок направлять по развертке винта с большим количеством заходов. Продольные планки соединяются поперечными планками. По такой схеме выполнялись бороны «Зигзаг» старой конструкции и выполняются современные бороны легкого типа. Ввиду того что вероятность забивания бороны больше в средней части, чем по концам, расстояние между крайними поперечными планками может быть несколько уменьшено. При этом зубья, расположенные на крайних планках, оставляют на тех же продольных линиях, а концы зигзагообразных планок подгибают.

Современные средние и тяжелые скоростные бороны имеют раму, выполненную из прямолинейных продольных планок, расположенных вдоль винтовых линий основного и дополнительного винтов. Концы продольных планок соединены поперечными планками. Отсутствие поперечных планок в средней части звена уменьшает вероятность забивания бороны.

На звено бороны действуют сила тяжести G , сила тяги P (составляющие P_x и P_y), а также сопротивление почвы с горизонтальной составляющей R_x (рис. 5.2). Устойчивый ход зубьев по глубине обеспечивается правильностью выбора направления линии тяги. Для этого линия тяги должна проходить через след центра тяжести (с.ц.т) бороны под углом α к горизонту

$$\alpha = \arctg(2b/L), \quad (5.1)$$

где b – длина зуба, м; L – длина звена бороны, м.

Длина звена бороны вычисляется по формуле

$$L = h(M - 1),$$

где h – расстояние между поперечными рядами зубьев, м; M – количество поперечных рядов зубьев.

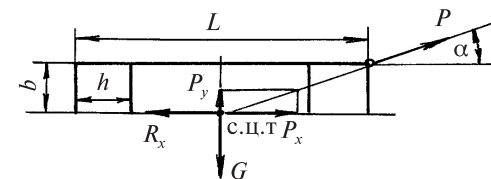


Рис. 5.2. Схема действующих сил на звено зубовой бороны

Требуемая нагрузка на зуб будет обеспечена при массе m звена бороны

$$mg = qz + P_0 z t g \alpha, \quad (5.2)$$

где q – нагрузка на один зуб, Н; P_0 – тяговое сопротивление одного зуба, Н; z – количество зубьев бороны; α – угол отклонения силы сопротивления от горизонтали, град.

Особенности выбора параметров пружинных зубьев связаны с их упругими характеристиками. В диапазоне действующих рабочих усилий отклонения зуба по высоте не должны превышать установленных допусков на неравномерность глубины обработки почвы.

5.2. КУЛЬТИВАЦИЯ

Культивацией называется прием обработки почвы, главное назначение которого – рыхление почвы и борьба с сорной растительностью.

По назначению культиваторы делятся на две группы: для сплошной и междурядной обработки почвы.

Культиваторы для сплошной обработки почвы в свою очередь делятся на паровые и специальные (садовые, лесные, противоэрозионные). Применяются для подготовки почвы к посеву и ухода за парами. К ним относятся и чизельные культиваторы.

Разложим силу N по направлениям перемещения культиваторной лапы N_v и по лезвию N_T . Сила N_T способствует очищению лапы от сорняков.

Условие самоочистки культиваторной лапы можно записать в виде

$$N_T \geq F \quad (5.3)$$

или, подставив вместо F и N_T их значения в формулу (5.3),

$$N \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \gamma \right) \geq N \operatorname{tg} \phi. \quad (5.4)$$

Выполнив преобразование формулы (5.4), получим

$$\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \gamma \right) \geq \operatorname{tg} \phi; \quad (5.5)$$

$$\gamma \leq \frac{\pi}{2} - \phi, \quad (5.6)$$

где ϕ – угол трения сорняков по лезвию, град.

При соблюдении условия (5.6) обеспечивается самоочистка культиваторной лапы. Если угол трения сорняков по лапе $\phi \approx 45^\circ$, то предельное значение угла составляет $\gamma \leq 45^\circ$ или $2\gamma \leq 90^\circ$.

На выбор угла раствора культиваторной лапы влияет и трение по ней почвы, поэтому при обработке торфяно-болотных и черноземных почв повышенной влажности принимается $2\gamma = 50 \dots 58^\circ$, для почв средней вязкости $2\gamma = 60 \dots 78^\circ$, для сыпучих почв $2\gamma = 70 \dots 80^\circ$.

Угол резания β_0 , образуемый верхней фаской и горизонтальной плоскостью (рис. 5.5), влияет на чистоту подрезания сорняков. Угол резания β_0 складывается из двух углов: угла заострения i и затылочного угла ε , т. е.

$$\beta_0 = i + \varepsilon. \quad (5.7)$$

Обычно принимают $i = 12 \dots 15^\circ$, $\varepsilon = 10^\circ$, тогда $\beta_0 = 22 \dots 25^\circ$. Если угол крошения почвы $\beta \geq 25^\circ$, то заточка должна выполняться нижней (рис. 5.5, а), при $\beta \leq 15^\circ$ – верхней (рис. 5.5, б), а при $15^\circ < \beta < 25^\circ$ – двухсторонней (рис. 5.5, в).

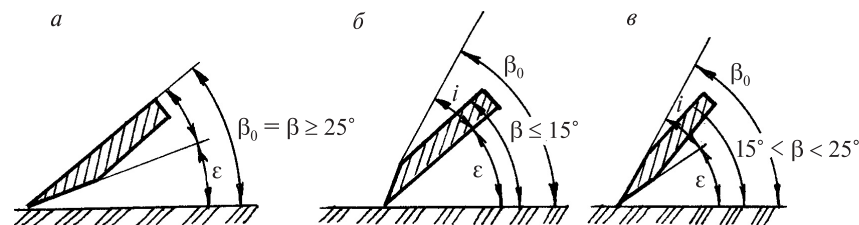


Рис. 5.5. Варианты заточки лезвия культиваторной лапы в зависимости от условий работы: а – нижняя; б – верхняя; в – двухсторонняя

При увеличении угла β крошение почвы возрастает, однако при слишком больших его значениях и малой глубине обработки может наблюдаться нежелательный вынос на поверхность влажных слоев почвы.

5.4. РЫХЛЕНИЕ ПОЧВЫ ЛАПAMI КУЛЬТИВАТОРА

Паровые культиваторы могут быть укомплектованы рыхлительными или стрельчатыми универсальными лапами. Как рыхлительные, так и стрельчатые лапы расставляют на брус с перекрытием по ширине захвата. За ширину захвата рыхлительных лап принимают ширину зоны деформации почвы в поперечном направлении. Ширина рыхления B_p этой зоны зависит от конструкции лапы, глубины ее хода, свойств почвы и может быть определена согласно рис. 5.6 по формуле

$$B_p = d + \frac{2a \operatorname{tg}(\theta/2)}{\cos(\alpha + \phi)}, \quad (5.8)$$

где d – конструктивная ширина лапы, м; a – глубина обработки, м; θ – угол между плоскостями, ограничивающими область деформации почвы; в зависимости от типа и состояния почвы $\theta = 40 \dots 50^\circ$; α – угол вхождения лапы в почву, град; ϕ – угол трения, град.

Ширина захвата стрельчатой лапы равна ее конструктивной ширине.

Перекрытие Δb рыхлительных и стрельчатых лап исключает появление огрехов при обработке почвы за счет возможных от-

клонений грядила и стойки в горизонтальной плоскости. Следовательно,

$$\Delta b \geq l_r \sin \delta, \quad (5.9)$$

где l_r – длина грядила ($l_r = 0,4 \dots 0,8$ м); δ – возможный угол отклонения грядила в горизонтальной плоскости ($\delta = 7 \dots 10^\circ$).

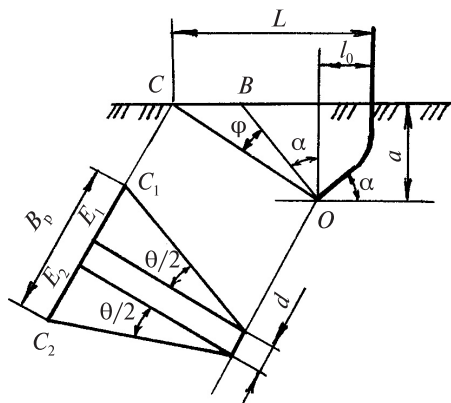


Рис. 5.6. Зона деформации почвы при работе культиваторной лапы

Расстояние между рядами рыхлительных лап по ходу движения культиватора определяют из условия максимального использования зоны деформации по формуле

$$L \geq l_0 + a \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \quad (5.10)$$

где l_0 – вылет носка лапы относительно стойки, м.

Обычно L принимают в пределах $0,4 \dots 0,5$ м. Стрельчатые лапы для предотвращения забиваний устанавливают с таким расчетом, чтобы расстояние между кромками соседних лап было не менее $30 \dots 50$ мм.

При расстановке рыхлительных и стрельчатых лап, если ширина захвата их в обоих рядах одинакова, общее количество лап можно подсчитать по формуле

$$z = \frac{B}{t} = \frac{B}{b - \Delta b}, \quad (5.11)$$

где B – ширина захвата культиватора, м; t – расстояние между следами лап, м.

Часто ввиду меньшего тягового сопротивления второго ряда лап по сравнению с первым при установке стрельчатых лап во втором ряду устанавливают лапы с большей шириной захвата, чем в первом. При этом стремятся сохранить как расстояние между следами лап, так и их перекрытие.

