

ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»
Инженерно-технологический институт
Кафедра технических систем в агробизнесе,
природообустройстве и дорожном строительстве

Ожерельев В.Н., Орехова Г.В.

Учебно-методическое пособие к курсовому проекту

по дисциплине: Основы теории и тенденции развития
сельскохозяйственных машин

для студентов вузов очного и заочного обучения
по направлению бакалавриата 35.03.06 Агроинженерия,
профиль образовательной программы «Технические системы в агробизнесе»

Брянская область 2024

УДК 631.3 (07)
ББК 40.72
О-45

Ожерельев, В. Н. Учебно-методическое пособие к курсовому проекту по дисциплине: основы теории и тенденции развития сельскохозяйственных машин для студентов вузов очного и заочного обучения по направлению бакалавриата 35.03.06 Агроинженерия, профиль образовательной программы «Технические системы в агробизнесе» / В. Н. Ожерельев, Г. В. Орехова. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2024. – 119 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению бакалавриата 35.03.06 Агроинженерия, профиль образовательной программы «Технические системы в агробизнесе» при выполнении курсового проекта.

Содержит необходимые методики расчётов и рекомендации по организации курсового проектирования, оформлению пояснительной записки и графической части курсового проекта расчётно-теоретической направленности.

Рецензенты:

д.т.н., профессор кафедры ТС Михальченков А.М.

д.т.н., зав. кафедрой ТС Никитин В.В.

Рекомендовано к изданию методической комиссией Инженерно–технологического института Брянского ГАУ от 30 января 2024 г., протокол №5.

© Брянский ГАУ, 2024
© Ожерельев В.Н., 2024
© Орехова Г.В., 2024

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	5
1	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ	8
1.1	Почва: ее образование и деградация	8
1.2	Физико-механические свойства почвы	11
1.3	Технологии обработки почвы и их влияние на ее уплотнение и плодородие	17
1.4	Особенности обработки почвы в многолетних насаждениях	20
2	ПОСТРОЕНИЕ ЛОБОВОГО КОНТУРА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОРПУСА ПЛУГА	24
2.1	Общие сведения	24
2.1.1	Оборот пласта и построение профиля борозды	24
2.1.2	Рабочая поверхность плуга как развитие трехгранного клина. Сопротивление почвы движению клина	26
2.2	Суть технологического процесса	30
2.3	Методика построения	30
2.4	Последовательность построения лобового контура корпуса плуга	33
3	ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ АКТИВНОГО ЛЕМЕХА	37
3.1	Общие сведения	37
3.1.1	Выкапывающие рабочие органы	37
3.1.2	Активные выкапывающие органы	38
3.2	Суть технологического процесса	43
3.3	Методика построения	45
3.4	Порядок выполнения работы	45
4	РАСЧЕТ ВИБРОБОРОНЫ	50
4.1	Общие сведения	50
4.1.1	Конструкция самоочищающейся зубовой бороны: теоретическое обоснование	50
4.2	Суть технологического процесса	57
4.3	Методика построения	59
4.4	Порядок выполнения работы	60
5	РАСЧЕТ ФРЕЗЫ	69
5.1	Общие сведения	69
5.1.1	Кинематика рабочих органов фрез	69

5.1.2	Основные параметры технологического процесса работы фрезы	70
5.2	Суть технологического процесса	72
5.3	Порядок выполнения работы	74
6	РАСЧЕТ ЗЕРНОТУКОВОЙ СЕЯЛКИ	81
6.1	Общие сведения	81
6.1.1	Семенные емкости сеялок	81
6.1.2	Катушечные высевальные аппараты	84
6.2	Суть технологического процесса	85
6.3	Методика построения	89
6.4	Порядок выполнения работы	91
7	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОТОВИЛА	94
7.1	Общие сведения	94
7.1.1	Анализ технологического процесса работы и определение основных параметров мотвила	94
7.2	Суть технологического процесса	99
7.3	Порядок выполнения работы	104
	Контрольные вопросы	112
	Литература	115

ВВЕДЕНИЕ

Степень развития науки в целом и технической механики, как ее составной части, зависит от технологического уровня и практических потребностей экономики. Это в полной мере можно отнести и к истории трансформации методов расчета механизмов и машин, которые, в основном, были сформулированы к началу XX века. После этого происходило их уточнение, в основном, путем учета последних достижений материаловедения и технологий упрочнения деталей.

В конце XX и в начале XXI века возможности инженеров значительно расширились за счет широкого применения компьютерных технологий, которые предоставили для расчета специфические программные продукты, а для проектирования – графические программы системы автоматического проектирования. Скорость разработки проектов резко увеличилась, что позволило ускорить внедрение в производство новых идей и изобретений, то есть, стимулировало технический прогресс и инновационную деятельность. Вместе с тем, расширение исследовательских возможностей генерировало новые вопросы и проблемы, которые не были актуальными еще несколько десятилетий назад.

Чаще всего это связано с синтезом новых технических систем или с расширением зоны применения уже известных на новые среды, объекты технологического воздействия или режимы работы. Чтобы осознать этот факт достаточно сопоставить, как две технические системы, самолет начала XX и XXI века или паровоз и современный локомотив. Поиск в этом направлении продолжается постоянно, так как в конкурентной среде проблема увеличения производительности труда и экономической эффективности производства является важнейшей задачей инженерных наук. Как правило, возможность технологического прогресса связана со стремлением к интенсификации взаимодействия с обрабатываемыми объектами или с применением принципиально новых методов воздействия на них, прежде для этих целей не использовавшихся. В связи с этим, как правило, возникает целый класс новых научных задач, способы решения которых не предусмотрены классической механикой.

Такой интеллектуальный всплеск произошел в начале XX века, когда начало бурно развиваться сельскохозяйственное машиностроение. В частности, необходимо было в кратчайшие сроки адаптировать основные положения классической механики применительно к задачам расчета специфических машин и механизмов, все шире внедрявшихся в сельское хозяйство. Для этого был создан специальный научно-исследовательский институт (ВИСХОМ), коллектив которого под руководством В.П. Горячкина - выпускника МГТУ им. Н.Э. Баумана и одного из учеников Жуковского - успешно решил поставленную задачу.

Следует отметить, что с точки зрения представлений классической механики, каких-либо существенных новшеств предложено не было. В принципе, любую сельскохозяйственную машину можно представить, как совокупность механизмов, многие из которых известны на протяжении нескольких сотен лет. Однако, силовые, энергетические и прочностные расчеты их элементов зависят, в первую очередь, от понимания характера взаимодействия с обрабатываемой средой и влияния ее физико-механических свойств на основные параметры технологического процесса. Именно этих знаний при разработке новой машины, как правило, и не хватает. Положение усугубляется тем, что среда, с которой взаимодействуют исполнительные звенья механизмов (рабочие органы) сельскохозяйственных машин, как правило, анизотропная, то есть, она отличается непостоянством параметров, как по времени, так и в пространстве.

Во второй половине XX века такой класс задач перед техническими науками поставил переход на широкое использование при работе с грунтами в строительстве и с почвой в сельском хозяйстве ротационных рабочих органов (фрез). На протяжении многих десятилетий они использовались в металлообработке, но новый объект обработки потребовал принципиально иных подходов к определению, как оптимальных параметров механизмов, так и режимов их работы.

Кроме конструирования почвофрез стремление к уменьшению тягового сопротивления агрегатов путем передачи основной энергетической нагрузки трактору через вал отбора мощности привела к снабжению активными рабочими

органами и других сельскохозяйственных машин, взаимодействующих с почвой. В частности, это касается вибрационных борон и активного подкапывающего лемеха машин для уборки корне- клубнеплодов.

Эмпирической базой для формирования методических указаний и практических заданий является более чем сорокалетний опыт теоретической и экспериментально-конструкторской работы ученых кафедры по совершенствованию параметров и разновидностей почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами. Результаты исследований внедрены и прошли успешную многолетнюю практическую апробацию в крестьянском (фермерском) хозяйстве «Ягодное» Выгоничского района Брянской области.

Курсовой проект должен содержать три расчетно-графических задания, выбранных руководителем. Выбор варианта исходных данных производится согласно позиции обучающегося в списке учебной группы.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

1.1 Почва: ее образование и деградация

С точки зрения агрономии, почва – это поверхностный слой земной коры, обладающий плодородием. По сути, почва является базой и отправной точкой всех пищевых цепочек на суше. Используя накопленный потенциал плодородия, а также влагу, солнечную радиацию и тепло она в результате фотосинтеза производит биомассу, а затем этим исходным пищевым продуктом пользуется весь животный мир: начиная от простейших микроорганизмов и заканчивая вершиной эволюции – человеком.

Всю эту совокупность живых организмов принято называть биотой, поскольку между ними существует многосторонняя связь и взаимозависимость. Так, растения поглощают углекислый газ и выделяют кислород, которым дышат животные, в свою очередь, выделяя в атмосферу, углекислый газ, необходимый растениям для фотосинтеза. Трупы животных, их физиологические выделения, а также отмершие части растений частично перерабатываются соответствующими классами живых организмов, а частично мумифицируются и перемешиваются с продуктами естественного выветривания горных пород, образуют, таким образом, тот субстрат, который и принято называть почвой.

Следует иметь в виду, что почвообразовательные процессы идут параллельно и за счет эрозии рельефа земной поверхности. Исходные формы рельефа формируются как результат различных типов горообразовательных процессов: складчатости, возникающей вследствие движения литосферных плит земной коры и вулканической деятельности.

После завершения первой (активной) фазы процесса (или параллельно с ней) начинается процесс «сглаживания» рельефа, главным драйвером которого становится сила гравитации. Поднявшиеся в результате горообразования над поверхностью планеты массы исходной породы удерживаются в этом неестествен-

ном (с точки зрения гравитации) состоянии за счет сил межмолекулярного сцепления. При этом сразу же начинаются процессы ветровой и водной эрозии. Ветер переносит пылевидные частицы, которые, контактируя с исходными горными породами, преобразуют накопленную кинетическую энергию в работу сил трения, начиная процесс их разрушения (истирания). Продукты истирания уносятся дальше либо выпадают на поверхности с подветренной стороны соответствующих форм рельефа, образуя осыпи. Водные потоки перемещают эту массу вниз по склону, формируя более пологие формы поверхности или заполняют естественные впадины и понижения.

Скорость процесса выветривания зависит от типа горной породы и климата. Так, в условиях климата средиземноморского типа скорость выветривания отдельных материалов приблизительно такова: известняки – 1 – 5 см, песчаники – 1 – 10 см, граниты – 2 – 3 см, базальты – 5 – 10 см, туфы – более 10 см за 1000 лет.

Как правило, пылевидные частицы захватываются ветром в засушливых зонах, а выпадают преимущественно во влажных местностях, покрытых растительностью. Таким образом были сформированы массивы лёсса разной толщины (от нескольких до 50 – 100 метров), ставшие затем материнской породой для черноземов и сероземов, занимающих в некоторых регионах мира миллионы квадратных километров [1, 2]. То есть, с точки зрения почвообразования, ветровая эрозия обладает как разрушительным, так и созидательным потенциалом.

В процессе разрушения исходного рельефа участвуют и растения, которые сразу же поселяются не только на осыпях, но и на вершинах, и в полостях скал, возникших в результате эрозии. Корни растений способствуют дальнейшему расширению трещин, в которые проникает вода, разрывающая в результате замерзания каменные массивы, вследствие чего растут осыпи у подножья скал.

Таким образом, разные виды эрозии рельефа земной поверхности обладают как почвообразующим, так и почворазрушительным потенциалом. Все зависит от соотношения между скоростью выноса горной массы и скоростью ее накопления. В естественных условиях рельефа Русской равнины процесс накопления истори-

чески преобладал над процессом разрушения, поэтому за период после последнего оледенения были накоплены мощные слои плодородной почвы. Считается, что до сельскохозяйственного освоения черноземов Среднерусской возвышенности человеком почва накапливалась со скоростью порядка 2,5 см за 100 ... 1000 лет [3]. Этот показатель варьируется в широких пределах в зависимости от климата, растительности, типа почвы и характера землепользования.

За последние 200 лет в пределах Русской равнины в результате хозяйственной деятельности человека стали преобладать процессы деградации почвы. Среди множества причин следует выделить распашку склонов, переуплотнение почвы, отрицательный баланс гумуса. В результате его содержание в типичных черноземах уменьшилось с 10–14% до 5–6%. Темпы снижения запасов гумуса в почве за последние 20—50 лет ее активной эксплуатации составили в среднем от 0,6 (дерново-подзолистые почвы) до 3,6% (типичные черноземы) или 18—36% от его исходного содержания [4]. В Брянской области за последние 25 лет среднее содержание гумуса в почве уменьшилось на 0,2% [5, 6].

Диаметрально противоположно влияние хозяйственной деятельности человека на процесс почвообразования в Нидерландах. Для естественных почв этого региона Европы характерен гумусовый горизонт мощностью до 20 см с содержанием гумуса более 5%. Во многих местностях накопление гумуса искусственно стимулировалось на протяжении столетий. В результате естественные почвы там фактически погребены под темноокрашенным слоем - смесью навоза, дерна, лесной подстилки и песка. Эти, по сути искусственные, почвы по своим пахотным и плодородным свойствам занимают одно из первых мест в Европе [7].

Таким образом можно констатировать, что почва – это результат взаимодействия материковой породы, климата, флоры, фауны и человека.

1.2 Физико-механические свойства почвы

С точки зрения инженерных расчетов главным качеством почвы является не ее плодородие, а характер взаимодействия с рабочими органами почвообрабатывающих машин. В связи с этим, рассмотрим ее физико-механические свойства, которые могут быть наиболее значимыми при обосновании типов и параметров рабочих органов.

Во-первых, следует иметь в виду, что почва является трехфазной дисперсной средой, состоящей из твердых, жидких и газообразных частиц, раздробленных и перемешанных между собой. Кроме того, в нее включены растительные остатки (корни и стебли растений), а также живые организмы растительного и животного происхождения.

Наиболее важным и массовым организмом животного происхождения для почвы является дождевой червь, осуществляющий переработку органических остатков в наиболее усвояемую для растений форму и образующий систему ходов, пронизывающих почвенный слой. Недаром Ч. Дарвин назвал дождевого червя первым пахарем на Земле. В частности, он писал: «Плуг принадлежит к числу древнейших и имеющих наибольшее значение изобретений человека; но еще задолго до его изобретения почва регулярно обрабатывалась червями и всегда будет обрабатываться ими». А на склоне лет отметил: «Вряд ли найдутся другие животные, которые играли бы столь большую роль в истории мира, как дождевые черви» [8].

При благоприятных условиях и благодаря деятельности биоты почвы она может структурироваться в агрегаты в виде комочков, пронизанных капиллярными порами. В связи с этим ее важной характеристикой является скважность, определяемая как отношение объема пустот к общему объему почвы, в процентах. Величина показателя скважности варьируется в широких пределах и зависит от типа почвы. Так, для песчаников она варьируется в пределах от 40 до 50%, на суглинках и глинах увеличивается до 50–60%, а в торфяниках возрастает до 80–90%.

Важным показателем состояния почвы является ее плотность ρ_n , определяемая как масса единицы объема абсолютно сухой почвы, взятой в естественном сложении. То есть,

$$\rho_n = m/V \quad (1.1)$$

где m – масса образца абсолютно сухой почвы, взятого без нарушения ее естественного сложения, кг;

V – объем образца, м³.

В принципе, величина ρ_n может варьировать в пределах от 900 до 1600 кг/м³. Пахотный слой считается рыхлым, если его плотность не превышает 1150; плотным - 1150-1350; очень плотным – выше 1350 кг/м³ [9].

Физико-механические параметры почвы и характер ее взаимодействия с рабочими органами почвообрабатывающих машин зависит, в значительной степени, от параметров ее твердой фазы. Важнейшим из них является размер частиц горной породы, являющейся базой для формирования почвы. В земледельческой механике принято различать три типа исходного материала: физическая глина (размер частиц менее 10 мкм), физический песок (размер частиц более 10 мкм) и каменистые включения (размер частиц более 1 мм). В зависимости от их содержания в почве осуществляется ее идентификация по механическому составу (табл. 1).

Таблица 1.1 - Типы почв в зависимости от состава твердой фазы

Наименование	Содержание, %	
	Физ. глины	Физ. песка
Глина	более 50	менее 50
Суглинок	50 ... 20	50 ... 80
Супесь	20 ... 10	80 ... 90
Песок	менее 10	более 90

Следует иметь в виду, что на практике используется более широкая типизация почв, включающая, например, легкий суглинок или тяжелый суглинок и т.п.

Удельная масса основных компонентов твердой фазы почвы (без учета пор) мало отличается друг от друга. Для глины этот показатель равен 2700, а для песка 2650 кг/м³. Существенно отличается по этому показателю только гумус, имеющий удельную массу порядка 1400 кг/м³.

Поскольку почва является смесью указанных исходных компонентов, то от их содержания зависит ее удельная масса. Так, если малогумусовые дерново-подзолистые почвы имеют удельную массу 2400 ... 2600 кг/м³, то у торфяников этот параметр варьируется в пределах от 1400 до 1700 кг/м³.

Технологические параметры почвы (с точки зрения ее механической обработки) существенным образом зависят и от гранулометрического состава. Принято считать, что структура почвы глыбистая, если размер структурных агрегатов превышает 10 мм, комковатая – 3 ... 10 мм и зернистая от 0,25 до 3 мм. При этом следует иметь в виду, что структурные агрегаты размером менее 1 мм относят к эрозионно-опасным. Они могут легко перемещаться как потоками воды, так и ветром.

Одна и та же почва существенно меняет свои технологические параметры с изменением ее влажности. Как отмечалось выше, вода является одним из составных компонентов почвы, как трехфазной дисперсной среды. Она может находиться в гравитационном состоянии (заполняя крупные пустоты). При этом происходит ее постепенная фильтрация в ниже лежащие слои и испарение. При капиллярном состоянии вода удерживается в мелких порах почвенных агрегатов за счет сил поверхностного натяжения. Фильтрация вниз в таком состоянии практически невозможна, но испарение происходит.

Часть молекул воды вступает с поверхностью почвенных агрегатов в связь типа электромолекулярного притяжения, поскольку каждая молекула является магнитным диполем. При этом, как и при капиллярном взаимодействии, электромолекулярное притяжение существенно превышает силу тяжести, вследствие чего почвенные частицы обволакиваются пленкой молекул воды толщиной порядка 0,2

мкм. Удалить такую воду практически невозможно, а замерзает она только при температуре -70°C .

Любой эксперимент, связанный с обработкой почвы, начинается с оценки ее состояния, в том числе и влажности. Для этого образцы почвы взвешивают и затем высушивают при температуре 105°C до полного удаления из них воды. Этот факт устанавливается, если при двух взвешиваниях подряд масса образца остается неизменной. По результатам взвешивания определяют абсолютную влажность почвы (в %) по формуле

$$\omega_a = 100(m_g - m_c)/m_c \quad (1.2)$$

где m_g – масса влажной почвы, г;

m_c – масса высушенной почвы, г.

Следует иметь в виду, что при одной и той же абсолютной влажности разные почвы ведут себя по-разному по отношению к рабочим органам сельскохозяйственных машин. Поэтому широко используется показатель относительной влажности ω_o , определяемый по формуле:

$$\omega_o = 100\omega_a/\omega_n, \% \quad (1.3)$$

где ω_n – полевая влагоемкость почвы, %; полевая влагоемкость почвы (НВ)

— соответствует капиллярно-подвешенному насыщению почвы водой, когда последняя максимально доступна растениям.

Как правило, обработка почвы возможна при абсолютной влажности, варьирующей в диапазоне от 15 до 30%, что соответствует относительной влажности в пределах 40 – 70%. Оптимальная «спелость» почвы (с точки зрения ее наилучшего взаимодействия с рабочими органами) для суглинков находится в пределах от 20 до 24%.

Наряду с качественными показателями важнейшим параметром процесса механической обработки почвы является его энергоемкость. В связи с этим, следует иметь ввиду, что почва является анизотропной средой, прочностные характеристики которой существенным образом меняются, в зависимости от типа деформации, приложенной к образцу (табл. 2).