При установке лап в два ряда их общее число должно быть нечетным, и во втором ряду должно быть на одну лапу больше, чем в первом.

В культиваторах для междурядной обработки подрезающие лапы устанавливают в 2 или 3 ряда. Перекрытие должно составлять $\Delta b = 35 \dots 50$ мм. Стрельчатые лапы устанавливают впереди плоскорезущих. Подкормочные ножи устанавливают в боковых держателях секций культиватора, а стрельчатые или рыхлительные лапы – в заднем держателе секций.

Секции звездочек расставляют в сочетании с односторонними лапами (бритвами) так, чтобы лапы стояли за звездочками. В центре междурядья, впереди односторонних лап, устанавливают стрельчатую лапу.

Ширину защитной зоны e выбирают с учетом развития корневой системы и глубины обработки почвы ($e = 6 \dots 16$ см).



Задача. Определить зону деформации почвы рыхлительной лапой культиватора в продольной и поперечной плоскости, если конструктивная ширина лапы $d = 0,03$ м; глубина обработки $a = 0,14$ м; угол между плоскостями, ограничивающими область деформации, $\theta = 45^\circ$; угол вхождения лапы в почву $\alpha = 15^\circ$; угол трения $\varphi = 25^\circ$; вылет носка лапы относительно стойки $l_0 = 0,05$ м.

Решение. Подставим в уравнения (5.8) и (5.10) численные значения и получим

$$B_p = 0,03 + \frac{2 \cdot 0,14 \cdot \operatorname{tg}(45/2)}{\cos(15 + 25)} = 0,18 \text{ м.}$$

$$L = 0,05 + 0,14 \cdot \operatorname{tg}(15 + 25) = 0,17 \text{ м.}$$

5.5. ТЯГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КУЛЬТИВАТОРОВ И РАСЧЕТ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Тяговое сопротивление культиватора P_c при сплошной обработке определяют по формуле

$$P_c = qB_c, \quad (5.12)$$

где q – удельное сопротивление, $q = 1,2...3,0$ кН/м; B_c – ширина захвата культиватора при сплошной обработке, м,

а тяговое сопротивление P_m при междурядной обработке – по формуле

$$P_m = q(B_m - 2en), \quad (5.13)$$

где B_m – ширина всей обрабатываемой поверхности, м; e – ширина защитной зоны, м; n – количество обрабатываемых рядов.

Сопротивление P_n прицепного культиватора перекачиванию определяется по формуле

$$P_n = fmg, \quad (5.14)$$

где f – коэффициент перекачивания ($f = 0,2...0,25$); m – масса культиватора, кг; g – ускорение свободного падения, м/с².

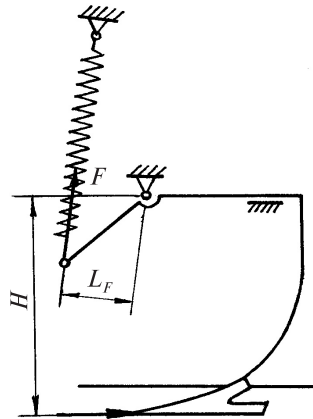


Рис. 5.7. Схема рычажного предохранительного устройства культиватора

Для защиты рабочих органов на культиваторах широко применяются индивидуальные предохранители двухстороннего действия. Они подразделяются на рычажные (рис. 5.7) и четырехзвенные.

Усилие Q , при котором должна выгибаться лапа культиватора, находится в зависимости

$$Q = \frac{P_T}{n} K, \quad (5.15)$$

где P_T – тяговое усилие трактора на оптимальной рабочей передаче, Н; n – число рабочих органов культиватора; K – коэффициент запаса устойчивости хода рабочих органов ($K = 1,5...2,5$).

Максимальные значения K принимают для культиваторов, работающих на засоренных камнями почвах.

Усилие натяжения пружины при срабатывании предохранителя рычажного типа определяют по формуле

$$F = \frac{QH}{L_F}, \quad (5.16)$$

где Q – усилие срабатывания предохранителя, Н; H , L_F – плечи сил Q и F , м.

Культиваторы совершенствуются с целью повышения рабочих скоростей и качества обработки. Во многих случаях это достигается за счет применения пружинных стоек с оптимальными характеристиками.

5.6. ТИПЫ И РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ КАТКОВ

Катки различных конструкций предназначены для разрушения комков, выравнивания поверхности поля, уплотнения почвы, уничтожения почвенной корки.

По конструкции рабочих органов (рис. 5.8) катки делятся на цилиндрические гладкие, клиновидные (a), ребристые (b), зубчатые (c), кулачковые (d), звездчатые (e), кольчато-шпоровые, кольчато-зубчатые, планчатые и борончатые. Диски изготавливают треугольного, зубчатого или Т-образного сечения. Кольца также бывают клиновидные, ребристые, зубчатые, кулачковые. Наиболее распространены кольчато-шпоровые катки, состоящие из дисков диаметром 520 мм (на их периферии расположены клиновидные ребра-шпоры) и планчатые (основными рабочими элементами являются зубчатые планки прямоугольного сечения, закрепленные по винтовой линии между соосными дисками). Для хорошего копирования рельефа поля катки изготавливают в виде секций шириной захвата не более 2 м.

Сопротивление перекачиванию F цилиндрического катка по непластичному грунту прямо пропорционально давлению и обратно пропорционально радиусу катка:

$$F = fN/r, \quad (5.17)$$

где f – коэффициент трения качения; N – сила нормального давления, Н; r – радиус катка, м.

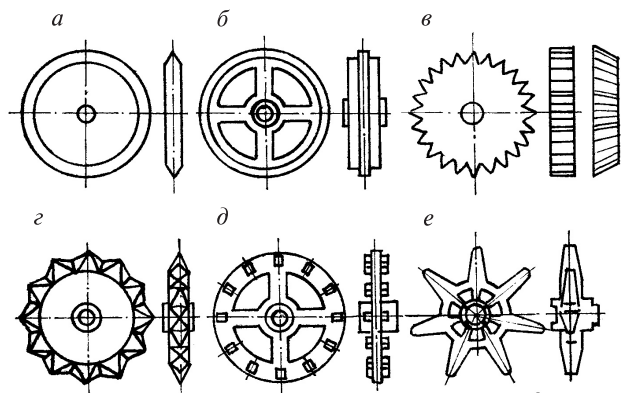


Рис. 5.8. Типы почвообрабатывающих катков

В реальных условиях работа катка сопровождается объемной деформацией почвы. Усилие перекатывания P катка зависит от его массы, размеров, свойств почвы и определяется по формуле Грандвуане–Горячкина:

$$P = \sqrt[3]{\frac{KG^4}{BD^2}}, \quad (5.18)$$

где $K = 0,01 \dots 0,02$ – коэффициент, характеризующий тип и состояние почвы; G – сила тяжести катка, Н; B и D – ширина и диаметр катка, м.

Силу тяжести катка G находят по формуле

$$G = \frac{2}{3} q_0 B \sqrt{Da^2}, \quad (5.18)$$

где q_0 – коэффициент объемной деформации почвы; a – глубина смятия почвы, м.

Усилие перекатывания гладкого катка определяется по уточненной формуле

$$P_{г.к} = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{G^4}{q_0 BD^2}}, \quad (5.19)$$

где $q_0 = 0,3 \dots 0,5$ – коэффициент объемной деформации почвы.

Усилие перекатывания негладкого катка несколько больше, и при его определении величину $P_{г.к}$ умножают на коэффициент k ,

учитывающий увеличение сопротивления катка от дополнительной деформации почвы негладкой поверхностью катка. Коэффициент k для сплошных кольчатых катков равен $1,1 \dots 1,2$, а для комбинированных (звездчатых и кольчатощпоровых) k принимают равным $1,1 \dots 1,3$.

При перекатывании катка впереди него образуется почвенный валик, высота которого зависит от условий работы и параметров катка. Для нормальной работы угол α обхвата обода катка почвой не должен быть больше 20° . В этом случае почвенный валик перед катком имеет незначительные размеры, а взаимосвязь конструктивных параметров катка определяется (рис. 5.9) по выражению

$$\cos \alpha = \frac{D/2 - a}{D/2} = 1 - \frac{2a}{D}, \quad (5.20)$$

где a – глубина смятия почвы, м.

Работа катка со смятием почвы сопровождается возникновением сил трения F_1 по уплотненной поверхности и F_2 по сминаемой почве. Условие защемления почвы в сминаемом валике определяется по формуле

$$F_1 + F_2 \cos \alpha \geq P_1, \quad (5.21)$$

где P_1 – горизонтальная составляющая силы тяги P , Н.

При определении условий перекатывания катка учитываются возможность перекатывания через препятствия и крупные почвенные глыбы. В мировой практике наиболее распространены катки диаметром $360 \dots 400$ мм с удельным весом около 20 Н на сантиметр ширины захвата.

Применение катков особенно эффективно в составе комбинированных агрегатов в сочетании с рыхлительными рабочими органами и выравнивателями.