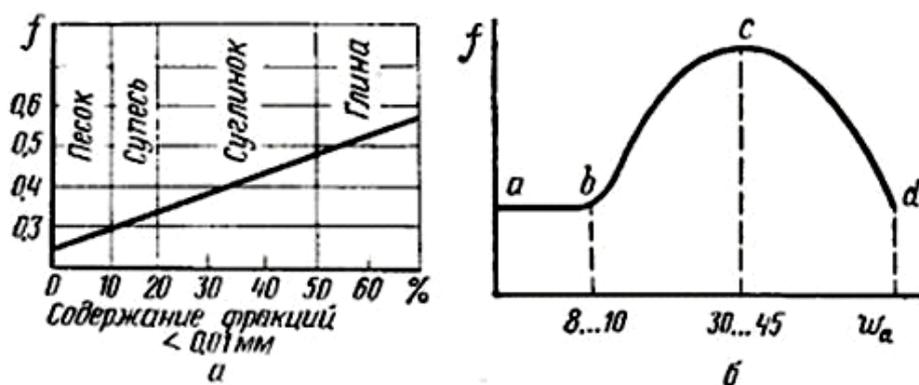
Приведенные в таблице данные свидетельствуют о том, что необходимо так планировать воздействие на почву рабочими органами, чтобы преобладали напряжения растяжения или производные от них напряжения изгиба.

Таблица 1.2 - Предельные допустимые напряжения при разных способах деформации почвы, кПа [10]

Направление воздействия	Величина допустимого напряжения
1.Растяжение	5 ... 6
2.Сдвиг	10 ... 12
3.Сжатие	65 ... 108

Существенное влияние на энергоемкость процесса механической обработки почвы оказывает величина силы трения. В зависимости от параметров и состояния почвы, а также типа рабочего органа, на преодоление сил трения может затрачиваться 30 ... 50% энергии.

Величина коэффициента трения зависит от двух параметров (рис. 1.1). Во-первых, существенную роль играет гранулометрический состав (рис. 1.1, а). С переходом от песка к глине, коэффициент трения увеличивается более чем в два раза. У более мелких частиц физической глины проявляется эффект «сухого прилипания» к гладкой стальной поверхности рабочих органов.



a - от содержания в почве «физической глины»; b - от абсолютной влажности почвы

Рисунок 1.1 - Зависимость коэффициента трения f почвы о сталь

При увеличении абсолютной влажности до 30 ... 45% коэффициент трения возрастает (рис. 1.1 б), а затем начинает уменьшаться, поскольку при такой влажности почва переходит в полужидкое состояние и трение осуществляется, по сути, между пленками (или слоями) жидкости.

Для ориентировочных расчетов, когда тип и состояние почвы заранее не известны, можно ориентировочно принять, что $f = 0,5$, что соответствует углу трения $\varphi = 26^{\circ}30'$ [10].

По критерию абразивного износа почвы делят на три группы: с малой (содержание песка до 80%), средней (80...95%) и повышенной (95...100%) изнашивающей способностью. Абразивный износ лемехов при вспашке 1 га почв первой группы составляет 2...30 г, второй группы - 30...100 г, третьей - 100...450 г [10].

Следует иметь в виду, что данный показатель будет существенным образом варьироваться в зависимости от материала и технологии изготовления лемеха. Так, по данным ученых Брянского ГАУ, наработка на лемех на супесчаных почвах при особой технологии его упрочнения, может достигать 27 га [11]. Если принять потерю на каждом гектаре порядка 100 г массы лемеха, то обработав 27 га он должен потерять 2,7 кг. С учетом того, что исходная масса лемеха типа ПЛЖ составляет 4,7 кг [12], то можно с высокой степенью вероятности констатировать, что

приведенные автором [11] темпы износа относятся, скорее всего, к неупрочненным низкокачественным лемехам. Тем не менее, значимость процесса износа для сельскохозяйственной техники и зависимость ее темпа от типа почвы показана наглядно.

1.3 Технологии обработки почвы и их влияние на ее уплотнение и плодородие

Целью механической обработки почвы является создание благоприятных условий для роста культурных растений, сохранение и повышение плодородия. Поэтому должна быть сформирована целая система технологических процессов, наилучшим образом соответствующая природным условиям.

Исходными элементами системы являются технологические операции, для каждой из которых характерна направленность на достижение определенного технологического эффекта. Так, операция резания обеспечивает отделение пласта или стружки от общего массива. При этом подрезаются и корни сорняков, что является часто самостоятельной и даже приоритетной задачей обработки.

Операция рыхления обеспечивает разделение почвенного слоя на отдельные структурные агрегаты (комочки), в связи с чем она сопровождается увеличением расстояния между ними и уменьшением объемной массы обрабатываемого пласта. Операция оборачивания производит изменение взаимного расположения верхних и нижних слоев почвы. Часто она уместна и необходима для запахивания растительных остатков и органических удобрений. В отличие от оборачивания операция перемешивания также меняет взаимное положение частиц почвы удобрений и т.п., но не слоями, а хаотично.

Уплотнение и выравнивание поверхности несет важную функцию сохранение влаги от излишнего испарения и обеспечивает ее доступность для семян культурных растений. Также обеспечивает комфорт для растений нарезка полевых борозд, гребней и гряд в случаях, обусловленных технологией выращивания

тех или иных растений. К этой же категории следует отнести и операции рыхления почвы в междурядьях культурных растений, особенно при образовании корки, например, вследствие полива.

Набор отдельных операций позволяет сформировать технологический процесс. Так, процесс вспашки состоит из отрезания пласта, его рыхления, оборота и (частично) перемешивания. Другими важнейшими технологическими процессами являются культивация, междурядная обработка, фрезерование, лушение стерни и т.д.

Несколько взаимоувязанных технологических процессов составляют систему обработки почвы, которая зависит от природно-климатических условий. Так, в зоне достаточного увлажнения практикуется отвальная система обработки с оборотом пласта. В зонах недостаточного увлажнения приемлема только плоскорезная система обработки.

Несмотря на наличие зональных систем обработки почвы хозяйственная деятельность человека способствует потере плодородия почвы. Больше всего это негативное явление связано с водной и ветровой эрозией, в результате которой, в первую очередь, теряется гумус, как наиболее легкая структурная единица, а остаются песчаные фракции. В результате происходит уплотнение почвы, нарушается ее водопроницаемость, что усиливает предрасположенность к эрозии.

Таким образом, замыкается порочный круг. Чем плотнее становится почва, тем более тяжелым должен быть трактор, чтобы преодолевать растущее удельное тяговое сопротивление. Более тяжелый трактор еще больше уплотняет почву и разрушает ее структуру и, таким образом, круг замыкается.

Действительно, современный энергонасыщенный трактор осуществляет удельное давление на единицу площади в 1,5 раза превышающую допустимые для почвы значения в гусеничном исполнении и в 2,5 раза - в колесном варианте. Одним из вариантов решения проблемы стало снабжение колесных тракторов дополнительными (монтируемыми) колесами, а гусеничных тракторов – резино-металлической гусеницей.

При существующей системе возделывания сельскохозяйственных культур

трактор проходит по одному и тому же месту в течение сезона от 1,5 до 3 раз. Для уменьшения негативного влияния многократности проходов предложено использовать комбинированные агрегаты, осуществляющие за один проход все почвообрабатывающие операции, в том числе и посев.

Следует признать, что таким образом полностью проблему решить не удалось. Во-первых, ширина захвата комбинированного агрегата меньше, чем его составных элементов, поскольку она ограничена тяговым усилием, развиваемым тягачом. Во-вторых, не всегда можно объединить все технологические процессы в один. Так, весеннее закрытие влаги боронованием нельзя отложить до срока посева.

В качестве альтернативного варианта решения проблемы было, в частности, предложено снабжать серийный пахотный агрегат дополнительным энергетическим модулем, реализующим мощность двигателя основного трактора через посредство сцепления приводных колес модуля с почвой и его веса [13]. По сути, трактор утяжелялся на период вспашки без увеличения удельного давления его движителя на почву. Но и в этом случае, энергонасыщенный трактор остается в роли такого же тягача, как и тракторы 40-х – 50-х годов прошлого столетия, что свидетельствует о недостаточной эффективности его использования.

Одним из перспективных направлений решения проблемы переуплотнения почвы является переход на использование почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами, практически не создающие тягового сопротивления. При этом технологический процесс осуществляется благодаря приводу рабочих органов от вала отбора мощности (ВОМ) трактора, который трансформируется в этом случае, по сути, в мобильную энергетическую установку. В результате появляется возможность оптимальным образом реализовать мощность двигателя при относительно небольшом весе трактора, что должно существенно уменьшить долю расхода энергии на его самопередвижение и буксование колес. Таким образом, наряду с решением экологической проблемы возможно и достижение экономического эффекта.

1.4 Особенности обработки почвы в многолетних насаждениях

Механическая обработка почвы является слишком широкой областью земледельческой механики для того, чтобы одному научному коллективу, а тем более – исследователю, охватить все нюансы и проблемы, которые в рамках разных направлений специализации могут иметь диаметрально противоположные решения. Наш опыт исследования ограничен ягодоводством, поэтому, принимая во внимание все приведенные выше соображения, касающиеся проблем и тенденций в обработке почвы, сосредоточимся на ее специфике, проявляющейся в условиях междурядий ягодных культур.

Специфической особенностью разрабатываемой группы машин является необходимость их адаптации к работе в условиях плантаций многолетних растений. К ним относятся сады, ягодники и виноградники. Растения в этом случае высаживают рядами, с расстоянием между ними от 1,8 до 6 метров. В условиях Средней полосы России перспективными с экономической точки зрения многолетними насаждениями являются только ягодники [14, 15]. При этом в отдельную категорию следует выделить ягодные кустарники (смородина, малина, голубика). В связи с этим параметры, к которым необходимо адаптировать конструкцию почвообрабатывающих машин, существенно сужаются, поскольку ягодные кустарники высаживают, как правило, с шириной междурядий 2,5 – 3 м [16-18].

Как правило, ягодоводческая специализация не ограничивается ягодными кустарниками, что обусловлено необходимостью более равномерной загрузки рабочей силы в течение сезона. В связи с этим, в рамках одного предприятия, наряду с ягодными кустарниками, могут возделываться плантации земляники садовой и плодовые питомники [14, 19]. Таким образом, выделяется вторая категория машин, конструкцию которых необходимо адаптировать к особенностям насаждений земляники садовой и к плодовым питомникам.

Плодовые питомники и плантации земляники садовой имеют большие отличия от ягодных кустарников и винограда. Прежде всего, это касается ширины

междурядий. Как правило, растения в питомниках и на плантациях земляники высаживают с расстоянием между рядами порядка 0,9 м. Кроме того, срок нахождения растений на одном месте ограничен двумя-тремя годами.

Важным обстоятельством является и то, что ягодоводство и питомниководство все более сосредотачивается в небольших фермерских хозяйствах [20], что обусловлено, в том числе, и спецификой технологий, предполагающих наличие большой доли ручного труда [21]. В связи с этим, целесообразно ориентироваться на агрегатирование машин с тракторами тягового класса 6 кН [21–23]. При работе на питомниках комплекс машин наиболее удобно агрегатировать с высококлиренсным шасси того же тягового класса [24-25].

Специфической проблемой для ягодных кустарников является обеспечение выровненности поперечного профиля поверхности междурядий на протяжении всего срока эксплуатации плантации. Ввиду маломощности почвенного слоя в большинстве районов Нечерноземья, корни смородины располагаются, в основном, в пахотном горизонте, то есть, на глубине 0,2 ... 0,22 м [26], причем до 30% всех корней лежит в нулевом горизонте. Поэтому вытеснение почвы из центра междурядья к основаниям кустов дисковыми орудиями, традиционно применяющимися для междурядной обработки ягодных насаждений [27-28], приводит к обнажению корней, и даже к их уничтожению летом и подмерзанию зимой.

Аналогичные данные Е.К. Киртбая приводит для растущего в условиях Москвы крыжовника [29]. По данным автора, на глубине 0,1 ... 0,2 м находится более 50% корней. Примерно такое же соотношение между глубиной залегания и общей длиной корней приводит В.Г. Хомко [30], причем автор указывает, что при удалении от основания куста в сторону междурядья количество корней в верхнем слое уменьшается не за счет биологических особенностей смородины или крыжовника, а из-за уничтожения их рабочими органами почвообрабатывающих орудий. Ситуация с корневой системой малины еще более проблематичная, так как эта культура стремится дать поросль по всей ширине междурядья.

Наличие при традиционно применяемых способах обработки почвы в меж-

дурядьях ягодных кустарников сплошных почвенных валов по сторонам между-рядья не только обнажает корни, но и способствует иссушению почвы, так как при этом площадь поверхности испарения значительно увеличивается. Замеры влажности почвы на плантациях учебно-опытного хозяйства (УОХ) «Кокино» Брянской ГСХА показали, что её влажность на глубине 0,15 м на почвенном валу на 7% ниже, чем в центре междурядья [31].

Таким образом, к почвообрабатывающей машине для ягодоводства и питомниководства предъявляются очень жёсткие требования [32-35], согласно которым она должна:

1. Выравнивать поперечный профиль междурядья, срезая боковые почвенные валы и перемещая почву в центральную (пониженную) часть междурядья.
2. Обрабатывать междурядье, поддерживая минимально возможную ширину защитных зон у основания кустов.
3. Обеспечивать дифференциацию глубины обработки по ширине междурядья, плавно увеличивая её по мере удаления от основания куста.
4. Максимальная глубина обработки не должна превышать 0,12 м.
5. Изменять ширину захвата в пределах 1,5...2,2 м.
6. Не оборачивать почву, во избежание ее излишнего иссушения.
7. Обеспечивать степень крошения почвы в пределах 76...83%.
8. Гребнистость поверхности не должна превышать ± 2 см.
9. Фреза должна быть достаточно лёгкой (не более 500 кг), чтобы она могла агрегатироваться с тракторами класса тяги 6 кН.
10. Гребнистость дна борозды должна быть достаточной для того, чтобы свести к минимуму подпочвенный сток воды и развитие водной эрозии.
11. Обеспечивать полное подрезание сорняков. Необработанные зоны не должны превышать 5% от площади междурядья.

На первом этапе исследований предполагалось, что для удовлетворения всем перечисленным выше требованиям одновременно, почвообрабатывающая машина должна представлять собой фрезерный культиватор, имеющий два ротора, вращающиеся вокруг вертикальных или крутонаклонных осей. При этом

должна быть предусмотрена возможность регулирования диаметров роторов и выглубления ножей в задней половине окружности, описываемой ими в относительном движении. Расстояние между осями вращения роторов также должно регулироваться, а сами они должны вращаться навстречу друг другу.

Анализ кинематических схем приводов вертикально-фрезерных культиваторов позволил сделать вывод о том, что наиболее целесообразным прототипом в нашем случае является компоновочная схема американской фрезы с двумя редукторами, повёрнутыми навстречу друг другу концами входных валов [36]. При этом, для уравнивания боковых реакций, вертикальные (крутонаклонные) оси вращения выходных валов редукторов представлялось целесообразным разместить в плоскости, перпендикулярной к продольной оси агрегата, а между ними смонтировать продольный контрприводной вал [37].

Исходя из необходимости обеспечения минимального уровня энергозатрат, предпочтение было отдано снабжению роторов L – образными, наружу отогнутыми ножами, которые, по мнению ряда авторов, обеспечивают выполнение этого условия [38].

В качестве опорного устройства на первом этапе исследования был выбран решетчатый каток, установленный за роторами, как это практикуется в большинстве подобных машин зарубежного производства, предназначенных для сплошного фрезерования почвы. В результате многолетних испытаний указанная концепция была признана не вполне адекватной специфическим условиям ягодоводства и поэтому приемлемой для соответствующих машин только со значительными ограничениями.

2 ПОСТРОЕНИЕ ЛОБОВОГО КОНТУРА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОРПУСА ПЛУГА

2.1 Общие сведения

2.1.1оборот пласта и построение профиля борозды

В процессе работы плужный корпус лезвием лемеха подрезает пласт шириной b на глубине вспашки a . Отделение пласта вдоль стенки борозды производится дисковым ножом или полевым обрезом отвальной поверхности (рис. 2.1). Подъем пласта с поворотом его в сторону борозды выполняется грудью отвала, а окончательное опрокидывание пласта – крылом отвала.

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

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

Из треугольника $D'A_1D_1$ определим угол наклона отваленного пласта к горизонту.

$$\sin\delta = \frac{A_1D_1}{D_1D} = \frac{a}{b} = \frac{1}{k} \quad (2.1)$$

где $k = \frac{b}{a}$,

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

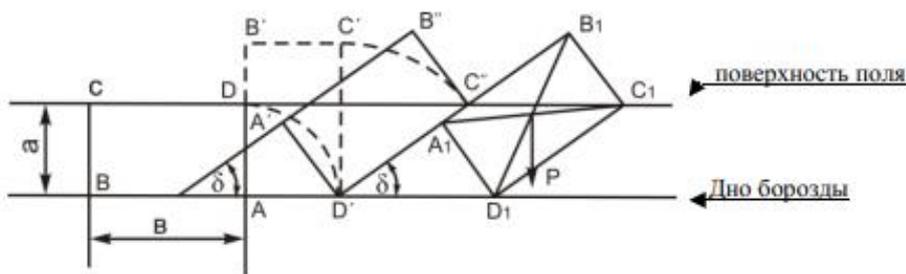


Рисунок 2.1 – Схема оборота пласта

Из этого выражения видно, что угол наклона пласта уменьшается с увеличением соотношения сторон пласта k , т. е. оборачивание пласта будет тем совершеннее, чем больше ширина захвата корпуса и меньше глубина пахоты, а растительные остатки будут заделываться более плотно, [39].

Устойчивое положение пласта будет только в том случае, если вектор силы тяжести P пересечет дно борозды справа от точки его опоры D_1 (рис. 2.1).

Неустойчивое положение пласта будет в случае, когда его диагональ BD , располагается вертикально (рис. 2.2). Такой пласт после прохода корпуса может упасть обратно в борозду.

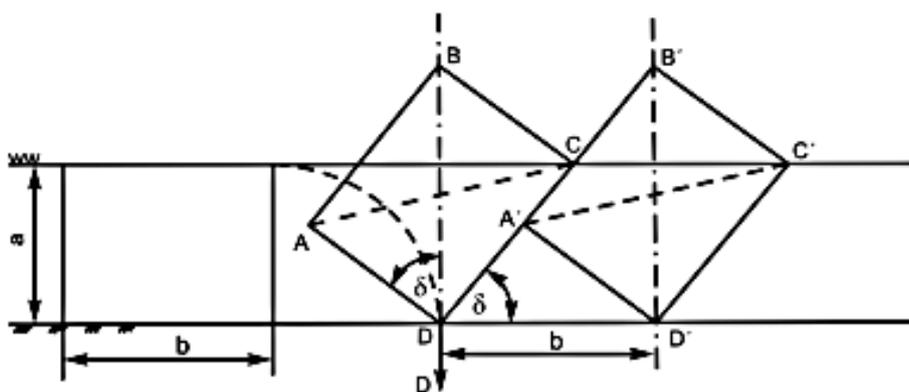


Рисунок 2.2 – Положение неустойчивого равновесия отвального плуга

Из подобия прямоугольных треугольников DBA и $DA'D'$ следует:

$$\frac{BD}{DD'} = \frac{AB}{A'D'} \text{ или } \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{b} = \frac{b}{a} \quad (2.2)$$

После преобразований получим:

$$k^4 - k^2 - 1 = 0 \quad (2.3)$$

Решив это биквадратное уравнение, получим $k=1,27$. Таким образом, устойчивое положение пласта будет при $k < 1,27$.

Для цилиндрических отвалов рекомендуют принимать $k=1,3 \dots 1,8$, для винтовых $k < 2,0$.

Для плугов с предплужниками и углоснимами соотношение сторон почвенного пласта может быть уменьшено до $1,0$, так как предплужник вырезает верхнюю часть пласта и сбрасывает ее на дно борозды, отчего угол наклона пласта уменьшается.

2.1.2 Рабочая поверхность плуга как развитие трехгранного клина.

Сопротивление почвы движению клина

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

В пространстве трех измерений можно представить три прямых плоских двугранных клина (рис. 2.3), обладающих различными технологическими свойствами.

Клин $ABCDEF$ (рис. 2.3, а) имеет рабочую грань $ABCD$ и опорную $BCEF$. Ребро BC , перпендикулярное к направлению движения, подрезает почвенный пласт в горизонтальной плоскости, а рабочая грань $ABCD$ поднимает его на себя.

При подъеме пласт изгибается и крошится. Основная характеристика этого клина – угол α , расположенный в продольно-вертикальной плоскости. Чем он больше, тем больше изгиб и крошение пласта, поэтому угол α и получил название угла крошения.

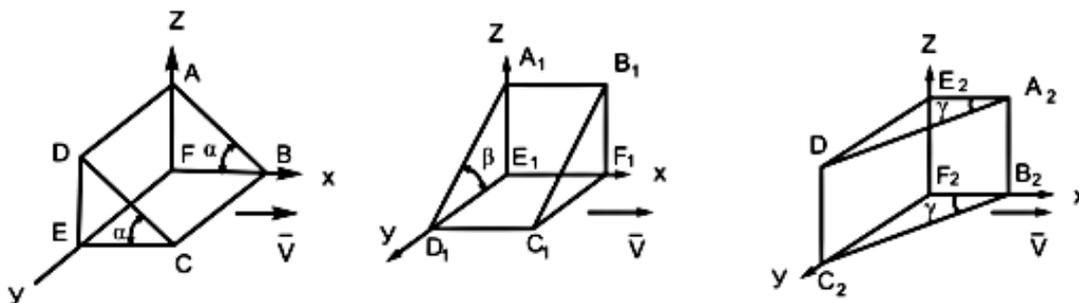


Рисунок 2.3 – Двугранный клин: а) с углом α , б) с углом β , в) с углом γ

Другой элементарный клин $A_1B_1C_1D_1E_1F_1$ (рис. 2.3, б) снабжен рабочей гранью $A_1B_1C_1D_1$ и опорной гранью $C_1D_1E_1F_1$. Его рабочая грань наклоняет пласт в направлении, перпендикулярном движению, что способствует оборачиванию пласта. Основная характеристика этого клина – угол β , расположенный в поперечно-вертикальной плоскости. Чем угол β больше, тем больше поворот пласта в поперечно-вертикальной плоскости. Следовательно, угол β характеризует способность рабочей поверхности оборачивать пласт.

Третий элементарный клин $A_2B_2C_2D_2E_2F_2$ (рис. 2.3, в) имеет рабочую грань $A_2B_2C_2D_2$ и опорную $A_2B_2F_2E_2$. Ребро A_2B_2 этого клина отрезает почвенный пласт в вертикальной плоскости. Под воздействием рабочей грани пласт сдвигается в сторону, одновременно изгибаясь в горизонтальной плоскости. При изгибе пласт крошится. Характеристика этого клина – угол γ , расположенный в горизонтальной плоскости.

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

Однако воздействовать на почву тремя последовательно расположенными элементарными клиньями с углами α , β и γ было бы непрактично.

Академик В. П. Горячкин показал, что существует такой клин, который один совмещает в себе все перечисленные технологические свойства трех элементарных клиньев. Это косой трехгранный клин $ABEF$ (рис. 2.4). Он снабжен одной рабочей гранью ABE и двумя опорными гранями ABF и BEF . Косой трехгранный клин характеризуется теми же углами α , β и γ , следовательно, он один обладает совокупностью технологических свойств, характерных для всех трех элементарных клиньев.

Кроме трех вышеприведенных углов, часто пользуются еще одним – углом ε , определяющим наклон рабочей грани клина к горизонтальной плоскости (лемеха к дну борозды), [39].

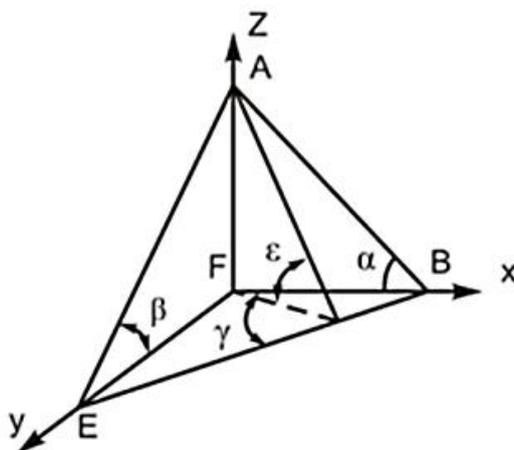


Рисунок 2.4 – Трехгранный клин

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

Сопротивление почвы движению клина

При перемещении клина со стороны почвы на него действуют сила нормального давления пласта N и сила трения F (рис. 2.5). Сила N определяется весом пласта, а сила трения пропорциональна нормальному давлению и коэффициенту трения.

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

Равнодействующая R сил N и F отклоняется от нормали к рабочей поверхности на угол трения φ и равна:

$$R = \frac{N}{\cos \varphi}, \quad (2.4)$$

где φ - угол трения почвы о рабочую поверхность.

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

$$P = R_x = R \sin(\alpha + \varphi) = \frac{N}{\cos \varphi} \sin(\alpha + \varphi), \quad (2.5)$$

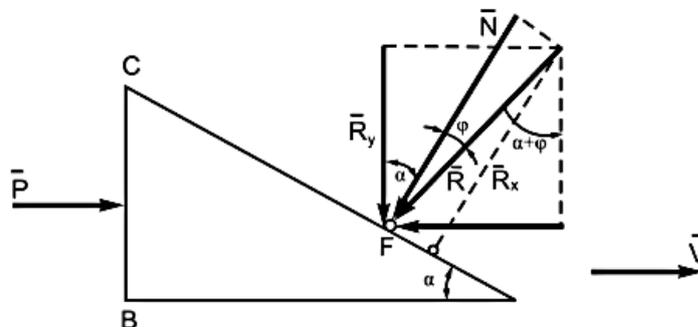


Рисунок 2.5 – Силы, действующие на двухгранный клин

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

2.2 Суть технологического процесса

Лемешно-отвальная поверхность корпуса плуга одновременно реализует три разнородных технологических процесса, являющихся составными элементами вспашки:

- Отделяет от почвенного монолита пласт прямоугольного сечения, шириной b (ширина захвата корпуса) и высотой a (глубина вспашки), подрезая его снизу лезвием лемеха и отрезая сбоку полевым обрезом (рис. 2.6).
- Перемещает пласт по криволинейной поверхности, любая элементарная площадка которой является трехгранным клином, осуществляя таким образом крошение монолита и его разрыхление.
- Оборачивает разрыхленный пласт без отрыва одной из точек его поперечного сечения от дна борозды, укладывая стороной, находившейся на дневной поверхности, на наклонную поверхность ранее уложенного пласта.

2.3 Методика построения

Методика основывается на способе построения, предложенном профессором Н.В. Щучкиным для отечественных плугов с корпусами культурного и полувинтового типа.

Отделению от почвенного монолита подвергается пласт $ABCD$ с поперечным сечением axb (рис. 2.6 а). Условно считаем, что в дальнейшем его поперечное сечение остается неизменным по ширине, но при этом происходит утолщение пласта на величину 25 мм в результате его разрыхления под воздействием

Лобовой контур рабочей поверхности должен быть построен так, чтобы он был вписан в поперечный профиль борозды, открытой предыдущим корпусом. Для получения указанного профиля необходимо его построить, выполнив оборот поперечного сечения исходного пласта $ABCD$ (рис. 2.6 б). Для этого следует произвести следующие построения (предпочтительный масштаб построения 1:2,5).

Таблица 2.1 –Исходные данные для построения лобового контура рабочей поверхности корпуса плуга

№ варианта	Ширина Захвата b , м	Глубина вспашки a , м	Δb , мм	Δ , мм	ΔH , мм	Z_b , мм
1	0,3	0,20	20	10	4	55
2	0,32	0,22	22	12	8	65
3	0,34	0,24	24	14	12	75
4	0,36	0,25	26	16	16	60
5	0,38	0,28	28	18	20	70
6	0,4	0,28	30	20	4	55
7	0,3	0,20	32	10	8	65
8	0,32	0,21	34	12	12	75
9	0,34	0,23	36	14	16	60
10	0,36	0,24	38	16	20	70
11	0,38	0,25	40	18	4	55
12	0,4	0,27	20	20	8	65
13	0,31	0,21	22	10	12	75
14	0,33	0,23	24	12	16	60
15	0,35	0,24	26	14	20	70
16	0,37	0,25	28	16	4	55
17	0,39	0,27	30	18	8	65
18	0,41	0,29	32	20	12	75
19	0,31	0,20	34	10	16	60
20	0,33	0,22	36	12	20	70
21	0,35	0,24	38	14	4	55
22	0,37	0,25	40	16	8	65
23	0,39	0,27	24	18	12	75
24	0,41	0,28	26	20	16	60
25	0,35	0,23	28	15	20	70
26	0,42	0,28	30	17	15	75
27	0,35	0,23	25	20	18	60
28	0,36	0,22	25	20	20	67
29	0,37	0,23	30	16	16	66
30	0,4	0,27	30	15	15	70

2.4 Последовательность построения лобового контура корпуса плуга

Оставляя размеры поперечного сечения пласта неизменными (axb), повернуть его против часовой стрелки на угол 90^0 с опорой на дно борозды углом A . В результате поперечное сечение пласта принимает положение $AB'C'D'$, опираясь на дно борозды меньшей стороной AB' , длиной a .

1) Также оставляя размеры поперечного сечения пласта неизменными, продолжить его вращение против часовой стрелки, но с опорой на дно борозды углом B' . Поворот продолжить до момента касания углом C' поверхности невзрыхленного поля (горизонтальная штрихпунктирная линия, являющаяся продолжением верхней стороны BC исходного поперечного сечения $ABCD$ пласта). В результате поперечное сечение пласта принимает наклонное положение $A'B'C'D'$.

2) Построить окончательное положение поперечного сечения пласта с учетом его разрыхления, то есть с увеличением толщины на 25 мм. Поперечное сечение $A_1'B_1'C_1'D_1'$ взрыхленного пласта (толщиной $a + 25$ мм) опирается на дно борозды углом B_1' , сдвинутым влево от точки B' на 25 мм (принятую величину утолщения пласта вследствие его разрыхления), а угол C_1' касается поверхности взрыхленного поля, обозначенной на рис. 1б штрихпунктирной линией с двумя точками. Точку C_1' получить путем выполнения засечки циркулем раствором b из точки B_1' на штрихпунктирную прямую с двумя точками, обозначающую условную поверхность взрыхленного поля.

3) Базируясь на опорной поверхности пласта (отрезок $B_1'C_1'$) построить прямоугольник $A_1'B_1'C_1'D_1'$ его поперечного сечения с размерами $b \times (a + 25)$.

4) Аналогичным образом построить поперечное сечение $A_1''B_1''C_1''D_1''$ пласта также размером $b \times (a + 25)$, ранее уложенного корпусом, размещенным на раме плуга впереди или отваленного последним корпусом плуга при предыдущем проходе агрегата, сдвинув его опорный угол B_1'' на расстояние b влево от точки B_1' .

5) Найти центр тяжести поперечного сечения $A_1''B_1''C_1''D_1''$ пласта (точку O) на пересечении его диагоналей ($A_1''C_1''$ и $B_1''D_1''$). Убедиться в том, что уложенный пласт принял устойчивое положение, поскольку вектор силы тяжести G пересекает опорную поверхность $B_1''C_1''$. Построить указанный вектор и сделать (письменно) вывод об устойчивости положения уложенного пласта.

б) Для формирования лобового конкурра рабочей поверхности корпуса плуга воспроизвести на отдельном рисунке поперечный профиль открытой борозды без изображения начальных фаз оборота пласта (рис. 2.6 в). Контур поперечного сечения открытой борозды $CDB'A'D'$ выделить основной линией толщиной 1 ... 1,5 мм. Также воспроизвести поперечное сечение $A'B'C'D'$ (сплошной тонкой линией) неразрыхленного и $A_1'B_1'C_1'D_1'$ (пунктирной линией) разрыхленного пласта.

7) Считаем, что носок лемеха находится в точке D . Для нахождения положения на профильной проекции корпуса плуга (на лобовом контуре) пятки лемеха учтем необходимость гарантирования перекрытия между шириной захвата соседних корпусов. С этой целью увеличим номинальную ширину захвата корпуса b на Δb , величина которой варьируется в пределах 20 ... 40 мм (выбрать согласно индивидуальным исходным данным). В результате получена прямая DA_1 , являющаяся фронтальной проекцией лезвия лемеха.

8) Верхняя точка E фронтальной проекции полевого обреза DE корпуса должна быть отклонена в сторону пашни на величину $\Delta C = 5 \dots 10$ мм (выбрать самостоятельно в рамках указанных пределов). Высота точки E по отношению к лезвию лемеха находится по формуле:

$$H = b + \Delta \quad (2.6)$$

$$H = 300 + 10 = 310 \text{ мм.}$$

где $\Delta = 10$ мм (выбрать, согласно индивидуальному заданию).

Соединить точки D и E прямой (основной) линией.

9) Для формирования бороздового обреза PM находим точку P , как середину верхней грани поперечного сечения взрыхленного пласта. То есть,

$$D_1'P = b/2 \quad (2.7)$$

$$D_1'P = \frac{300}{2} = 150 \text{ мм.}$$

10) Прямую PM провести параллельно поверхности $A'D'$ исходного (невзрыхленного) пласта на произвольную длину. Положение точки M определяется последующим построением.

При таком прохождении бороздового обреза гарантируется наличие зазора между ним и поверхностью уложенного пласта, что обеспечивает качественную вспашку без задигов и волочения почвы.

11) Отложить величину Z_b вертикальной проекции ширины лемеха (по индивидуальным исходным данным) и из полученной вследствие этого на полевом обрезе точки N провести параллельно лезвию лемеха DA_1 прямую MN , являющуюся линией стыковки лемеха и отвала. Точка M является, таким образом, точкой пересечения фронтальных проекций бороздового обреза (PM) и линии стыковки лемеха и отвала (NM).

12) Завершить формирование бороздового обреза, соединив пятку лемеха (точку A_1) с точкой M .

13) Для определения максимальной высоты верхнего обреза отвала (линия PFE) задаемся условием исключения пересыпания через него части почвы обрабатываемого пласта. При этом наиболее критическим является сечение AF , в котором диагональ поперечного сечения пласта принимает вертикальное положение. Таким образом, для обеспечения устойчивой работы корпуса плуга должно выполняться условие:

$$H_{max} = \sqrt{a^2 + b^2} + \Delta H \quad (2.8)$$

$$H_{max} = \sqrt{200^2 + 300^2} + 4 = 364,6 \text{ мм.}$$

где ΔH - варьируется в пределах $0 \dots 20$ мм (принять, согласно индивидуальному заданию).

Таким образом, определено положение всех трех характерных точек верхнего обреза отвала. В частности, точка F расположена на высоте H_{max} от дна борозды или проекции лезвия лемеха DA_1 и на расстоянии b от вертикальной стенки CD открытой борозды.

14) Фронтальную проекцию крыла отвала очертить дугой PF окружности радиуса O_1F (O_1P). Для определения положения точки O_1 из середины отрезка PF (точки Q) провести перпендикуляр до пересечения с вертикальной прямой AF . Полученная точка пересечения является искомым центром окружности (дуги скругления).

15) Завершить построение лобового контура, соединив точки F и E прямой линией.

16) Нанести все отмеченные на рис. 2.6 в точки и размеры, обусловленные исходными данными или полученные построением и расчетом по формулам 1.6 ... 1.8.

3 ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ АКТИВНОГО ЛЕМЕХА

3.1 Общие сведения

3.1.1 Выкапывающие рабочие органы

Основными требованиями, которым должны удовлетворять выкапывающие рабочие органы уборочных машин, является срез (подкапывание) слоя почвы, разрушение (крошение) пласта и передача срезанного слоя почвы на последующие органы машины.

Форма выкапываемого слоя зависит от размещения в нем корнеклубнеплодов.

В соответствии со специфическими особенностями различных овощных культур выкапывающие рабочие органы уборочных машин должны обеспечивать выкапывание:

- 1) мелких корнеклубнеплодов округлой формы (репчатого лука, чеснока, редиса и т.п.), располагающихся в почве на глубине 5 – 8 см;
- 2) мелких корнеклубнеплодов веретенообразной формы (моркови, цикория и т.п.), располагающихся в почве на глубине до 25 см;
- 3) крупных корнеплодов (брюквы, репы и др.) [40].

Многообразием выполняемых задач обусловлено использование в овощеуборочных машинах выкапывающих органов всех типов: пассивных, активных и комбинированных (рис. 3.1).

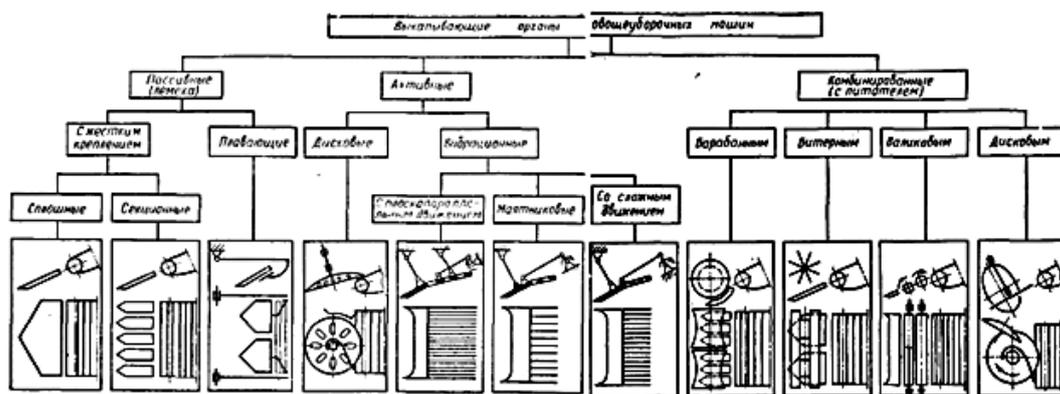


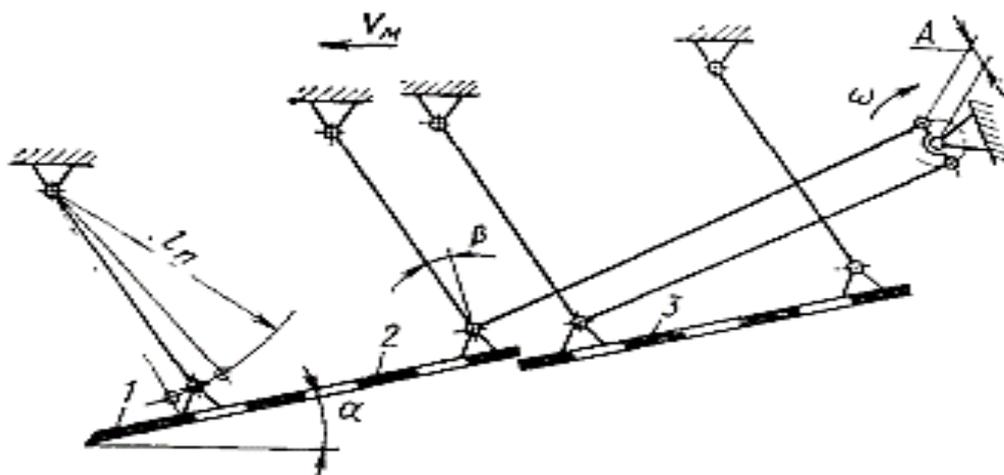
Рисунок 3.1 – Классификация выкапывающих рабочих органов овощеуборочных машин [40]

3.1.2 Активные выкапывающие органы

К числу активных выкапывающих органов, встречающихся в овощеуборочных машинах, относятся вращающиеся плоские диски и колеблющийся лемех.

В грохотных машинах колеблющийся лемех (рис. 3.2) совершает колебания по дуге радиусом, равным длине подвески l_n . Учитывая, что радиус кривошипа (амплитуда) A значительно меньше длины подвесок, а отношение A/l_n близко к нулю, можно принять возвратно-поступательное движение лемеха прямолинейным, направленным под углом $(\alpha+\beta)$ к горизонтальной плоскости.

В процессе работы абсолютная скорость лемеха складывается из поступательной скорости машины v_m и скорости колебательного движения самого лемеха ωA . В результате сложения этих скоростей в абсолютном движении лемех описывает пилообразную траекторию. Форма и размеры траектории зависят от амплитуды, частоты и направления колебаний, а также от скорости поступательного движения лемеха и определяются высотой зубцов $h_{зуб}=2A \sin(\alpha+\beta)$ и длиной пути лемеха за один период колебания $L = v_m t_{кол} = 2\pi v_m / \omega$.



1 - лемех; 2 и 3 - решетка

Рисунок 3.2 - Схема универсального колеблющегося грохота

Процесс подкапывания почвенного пласта колеблющимся лемехом можно разделить на две периодически повторяющиеся фазы: резания, когда направление перемещения лемеха при колебательном движении совпадает с направлением перемещений в переносном движении, и подбрасывания, когда эти перемещения противоположны одно другому.

В фазе резания (рис. 3.3) лемех перемещается из точки 1 в точку 3, при этом в интервале между точками 1-2 скорость его возрастает, а между точками 2-3 - уменьшается.