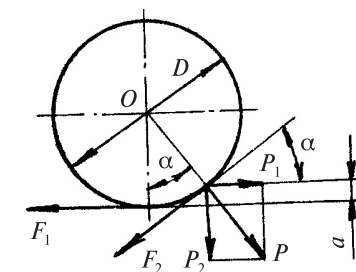


Рис. 5.9. Схема действующих сил при работе катка

5.7. РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС И ПАРАМЕТРЫ ДИСКОВЫХ И РОТАЦИОННЫХ ОРУДИЙ

Наиболее распространенными дисковыми орудиями являются бороны и лушильники. Диски борон проходят по обрабатываемой полосе 2 раза, а у дискового лушильника — один раз.

Характерная особенность дисковых рабочих органов состоит в том, что в процессе работы они движутся поступательно и вращаются под действием реакции почвы, поэтому меньше забиваются растительными остатками.

Все многообразие дисковых рабочих органов (дисковые ножи на плугах, диски плугов, лушильников и борон, дисковые копачи на свеклоборочных комбайнах и др.) может быть сведено к двум геометрическим формам: плоскому и сферическому дискам.

Основными параметрами дисков являются диаметр D и радиус кривизны r (рис. 5.10). С ними связан угол установки ε_1 , равный половине центрального угла дуги диаметрального сечения диска. С увеличением D резко возрастает вертикальная слагающая реакции почвы, т. е. ухудшается заглубляемость диска в почву. По этой причине для заглубления дисков большого диаметра требуется дополнительная нагрузка. Диаметр диска D зависит от глубины обработки a . Существуют определенные соотношения между D и a

$$D = ka, \quad (5.22)$$

где k — коэффициент, равный 3...3,5 для плугов, 4...6 — для борон и 5...6 — для лушильников.

Радиус кривизны r определяет крошащую и оборачивающую способности дисков. Чем меньше r , тем интенсивнее крошится и оборачивается пласт. Радиус r связан с другими параметрами диска отношением

$$r = \frac{D}{2 \sin \varepsilon_1}. \quad (5.23)$$

Дисковые плуги снабжают дисками диаметром 610...810 мм, для лушильники — 450...610, бороны — 450...660 мм.

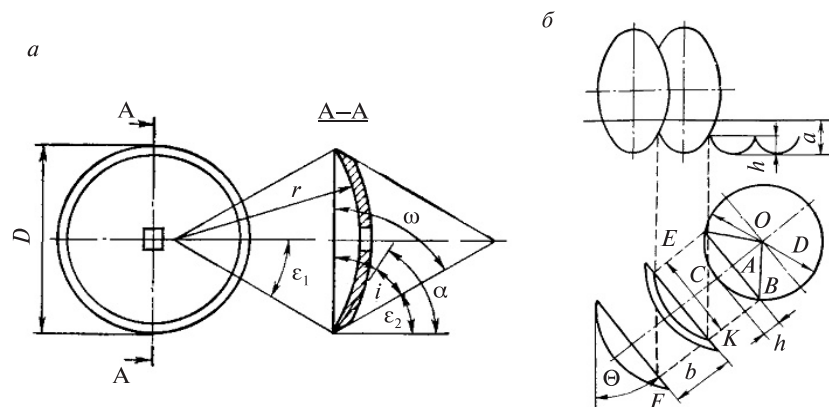


Рис. 5.10. Основные параметры (а) и схема работы (б) дисков

Радиус кривизны r принимают постоянным: для плугов — 600 мм, для лушильников — 169, для борон — 109, 169 и 220 мм. Тогда угол ε_1 для плугов принимает значение 31...37°, для лушильников — 26...32° и для борон — 22...26°.

Большое влияние на технологические свойства диска оказывает его заточка, которая характеризуется углами заточки i и затылочным ε_2 . Заточку лезвия сферических дисков в основном производят с выпуклой, наружной поверхности диска, принимая $i = 10...20^\circ$ для борон и лушильников и 15...25° для плугов. Для работы в тяжелых почвенных условиях диски затачивают с вогнутой поверхности. Фаска имеет форму усеченного конуса с углом между образующими и основанием $\omega = i + \varepsilon_1$. Угол резания составляет $\alpha = i + \varepsilon_2$. Большое технологическое значение имеет задний затылочный угол ε_2 . От его размера зависит расход энергии на обработку почвы. Для нормальной работы диска на глубине необходимо, чтобы ε_2 на уровне поверхности поля был положительным.

К числу установочных параметров дисковых рабочих органов относятся угол Θ между плоскостью вращения диска и направлением поступательного движения орудия (угол атаки) и угол отклонения плоскости вращения диска от вертикали (угол между осью диска и горизонталью).

Чем больше угол атаки, тем лучше подрезаются сорняки, интенсивнее и глубже рыхлится почва. Чаще всего углы атаки для борон устанавливаются 10...25°, для лушильников — 25...35° и для дисковых плугов — 35...45°.

В процессе работы каждый диск вырезает в почве пласт (стружку), образуя желобчатое дно борозды. Между желобками образуются гребни высотой h . По высоте этих гребней судят о качестве обработки почвы. Высота гребней h зависит от диаметра D , расстояния между дисками b и угла атаки Θ . Рассмотрим, как влияет этот угол на h (рис. 5.10, б).

Из треугольника OAB следует, что

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \left(\frac{D}{2} - h\right)^2 + \left(\frac{C}{2}\right)^2, \quad (5.24)$$

или после ее преобразования

$$h^2 - Dh + \left(\frac{C}{2}\right)^2 = 0, \quad (5.25)$$

откуда

$$h = \frac{D}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - C^2}. \quad (5.26)$$

Поскольку высота гребней не может быть больше $D/2$, второе слагаемое следует принимать с отрицательным знаком. Из треугольника EFK сторона

$$C = b \operatorname{ctg} \theta, \quad (5.27)$$

тогда

$$h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - b^2 \operatorname{ctg}^2 \theta}. \quad (5.28)$$

Из полученного выражения следует, что с увеличением угла атаки Θ высота гребней уменьшается. Качество обработки считается нормальным, если $h \leq 0,5a$ для лушильников и $h \leq 0,4a$ для плугов.

Полнота подрезания пожнивных остатков и сорняков зависит от угла Θ и скорости движения. Наименьшее количество неподрезанных пожнивных остатков получается при максимальном угле атаки 35° . Глубина хода дисков с возрастанием скорости несколько уменьшается, а с увеличением угла θ растёт. На уплотненной и засоренной почве угол атаки θ должен быть максимальным, а на рыхлых малозасоренных почвах его можно уменьшить. Для работы на высоких скоростях дисковые рабочие органы непригодны, так как с увеличением скорости резко возрастает дальность отбрасывания почвы. Целесообразно работать на скорости не более 2 м/с (7,2 км/ч). Качество пахоты диско-

выми плугами на обычных почвах хуже, чем лемешными, так как они не полностью заделывают растительные остатки, образуют большое количество глыб и оставляют гребнистое дно борозды. Однако при обработке сухих спекшихся почв, характерных для зон с тропическим климатом, они не образуют таких крупных глыб, как лемешные, поэтому преимущественно используются в этих условиях.

Разнообразны конструкции рабочих органов ротационных борон. Важнейший рабочий орган среди них – ротор ножевой бороны (рис. 5.11, а). На одной легкой раме их афронтально ставят в четыре ряда. Эти ножи отличаются незабываемостью, износостойкостью. Рыхлители (рис. 5.11, б, в) применяются на свекловичных пропашных культиваторах, а игольчатый диск (рис. 5.11, г) – на игольчатых боронах.

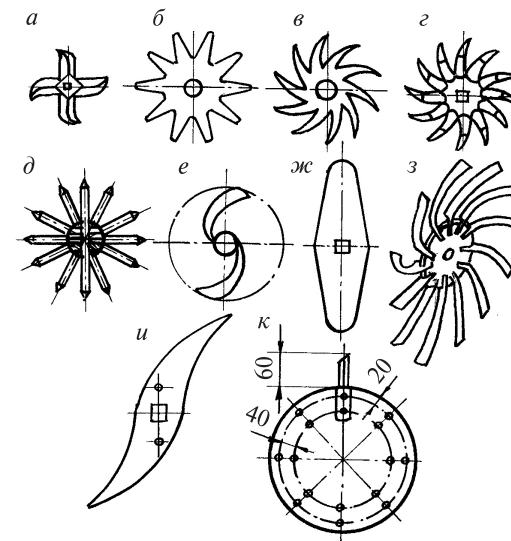


Рис. 5.11. Конструкции рабочих органов ротационных борон: а – ножевые бороны; б, в – рыхлители; г – игольчатый диск; д – зубовой ротор; е – рабочий орган с криволинейной кромкой; ж – двухлопастный нож; з – рыхлительный диск; и – ножевидный рабочий орган; к – рабочий орган конической бороны

Зубовой ротор (рис. 5.11, д) вращается навстречу направлению движения, разрыхляя верхний слой почвы. Если поле очищено от камней, то ротор можно располагать фронтально, при этом шири-


на захвата увеличивается. На каменистых почвах его устанавливают под углом, что необходимо для отбрасывания камней в сторону. Шарнирное крепление П-образной рамы позволяет ротору копировать продольные неровности поля и свободно приподниматься при встрече с препятствиями. Поперечные неровности поля ротор копирует за счет прогиба гибкого вала.

Рабочий орган со сложной криволинейной кромкой (рис. 5.11, е) не забивается при обработке озимых.

Двухполостный нож (рис. 5.11, ж), устанавливаемый на валу под углом к направлению движения, прост по конструкции и достаточно надежен в работе.