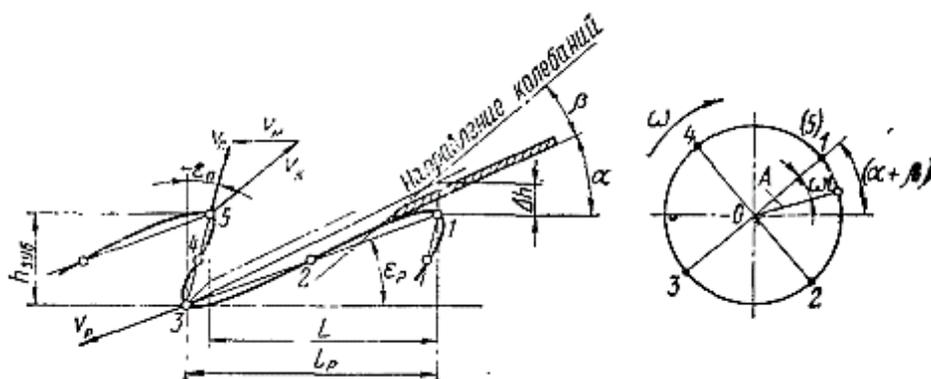


Рисунок 3.3 - Перемещение колеблющегося лемеха при абсолютном движении

Значения сопротивлений и характер деформации почвы в фазе резания определяются значениями угла резания (крошения). Для пассивного лемеха этот угол, как правило, является углом его наклона, для колеблющегося лемеха угол резания зависит как от угла наклона, так и от режима работы и определяется соотношением:

$$\alpha_p = \alpha - \varepsilon_p \quad (3.1)$$

где α - угол наклона лемеха;

ε_p - угол между направлением движения лемеха в фазе резания и горизонталью.

Угол ε_p не является постоянным и в каждый момент определяется отношением составляющих абсолютной скорости лемеха v_p в фазе резания: вертикальной $v_{p.v} = \omega A \sin \omega t \sin (\alpha + \beta)$ к горизонтальной $v_{p.r} = v_m + \omega A \sin \omega t \cos (\alpha + \beta)$, т. е. $\operatorname{tg} \varepsilon_p = v_{p.v} / v_{p.r}$.

В фазе подбрасывания, при перемещении лемеха из точки 3 в точку 5 (см. рис. 3.3), направление его абсолютного движения определяется углом подбрасывания ε_n , который также может быть принят постоянным для всей фазы и определен из соотношения:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_n = v_m \pi / [2 \omega A \sin (\alpha + \beta)] - \operatorname{ctg} (\alpha + \beta) \quad (3.2)$$

Деформация почвы в фазе подбрасывания при малых значениях углов крошения характеризуется образованием глыб почвы в каждом цикле колебаний.

В начальный период происходит упругое уплотнение нижних слоев срезанной почвы, затем появляется трещина скалывания перед режущей кромкой лемеха и образуется призмовидная глыба почвы. При последующем цикле колебания образовавшаяся глыба продолжает перемещаться вверх по поверхности лемеха, а лезвием срезается новый слой почвы.

Образующаяся в процессе работы колеблющегося лемеха стружка на суглинистых и глинистых почвах при большой глубине подкапывания (15-20 см) и

оптимальной влажности имеет трещины только в нижнем слое, а при глубине 8-10 см - трещины отрыва по всей толщине слоя. При подкапывании сухой связной почвы лемехом отрываются почвенные глыбы неправильной формы за несколько циклов колебаний.

Рассмотрим три характерных режима работы лемеха в фазе подбрасывания (рис. 3.4), полагая, что перемещение почвы происходит непрерывными скачками с отрывом от рабочей поверхности лемеха. Условия существования таких режимов будут рассмотрены далее.

Если $\varepsilon_n > 0$, то $\omega A < 1,57 v_m / \cos(\alpha + \beta)$, и направление движения пласта с лемехом отклонено от вертикали в сторону движения машины, т. е. пласт сдвигается вперед (см. рис. 3.4, а).

При этом абсолютная скорость каждой точки пласта изменяется от нуля до какого-то значения v_0 , соответствующего скорости в момент отрыва пласта от лемеха $v_0 = \omega A \sin \varphi_0$, где φ_0 - угол поворота кривошипа в момент начала отрыва.

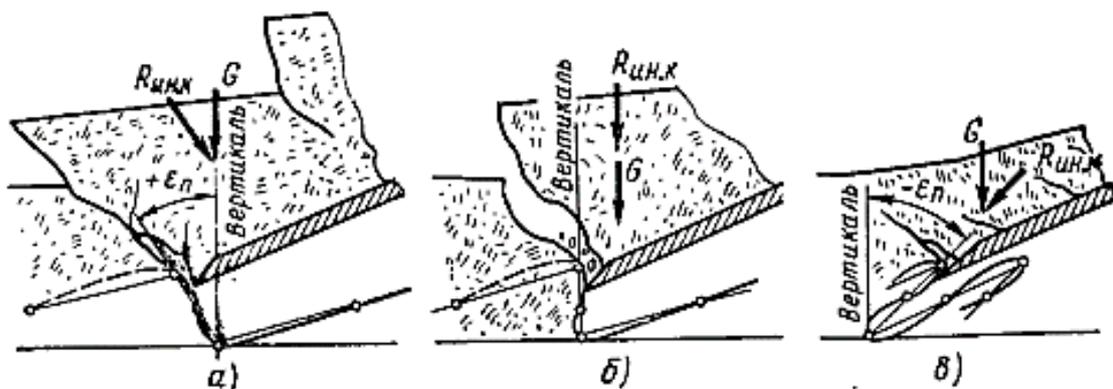


Рисунок 3.4 - Характер деформации срезанного слоя почвы в фазе подбрасывания: а-при $\varepsilon_n > 0$; б- при $\varepsilon_n = 0$; в-при $\varepsilon_n < 0$

Важнейшим технологическим показателем качества работы подкапывающего рабочего органа является скорость транспортирования срезанного слоя почвы. Для выявления наиболее целесообразных режимов работы колеблющегося лемеха и грохота овощеуборочных машин рассмотрим процесс перемещения почвы по наклонной поверхности лемеха.

Частицы почвы находятся на поверхности лемеха под действием следующих сил: тяжести $G=mg$; инерции от возвратно-поступательного движения $J=mj$; нормальной N ; трения $F=fN$ и реакции P недеформированной почвы впереди лемеха. При этом силой инерции, возникающей в результате движения лемеха по дуге вокруг точек подвеса, пренебрегаем, так как приняли ранее допущение о том, что движение лемеха происходит по прямолинейной траектории.

В процессе подкапывания слоя почвы реакция P способствует продвижению пласта вверх по лемеху. Однако уборка некоторых овощных культур (репчатого лука, редиса, чеснока и др.) сопряжена с подкапыванием тонкого слоя почвы или подбором луковиц (корнеплодов) из валков при отдельном способе уборки. В этом случае сила P практически отсутствует, так как корнеплоды и комки почвы, расположенные на поверхности поля (в валке), представляют собой изолированные части. В связи с этим перемещение частиц по лемеху будем рассматривать без учета силы P .

Почва остается на поверхности лемеха лишь при $N>0$. Если это условие не выполняется, то частицы почвы отрываются от поверхности лемеха, и тогда $F=fN=0$.

На скорость транспортирования существенно влияет характер движения частиц почвы, который обуславливается взаимосвязанными углами α и β . Эти углы определяют направление колебаний лемеха к его плоскости и горизонтали. Чем меньше угол β , тем большие ускорения лемеха требуются для обеспечения подбрасывания материала. Кроме того, этот угол существенно влияет на высоту подъема частиц, длительность их полета и другие факторы.

На процесс транспортирования значительно влияют свойства почвы и ее состояние. Песчаные малосвязные почвы транспортировать хуже, чем глинистые и суглинистые. В то же время связные почвы хорошо перемещаются по лемеху при оптимальной и низкой влажности. Границей удовлетворительного транспортирования можно считать нижний предел пластичности почвы.

3.2 Суть технологического процесса

Активные лемеха применяются в конструкции некоторых машинах для уборки овощей и корнеплодов. Их положительными свойствами являются:

- возможность транспортирования тонких пластов почвы при большой длине лемеха;

- минимальное тяговое сопротивление;

- интенсивное крошение пласта.

К отрицательным свойствам следует отнести:

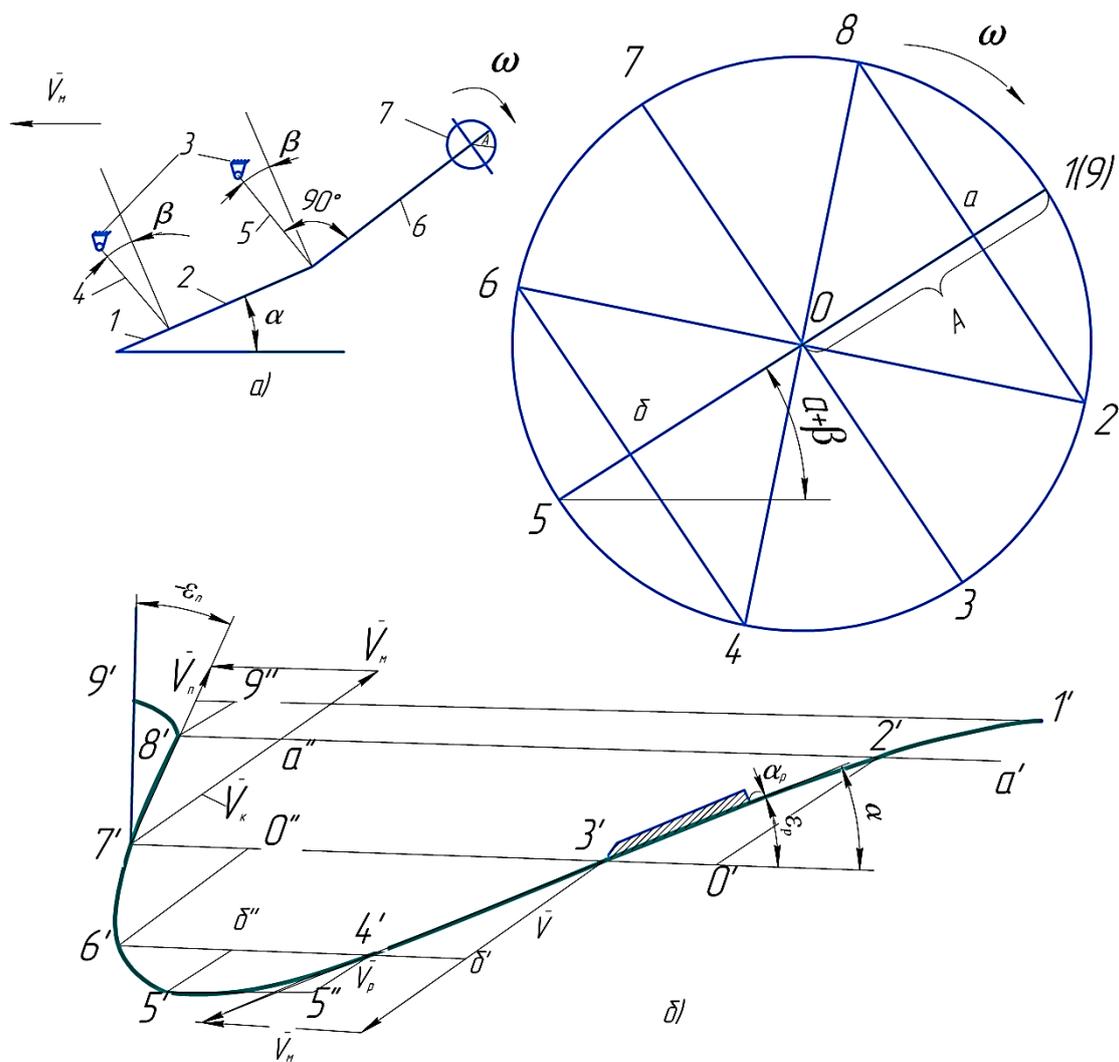
- наличие неуравновешенных нагрузок ударного характера, вызывающих вибрацию остова машины;

- большая по сравнению с пассивными лемехами сложность конструкции.

Принципиальная схема активного лемеха представлена на рис. 3.5а.

Активный лемех 1 является обычно продолжением решета грохота 2, которое подвешено к остову 3 машины посредством шарнирно закрепленных подвесок 4 и 5 длиной l_n . По отношению к поверхности почвы лемех 1 наклонен на угол α , подвески 4 и 5 отклонены вперед от перпендикуляра к поверхности решета грохота 2 на угол β . Шатун 6 соединяет колеблющуюся систему «лемех-грохот-подвески» с кривошипом 7. Обычно принимают что шатун 6 перпендикулярен к подвеске 5.

Машина движется вперед со скоростью V_m , а кривошип 7 вращается с угловой скоростью ω и амплитудой A , вызывая колебания системы «лемех-грохот-подвески». При этом каждая точка лемеха 1, в том числе и его режущая кромка, совершают сложное движение, складывающееся из относительного перемещения под действием шатуна 6 и переносного движения под действием поступательной скорости машины V_m .



а) – кинематическая схема системы «лемех-грохот-подвески»;

б) – взаимодействие активного лемеха с почвой

Рисунок 3.5 – Схема к построению траектории движения активного лемеха

Форма траектории лемеха в абсолютном движении зависит от соотношения между величинами его основных конструктивных и кинематических параметров (ω , A , V_m , α и β). От этих же параметров зависит и характер взаимодействия лемеха с почвой, тяговое сопротивление, энергоёмкость, интенсивность крошения и скорость транспортирования почвы.

3.3 Методика построения

Содержание работы

При выполнении указанной расчетной работы необходимо выполнить следующие действия:

- По данным варианта построить траектории движения активного лемеха.
- Построить планы скоростей активного лемеха в характерных точках.
- Оценить влияние различных конструктивных и режимных параметров на характер взаимодействия активного лемеха с почвой.

Исходные данные. Варианты исходных данных, необходимых для выполнения работы, приведены в таблице 3.1, в которой заданы:

ω - угловая скорость кривошипа, c^{-1} ; A – радиус кривошипа (амплитуда колебания), м; V_m – скорость движения агрегата, м/с; α - угол установки лемеха к дну борозды, град.; β - угол, характеризующий подвеску лемеха (между направлением шатуна в мертвой точке и поверхностью решета грохота), град.

Обучающийся выбирает вариант из таблицы 3.1, согласно своей позиции в списке группы, выполненном в алфавитном порядке.

3.4 Порядок выполнения работы

1) Построения выполняют по данным таблицы 3.1 на листе координатной бумаги формата А4 либо в одном из графических редакторов на ПК. При построении применяются следующие упрощения в кинематике движения лемеха, которые не оказывают существенного влияния на результат, но заметно упрощают расчет и построение:

Таблица 3.1 - Исходные данные по вариантам для расчета кинематики активного лемеха

№п/п	$\omega, \text{с}^{-1}$	$A, \text{м}$	$V_m, \text{м/с}$	α°	β°
1	40	0,067	1,20	20	10
2	41	0,066	1,25	20	10
3	42	0,065	1,30	20	10
4	43	0,064	1,35	20	10
5	44	0,064	1,40	20	10
6	45	0,065	1,45	20	9
7	46	0,068	1,50	20	9
8	47	0,065	1,45	20	9
9	48	0,060	1,47	20	9
10	49	0,061	1,49	20	9
11	50	0,058	1,38	20	9
12	51	0,052	1,35	20	10
13	52	0,053	1,40	20	10
14	53	0,053	1,42	20	10
15	54	0,052	1,40	20	10
16	55	0,048	1,35	20	11
17	56	0,048	1,35	20	11
18	57	0,046	1,40	20	11
19	58	0,047	1,30	20	11
20	59	0,047	1,25	20	11
21	60	0,043	1,40	22	10
22	40	0,067	1,20	22	10
23	41	0,066	1,25	22	10
24	42	0,065	1,30	21	10
25	43	0,064	1,35	21	10
26	44	0,064	1,40	21	10
27	45	0,065	1,45	22	10
28	46	0,068	1,50	22	10
29	47	0,065	1,45	21	10
30	48	0,060	1,47	21	10

- нижний шарнир подвески колеблется в относительном движении не по дуге окружности, а по хорде, перпендикулярной к подвеске;

- шатун сохраняет перпендикулярность к начальному (нейтральному) положению подвески независимо от рассматриваемого момента времени.

В связи с принятыми упрощениями направление относительного перемещения будет всегда параллельно шатуну и по отношению к поверхности почвы

отклонено на угол $\alpha + \beta$. Переносное движение в любой момент направлено параллельно поверхности почвы и имеет постоянную скорость.

2) Для определения текущей величины относительного перемещения лемеха в правом верхнем углу формата (рис 2.4б) радиусом A в масштабе 1:1 выполняют окружность. Через центр окружности точку O под углом $\alpha + \beta$ проводят линию 1...5 (условная линия движения нижней головки шатуна и нижних шарниров подвесок в относительном движении). Затем от точки 1 разбивают окружность на 8 равных частей (точки 1...9). Соединяют между собой точки 2...8 и 4...6. Полученные отрезки (1-а; а-0; 0-б; б-5) дают величину относительного перемещения лемеха. Так, отрезок 1-а соответствует относительному перемещению лемеха при повороте кривошипа от точки 1 до точки 2, отрезок а-0 - от точки 2 до точки 3 и т.д. За те же периоды времени машина перемещается вперед на постоянную величину S_n , равную

$$S_n = \frac{2\pi \times V}{n \times \omega} \cdot M \quad (3.3)$$

$$S_n = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,2}{8 \times 40} = 20 \text{ мм.}$$

где n – число частей, на которое разбита окружность вращения кривошипа.

3) Траекторию движения активного лемеха строят в следующей последовательности. В правой стороне формата ниже окружности выбирают начальную точку 1' (рис. 3.5б.). Указанная точка должна быть приблизительно на одной вертикальной линии с точкой 2 окружности ниже ее нижней точки на 15-20 мм. Из точки 1' под углом $\alpha + \beta$ к горизонтали откладывают вниз отрезок 1'-а' = 1-а, который дает относительное перемещение точки лемеха при повороте кривошипа на 1/8 окружности (от точки 1 до точки 2). От точки а' откладывают гори-

горизонтально влево отрезок S_n , являющийся величиной переносного движения машины за период времени, равный $1/8$ оборота кривошипа, предварительно вычислив величину S_n по формуле (3.3). Полученная точка $2'$ указывает положение лемеха в абсолютном движении при повороте кривошипа от точки 1 до точки 2.

Из точки $2'$ под углом $\alpha + \beta$ к горизонтали откладывают величину отрезка $a'-0' = a-0$. Из полученной точки $0'$ также горизонтально влево откладывают величину отрезка S_n . В результате получают точку $3'$, дающую положение лемеха при перемещении кривошипа в точку 3. Таким же образом находят положение точек $4'$ и $5'$, откладывая под углом $\alpha + \beta$ (соответственно) отрезки $0-b$ и $5-b$. При этом величина и направление отрезка S_n остаются неизменными.

При перемещении кривошипа от точки 5 к точке 6 и далее относительное движение лемеха будет все так же параллельно линии 1-5, но направлено вверх (поскольку лемех выглубляется). Для построения точки $6'$ из точки $5'$ под углом $\alpha + \beta$ к горизонтали откладывают вверх величину отрезка $5'-b'' = 5-b$, а из точки b'' горизонтально влево величину отрезка S_n . Таким образом, получают точку $6'$.

Для увеличения точности построения можно рекомендовать воспользоваться следующим приемом. Из точек $1' \dots 4'$ проводят горизонтальные линии, а из точек $5'$, $6'$ и т.д. проводят под углом $\alpha + \beta$ вверх линии до пересечения с соответствующими горизонтальными линиями. Так, для получения положения точки b'' достаточно провести под углом $\alpha + \beta$ линию до пересечения с горизонтальной линией, выходящей из точки $4'$. Для получения положения точки $0''$ необходимо провести под углом $\alpha + \beta$ из точки $6''$ линию до пересечения с горизонтальной линией, выходящей из точки $3'$ и т.д. Отрезки S_n откладывают из точек b'' , $0''$, a'' и $9''$ горизонтально влево. Таким образом, получают точки $6' \dots 9'$. Соединив полученные точки $1' \dots 9'$ плавной линией, получают траекторию движения лемеха.

4) После построения траектории движения лемеха, в точке 3 строят под углом α положение лемеха при его заглублении. Носок лемеха размещают в

точке 3'. Размеры лемеха произвольные. Рекомендуется длину принять равной 30 мм, толщину - 4 мм, угол заострения режущей кромки - 35° .

5) Из точки 3' проводят касательную к траектории движения и строят фактический угол резания (α_p) в момент заглубления (α_p - угол между касательной в точке 3' к траектории движения и нижней поверхностью лемеха). В точках 3' и 7' строят планы скоростей в масштабе 1:50. При этом линейную скорость кривошипа (скорость относительного движения лемеха) вычисляют по формуле:

$$V_{(3,7)} = \omega A \quad (3.4)$$

$$V_{(3,7)} = 40 \cdot 0,067 = 2,68 \text{ м/с.}$$

Следует иметь в виду, что при построении планов скоростей для других точек формула (180) примет следующий вид:

$$V_J = \omega A \sin \varphi_j \quad (3.5)$$

$$V_J = 40 \cdot 0,067 \cdot 0,7 = 1,87 \text{ м/с.}$$

где φ_j – угол поворота кривошипа от положения 1 в любую произвольную точку J .

6) Проанализировать три варианта параметров (заданный и при изменении V_m) по приведенным выше критериям. Сравнить теоретический результат с построениями. Сделать выводы об оптимальности или неоптимальности режимов работы лемеха.

4 РАСЧЕТ ВИБРОБОРОНЫ

4.1 Общие сведения

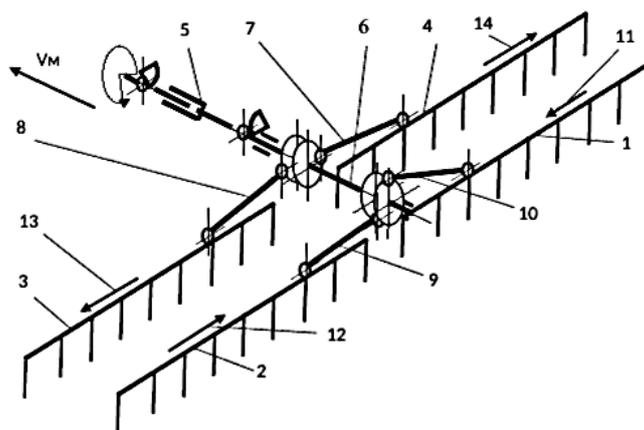
4.1.1 Конструкция самоочищающейся зубовой бороны: теоретическое обоснование

Обработка почвы, осуществляемая в целях получения выровненной поверхности поля с мелковатой структурой, сохраняющей влагу и создающей наиболее благоприятные условия жизнедеятельности корневой системы сельскохозяйственных растений, требует разработки принципиально новых конструкций рабочих органов. В частности, среди активно действующих рабочих органов следует выделить зубья вибрационных борон, которые отличаются способностью хорошо разрыхлять и выравнивать почву, не вынося нижние слои на поверхность, что немаловажно с точки зрения защиты и сохранения плодородия почв.

Однако наряду с этими преимуществами известные конструкции вибрационных борон имеют существенный недостаток: они забиваются растительными остатками на засоренных участках, в результате чего оказываются неэффективными и даже неработоспособными. Этот существенный недостаток сдерживает освоение вибрационных борон в различных отраслях растениеводства.

С целью повышения надежности и качества работы, а также уменьшения сопротивления почвы и упрощения конструкции устройства разработана вибрационная борона, существенно отличающаяся от зарубежных аналогов механизмом привода зубьев и возможностью самоочищения их от зависших и забившихся растительных остатков.

Кинематическая схема зубчатой бороны изображена на рисунке 4.1.



1 – 4 – зубчатые гребенки; 5 – вал карданный; 6 – вал коленчатый;
7 – 10 – шатуны; 11 – 14 – направления колебания зубчатых гребенок

Рисунок 4.1 - Кинематическая схема вибороборны

Борона включает четыре зубчатые гребенки 1-4, смонтированные на раме машины (на схеме не показана) с возможностью поперечного перемещения. В средней части машины на подшипниковых опорах смонтирован коленчатый вал 6, имеющий четыре шатунные шейки, соединенные с зубчатыми гребенками 1-4 шатунами 7-10. Борона навешена на трактор (на схеме не показан) и ее коленчатый вал 6 соединен с ВОМ трактора карданным валом 5.

Работает вибороборона следующим образом. ВОМ трактора вращает через посредство карданного вала 5 коленчатый вал 6 с угловой скоростью ω . Кривошипно-шатунный привод, состоящий из коленчатого вала 6 и шатунов 7-10 преобразует вращательное движение в колебательное по направлению стрелок 11-14. При этом расположенные в одном ряду гребенки (1, 2 и 3, 4) колеблются в противофазе по отношению к парной гребенке. Кроме того, передняя пара зубчатых гребенок сдвинута по фазе колебания относительно задней пары на угол 90° . Вследствие этого динамически уравновешены поперечные колебания и существенно уменьшена потребность в тяговом усилии трактора.

Один из вариантов совершенствования конструкции бороны изображен на рисунке 4.2. Ее зубья 9 вращаются в подшипниках качения вокруг вертикальных

осей под воздействием силы сопротивления почвы то в одном, то в другом направлении, вследствие чего самоочищаются от сорняков.

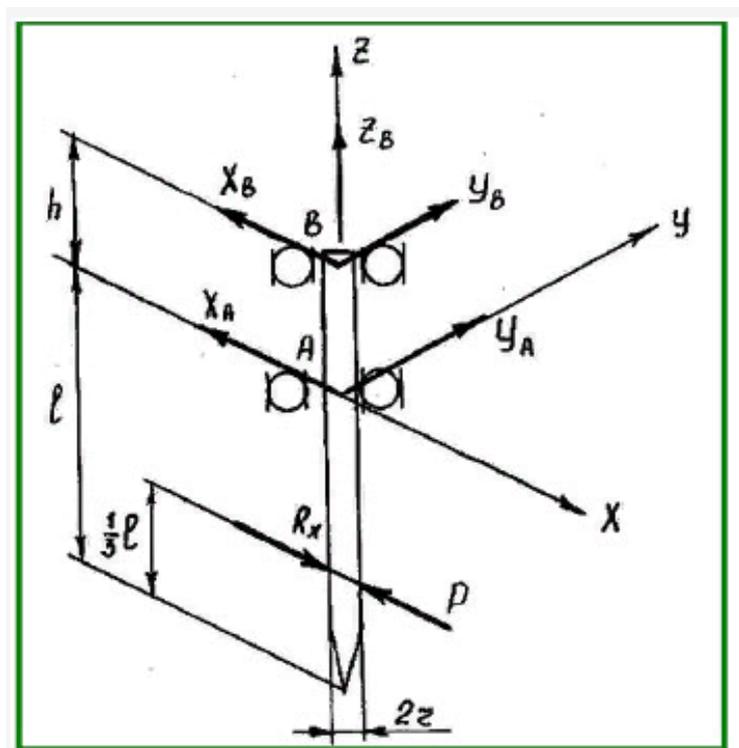


Рисунок 4.2– Схема к определению реакций в подшипниках крепления зуба вибрационной бороны

При этом, исходя из условия равновесия самоочищающегося зуба вибробороны (рис. 4.2), сила тягового сопротивления почвы R_x направлена противоположно линии абсолютной скорости зуба и движущей силы P , с учетом действия которой определяем реакции в подшипниках A и B зуба, выбрав начало координат в точке O вертикальной оси его вращения:

$$\overline{R}_A = \overline{X}_A + \overline{Y}_A ; \overline{R}_B = \overline{X}_B + \overline{Y}_B \quad (4.1)$$

Составим пять уравнений равновесия, беря проекции сил на оси X , Y и моменты относительно осей X , Y , Z :

$$R_X - X_A - X_B - P = 0;$$

$$Y_A + Y_B = 0;$$

$$m_x(\overline{Y_B}) = 0; Y_B \cdot h = 0; Y_B = 0;$$

$$m_y(\overline{R_X}) + m_y(\overline{P}) + m_y(\overline{X_B}) + m_y(\overline{Y_B});$$

$$P \cdot l - P \cdot h - R_x \frac{2}{3} l - X_B \cdot h - Y_B \cdot h = 0;$$

$$X_B = \frac{P(l-h) - R_x \frac{2}{3} l}{h};$$

$$m_z(\overline{R_X}) + m_z(\overline{P}) = 0; -R_X \cdot r + P \cdot r = 0; R_X = P$$

где l, h – соответственно длина зуба и высота его крепежной части между подшипниками.

Решив совместно полученные выражения, получим значения реакций в подшипниках A и B :

$$\left. \begin{aligned} X_A &= R_x \left(3 - \frac{l}{3h} \right) \\ X_B &= R_x \left(\frac{l}{3h} - 1 \right); Y_A = 0; Y_B = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

Полученное выражение (2) показывает, что реакцию X_B подшипника B можно исключить при соответствующем подборе геометрических размеров l и h , но в этом случае на подшипник A будет действовать усилие, равное утроенной величине тягового сопротивления R_x , приходящегося на зуб. Поэтому наличие второго подшипника B более желательно с точки зрения равномерного перераспределения R_x . Например, при условии $h = 1/6 l$ получим равные нагрузки на оба подшипника:

$$X_A = X_B = R_x$$

Далее применим известную формулу тягового сопротивления для черенкового ножа в полученном нами выражении (4.2) для зуба вибрационной бороны:

$$R_x = 2N \sin \gamma + 2N f \cos \gamma, N = q \cdot a \frac{0,5d}{\sin \gamma}, \quad (4.3)$$

$$\left. \begin{aligned} R_x &= qad(1 + f \operatorname{ctg} \gamma) = qd \frac{2}{3} l(1 + f) \\ X_A &= qd \frac{2}{3} l(1 + f) \left(3 - \frac{l}{3h}\right) = 2qdl(1 + f) \left(1 - \frac{l}{9h}\right) \\ X_B &= qd \frac{2}{3} l(1 + f) \left(\frac{l}{3h} - 1\right) \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

где N – нормальная реакция от давления почвы;

f – коэффициент трения почвы о цилиндрическую поверхность зуба;

2γ – угол заострения (раствора) для зуба, принимаем равным 90° по касательной к окружности зуба ($\gamma = 45^\circ$);

q – давление почвы на 1 см^2 боковой цилиндрической поверхности зуба;

a – глубина обработки, принимается равной $2/3$ длины зуба;

d – диаметр (толщина) зуба круглого сечения.

Полученная формула справедлива для случая, приравниваемого к равновесному невращающемуся зубу вокруг вертикальной оси, когда он испытывает двухстороннее давление согласно формуле (4.3). В конкретном случае вращения зуба вокруг вертикальной оси формула (4.4) принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} X_A &= qdl(1 + f) \left(1 - \frac{l}{9h}\right) \\ X_B &= qd \frac{1}{3} l(1 + f) \left(\frac{l}{3h} - 1\right) \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

Формула (4.5) берется в основу расчетов при проектировании вибрационных борон с вращающимися вокруг своих осей и самоочищающимися зубьями.

В качестве альтернативы вибробороне можно рассматривать конструкцию активной бороны, которая также уменьшает тяговое сопротивление, реализуя основную долю энергии трактора через вал отбора мощности (рис. 4.3) [41]. Исходным посылом для разработки машины является то, что большинство используемых в производстве машин базируется на серийно выпускаемых сельскохозяйственных орудиях с пассивным воздействием на почву за счет приложения тягового усилия. Такие агрегаты громоздки, металлоемки и малопроизводительны. Требуя для работы значительных тяговых усилий, они не соответствуют современным тенденциям повышения энергонасыщенности и снижения удельной металлоемкости агрегатов.

В последнее время внимание многих исследователей привлекают рабочие органы активного типа, в частности, с колебаниями в поперечной к направлению движения агрегата плоскости. Такие рабочие органы в процессе перемещения по полю совершают сложное движение: поступательное в продольном с трактором направлении и колебательное – в поперечном. Но при этом возникают динамические вибрационные усилия, которые требуют повышения прочностных характеристик конструкции и являются энергоемкими.

Борона активная (рис. 4.3) содержит раму 1, закрепленные на ней приводной механизм 2, расположенную вертикальной осью вращения на продольной оси симметрии бороны спереди по ходу движения агрегата ведущую сдвоенную звездочку 3 и сзади на одинаковом расстоянии от продольной оси симметрии и от ведущей сдвоенной звездочки 3 две ведомые сдвоенные звездочки 4 с вертикальными осями вращения, а также охватывающую их по внешнему контуру внешнюю двухрядную бесконечную цепь 5 с закрепленными на ней зубьями 6. Внутри внешнего контура цепи 5 на раме 1 закреплены с возможностью вращения относительно своих вертикальных осей прижимные сдвоенные звездочки 7, расположенные попарно вблизи внутренних частей, относительно внешнего кон-

тура цепи 5, ведущей сдвоенной 3 и двух ведомых сдвоенных звездочек 4 в соответствующих им горизонтальных плоскостях, таким образом, что с их помощью прижимается и вводится в зацепление с ведущей сдвоенной 3 и двумя ведомыми сдвоенными 4 звездочками внутренняя двухрядная бесконечная цепь 8 с закрепленными на ней зубьями 6, причем расстояние между зубьями внутренней двухрядной бесконечной цепи 8 меньше расстояния между зубьями внешней двухрядной бесконечной цепи 5. Натяжение внешней двухрядной бесконечной цепи 5 и внутренней двухрядной бесконечной цепи 8 осуществляется перемещением в направляющих осях с ведущей сдвоенной звездочкой 3 и прижимной сдвоенной звездочкой 7 с помощью болтов 9 и 10.

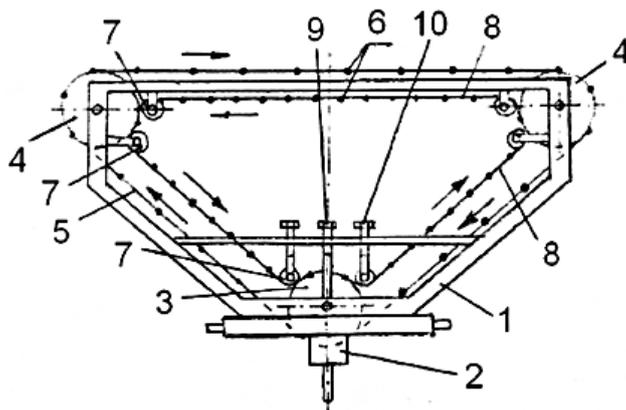


Рисунок 4.3 - Борона активная [41] (обозначения позиций в тексте)

Устройство работает следующим образом. Через соединительную балку 11 борона активная соединяется с трактором. От вала отбора мощности трактора с помощью привода 2 крутящий момент передает на приводную звездочку 3, с помощью которой внешняя двухрядная бесконечная цепь 5 с зубьями 6 приводится в движение, выполняя рыхление почвы. Одновременно в противоположном направлении за счет сцепления с помощью прижимных сдвоенных звездочек 7 с ведущей сдвоенной 3 и двумя ведомыми сдвоенными звездочками 4 перемещается внутренняя бесконечная цепь 8, выполняющая дополнительное

рыхление почвы. Так как на ней зубья установлены на меньшем расстоянии, чем на внешней двухрядной бесконечной цепи 5, то на уже разрыхленной передними зубьями почве, возникающий от взаимодействия с ней разворачивающий трактор момент уравновешивает направленный в противоположную сторону разворачивающий трактор момент от взаимодействия с почвой внешней двухрядной бесконечной цепи 5.

При эксплуатации бороны возникает проблема сгужения почвы перед ней вследствие затруднений при прохождении комков почвы между зубьями. Однако, это может быть устранено путем выбора правильного соотношения между поступательной скоростью движения агрегата V и перпендикулярно ей направленными скоростями первого V_1 и второго V_2 контуров цепи, если будут соблюдаться равенства:

$$\operatorname{arctg} \frac{V}{V_1} < \varphi \text{ и } \operatorname{arctg} \frac{V}{V_2} < \varphi$$

где φ - угол трения между поверхностью зубьев и комками почвы.

То сгужение почвы перед боронной будет сведено до минимума и эксплуатационные показатели бороны будут оптимальными.

Конструктивные элементы такой бороны не подвергаются значительным динамическим и вибрационным нагрузкам, и предлагаемая схема не требует дополнительных энергетических затрат на резкую смену направления движения бороны.

4.2 Суть технологического процесса

Рабочими органами вибробороны являются обычно поперечные брусья с зубьями. Они перемещаются вперед со скоростью V_m и совершают при этом поперечные колебания с частотой ω . При этом брусья устанавливают последовательно в два следа и приводят в движение кривошипно-шатунным механизмом.

Движения зубьев переднего и заднего брусьев синхронизированы и сдвинуты по фазе на угол $\pi/2$, а вся борона состоит к тому же из правой и левой секций, поперечные движения которых сдвинуты по фазе на угол π .

Траектория движения зуба представляет собой синусоиду и описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} X = V_m t \\ Y = R \sin \omega t \end{cases} \quad (4.6)$$

где R - радиус кривошипа, м.

Скорость зуба в абсолютном движении складывается из скорости поступательного перемещения и скорости поперечного колебания и выражается формулой:

$$V = \sqrt{V_m^2 + R^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2 \omega t} \text{ м/с} \quad (4.7)$$

Реакция почвы на движущийся в ней зуб вибробороны не является постоянной величиной, а меняется в зависимости от скорости V по закону

$$P = P_0 \left(1 + 0,2 \frac{V - V_M}{V_M} \right), \text{ Н} \quad (4.8)$$

где P_0 - тяговое сопротивление зуба традиционной бороны "зигзаг", которое в среднем равно 30Н.

Тяговое сопротивление зуба бороны является проекцией на продольное направление реакции почвы P и равно:

$$P_x = P \cdot \sin \alpha, \text{ Н}, \quad (4.9)$$

где $\alpha = \arcsin (V_M/V)$ - угол между касательной к траектории движения агрегата и направлением поперечного колебания бруса, град.

Следовательно, тяговое сопротивление можно определить по формуле:

$$P_x = P \cdot (V_m / V) \quad (4.10)$$

4.3 Методика построения

Построить траекторию движения зуба виброборона, его силовые характеристики в функции угла поворота кривошипа и сравнить их с силовой характеристикой пассивного зуба борона.

Исходные данные. R – радиус кривошипа привода виброборона; ω – угловая скорость кривошипа; V_m – скорость движения агрегата. Варианты исходных данных приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Исходные данные для расчета виброборона

№ п/п	R , мм	ω , с ⁻¹	V_m , м/с	№ п/п	R , мм	ω , с ⁻¹	V_m , м/с
1	2	3	4	5	6	7	8
1	100	62	1,5	16	99	56	1,8
2	80	58	1,4	17	88	60	1,7
3	105	60	1,5	18	91	61	1,6
4	110	51	1,6	19	118	49	1,8
5	75	70	1,7	20	102	57	1,6
6	65	90	1,8	21	97	59	1,7
7	100	60	1,6	22	89	54	1,6
8	95	55	1,4	23	82	68	1,9
9	98	63	1,5	24	80	70	2,0
10	120	48	1,4	25	90	60	1,8
11	115	52	1,5	26	95	57	1,6
12	116	49	1,4	27	100	60	1,7
13	99	56	1,6	28	104	60	1,6
14	88	60	1,5	28	100	64	1,5
15	91	61	1,4	30	80	60	1,4

4.4 Порядок выполнения работы

На листе координатной бумаги в масштабе 1:2 строят траекторию движения зуба вибробороны (рис. 4.4).

Для этого в системе координат XOY строят окружность радиуса R , с центром в точке O и разбивают её на 12 равных частей, начиная с оси координат.

Вычисляют подачу за один цикл колебания зуба по формуле:

$$S = \frac{2 \times \pi \times V_m}{\omega} \quad (4.11)$$

Откладывают отрезок S по оси X от точки O в выбранном масштабе и делят его на 12 равных частей. Обозначают точки на окружности и на отрезке, как показано на рисунке 1.

Из точек $1 \dots 12$ окружности проводят линии параллельные оси X , а из точек $1' \dots 12'$ отрезка S – линии параллельно оси Y .

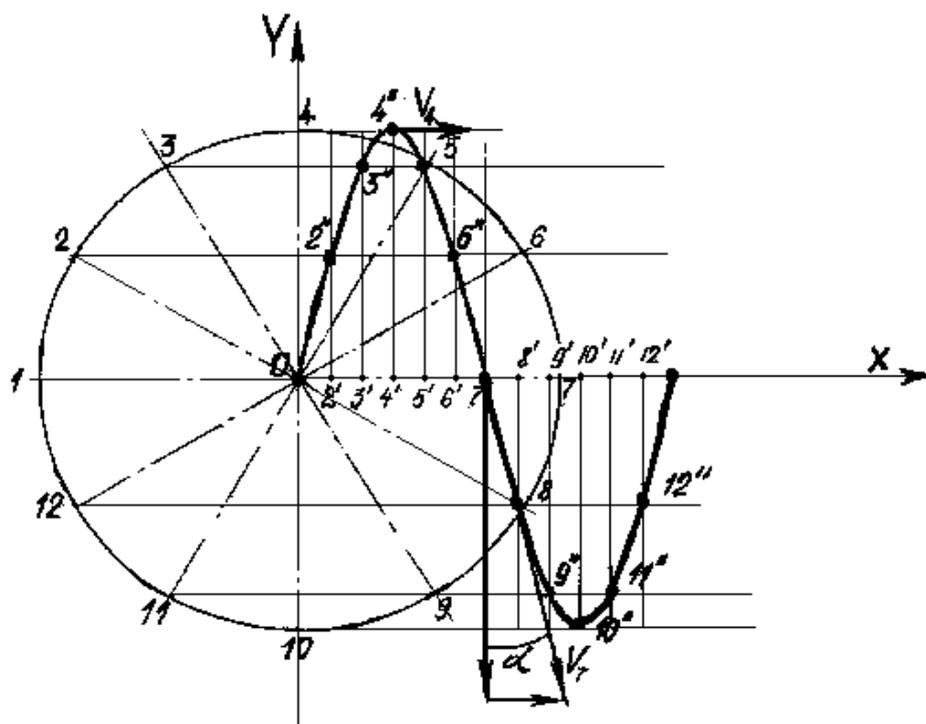


Рисунок 4.4 – Траектория движения зуба вибробороны

Соединив точки пересечения линий, начинающихся из одноимённых точек окружности и отрезка S плавной линией, получаем траекторию движения зуба виброборона. Точки, принадлежащие траектории, обозначаем $1'' \dots 12''$.