Рыхлительный диск (с косо поставленными пластинчатыми зубьями) (рис. 5.11, з) и ротационный рабочий орган (рис. 5.11, и) отличаются устойчивостью работы без забиваний, поскольку извлекаемые сорняки проходят по линии режущей кромки и сходят сверху или перерезаются. Ротор конической бороны (рис. 5.11, к) монтируется на базе дисковых луцильников и обеспечивает вычесывание сорняков, рыхление и выравнивание почвы.

При расчете параметров рабочих органов ротационных борон должны выполняться требования к выбору рабочих углов с учетом углов трения сорняков и растительных остатков, а также минимального выбрасывания нижних слоев влажной почвы на поверхность.

 **Задача.** Определить высоту гребней необработанной почвы при работе дисковой бороны при угле атаки $\theta = 25^\circ$; диаметре дисков $D = 0,6$ м; расстоянии между дисками $b = 0,2$ м.

Решение. Высоту гребней необработанной почвы определим по уравнению (5.28):

$$h = \frac{0,6}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(0,6)^2 - (0,2)^2 \operatorname{ctg}^2 25} = 0,09 \text{ м.}$$

5.8. РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ МАШИН С АКТИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Активными называются рабочие органы, которые получают вращательное или колебательное движение принудительно от ВОМ трактора.

Высокое качество рыхления, равномерное перемешивание почвы с растительными остатками, а также с органическими и минеральными удобрениями свидетельствует о том, что роторные машины способны заменить систему простейших почвообрабатывающих орудий с пассивными рабочими органами. К группе почвообрабатывающих машин с роторными рабочими органами относятся фрезы, вертикально-роторные бороны, фрезерные пропашные культиваторы и прореживатели. Фрезы являются основой комбинированных машин, совмещающих операции обработки почвы, внесения удобрений, посева сельскохозяйственных культур. Фрезы используются также при освоении заустаренных и заболоченных почв, для разделки задернелых пластов после пахоты лемешными плугами, для глубокой обработки под овощные культуры и картофель, для уничтожения сорняков на парах, для обработки пересушенных и переувлажненных почв. Садовыми фрезами обрабатывают почву под кронами деревьев в приствольных зонах.

При междурядной обработке овощных культур, картофеля, сахарной свеклы, кукурузы и других пропашных культур пропашные фрезерные культиваторы дают высокое качество крошения почвы и уничтожения сорняков. Особенно эффективно междурядное фрезерование на тяжелых суглинистых и торфяных почвах. Фрезерование оказывает положительное влияние на физические свойства, водный и питательный режимы почвы.

При проектировании роторных почвообрабатывающих машин и их рабочих органов необходимо учитывать, что машины должны удовлетворять следующим требованиям:

иметь высокую проходимость;

обеспечивать возможность изменения рабочего режима резания почвы так, чтобы не происходило наматывания растительных остатков и налипания почвы;

оставлять поверхность почвы поля без борозд и валиков.

Рабочие органы фрезы совершают сложное движение: поступательное (переносное) и вращательное (относительное). Траектория движения любой точки рабочего органа представляет собой циклоиду (трохоиду).

Рассмотрим движение точки A ножа, которая в начальный момент находится в положении A_0 (рис. 5.12). Через время t ось ба-

рабана переместится в точку O_i , пройдя путь Vt , а диск барабана повернется на угол ωt , где V – поступательная, а ω – угловая скорость фрезы. Точка A из положения A_0 перейдет в положение A_i с координатами

$$\left. \begin{aligned} x_i &= Vt + r \cos \omega t, \\ y_i &= r \sin \omega t, \end{aligned} \right\} \quad (5.29)$$

где r – радиус барабана, м.

Полученные уравнения характеризуют траекторию абсолютного движения точки A_i фрезы, форма которой будет зависеть от показателя кинематического режима работы фрезы, равного соотношению скоростей:

$$\lambda = U/v, \quad (5.30)$$

где U – окружная скорость точки A_i ($U = \omega r$), м/с.

Если $\lambda < 1$, то траектория точки A_i имеет форму укороченной циклоиды без петли, если же $\lambda > 1$, то циклоида будет с петлей, т. е. удлинённой.

Работа фрезы характеризуется также подачей на нож S_z , глубиной обработки a и высотой гребней h .

Подачу на нож S_z вычисляют по формуле

$$S_z = vt_z, \quad (5.31)$$

где t_z – время, за которое последующий нож в относительном движении займет положение предыдущего, с.

Время t_z находят из выражения

$$t_z = \frac{t_{об}}{z}, \quad \text{или} \quad t_z = \frac{2\pi}{\omega z}, \quad (5.32)$$

где $t_{об}$ – время одного оборота диска, с; z – количество ножей на одном диске.

После подстановки формулы (5.30) в формулу (5.31) получим

$$S_z = 2\pi v / \omega z, \quad (5.33)$$

или, умножив числитель и знаменатель на r и заменив U/v через λ , будем иметь

$$S_z = 2\pi r / \lambda z. \quad (5.34)$$

Из формулы (5.34) видно, за счет каких параметров можно изменить подачу на нож и высоту гребней h . Чем меньше подача на нож, тем меньше высота гребней h .

От подачи на нож зависит толщина стружки δ , определяющая степень крошения почвы. Приблизительно

$$\delta_{max} = S_z \cos \phi_0, \quad (5.35)$$

где ϕ_0 – угол поворота ножа от начального положения до точки вхождения в почву,

а глубина обработки

$$a = r - r \sin \phi_0, \quad (5.36)$$

откуда

$$\sin \phi_0 = 1 - a/r \quad (5.37)$$

или, обозначив a/r m , получим

$$\sin \phi_0 = 1 - m,$$

а

$$\cos \phi_0 = \sqrt{2m - m^2}. \quad (5.38)$$

Подставив эти значения в формулу для определения толщины стружки, получим

$$\delta_{max} = S_z \sqrt{2m - m^2}. \quad (5.39)$$

Из формулы (5.35) следует, что при неизменной подаче S_z на нож с уменьшением глубины обработки почвы степень рыхления возрастает.

Существенным недостатком почвообрабатывающих фрез является невозможность их использования на засоренных камнями почвах. Применяемые предохранительные устройства в некоторой

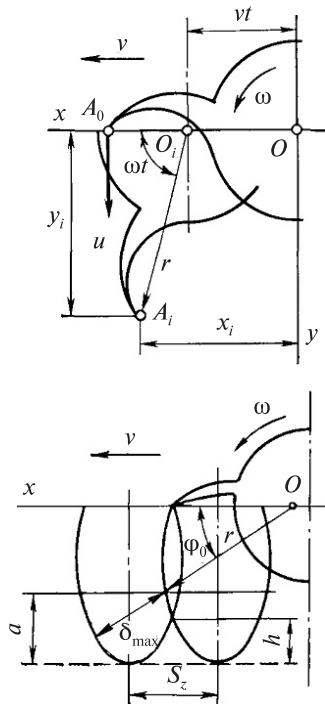


Рис. 5.12. Анализ кинематических параметров фрезы

степени смягчают этот недостаток, но полностью не устраняют возможности поломок рабочих органов. Значительно более надежно обеспечивают технологический процесс обработки засоренных камнями почв вертикально-роторные бороны. Зубья этих борон закреплены на кинематически связанных между собой вертикальных валах, и роторы совершают встречное движение (рис. 5.13). При этом зубья на смежных роторах закреплены со смещением на угол $\pi/2$. При вращении роторов с частотой $\omega_1 = \omega_2$ и движении машины со скоростью v_m зубья описывают циклоиды в горизонтальной плоскости поля. Результирующая скорость V_0 направлена под углом к окружности ротора, в результате чего часть почвы и камни отбрасываются зубьями вперед по ходу движения машины. Перемещаемая часть почвы способствует выравниванию поверхности поля. Наклон под углом ϕ и заострение зубьев способствуют резанию корневищ и активному рыхлению почвы. Вертикально-роторные бороны используются в составе комбинированных почвообрабатывающих и почвообрабатывающе-посевных агрегатов.

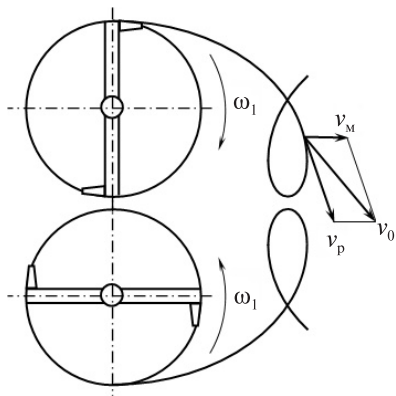


Рис. 5.13. Схема рабочего процесса вертикально-роторной бороны

➡ **Задача.** Определить подачу на нож (зуб) фрезы (роторного культиватора), если радиус барабана (ротора) $r = 0,4$ м; частота вращения барабана (ротора) $n = 300$ мин⁻¹; скорость движения машины $v = 6$ км/ч; количество ножей (зубьев) на диске (роторов) $z = 2$.

Решение. Расчет выполним по уравнению (5.34):

$$S_z = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,4 / 7,5 \cdot 2 = 0,17 \text{ м.}$$

Глава 6

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНАХ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Повышение плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур невозможно без внесения в почву значительных доз органических и минеральных удобрений, которые могут быть твердыми или жидкими.

К органическим удобрениям относятся навоз, торф, торфонавозные и навозно-минеральные компосты, сапропели (озерный ил) и различные вещества растительного и животного происхождения. Торф в чистом виде применяется ограниченно. Однако пропущенный через фермы в виде подстилки он является хорошим компонентом удобрений. Компост готовят в местах заготовки торфа или в поле, на месте их применения путем смешивания торфяной крошки с органическими и минеральными удобрениями. К органическим удобрениям относятся также зеленые удобрения – сидераты, т. е. специально выращенные и потом запаханые в почву бобовые и другие растения, обогащенные азотом.

Минеральные удобрения бывают простые, содержащие один питательный элемент (фосфорные, калийные, азотные), и сложные, состоящие из 2...3 питательных элементов (нитрофоска, аммофос). Каждое удобрение (простое и сложное) имеет определенное количество действующего вещества, согласно которому устанавливается норма внесения удобрений в почву. Кроме простых и сложных удобрений, выпускают микроудобрения, содержащие бор, молибден, марганец, медь и др., крайне необходимые для отдельных сельхозкультур и вносимые в очень малых дозах. Твердые минеральные удобрения выпускаются в виде порошков, кристаллов и гранул. Гранулы обычно имеют размер от 1 до 4 мм. Гранулированные удобрения значительно лучше вносятся машинами. Их питательные вещества полнее используются растениями.

К жидким удобрениям относятся жидкий и водный аммиак (аммиачная вода). Жидкий аммиак является самым концентрированным

азотным удобрением (до 85 % азота). У водного аммиака 11...25 % азота. Однако применение аммиака экологически опасно. Расширяется применение жидких азотосодержащих удобрений в виде КАС (карбомидо-аммиачная смесь) и ЖКУ (жидкие комплексные удобрения).

На практике применяются сплошной и рядовой способы внесения удобрений.

При сплошном внесении органические и минеральные удобрения распределяют по поверхности поля, а затем без значительного разрыва во времени заделывают почвообрабатывающими орудиями. Этим способом обычно до посева вносят органику и около 1/3 минеральных удобрений.

При рядовом (локальном) способе удобрения вносят сплошным рядом одновременно с посевом или посадкой на 2...3 см глубже семян и сбоку ряда семян – на расстоянии 1...3 см.

Основными агротехническими требованиями к машинам для внесения удобрений являются выдержанность заданной нормы и равномерность распределения по площади поля. Для разбрасывателей минеральных и органических удобрений допускаются отклонения от заданной нормы до $\pm 10\%$. Неравномерность внесения (распределения) удобрений по площади почти для всех машин и видов удобрений допускается до 25 % (для органических и пылевидных известковых материалов – до 30 %). В практике современного сельскохозяйственного производства применяются машины и устройства для точного земледелия на основе систем глобального позиционирования. Это позволяет точно вносить заданное количество удобрений на конкретном участке поля, что повышает эффективность удобрения и снижает затраты.

При испытании машин на равномерность внесения на поле по ширине захвата машины раскладывают противни. После прохода машины отдельно взвешивают удобрения, попавшие в каждый противень, и определяют среднее арифметическое значение m_{cp} . Затем определяют отклонения Δx_i от среднего количества удобрений по каждому противню:

$$\Delta x_i = m_i - m_{cp}, \quad (6.1)$$

где m_i – масса удобрений в первом, втором и т. д. противнях, кг.

Далее полученные отклонения (по абсолютной величине) суммируют и определяют среднее отклонение:

$$\Delta x_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta x_i|}{n}, \quad (6.2)$$

где n – количество противней в ряду.

Подсчитанные значения m_{cp} и Δx_{cp} позволяет определить неравномерность внесения удобрений из условия

$$\alpha = \frac{\Delta x_{cp}}{m_{cp}} \cdot 100\%. \quad (6.3)$$

Неравномерность внесения удобрений может также оцениваться по коэффициенту вариации замеров массы отдельных порций на определенных участках поля:

$$V = \frac{\sigma}{m_{cp}} \cdot 100\%, \quad (6.4)$$

где σ – среднее квадратичное отклонение.

Требования современных технологий предусматривают значение коэффициента вариации не более 10 %, однако приемлемой считается неравномерность 12...15 %. Повышение неравномерности внесения удобрений свыше 20 % приводит к образованию на поле «полос» и обуславливает потери урожая.

6.1. БУНКЕРА МАШИН ДЛЯ УДОБРЕНИЙ И ДРУГИХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Машины для внесения минеральных удобрений имеют бункер, подающее или питающее устройство и распределяющие рабочие органы. Конструктивное исполнение всех узлов может быть различным и зависит от грузоподъемности машины, расчетных доз внесения, вида сыпучих материалов и других особенностей применения.

Форма бункера должна удовлетворять условиям полного заполнения при механизированной загрузке и полной разгрузке без образования «мертвых зон», в которых при опорожнении бункера удобрения задерживаются и не движутся под действием своей массы к разгрузочным отверстиям или устройствам. Это явление сводообразования имеет место главным образом для твердых удобрений при недостаточном наклоне стенок. Форма бункеров должна предупреждать возможность возникновения сводообразования удобрений над отверстиями, нарушающего режим истечения удобрений из бункера (рис. 6.1, а).

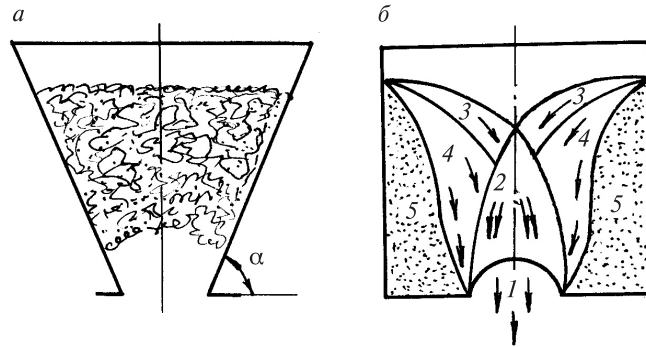


Рис. 6.1. Образование свода над выходным отверстием (а) и последовательность истечения удобрений из бункера (б)

Простейшим средством борьбы со сводообразованием является правильный выбор размеров выпускного отверстия. Следует иметь в виду, что при заниженных (по сравнению с допустимыми) размерах отверстия сводообразование неизбежно.

Большое значение для нормальной работы бункеров машин для внесения твердых удобрений имеют процессы, связанные со сводообразованием. При нормальном процессе истечения сыпучего материала освобождение бункера происходит в определенном порядке (рис. 6.1, б). Вначале освобождается зона 1, имеющая форму конуса или клина, затем расположенная над ней зона 2, имеющая форму эллипсоида, после этого сдвигаются зоны 3 и далее зоны 4, так что к моменту окончания высыпания в нижней части бункера образуется воронка с зоной 5 из остающихся в бункере удобрений. Наименьший угол наклона стенок в нижней части бункера, при котором не образуются «мертвые» пространства и происходит высыпание груза без остатка, зависит от коэффициента трения удобрений о стенку бункера. Во всех случаях угол наклона стенок к горизонту α должен быть больше угла трения удобрений о стенки бункера. Для большинства видов минеральных удобрений в зависимости от вида и влажности угол трения по стальной поверхности составляет $17...34^\circ$, для органических — $30...42^\circ$. Коэффициенты трения для минеральных удобрений составляют соответственно $0,31...0,66$, а для органических — $0,6...1,0$.

При работе со слабосыпучими материалами (удобрения, семена) в бункерах в зоне выходного отверстия устанавливаются сво-

доразрушители, мешалки или дополнительные подающие устройства.

Наиболее типичные формы бункеров или емкостей для и сыпучих материалов удобрений различных видов показаны на рис. 6.2.

Бункера для активно-сыпучих удобрений (рис. 6.2, а) могут иметь пирамидальную, конусную, призматическую или сферическую (корытообразную) формы. Иногда высота H таких бункеров может быть увеличена за счет цилиндрической (для конуса) или прямоугольной приставки. Размеры бункеров A, D, L должны обеспечивать прием удобрений из ковша или транспортера механического загрузчика; A и H следует выбирать из условия отсутствия сводообразования, а угол α должен обеспечить невозможность зависания удобрения на стенках бункера. Пирамидальная и конусная формы бункера принимаются обычно при небольшой вместимости (до 1 т), чаще всего для навесных машин.

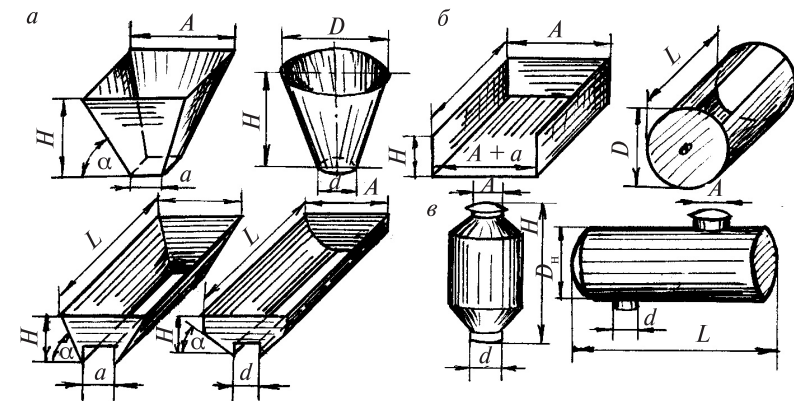


Рис. 6.2. Формы бункеров к машинам для внесения удобрений: а — для активно-сыпучих удобрений; б — для жидких удобрений; в — для жидких и пылевидных удобрений

Призматическими бункерами оборудуются прицепные машины, имеющие значительную (1,5 т и более) грузоподъемность. Значительная длина бункера не позволяет в этом случае использовать для подачи или выгрузки удобрений только силу тяжести (гравитационную силу) удобрений, поэтому по всей длине в нижней части бункера устанавливают выгрузной транспортер. Бункера с закругленными бортами по сравнению с бункерами, имеющими призма-

тическую форму, почти не изменяют технологический процесс работы машины.