Строим планы скоростей для точек $4''$ и $7''$, в масштабе $10 \text{ мм} = 1 \text{ м/с}$.

Скорость поперечного колебания зубового бруса определяем по формуле:

$$V_y = R \times \omega \times \cos(\omega t) \quad (4.12)$$

Рассчитываем основные кинематические и силовые параметры зуба виброборона в двенадцати точках траектории его движения. Результаты сводим в таблицу 4.2.

Примечание: Значение тягового сопротивления зуба борона P_0 взять из работы по построению звена зубовой борона.

Таблица 4.2 – Данные расчётов сил сопротивления движению зуба виброборона

Параметр	Точки траектории											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ωt°	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
$V, \text{ м/с}$	6,3	5,5	3,4	1,5	3,4	5,5	6,3	5,5	3,4	1,5	3,4	5,5
$P, \text{ Н}$	49,2	45	37,6	30	37,6	45	49,2	45	37,6	30	37,6	45
$P_x, \text{ Н}$	11,7	12,3	16,5	30	16,5	12,3	11,7	12,3	16,5	30	16,5	12,3

где $\varphi^\circ = \omega \times t$.

По приведенным в таблице 4.2 значениям строим график изменения тягового сопротивления виброборона в функции угла поворота кривошипа (рис. 4.5) для переднего 1 и заднего 2 брусьев, с учётом сдвига по фазе между ними, равного $\pi/2$.

После этого строим график 3 изменения суммарного значения тягового усилия, суммируя графики 1 и 2. находим среднее значение тягового усилия 4 и сопоставляем его с тяговым усилием зубовой борона с пассивными зубьями и тем же удельным сопротивлением, приходящимся на один зуб. Считаем, что два суммируемых зуба виброборона перекрывают зону действия четырёх зубьев пассивной борона, то есть,

$$P' = 4P_0 \quad (4.13)$$

Наносим на график линию, характеризующую P' . Масштаб построения по оси $X - 10 \text{ мм} = 30^\circ$; по оси $Y - 10 \text{ мм} = 5 \text{ Н}$.

1) Расчет для $\omega t^\circ = 0$

$$V_y = 0,1 \cdot 62 \cdot 1 = 6,2 \text{ м/с.}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5}{62} = 0,15 \text{ м.}$$

$$V = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2 \cdot 62^2 \cdot 1^2} = \sqrt{40,7} = 6,3 \text{ м/с.}$$

$$P = 30 \left(1 + 0,2 \frac{6,3 - 1,5}{1,5} \right) = 49,2 \text{ Н.}$$

$$P_x = 49,2 \cdot (1,5 / 6,3) = 11,7 \text{ Н.}$$

2) Расчет для $\omega t^\circ = 30$

$$V_y = 0,1 \cdot 62 \cdot 0,86 = 5,3 \text{ м/с.}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5}{62} = 0,15 \text{ м.}$$

$$V = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2 \cdot 62^2 \cdot 0,86^2} = \sqrt{30,6} = 5,5 \text{ м/с.}$$

$$P = 30 \left(1 + 0,2 \frac{5,5-1,5}{1,5} \right) = 45 \text{ Н.}$$

$$P_x = 45 \cdot (1,5 / 5,5) = 12,3 \text{ Н.}$$

3) Расчет для $\omega t^\circ = 60$

$$V_y = 0,1 \cdot 62 \cdot 0,5 = 3,1 \text{ м/с.}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5}{62} = 0,15 \text{ м.}$$

$$V = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2 \cdot 62^2 \cdot 0,5^2} = \sqrt{11,86} = 3,4 \text{ м/с.}$$

$$P = 30 \left(1 + 0,2 \frac{3,4-1,5}{1,5} \right) = 37,6 \text{ Н.}$$

$$P_x = 37,6 \cdot (1,5 / 3,4) = 16,5 \text{ Н.}$$

4) Расчет для $\omega t^\circ = 90$

$$V_y = 0,1 \cdot 62 \cdot 0 = 0 \text{ м/с.}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5}{62} = 0,15 \text{ м.}$$

$$V = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2 \cdot 62^2 \cdot 0^2} = \sqrt{2,25} = 1,5 \text{ м/с.}$$

$$P = 30 \left(1 + 0,2 \frac{1,5-1,5}{1,5} \right) = 30 \text{ Н.}$$

$$P_x = 30 \cdot (1,5 / 1,5) = 30 \text{ Н.}$$

5) Расчет для $\omega t^\circ = 120$

$$V_y = 0,1 \cdot 62 \cdot 0,5 = 3,1 \text{ м/с.}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5}{62} = 0,15 \text{ м.}$$

$$V = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2 \cdot 62^2 \cdot 0,5^2} = \sqrt{11,86} = 3,4 \text{ м/с.}$$

$$P = 30 \left(1 + 0,2 \frac{3,4-1,5}{1,5} \right) = 37,6 \text{ Н.}$$

$$P_x = 37,6 \cdot (1,5 / 3,4) = 16,5 \text{ Н.}$$

6) Расчет для $\omega t^\circ = 150$

$$V_y = 0,1 \cdot 62 \cdot 0,86 = 5,3 \text{ м/с.}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5}{62} = 0,15 \text{ м.}$$

$$V = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2 \cdot 62^2 \cdot 0,86^2} = \sqrt{30,6} = 5,5 \text{ м/с.}$$

$$P = 30 \left(1 + 0,2 \frac{5,5-1,5}{1,5} \right) = 45 \text{ Н.}$$

$$P_x = 45 \cdot (1,5 / 5,5) = 12,3 \text{ Н.}$$

7) Расчет для $\omega t^\circ = 180$

$$V_y = 0,1 \cdot 62 \cdot 1 = 6,2 \text{ м/с.}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5}{62} = 0,15 \text{ м.}$$

$$V = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2 \cdot 62^2 \cdot 1^2} = \sqrt{40,7} = 6,3 \text{ м/с.}$$

$$P = 30 \left(1 + 0,2 \frac{6,3-1,5}{1,5} \right) = 49,2 \text{ Н.}$$

$$P_x = 49,2 \cdot (1,5 / 6,3) = 11,7 \text{ Н.}$$

8) Расчет для $\omega t^\circ = 210$

$$V_y = 0,1 \cdot 62 \cdot 0,86 = 5,3 \text{ м/с.}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5}{62} = 0,15 \text{ м.}$$

$$V = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2 \cdot 62^2 \cdot 0,86^2} = \sqrt{30,6} = 5,5 \text{ м/с.}$$

$$P = 30 \left(1 + 0,2 \frac{5,5-1,5}{1,5} \right) = 45 \text{ Н.}$$

$$P_x = 45 \cdot (1,5 / 5,5) = 12,3 \text{ Н.}$$

9) Расчет для $\omega t^\circ = 240$

$$V_y = 0,1 \cdot 62 \cdot 0,5 = 3,1 \text{ м/с.}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5}{62} = 0,15 \text{ м.}$$

$$V = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2 \cdot 62^2 \cdot 0,5^2} = \sqrt{11,86} = 3,4 \text{ м/с.}$$

$$P = 30 \left(1 + 0,2 \frac{3,4-1,5}{1,5} \right) = 37,6 \text{ Н.}$$

$$P_x = 37,6 \cdot (1,5 / 3,4) = 16,5 \text{ Н.}$$

10) Расчет для $\omega t^\circ = 270$

$$V_y = 0,1 \cdot 62 \cdot 0 = 0 \text{ м/с.}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5}{62} = 0,15 \text{ м.}$$

$$V = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2 \cdot 62^2 \cdot 0^2} = \sqrt{2,25} = 1,5 \text{ м/с.}$$

$$P = 30 \left(1 + 0,2 \frac{1,5-1,5}{1,5} \right) = 30 \text{ Н.}$$

$$P_x = 30 \cdot (1,5 / 1,5) = 30 \text{ Н.}$$

11) Расчет для $\omega t^{\circ} = 300$

$$V_y = 0,1 \cdot 62 \cdot 0,5 = 3,1 \text{ м/с.}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5}{62} = 0,15 \text{ м.}$$

$$V = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2 \cdot 62^2 \cdot 0,5^2} = \sqrt{11,86} = 3,4 \text{ м/с.}$$

$$P = 30 \left(1 + 0,2 \frac{3,4 - 1,5}{1,5} \right) = 37,6 \text{ Н.}$$

$$P_x = 37,6 \cdot (1,5 / 3,4) = 16,5 \text{ Н.}$$

12) Расчет для $\omega t^{\circ} = 330$

$$V_y = 0,1 \cdot 62 \cdot 0,86 = 5,3 \text{ м/с.}$$

$$S = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5}{62} = 0,15 \text{ м.}$$

$$V = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2 \cdot 62^2 \cdot 0,86^2} = \sqrt{30,6} = 5,5 \text{ м/с.}$$

$$P = 30 \left(1 + 0,2 \frac{5,5 - 1,5}{1,5} \right) = 45 \text{ Н.}$$

$$P_x = 45 \cdot (1,5 / 5,5) = 12,3 \text{ Н.}$$

Определяем, сколько процентов от тягового сопротивления пассивной борны составляет тяговое сопротивление виброборны.

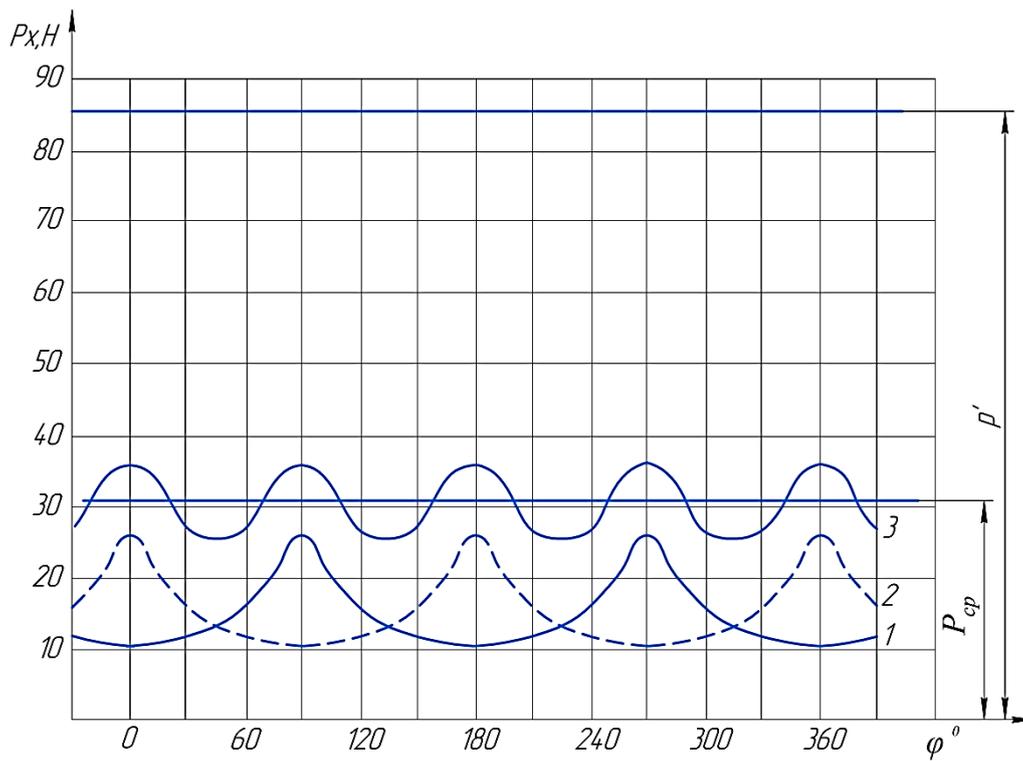


Рисунок 4.5 – Силовые характеристики зубьев вибробороны

5 РАСЧЕТ ФРЕЗЫ

5.1 Общие сведения

5.1.1 Кинематика рабочих органов фрез

В последнее время среди специалистов определенным вниманием пользуются почвообрабатывающие машины с активными рабочими органами.

Рабочие органы фрез совершают сложное движение: поступательное (переносное) и вращательное (относительное). Траектория движения какой-либо точки рабочего органа представляет собой циклоиду (трохоиду) [42-44].

Рассмотрим, например, движение конечной точки A ножа (рис.5.1), находящейся в начальный момент в положении A_0 . Через промежуток времени t ось барабана переместится в положение O_i , пройдет путь Vt , а диск барабана повернется на угол ωt , где V - поступательная, а ω - угловая скорость фрезы. При этом точка A ножа перейдет из положения A_0 в положение A_i с координатами:

$$\begin{cases} x = V_M t + R \cos \omega t \\ y = R(1 - \sin \omega t) \end{cases} \quad (5.1)$$

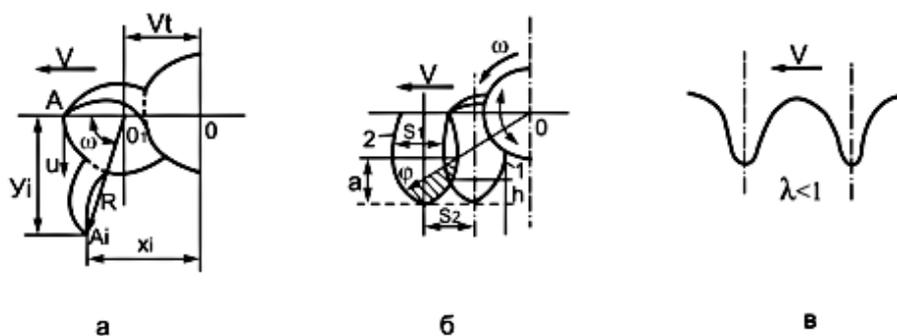


Рисунок 5.1 – К теории: а – к определению уравнений движению; б – к определению основных показателей работы фрезы; в – траектория штанги культиватора

Уравнение (5.1) в параметрической форме характеризуют траекторию абсолютного движения точки A ножа фрезы. Такую же траекторию будет иметь и другая точка ножа.

Геометрическая форма циклоиды будет зависеть от соотношения скоростей:

$$\lambda = \frac{U}{V}, \quad (5.2)$$

где U - окружная скорость точки A .

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

В штанговых культиваторах $\lambda < 1$.

5.1.2 Основные параметры технологического процесса работы фрезы

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

Подачу на нож S_z вычисляют по формуле:

$$S_z = Vt_z, \quad (5.3)$$

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

Время t_z находят из выражения:

$$t_z = \frac{t_{об}}{r}, \quad (5.4)$$

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

r - число ножей на одном диске.

Время одного оборота можно определить из условия:

$$\omega t_{об} = 2\pi \text{ и } t_z = \frac{2\pi}{\omega r}, \quad (5.5)$$

После подстановки получим:

$$S_z = 2\pi V / \omega z \text{ или} \quad (5.6)$$

умножив числитель и знаменатель на r и заменив U/V через λ , будем иметь:

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

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

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

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

5.2 Суть технологического процесса

Барабан почвенной фрезы оборудован ножами, в количестве Z_n штук, которые сгруппированы по поперечным плоскостям, по Z ножей в каждой. При работе барабан фрезы радиусом R (по концам ножей) вращается с угловой скоростью ω и перемещается поступательно с линейной скоростью V_m (рис. 5.2). В результате крайняя точка ножа перемещается в абсолютном движении по криволинейной циклической траектории – трохойде 1, которая в принятой на рисунке системе координат $XO'Y$ описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} x = V_m t + R \cos \omega t \\ y = R(1 - \sin \omega t) \end{cases}$$

Параметры траектории движения существенным образом зависят от кинематического коэффициента λ , являющегося отношением окружной скорости крайней точки ножа в относительном движении к поступательной скорости барабана в переносном движении. То есть:

$$\lambda = V_0/V_m = \omega R/V_m \quad (5.7)$$

Траектория движения следующего ножа повторяет траекторию движения предыдущего со сдвигом каждой ее точки в направлении перемещения на величину подачи на нож S_z , которая определяется по формуле:

$$S_z = 2\pi R/(\lambda z) \quad (5.8)$$

$$S_z = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{280}{2,7 \cdot 4} = 163,28$$

Таким образом, за один оборот барабана фреза проходит путь $X_{об}$, равный:

$$X_{об} = V_m 2\pi/\omega = 2\pi R/\lambda \quad (5.9)$$

$$X_{об} = V_M 2\pi/\omega = 2\pi R/\lambda = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{280}{2,7} = 651 \text{ мм}$$

В точках A_0 и A_1 ножи поочередно внедряются в почву на максимальную глубину a , отделяя от почвенного монолита стружку переменного сечения A_0A_1B (заштриховано), которую отбрасывают назад. От воздействия ножа и в результате удара о кожух (на схеме не показан) почвенная стружка разрушается на мелкие фрагменты, образуя рыхлый слой на всю глубину обработки a . При этом на дне борозды остаются гребни необработанной почвы высотой h_z .

Качество обработки читается приемлемым, если $h_z \leq 0,2a$. Исходя из этого можно найти минимальное число ножей Z , которые должны быть размещены в каждой из поперечных плоскостей фрезерного барабана.

$$Z = \frac{\pi}{\lambda \left(\sqrt{(2m_1 - m_1^2)} \right) + \arcsin(1 - m_1) - \frac{\pi}{2}} \quad (5.10)$$

$$Z = \frac{3,14}{2,7 \left(\sqrt{(2 \cdot 0,11 - 0,11^2)} \right) + \arcsin(1 - 0,11) - \frac{3,14}{2}} = 4,06 = 4 \text{ ножа.}$$

$$\text{где } m_1 = \frac{h_z}{R} = \frac{0,2a}{R} \quad (5.11)$$

$$m_1 = \frac{0,2 \cdot 150}{280} = 0,11$$

Зная число ножей в каждой плоскости, определить общее число ножей на фрезерном барабане Z_n по формуле:

$$Z_n = \frac{B}{b} Z \quad (5.12)$$

$$Z_n = \frac{1800}{90} \cdot 4 = 20 \cdot 4 = 80 \text{ ножей.}$$

где B – ширина захвата фрезы, м;

$b = 0,08 \dots 0,14$ м – ширина захвата одного ножа (выбрать такую величину, чтобы дробь B/b была целым и четным числом).