Для твердых пассивно-сыпучих удобрений, т. е. удобрений, способных образовывать отвесную стенку, применяют бункера прямоугольной формы с вертикальными бортами. Основание такого бункера (кузова) оборудовано подвижным транспортером, а принудительная разгрузка удобрений осуществляется через открытую заднюю или боковую стенки. Возможных уплотнений при движении удобрений к разбрасывающим устройствам можно избежать, если ширина стенки, к которой продвигаются удобрения, будет больше ширины стенки, от которой удобрения начинают движение при разгрузке.

Форма бункера (емкости) для жидких и пылевидных удобрений в основном зависит от общей компоновки машины и способа подачи удобрений на рассев.

6.2. КОНСТРУКЦИИ И РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ ПОДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Основными подающими рабочими органами кузовных разбрасывателей органических удобрений являются питающие транспортеры. Они могут быть различными по конструкции (рис. 6.3), но наибольшее распространение на навозоразбрасывателях получили цепочно-планчатые транспортеры. Подача минеральных удобрений обычно осуществляется за счет естественного осыпания с применением сводоразрушителей или транспортерами.

Основной расчетной характеристикой любого питающего устройства является подача удобрений q в единицу времени (килограмм в секунду). При ширине захвата машины B_p (м) и скорости v_m (м/с) питающие устройства и их регулирующие органы рассчитываются на максимальную и минимальную норму внесения Q (килограмм на гектар)

$$q_{\min, \max} = 10^{-4} B_p v_m Q_{\min, \max} \quad (6.5)$$

Фактическая подача питающих устройств отличается от расчетной по целому ряду причин, поэтому из-за недостатка информации о процессах $q(t)$ расчет размеров и режима работы питателей ведут по упрощенным схемам.

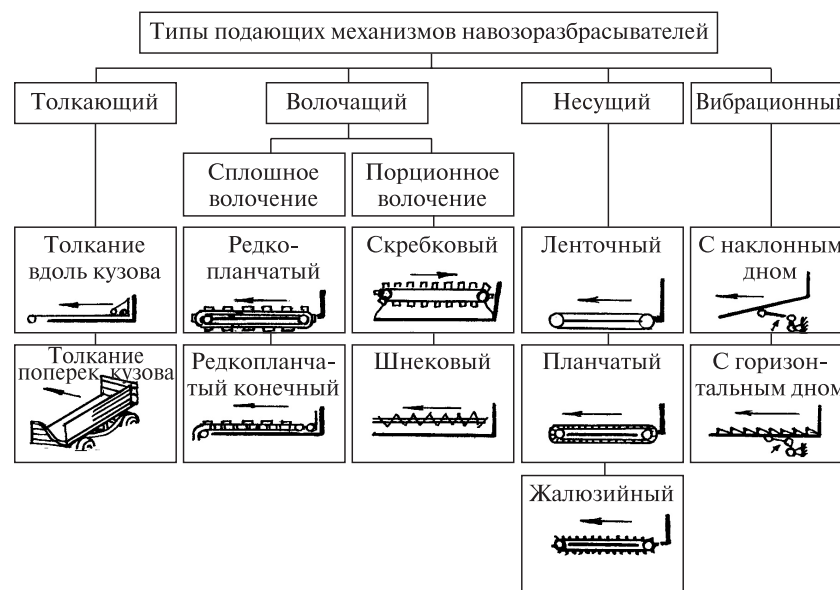


Рис. 6.3. Основные типы подающе-питающих устройств

Так, при расчете подачи q_n цепочно-планчатого транспортера при ширине B и высоте h высеваемой щели (подаваемого слоя) секундная подача удобрений будет определяться как

$$q_n = \gamma h B v_{\text{тр}} \quad (6.6)$$

где γ – объемная масса удобрений, кг/м³; $v_{\text{тр}}$ – скорость движения транспортера, м/с.

Для учета влияния различных факторов на фактическую подачу материала вводят поправочный коэффициент $k = 1, 0 \dots 1, 2$, полагая

$$q = q_n / k \quad (6.7)$$

Важным конструктивным параметром, определяющим качество работы цепочно-планчатого транспортера для разбрасывателей удобрений, является расстояние между планками транспортера. Заданная механизмом привода скорость движения транспортера может быть передана транспортируемому слою материала лишь в

том случае, если планки транспортера будут расположены достаточно часто. Редкое расположение планок может привести к тому, что цепочно-планчатый транспортер будет проходить под слоем материала, как бы прорезая его и не приводя основную массу удобрений в движение. Излишне частое расположение планок нецелесообразно, так как усложняет конструкцию транспортера, увеличивает его металлоемкость.

Для выяснения рационального шага между планками транспортера рассмотрим схему работы его верхней ветви (рис. 6.4).

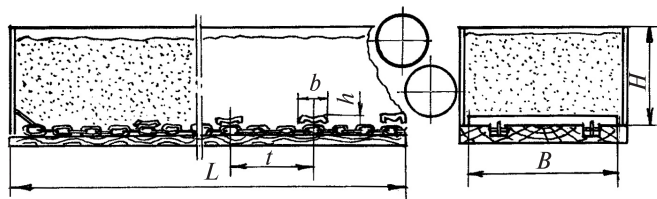


Рис. 6.4. Схема работы верхней ветви цепочно-планчатого транспортера

Производительность разбрасывающих барабанов должна быть больше производительности транспортера, поэтому со стороны барабанов на движущийся материал противодействие не оказывается. Движение происходит в том случае, если возможные активные или движущие силы будут превосходить силы реакций или силы, препятствующие движению. Для анализа действующих сил рассмотрим на транспортере участок с материалом длиной, равной шагу t расположения планок. Масса G материала, расположенного на этом участке

$$G = HBt\gamma, \quad (6.8)$$

где H – высота слоя материала, м; B – ширина транспортера, м; t – шаг расположения планок, м; γ – объемная масса транспортируемого материала, кг/м³.

Этот материал давит на пол кузова машины, а при движении вызывает силу трения, препятствующую перемещению:

$$F_1 = fG = fHBt\gamma, \quad (6.9)$$

где f – коэффициент трения удобрений о дно кузова (для минеральных удобрений $f = 0,30 \dots 0,75$, для органических – $f = 0,6 \dots 0,9$).

Кроме того, выделенный объем материала оказывает давление и на боковые стенки кузова, что вызывает дополнительную силу трения:

$$F_2 = f_1HBt\gamma m, \quad (6.10)$$

где f_1 – коэффициент трения частиц удобрений о стенки кузова; m – коэффициент подвижности материала.

Активными или движущими силами в данном случае будут сила трения планки о материал и сила давления планки на него. Максимально возможное значение силы давления

$$T_1 = hBk, \quad (6.11)$$

где h – высота планки, м; B – длина планки (ширина транспортера), м; k – удельное сопротивление удобрений смятию или лобовому резанию по данным многих исследований может быть принято равным 50...100 кПа (большие значения соответствуют минеральным удобрениям, меньшие – органическим).

Сила трения планки о материал, увлекающая его в движение, может быть определена из условия

$$T_2 = f_1bB(H - h)\gamma, \quad (6.11)$$

где b – ширина планки, м.

Если борта и планки выполнены из стали, то коэффициенты трения принимаются равными f_1 .

При известных движущих силах и силах сопротивления граничное условие движений имеет вид

$$T_1 + T_2 = F_1 + F_2 \quad (6.13)$$

или

$$hBk + f_1bB(H - h)\gamma \geq fHBt\gamma + f_1HBt\gamma m.$$

Произведя математические преобразования, получим аналитическое условие для определения расстояния (шага) между планками цепочно-планчатого транспортера:

$$t \leq \frac{hk + f_1b(H - h)\gamma}{H\gamma(f + f_1m)}. \quad (6.15)$$

В формуле (6.15) неизвестны параметры h и b , однако их числовые значения определяются из конструктивных соображений. Высота планки не может быть большой, так как находящиеся между планками удобрения не подхватываются барабанами, лопатки которых должны проходить выше планок. Высота планок для навозоразбрасывателей обычно принимается $h = 2$ см, а ширина b составляет 5...7 см.

При расчете производительности транспортирующего шнека исходят из того положения, что за один оборот винта подаваемый материал проходит по желобу путь, равный или близкий шагу витка t .

Для шнековых транспортеров подачу q рассчитывают по формуле

$$q = 0,0131(D^2 - d^2) \cdot t n \gamma C K, \quad (6.16)$$

где d – диаметр вала, м; t – шаг витка, м; D – наружный диаметр витка, м; n – частота вращения шнека, мин⁻¹; γ – объемная масса удобрений, кг/м³; C , K – коэффициенты, учитывающие угол α наклона шнека и заполнение рабочего объема соответственно.

α°	0	5	10	15	20
C	1,0	0,9	0,8	0,7	0,65

Для минеральных удобрений $K = 0,3...0,6$; для торфа и навоза $K = 0,4...0,8$; для гранул $K = 0,3...0,4$.

Недостатком шнековых питателей является возможность образования сводов и залипание витков при работе с удобрениями повышенной влажности, а также возможность дробления частиц.

Вибрационные и другие питающие устройства широкого распространения не получили.

Задача 1. Определить необходимую скорость движения подающего транспортера разбрасывателя органических удобрений для обеспечения нормы внесения $Q = 60$ т/га при рабочей ширине захвата машины $B_p = 6$ м; скорости машины $v_m = 8$ км/ч, объемной массе удобрений $\gamma = 800$ кг/м³, высоте и ширине удобрений в кузове соответственно $h = 0,6$ м; $B = 2,5$ м.

Решение. Приравняв подачи из уравнений (6.5) и (6.6), выразим скорость транспортера:

$$10^{-4} B_p v_m Q = \gamma h B v_{tp}; \quad v_{tp} = \frac{10^{-4} B_p v_m Q}{\gamma h B} = \frac{10^{-4} \cdot 6 \cdot 2,2 \cdot 60000}{800 \cdot 0,6 \cdot 2,5} = 0,067 \text{ м/с.}$$



Задача 2. Определить производительность горизонтального шнека, транспортирующего минеральные удобрения при наружном диаметре витка и диаметре вала соответственно $D = 0,15$ м; $d = 0,04$ м; шаге витка $t = 0,1$ м; частоте вращения шнека $n = 120$ мин⁻¹; объемной массе удобрений $\gamma = 1200$ кг/м³.

Решение. Производительность горизонтального шнека определим по уравнению (6.16):

$$q = 0,0131(0,15^2 - 0,04^2) \cdot 0,1 \cdot 120 \cdot 1200 \cdot 1 \cdot 0,5 = 1,96 \text{ кг/с.}$$

6.3. РАЗБРАСЫВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Существует значительное количество (до 20) вариантов конструкции и компоновки устройств для разбрасывания органических удобрений.

Наиболее распространенные конструкции разбрасывающих барабанов показаны на рис. 6.5: зубовой (*а*), шнековый (*б*), молотковый (*в*) и пилообразный (*г*).

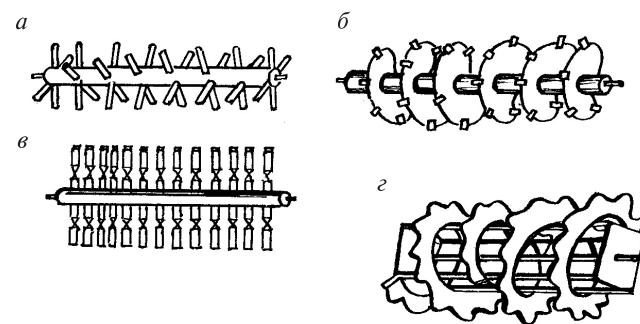


Рис. 6.5. Наиболее распространенные конструкции разбрасывающих барабанов:

а – зубовой; *б* – шнековый; *в* – молотковый; *г* – пилообразный

Навозоразбрасыватели с одним барабаном обеспечивают только грубое измельчение навоза, что снижает равномерность его внесения, поэтому на разбрасывателях устанавливают 2...4 барабана в различных сочетаниях; зубовые – с зубовыми, зубовые – со шне-

ковыми и т. д. Разбрасывающие барабаны могут устанавливаться горизонтально или вертикально.

При работе (рис. 6.6) верхняя ветвь транспортера подводит с малой скоростью слой удобрений толщиной h к разбрасывающим барабанам. Нижний барабан 1 своими лопастями измельчает массу и направляет ее на верхний барабан 2 , который дополнительно измельчает и разбрасывает удобрение по полю.

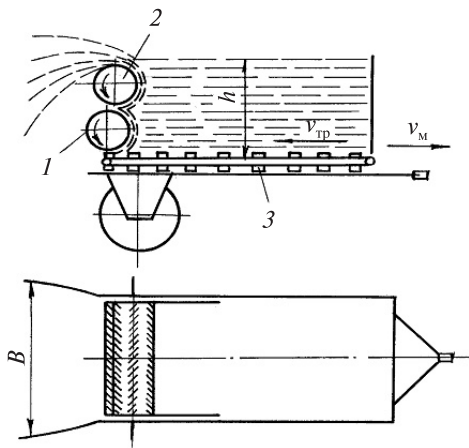


Рис. 6.6. Технологическая схема работы двухбарабанного навозоразбрасывателя:

1 — нижний барабан; 2 — верхний барабан; 3 — транспортер

Подача Q (в килограммах в секунду) материала при известных скорости $v_{\text{тр}}$ перемещения транспортера, толщине h (в метрах) слоя, ширине кузова B и объемной массе γ (в килограммах на метр кубический) удобрений

$$Q = v_{\text{тр}} h B \gamma. \quad (6.17)$$

Количество органики, приходящейся на единицу площади поля, определяется по формуле

$$H = \frac{Q}{B_p v_{\text{агр}}}, \quad (6.18)$$

где B_p — ширина полосы разбрасывания, м; $v_{\text{агр}}$ — скорость перемещения агрегата, м/с.

Тогда с учетом выражения для Q

$$H = \frac{v_{\text{тр}} h B \gamma}{B_p v_{\text{агр}}}. \quad (6.19)$$

Для определенных марок машин величины B , B_p и h постоянны, поэтому их можно выразить в виде постоянного коэффициента

$$C = \frac{B h}{B_p}. \quad (6.20)$$

Тогда норма внесения может быть определена следующим образом:

$$H = C \frac{\gamma v_{\text{тр}}}{v_{\text{агр}}}. \quad (6.21)$$

Из формулы (6.21) следует, что количество удобрений, вносимых на поле навозоразбрасывателем, можно регулировать, изменяя скорости движения транспортера и агрегата. Кроме того, это количество зависит от объемной массы органических удобрений, которая изменяется в зависимости от влажности и состава материала. Отсюда следует, что регулировка необходима в каждом отдельном случае при изменении влажности и других физико-механических свойств органических удобрений, включая липкость.

Для иллюстрации изложенного объемную массу удобрений примем $0,7 \text{ т/м}^3$, толщину слоя — $0,5 \text{ м}$, длину барабанов — $1,8 \text{ м}$, среднюю рабочую скорость агрегата — 6 км/ч . В случае наименьшей подачи транспортером (скорость подающего транспортера $0,006 \text{ м/с}$) для принятой скорости движения расчетная норма внесения разбрасывателем при ширине захвата 3 м составляет $7,56 \text{ т/га}$, при ширине захвата 5 м — $5,54 \text{ т/га}$. При наибольшей возможной скорости транспортера (примерно $0,06 \text{ м/с}$) для ширины 3 м норма внесения равна 63 т/га , для ширины 5 м — 39 т/га .

При внесении органических удобрений могут использоваться различные технологии.

1. Способ разбрасывания навоза из куч при помощи роторных машин в условиях переувлажненного климата может находить некоторое применение в овощеводческих хозяйствах при внесении сравнительно рыхлых органических удобрений большими доза-

ми (более 30 т/га). Данный способ подлежит совершенствованию прежде всего в направлении улучшения качества разбрасывания, и здесь весьма многообещающим показало себя введение в конструкцию разбрасывателя бункера-компенсатора.

2. Заслуживает внимания и нуждается в точной технико-экономической оценке технология удобрения почв измельченной соломой, разбрасываемой по полю во время уборки урожая. Данный способ удобрения предполагает бесподстилочное содержание животных на ферме и связан с использованием жидкого навоза и увеличенным применением минеральных удобрений.

3. Практический интерес представляет способ раздельной транспортировки полужидкого навоза, жидкую часть которого при помощи автотракторных агрегатов направляют на поля прифермского севооборота, а твердую используют для удобрения более отдаленных площадей полевого севооборота. Для разделения жидкого навоза на жидкую и твердую фракции могут применяться естественные и механические (принудительные) способы.

4. Имеет перспективы гидравлический способ транспортировки жидкого навоза или сточных вод по трубам в полевые хранилища, к торфяным залежам для приготовления торфонавозных компостов или к дождевальным агрегатам органического орошения полей прифермского севооборота.

5. Определенные возможности включает в себе пневматический способ транспортировки, при котором навоз от животноводческого помещения в навозохранилище подается по трубам при помощи сжатого воздуха, нагнетаемого специальной компрессорной установкой.

6.4. РАССЕВАЮЩИЕ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ МАШИН ДЛЯ СПЛОШНОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Рассевающие рабочие органы предназначены для приема удобрений с подающих механизмов и распределения их по рабочей ширине захвата машины с заданной равномерностью.

Большинство рабочих органов для сплошного рассева минеральных удобрений (рис. 6.7) представляет собой механизмы брос-

кового типа. Наиболее распространенные из них – центробежный диск с вертикальной осью вращения, лопастной ротор (для органических удобрений – барабан) с горизонтальной осью вращения, маятниковый метатель, метатель с резиновой лентой. Каждый из этих рабочих органов может иметь различную конструкцию. Например, центробежный диск с вертикальной осью вращения может быть плоским и конусным, одно- и двухъярусным, с различной формой и количеством лопаток, длина лопаток может превосходить размер диска и т. д. То же самое касается роторных органов с горизонтальной осью вращения и других типов метателей.