Мощность, расходуемая на привод фрезы W , пропорциональна объему почвы, обрабатываемому за единицу времени

$$W = BV_M Ea, \text{ кВт} \quad (5.13)$$

$$W = 1,8 \cdot 2,1 \cdot 250 \cdot 0,15 = 141,75 \text{ кВт.}$$

где:

$$V_M = \frac{\pi R n}{30 \lambda}, \text{ м/с} \quad (5.14)$$

$$V_M = \frac{3,14 \cdot 0,28 \cdot 200}{30 \cdot 2,7} = 2,1, \text{ м/с}$$

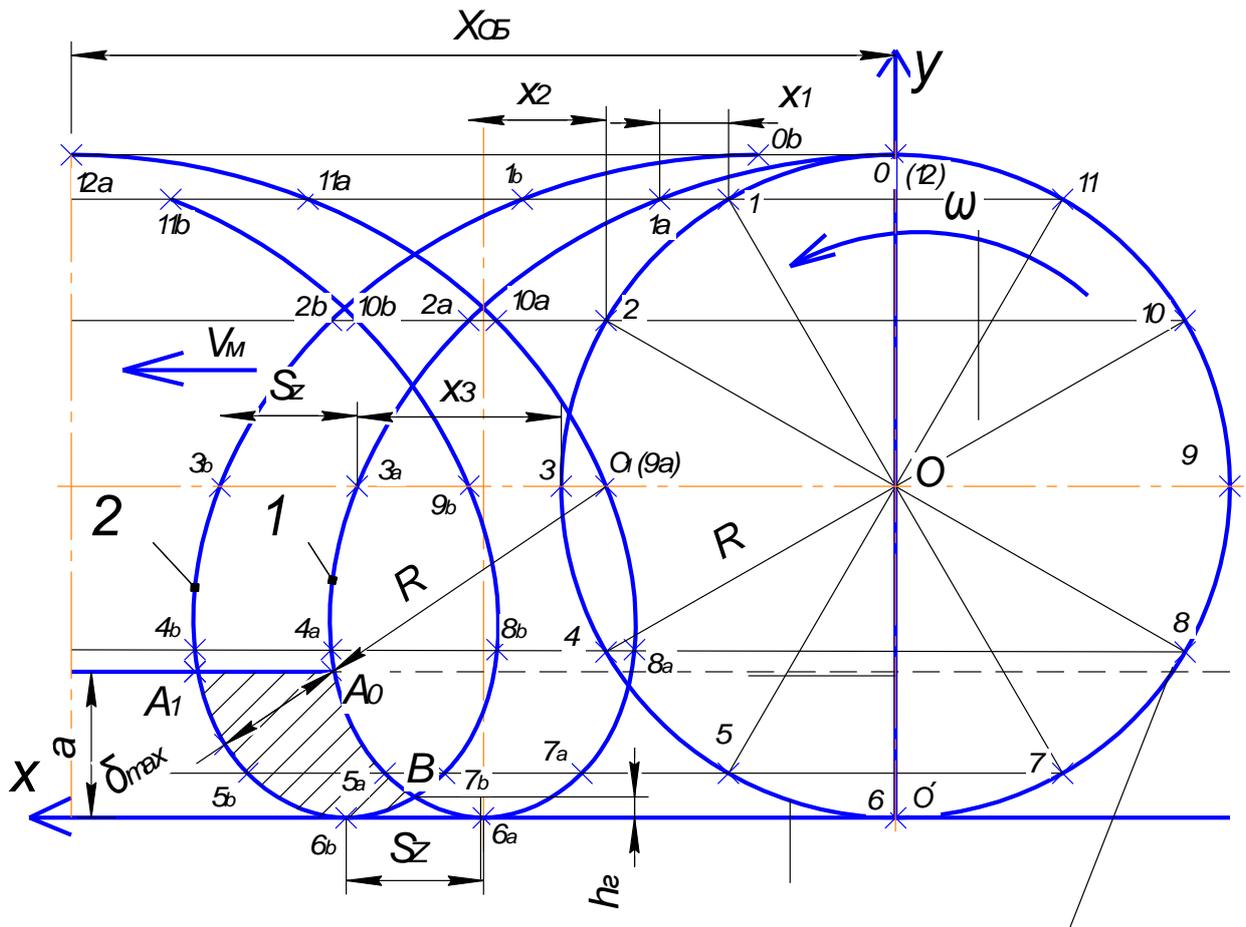
E – удельная работа, необходимая для разрыхления единицы объема почвы, КДж/м³. Определить по номограмме (рис. 5.2). В случае выхода за пределы номограммы принять $E=240 \dots 280$ КДж/м³;

a – глубина фрезерования, м;

B – ширина захвата фрезы, м.

5.3 Порядок выполнения работы

В выбранном масштабе построить окружность радиуса R и разбить ее на 12 частей (через 30°), как показано на рис. 5.2. Обозначить полученные точки от 0 до 12. В точке 6 поместить начало координат системы $XO'Y$. Разбивку выполнить либо циркулем раствором R , либо вписав в окружность двенадцатигранник в графическом редакторе «Компас 3D». Полученная таким образом окружность является траекторией перемещения точек (0 ... 11) в относительном движении.



1 и 2 – траектории движения крайней точки первого и второго ножа, соответственно

Рисунок 5.2 - Схема взаимодействия ножей фрезы с почвой

Таблица 5.1 - Исходные данные для расчета фрезы

№ вар.	$R, м$	$B, м$	λ	$n_{мин}^{-1}$	$a, м$
1	0,28	1,8	2,7	200	0,15
2	0,27	1,7	2,7	200	0,15
3	0,26	1,6	2,6	200	0,14
4	0,25	1,9	2,6	220	0,14
5	0,24	2,0	2,7	220	0,13
6	0,23	2,1	2,7	220	0,13
7	0,22	2,2	2,6	220	0,12
8	0,21	2,3	2,6	230	0,12
9	0,2	2,4	2,9	230	0,11
10	0,19	2,5	2,9	230	0,11
11	0,18	2,6	2,9	230	0,1
12	0,17	3,0	3,0	220	0,1
13	0,16	3,1	3,0	225	0,09
14	0,28	3,2	2,8	205	0,16
15	0,27	3,0	2,8	205	0,16
16	0,26	2,8	2,8	205	0,16
17	0,25	2,6	2,7	205	0,15
18	0,24	2,5	2,7	210	0,15
19	0,23	2,2	2,7	210	0,14
20	0,22	2,0	2,8	210	0,14
21	0,21	1,8	2,8	210	0,13
22	0,2	1,6	2,8	220	0,13
23	0,19	1,7	2,9	220	0,11
24	0,18	1,9	2,9	220	0,11
25	0,17	2,0	3,0	225	0,1
26	0,16	2,0	3,0	220	0,1
27	0,2	2,1	3,0	225	0,11
28	0,21	2,2	2,8	230	0,12
29	0,22	2,3	2,9	215	0,12
30	0,24	2,4	2,9	215	0,12

1) Из полученных точек провести горизонтальные линии, параллельные оси X. Указанные прямые являются траекториями перемещения точек (0 ... 11) в переносном движении.

2) Подачу на один оборот разбить на 12 частей, то есть найти величину $xI = X_{об}/12$.

$$xI = 651/12 = 54,25 \text{ мм.}$$

$$x_2 = 2 \cdot x_1 = 2 \cdot 54,25 = 108,5 \text{ мм.}$$

$$x_3 = 3 \cdot 54,25 = 162,75 \text{ мм.}$$

3) Построить траекторию перемещения крайней точки ножа в абсолютном движении, начиная с точки O , суммируя относительное и переносное движение следующим образом.

При повороте барабана фрезы на угол 30° точка O переместится в относительном движении в положение 1 . За этот же период времени барабан фрезы переместится в переносном движении влево на величину x_1 . Отложив от точки 1 горизонтальный отрезок x_1 , получить точку $1a$, принадлежащую траектории перемещения исходной точки (O) в абсолютном движении. Таким образом, при повороте барабана фрезы от исходного положения на угол 30° исходная точка (крайняя точка ножа) перемещается в точку $1a$.

4) При повороте барабана фрезы в относительном движении от исходного положения на 60° исходная точка (O) перемещается по окружности радиуса R в положение 2 . За этот же промежуток времени барабан фрезы перемещается в переносном движении по направлению вектора скорости V_m на величину $x_2 = 2 \cdot x_1$, то есть, на величину $X_{об}/6$. Отложив от точки 2 отрезок x_2 , суммируем результаты относительного и переносного движения и получаем вследствие этого точку $2a$, принадлежащую траектории перемещения крайней точки ножа в абсолютном движении.

5) При повороте барабана фрезы в относительном движении от исходного положения на 90° исходная точка (O) перемещается по окружности радиуса R в положение 3 . За этот же промежуток времени барабан фрезы перемещается в переносном движении по направлению вектора скорости V_m на величину $x_3 = 3 \cdot x_1$, то есть, на величину $X_{об}/4$. Отложив от точки 3 отрезок x_3 , суммируем результаты относительного и переносного движения и получаем вследствие этого точку $3a$, принадлежащую траектории перемещения крайней точки ножа в абсолютном движении.

б) Повторить аналогичные построения для точек 4 ... 12 траектории относительного движения, последовательно увеличивая длину пути, проходимого барабаном фрезы в переносном движении x_i в соответствии с обозначением точек. То есть:

$$x_i = i * x_1 \quad (5.15)$$

где $i = 4 \dots 12$ – номер соответствующей точки на траектории относительного движения.

Так, для точки 6 длина пути барабана фрезы в переносном движении равна $x_6 = 6 * x_1 = X_{o\sigma}/2$.

Суммируя результаты относительного и переносного движения, получаем точки 4a ... 12a, принадлежащие траектории перемещения крайней точки ножа в абсолютном движении.

Следует иметь в виду, что поскольку трохоида симметрична относительно оси симметрии, выполненной на рисунке в виде вертикальной штрихпунктирной линии, проходящей через точку 6a, то точки 7a ... 12a могут быть построены путем зеркального отражения относительно указанной оси симметрии точек 0, 1a ... 5a.

7) Соединив точки 0, 1a ... 12a, получить траекторию перемещения крайней точки ножа в абсолютном движении (трохоиду) за один оборот барабана фрезы. При выполнении работы в графическом редакторе «Компас 3D» воспользоваться командой «Сплайн по точкам».

8) Построить траекторию движения крайней точки следующего ножа, для чего каждую точку (0, 1a ... 11a) построенной ранее трохоиды переместить влево по соответствующим линиям переносного движения на величину подачи на нож S_z , найденную по формуле (5.8). В результате, например, точка 3a при перемещении ее влево на величину S_z дает точку 3b. Полученные таким образом точки (0b ... 11b), соединить плавной кривой, как и в предыдущем случае.

9) От горизонтальной оси Хотложить вверх величину a (глубину обработки, в соответствующем масштабе) и провести горизонтальную сплошную линию (поверхность невзрыхленного поля) до ее пересечения в точке A_0 первой трохойдой. Продолжить указанную линию вправо пунктиром, получив таким образом поверхность обработанного поля. Поскольку в дальнейших расчетах и построениях поверхность обработанного поля не участвует, то увеличением толщины слоя почвы при рыхлении пренебрегаем.

10) Заштриховать поперечное сечение стружки, отделяемой от почвенного монолита вторым ножом (криволинейный контур A_1BA_0).

11) Определить максимальную толщину отрезаемой стружки δ_{max} . Для этой цели раствором циркуля R из точки A_0 выполнить засечку на горизонтальной линии, проходящей через ось вращения барабана (точку O), являющейся траекторией ее переносного движения. В результате получаем точку O_1 , отмечающую положение оси фрезерного барабана в момент касания крайней точкой первого ножа поверхности почвы (точки A_0). На рис. 4.2 точка O_1 (случайным образом) практически совпала с точкой O первой трохойды.

12) Для получения величины δ_{max} провести прямую, являющуюся продолжением радиуса R , до ее пересечения с второй трохойдой. Расстояние между точками пересечения указанной прямой двух трохойд и является искомой толщиной отрезаемой стружки δ_{max} .

13) По номограмме (рис. 5.3) найти удельную энергоемкость фрезерования E_0 , с учетом скорости поступательного движения V_m и толщины стружки δ_{max} . При несовпадении расчетной толщиной стружки δ_{max} ни с одним из фиксированных значений этого параметра на номограмме применить способ интерполяции.

В данном случае разница между фиксированными значениями E_0 при толщине стружки 90 и 120 мм (при скорости 1,4 м/с) равна 20 КДж/м³. При этом разница между фиксированными значениями толщины стружки (30 мм) делится расчетным значением $S_z = 100$ мм в отношении 1:2. В этом же отношении должна

быть поделена и разница в удельной энергоёмкости. То есть, к 173 КДж/м^3 фиксированного значения следует приплюсовать еще 7 КДж/м^3 . Таким образом, получается, что при $S_z = 100 \text{ мм}$ $E_0 = 180 \text{ КДж/м}^3$.

14) Считая, что на привод фрезы потребляется $2/3$ мощности двигателя (остальное расходуется на его перемещение агрегата и привод всех вспомогательных систем), найти минимальную мощность двигателя по формуле:

$$N_{min} = 3W/2, \text{ кВт} \quad (5.16).$$

$$N_{min} = 3 \cdot 141,75/2, = 212,6 \text{ кВт}.$$

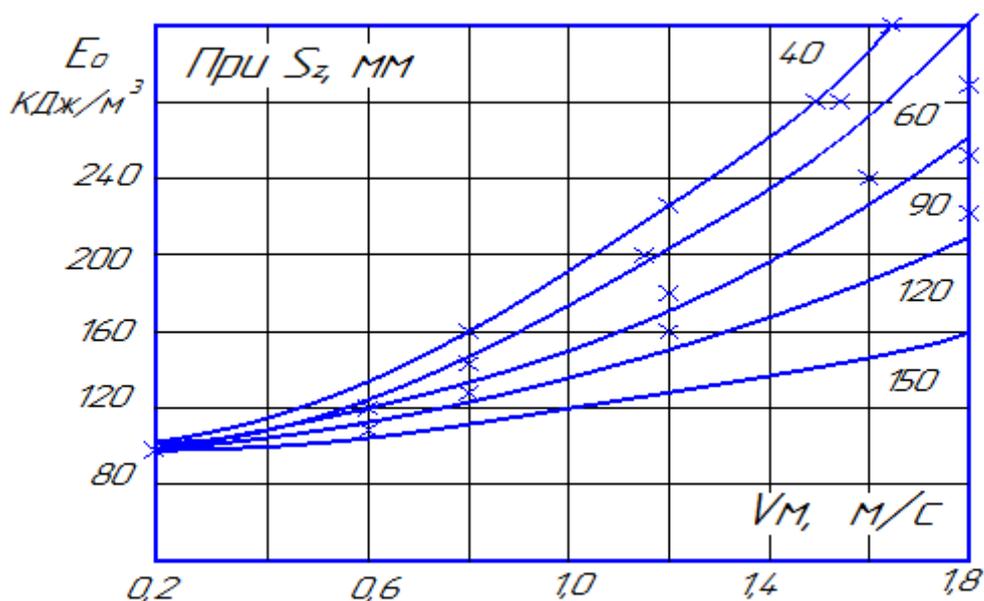


Рисунок 5.3 - Номограмма удельной энергоёмкости фрезерования почвы

6 РАСЧЕТ ЗЕРНОТУКОВОЙ СЕЯЛКИ

6.1 Общие сведения

6.1.1 Семенные емкости сеялок

Семенные ящики посевных машин служат емкостями для семенного материала, они обеспечивают образование семенного потока и истечение семян через выходные отверстия. Ящики должны иметь оптимальную вместимость, равномерно и непрерывно подавать семена к высеваящим аппаратам независимо от направления движения посевного агрегата [42].

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

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

Отверстия в дне ящика целесообразно размещать горизонтально, ибо наклонные отверстия способствуют образованию заторов. В зерновых сеялках диаметр отверстия равен 60 мм. В некоторых сеялках (свекловичные, овощные) отверстия выполняются в виде прямоугольника, размеры которого согласовываются с размерами входного канала высеваящего аппарата. Если дно ящика изготовляется из дерева, то отверстия выполняются с фасками под углом 45°.

Объем семенного ящика можно определить следующим образом. Обозначим через L длину гона в м, который должна пройти сеялка без досыпки семян, B - захват сеялки в м, Q - норму высева в кг/га, γ_c - объемный вес семян в кг/м³ и $V_{\text{Я}}$ - объем ящика. При этих условиях на 1 м² площади должно быть высеяно $\frac{Q}{10000}$ кг семян [42].

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

$$V_{\text{Я}}\gamma_c = \frac{Q}{10000}LB, \quad (6.1)$$

Отсюда имеем:

$$V_{\text{Я}} = \frac{QLB}{10000\gamma_c}, \quad (6.2)$$

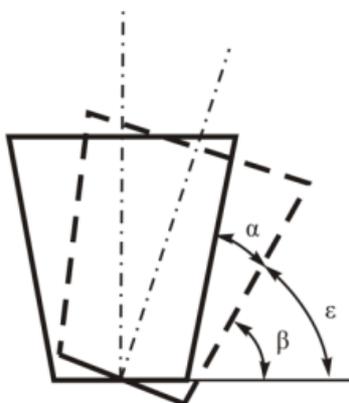


Рисунок 6.1 –К определению угла наклона стенок семенного ящика

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

$$V_{\text{Ы}} = \frac{(1,1-1,5)LBQ}{10000\gamma_c}, \quad (6.3)$$

Практически установлено, что семенной ящик сеялки захватом свыше 3-х м должен иметь объем не менее 300 дм³, т.е. объем должен составлять около 80 дм³ на 1 м захвата. Чтобы семена не задерживались на стенках ящика, угол наклона стенок должен быть:

$$\beta > \varphi + \alpha, \quad (6.4)$$

где α - угол подъема стенки, град;

β - угол наклона стенок ящика ко дну, град;

φ - угол трения семян о стенки, град.

Угол наклона ящика к горизонту:

$$\varepsilon = \beta - \alpha, \quad (6.5)$$

Для выполнения указанного выше условия необходимо, чтобы $\varepsilon > \varphi$, следовательно, $\beta > \varphi + \alpha$.

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

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

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

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

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

6.1.2 Катушечные высевальные аппараты

Основным рабочим органом катушечного высевального аппарата является желобчатая катушка. При вращении ее зерна поступают в желобки и выбрасываются в семяпровод. В зависимости от направления движения катушки различают верхний и нижний высев. Для высева семян с мягкой, легкоповреждаемой оболочкой применяют верхний высев, для мелких семян - нижний. При нижнем высеве семена, свободно истекая из семенного ящика, поступают к катушке, захватываются ее желобками и выталкиваются в семяпровод. При верхнем высеве семена заполняют желобки, последними выносятся из коробки аппарата и выбрасываются в семяпровод [42, 43].

При нижнем высеве семена, попавшие в желобки катушки, будут перемещаться со скоростью, близкой к скорости вращения катушки. Другая часть семян (небольшой слой) в силу трения между семенами также придет в движение и будет перемещаться. Этот слой называется активным. Третья часть семян неподвижно располагается на некоторой части дна семенной коробки и образует так называемый «мертвый слой». Она служит как бы подушкой, по которой перемещаются семена активного слоя. Таким образом, скорость движения семян в поперечном сечении катушки *aa* (рис. 6.2) по мере удаления от катушки уменьшается до нуля.

При расчете катушечного аппарата определяют размеры рабочей катушки и семенной коробки, массу семян, высеваемых за один оборот катушки, необходимое число оборотов его на единице длины пути сеялки. При расчете учитывают механические свойства семян, требуемые нормы высева на гектар площади, применяемую ширину междурядий [42].

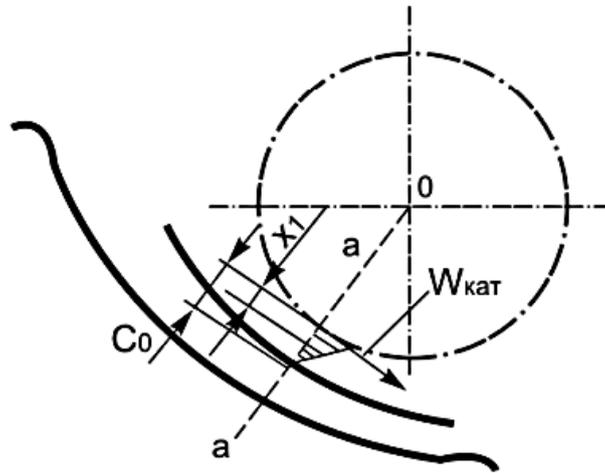


Рисунок 6.2 – Поперечное сечение катушки

Основными размерами желобка являются ширина b и глубина h . Глубина желобка должна быть не меньше среднего поперечного размера наиболее крупных семян, для которых предназначается сеялка, то есть такой, чтобы желобок мог быстро опорожняться при вращении катушки. У существующих зерновых сеялок глубина желобков h равна 6 мм, примерно удвоенному среднему поперечному размеру зерен пшеницы. Ширину желобка b делают больше глубины h в 1,5—2,5 раза; ребро между смежными желобками имеет обычно ширину $\delta = 1,6$ мм [42, 43].

Диаметр катушки d определяется как диаметр описанной окружности правильного многоугольника, имеющего z сторон. Длина стороны равна $t \approx b + \delta$. Радиус этой окружности можно найти по формуле $r = \frac{t}{2 \sin a_0}$, где $a_0 = \frac{180^\circ}{z}$.

6.2 Суть технологического процесса

Для расчета зернотуковой сеялки могут быть использованы следующие формулы, устанавливающие связь между конструктивными и технологическими параметрами машины.

1. Емкость семенных ящиков $V_{\text{сем}}$, (в м^3) определяют по формуле (6.6):

$$V_{\text{сем}} = \frac{L \cdot B \cdot Q}{10^4 \cdot \rho \cdot \eta_e} \quad (6.6)$$

где L – длина гона между заправками, м;

B – ширина захвата сеялки, м;

Q – норма высева семян, кг/га;

ρ – насыпная плотность семян, кг/м³;

η_e – коэффициент использования объема семенных ящиков (0,86 ... 0,9).