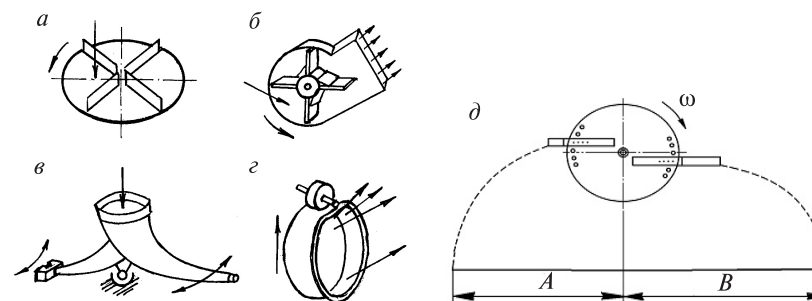


Рис. 6.7. Рабочие органы для разбрасывания удобрений:
а – центробежный диск с вертикальной осью вращения; б – роторы с горизонтальной осью вращения; в – маятниковый метатель; г – резиновый кольцевой метатель; д – диск с регулируемыми лопатками

Наибольшее распространение в машинах для внесения минеральных удобрений получили аппараты в виде дисков с вертикальной осью вращения (МВУ-0,5; 1-РМГ-4; РУ-1000; RAUCH и др.).

Рассмотрим рабочий процесс диска с вертикальной осью вращения (рис. 6.8). Диски выполняют плоскими с лопатками, расположенными радиально или под углом 10...12°. Рабочий процесс диска складывается из трех фаз: подачи удобрений; относительного перемещения туков по диску; сбрасывания туков с диска и распределения по поверхности поля.

При рассмотрении рабочего процесса аппарата примем следующие предпосылки: а) лопатки на диске расположены под углом φ к радиусу; б) при подаче относительная скорость туков на диске равна нулю; в) удобрения перемещаются вдоль лопаток.

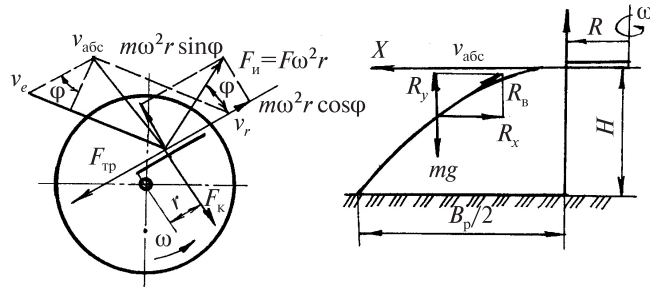


Рис. 6.8. Анализ процесса взаимодействия горизонтального разбрасывающего диска с частицами удобрений

На частицу удобрений массой m действует силы:

- 1) центробежная $F_{ц} = m\omega^2 r$ с составляющими $m\omega^2 r \cos\varphi$ и $m\omega^2 r \sin\varphi$;
- 2) сила инерции Кориолиса $F_{к} = 2m\omega V_T$;
- 3) трения $F_{тр} = fmg + fm(2\omega V_T - \omega^2 r \sin\varphi)$.

Абсолютная скорость частицы при сходе с диска равна геометрической сумме окружной скорости диска v_e (переносная скорость) и скорости движения частицы вдоль лопатки v_r (относительная скорость):

$$v_{абс} = \sqrt{(v_e \pm v_r \sin\varphi)^2 + (v_r \cos\varphi)^2}. \quad (6.22)$$

В уравнении (6.22) ставится знак «+», если лопатки отклонены вперед, знак «-», если они отклонены назад.

При радиальном расположении лопаток

$$v_{абс} = \sqrt{v_r^2 + v_e^2} = \sqrt{v_r^2 + (\omega r)^2}. \quad (6.23)$$

Движение частицы вдоль лопатки происходит под действием силы

$$P = m\omega^2 r \cos\varphi - fm(g + 2\omega v_r - \omega^2 r \sin\varphi). \quad (6.24)$$

После схода частицы A с диска, дальнейшее ее движение будет проходить под действием силы тяжести mg и сопротивления R_b воздуха с составляющими R_x и R_y .

При ориентировочных расчетах на стадии проектирования параметры дисков устанавливают по принятой ширине рассева B_p .

Для двухдискового аппарата без учета сопротивления воздуха движению частиц принимают

$$B_p = 2R\omega \sqrt{\frac{2H}{g}} + L, \quad (6.25)$$

где R – радиус диска, м; H – высота расположения диска над поверхностью поля, м; L – расстояние между центрами дисков, равное $(2,4 \dots 2,6)R$.

Диаметр диска принимают $2R = 0,35 \dots 0,7$ м, а высоту $H = 0,45 \dots 0,65$ м, частота вращения дисков $n = 400 \dots 600$ мин⁻¹, угол наклона лопастей к радиусу $\varphi = 0 \pm 15^\circ$. С увеличением частоты вращения дисков удобрения распределяются равномернее, а с увеличением диаметра равномерность ухудшается. Наклон лопастей к радиусу диска до $10 \dots 12^\circ$ в сторону вращения способствует более равномерному распределению удобрений.

При постоянной угловой скорости диска $\omega = \pi n/30$ углы начала и конца сброса удобрений будут соответственно равны ωt_1 и ωt_2 . Разница между этими углами указывает расчетную величину дуги сброса удобрений (рис. 6.9). За счет неточности подачи и неоднородности материала фактическая зона сброса удобрений увеличится (на $10 \dots 15\%$) и выразится дугой AA_1 . Зная зону сброса материала, можно построить веер KK_1 рассева удобрений диском при наличии отражателей, предварительно определив дальность их полета. Например, если для рассеваемого удобрения коэффициент парусности $K_n = 0,05 \dots 0,8$, что близко к данным, получен-

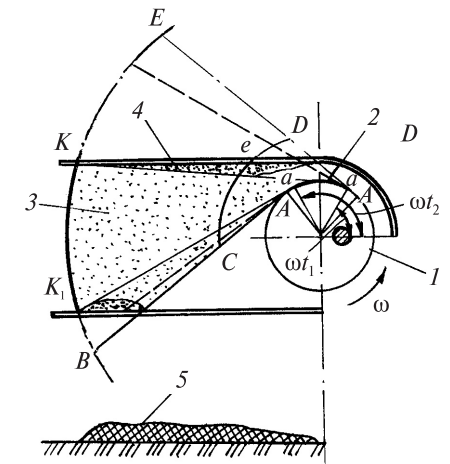


Рис. 6.9. Схема распределения удобрений центробежным диском:
1 – зона подачи материала на диск;
2 – дуга сброса удобрений с диска;
3 – зона естественного распределения удобрений;
4 – зона падения отраженных фартуком удобрений;
5 – характер распределения удобрений по поверхности поля

ным для суперфосфата, то дальность полета частиц при угловой скорости $\omega = 42$ рад/с и $D = 0,53$ м будет соответственно колебаться от 2 до 4 м. Начальная скорость при этом принята равной $v_0 = \omega R$.

При отсутствии отражателей зона естественного рассева удобрений будет ограничена некоторой площадью $ABCD$.

Современные двухдисковые рассеиватели способны распределять минеральные удобрения на ширину захвата до 20...48 м с достаточно высокой равномерностью. При движении по полю должно обеспечиваться определенное перекрытие зон рассева при вождении агрегата по технологической колее. Применяемые машины снабжаются специальными настроечными таблицами для каждого вида удобрений. Концептуально обеспечение равномерности внесения по ширине захвата основано на использовании следующих способов:

изменение длины и положения рассеивающих лопаток на диске (см. рис. 6.7, е);

изменение места подачи удобрений на диск (подача ближе к центру диска – рассеивание дальше).

Применение лопаток ступенчатой формы или со скошенными краями обеспечивает неодновременность схода частиц удобрений с диска и способно повышать равномерность. При проходе по краю поля сбоку диска опускается специальный отражатель, который ограничивает боковую зону рассева.

Более подробно рассчитать движение частиц удобрений с учетом сопротивления среды можно по методике В. А. Волкова. Существуют также специальные компьютерные программы для анализа движения удобрений при работе центробежных распределителей. Современные подходы к обоснованию параметров машин для внесения удобрений разработаны профессором Л. Я. Степуком.

Мощность на привод диска рассеивателя можно рассчитать по формуле

$$N = \frac{0,005qv^2}{\eta} \text{ кВт}, \quad (6.26)$$

где q – подача удобрений на диск, кг/с; v – окружная скорость диска по концам лопаток, м/с; η – общий КПД рассеивающего диска ($\eta = 0,5...0,6$).



Задача. Определить ширину рассева минеральных удобрений двухдисковым аппаратом, если радиус диска $R = 0,3$ м; частота вращения $n = 800$ мин⁻¹; высота расположения дисков над поверхностью поля $H = 1,2$ м; расстояние между центрами дисков $L = 1,4$ м.

Решение. Подставив в уравнение (6.25) числовые значения, получим

$$B_p = 2 \cdot 0,3 \cdot 62,8 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,2}{g} + 1,4} = 26,2 \text{ м}.$$