2. Емкость туковых ящиков $V_{\text{тук}}$ (м³) определяют по формуле (6.7):

$$V_{\text{тук}} = \frac{L \cdot B \cdot Q_{\text{тук}}}{10^4 \cdot \rho_{\text{тук}} \cdot \eta_{\text{тук}}} \quad (6.7)$$

где $Q_{\text{тук}}$ – стартовая доза удобрения (аммиачная селитра), кг/га;

$\rho_{\text{тук}}$ – насыпная плотность аммиачной селитры, кг/м³;

$\eta_{\text{тук}}$ – коэффициент использования объема туковых ящиков (0,85 ... 0,95).

3. Число семян μ , высеваемых на погонный метр одного ряда (шт./м) определяют по формуле (6.8):

$$\mu = \frac{Q \cdot a}{10 \cdot \delta} \quad (6.8)$$

где a – расстояние между сошниками, м;

δ – масса 1000 семян, кг.

4. Массу семян m_k , высеваемых за один оборот колеса сеялки, определяют по формуле (6.9) в кг:

$$m_{\kappa} = \frac{\pi \cdot D \cdot B \cdot Q}{10^4} \quad (6.9)$$

где D – диаметр колеса сеялки, м.

5. Объем семян $U_{ок}$, высеваемый одной катушкой за оборот колеса (с учетом его проскальзывания), m^3 определяют по формуле:

$$U_{ок} = \frac{m_{\kappa} \cdot a}{\rho \cdot B \cdot (1 - \varepsilon)} \quad (6.10)$$

где ε - коэффициент скольжения колеса сеялки.

6. Объем семян U_o , высеваемых желобковой катушкой за один ее оборот, m^3 состоит из двух составляющих (6.11):

$$U_o = U_{жс} + U_{акт} \quad (6.11)$$

где $U_{жс}$ – объем семян, выносимый за один оборот желобками катушки, m^3 (поз. 2 на рис. 6.3);

$U_{акт}$ – объем семян, проходящих за один оборот катушки в активном слое, m^3 (поз. 3 на рис. 6.3).

Очевидно, что:

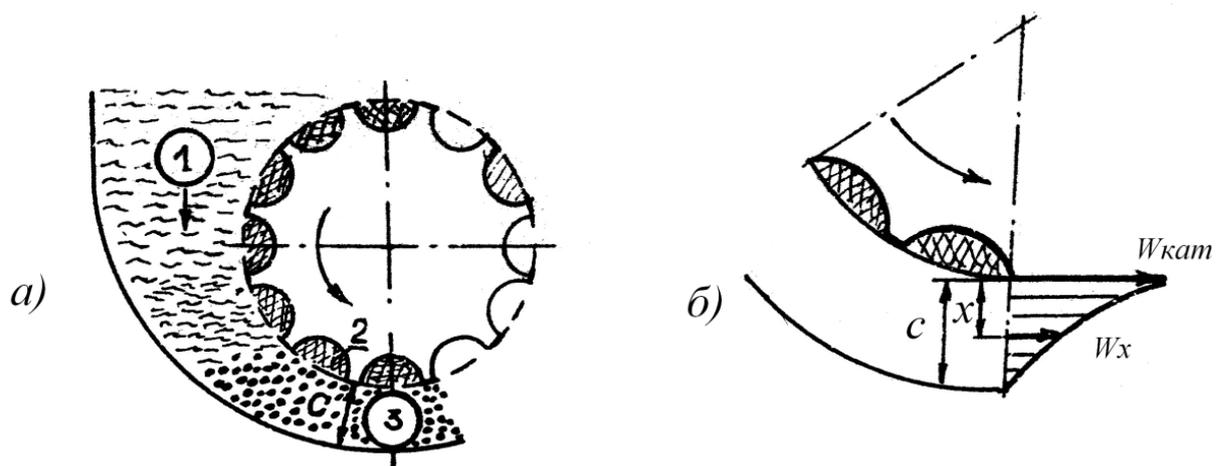
$$U_{жс} = \beta \cdot f_{жс} \cdot z \cdot l_p \quad (6.12)$$

где $\beta = 0,7 \dots 0,85$ – коэффициент заполнения желобков;

$f_{жс}$ – площадь поперечного сечения одного желобка, m^2 ;

$z = 12$ – количество желобков;

l_p – длина рабочей части катушки, м.



a - зоны движения; *б* - характер распределения скоростей движения в активном слое; 1 - свободное движение семян за счет силы тяжести; 2 - принудительное движение семян, перемещаемых желобками катушки; 3 - движение семян в активном слое

Рисунок 6.3 - Движение зерна в катушечном высевальном аппарате

Как следует из рисунка 6.3 б, скорость зерна в активном слое переменна по его толщине и варьируется от 0 на поверхности клапана до $V_{кат}$ в зоне контакта с ребрами катушки. В связи с этим в расчетах принято учитывать приведенную толщину активного слоя $c_{пр}$ (на рис. 6.3 б обозначена как x), который выносит тот же объем семян, двигаясь (условно) со скоростью $V_{кат}$ ребра катушки, что в реальности выносит поток толщиной c , слой которого движется при этом с переменной скоростью.

Тогда объем зерна, выбрасываемый активным слоем за один оборот катушки, может быть найден по формуле (6.13):

$$U_{акт} = \pi \cdot d \cdot c_{пр} \cdot l_p \quad (6.13)$$

где d – наружный диаметр катушки, м.

Таким образом, за один оборот катушки высевального аппарата она выносят объем зерна U_{Σ} , который определяют по формуле (6.14):

$$U_{\Sigma} = (\beta \cdot f_{\text{эс}} \cdot z + \pi \cdot d \cdot c_{\text{пр}}) \cdot l_p \quad (6.14)$$

7. Передаточное отношение привода высевающих аппаратов сеялки находят по формуле:

$$i = U_{\text{ок}} / U_{\Sigma} \quad (6.15)$$

6.3 Методика построения

При выполнении указанной расчетной работы необходимо выполнить следующие действия:

- Построить схему взаимодействия желобковой катушки с семенным материалом (рис. 6.3).
- Выполнить расчеты основных технологических и кинематических параметров сеялки.

Исходные данные. Варианты исходных данных, необходимых для выполнения работы, приведены в таблице 6.1, в которой заданы:

B – ширина захвата сеялки, м; a – ширина междурядья, м; $Q_{\text{тук}}$ – норма внесения стартовой дозы минеральных удобрений, кг/га; f – площадь поперечного сечения одного желобка катушки высевающего аппарата, $\text{м}^2 \cdot 10^{-4}$; l_p – рабочая длина катушки, м; L – длина гона между заправками сеялки, м;

Q – норма высева зерна, кг/га; D – диаметр колеса сеялки; d – диаметр желобковой катушки по ребрам желобков, м; $c_{\text{пр}}$ – приведенная толщина активного слоя семян, $\text{м} \cdot 10^{-3}$.

Таблица 6.1 - Исходные данные для расчета зернотуковой сеялки

Последняя цифра номера зачетной книжки	Ширина захвата сеялки, B , м	Ширина междурядий a , м	Норма внесения удобрений $Q_{\text{тук}}$ кг/га	Поперечное сечение жолоба катушки, $f_{\text{ж}}$ м ² * 10 ⁻⁴	Рабочая длина катушки l_p м	Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	Длина гона между заправками, L , м	Норма высева семян, Q кг/га	Диаметр колеса D , м	Диаметр катушки d_m	Приведенная толщина активного слоя $S_{\text{пр}}$ м * 10 ⁻³
1	2,8	0,15	30	0,8	0,032	0	2000	185	1,4	0,05	3,6
2	3,0	0,15	32	0,9	0,034	1	2100	175	1,3	0,05	3,5
3	3,2	0,15	34	1,0	0,034	2	2200	195	1,2	0,05	3,4
4	3,4	0,16	36	1,1	0,030	3	2300	200	1,0	0,04	3,3
5	3,6	0,16	38	1,2	0,035	4	2500	205	1,4	0,04	3,1
6	3,8	0,16	40	0,8	0,033	5	1900	210	1,3	0,05	2,9
7	4,0	0,12	42	0,9	0,034	6	1850	215	1,2	0,05	2,7
8	2,9	0,12	44	1,0	0,031	7	1700	220	1,0	0,05	3,5
9	3,1	0,14	46	1,1	0,030	8	2050	225	1,1	0,04	3,4
10	3,3	0,14	48	1,2	0,035	9	2150	230	1,3	0,04	3,3
11	2,8	0,15	30	0,8	0,032	0	2000	185	1,4	0,05	3,6
12	3,0	0,15	32	0,9	0,034	1	2100	175	1,3	0,05	3,5
13	3,2	0,15	34	1,0	0,034	2	2200	195	1,2	0,05	3,4
14	3,4	0,16	36	1,1	0,030	3	2300	200	1,0	0,04	3,3
15	3,6	0,16	38	1,2	0,035	4	2500	205	1,4	0,04	3,1
16	3,8	0,16	40	0,8	0,033	5	1900	210	1,3	0,05	2,9
17	4,0	0,12	42	0,9	0,034	6	1850	215	1,2	0,05	2,7
18	2,9	0,12	44	1,0	0,031	7	1700	220	1,0	0,05	3,5
19	3,1	0,14	46	1,1	0,030	8	2050	225	1,1	0,04	3,4
20	3,3	0,14	48	1,2	0,035	9	2150	230	1,3	0,04	3,3

Внимание!

1. Все расчеты выполнять строго в системе **СИ!!!!**
2. Результаты расчетов по каждой формуле округлять *до трех* значащих цифр (после запятой или нулей)!

6.4 Порядок выполнения работы

Опыт свидетельствует о том, что расчет сеялки может быть сопряжен с определенными трудностями, поэтому порядок его выполнения приведем в виде конкретного числового примера, чтобы обучающиеся могли сопоставлять порядок цифр, полученных по каждой из расчетных формул, с правильным результатом. Считаем, что высевается пшеница, а в качестве удобрения используется гранулированная аммиачная селитра. Параметры семян и удобрения имеются в доступных справочных изданиях. Обучающиеся могут их заимствовать из данных, использованных в примере расчета сеялки.

Исходные данные для расчета

$$B = 3,6 \text{ м.}$$

$$L = 2000 \text{ м.}$$

$$a = 0,15 \text{ м.}$$

$$Q = 200 \text{ кг/Га.}$$

$$Q_{\text{тук}} = 40 \text{ кг/Га.}$$

$$f_{\text{ж}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

$$l_{\text{р}} = 0,032 \text{ м.}$$

$$D = 1,2 \text{ м.}$$

$$d = 0,05 \text{ м.}$$

$$c_{\text{пр}} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Остальные параметры, входящие в формулы, принять по средним значениям рекомендуемых в примере расчетов диапазонов варьирования данных. В случае их отсутствия – заимствовать недостающие сведения непосредственно из соответствующих формул примера расчета.

Расчет зернотуковой сеялки.

1. Определяем по формуле (6.6) емкость семенных ящиков $V_{\text{сем}}$, (в м^3):

$$V_{\text{сем}} = \frac{L \cdot B \cdot Q}{10^4 \cdot \rho \cdot \eta_e} = \frac{2000 \cdot 3,6 \cdot 200}{10^4 \cdot 750 \cdot 0,88} = 0,218 \text{ м}^3.$$

2. По формуле (6.7) определяем емкость туковых ящиков $V_{\text{тук}}$ (м^3):

$$V_{\text{тук}} = \frac{L \cdot B \cdot Q_{\text{тук}}}{10^4 \cdot \rho_{\text{тук}} \cdot \eta_{\text{тук}}} = \frac{2000 \cdot 3,6 \cdot 40}{10^4 \cdot 1000 \cdot 0,9} = 0,032 \text{ м}^3.$$

(Насыпная плотность аммиачной селитры варьируется в пределах $0,94 - 1,05 \text{ г/см}^3$)

3. По формуле (6.8) определяем число семян (μ), высеваемых на погонный метр одного ряда (шт./м):

$$\mu = \frac{Q \cdot a}{10 \cdot \delta} = \frac{200 \cdot 0,15}{10 \cdot 0,03} = 100 \text{ шт/м.}$$

(Масса тысячи семян пшеницы варьируется в пределах $30 - 45 \text{ гр.}$)

4. По формуле (6.9) определяем массу семян (m_k), высеваемых за один оборот колеса сеялки (в кг):

$$m_k = \frac{\pi \cdot D \cdot B \cdot Q}{10^4} = \frac{3,14 \cdot 1,2 \cdot 3,6 \cdot 200}{10^4} = 0,271 \text{ кг.}$$

5. По формуле (6.10) определяем объем семян ($U_{\text{ок}}$), высеваемых одной катушкой за один оборот колеса (с учетом его проскальзывания), м^3 :

$$U_{ок} = \frac{m_{к} \cdot a}{\rho \cdot B \cdot (1 - \varepsilon)} = \frac{0,271 \cdot 0,15}{750 \cdot 3,6 \cdot (1 - 0,05)} = 0,0000157 \text{ м}^3.$$

(Степень проскальзывания колеса принимаем $\varepsilon=5\%$).

6. По формуле (6.14) определяем объем зерна (U_{Σ}), который катушка высевающего аппарата выносят за один свой оборот, м³:

$$U_{\Sigma} = (\beta \cdot f_{жс} \cdot z + \pi \cdot d \cdot c_{np}) \cdot l_p = (0,77 \cdot 0,0001 \cdot 12 + 3,14 \cdot 0,05 \cdot 0,0035) \cdot 0,032 = 0,0000313 \text{ м}^3.$$

(Принято среднее значение для β из приведенного в литературе диапазона).

7. По формуле (6.15) находим передаточное отношение привода высевающих аппаратов сеялки, обеспечивающее заданную норму высева:

$$i = U_{ок} / U_{\Sigma} = 0,0000157 / 0,0000313 = 0,5.$$

7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОТОВИЛА

7.1 Общие сведения

7.1.1 Анализ технологического процесса работы и определение основных параметров мотвила

В процессе работы мотвила совместно с комбайном или энергосредством перемещается по полю со скоростью V_M и вращается относительно своей оси с угловой скоростью ω .

Траекторией абсолютного движения наружной точки A планки мотвила является циклоида (рис. 7.1) уравнения которой имеют вид:

$$X_A = V_M t + R \cos \omega t \quad (7.1)$$

$$Y_A = (H_{onm} + H_y) - R \sin \omega t$$

где: $V_M t$ - путь пройденный машиной за время t , м;

R - радиус мотвила, м;

ωt - угол поворота планки от начального положения, град;

H_{onm} - высота установки вала мотвила над режущим аппаратом, м;

H_y - высота установки режущего аппарата над почвой, м.

Окружная скорость наружной точки планки мотвила (рис. 7.3):

$$U = \omega R \quad (7.2)$$

Влияние отношения $U/V_M = \lambda$, называемое показателем кинематического режима мотвила, показано на рис. 7.1 и 7.2. Величина λ зависит от состояния стеблестоя и скорости машины и может изменяться в широких пределах ($\lambda = 1,4 - 1,9$). Обычно ее принимают равной $\lambda = 1,5 - 1,7$.

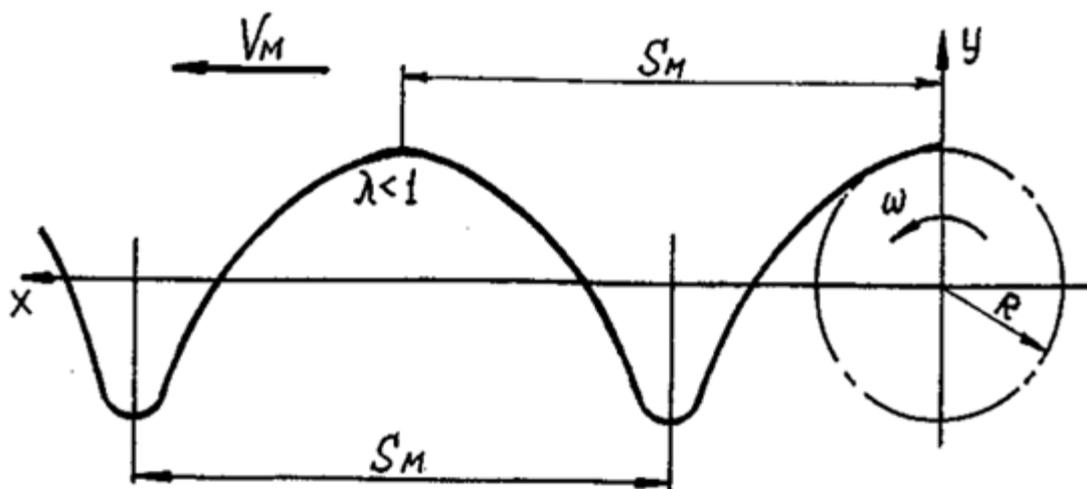


Рисунок 7.1 - Укороченная циклоида (траектория планки мотовила)

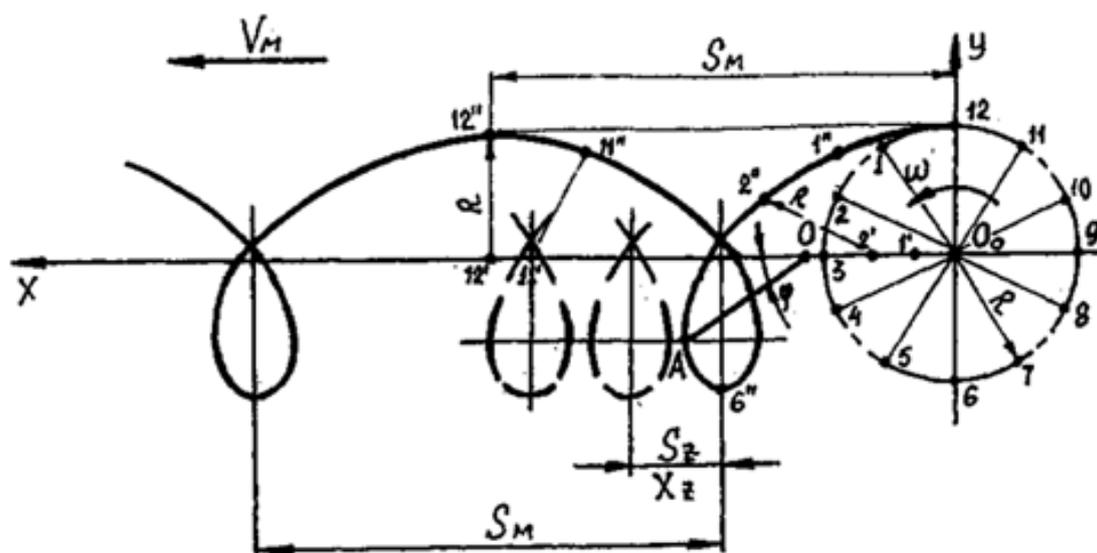


Рисунок 7.2 - Удлиненная циклоида

$$R = \frac{L^2}{1,6 (1+L)\left(1-\frac{1}{\lambda}\right)} \quad (7.3)$$

где L - длина срезаемой части стебля, м.

Планки мотовила должны входить в стеблестой, когда горизонтальная составляющая окружной скорости планки мотовила равна нулю. В связи с этим высота расположения мотовила относительно режущего аппарата зависит от высоты стеблестоя и определяется уравнениями:

$$H_{max} = L_{max} - h_{min} + \frac{R}{\lambda_{min}} \quad (7.4)$$

$$H_{min} = L_{min} - h_{max} + \frac{R}{\lambda_{max}}$$

где L_{max} и L_{min} - соответственно максимальная и минимальная высота стеблестоя, м;

$$L_{max, min} = (1,2 \dots 0,8) L_{cp};$$

h_{max} и h_{min} - максимальная и минимальная высота среза, м:

$$h_{max, min} = (1,1 \dots 0,9) h_{cp}$$

λ_{max} и λ_{min} - максимальный и минимальный показатель кинематического режима мотовила;

$$\lambda_{max, min} = (1,2 \dots 0,8) \lambda_{cp}$$

Пределы регулирования оси мотовила по высоте:

$$H_p = H_{max} - H_{min} \quad (7.5)$$

Путь пройденный машиной за один оборот мотовила определяете из выражения:

$$S_M = \frac{2\pi R}{\lambda} \quad (7.6)$$

Шаг мотовила определяется из выражения:

$$S_z = \frac{2\pi R}{\lambda Z} \quad (7.7)$$

Коэффициент полезного действия мотовила определяется отношением суммарной длины полосок стеблей, срезанных ножом за время одного оборота мотовила, к пути, пройденному машиной за это время. Длина этих полосок зависит не только от размеров петли циклоиды, но и от взаимодействия срезанных стеблей. Коэффициент воздействия мотовила определяется из выражения:

$$\eta_T = \frac{\varepsilon Z}{2\pi} \left(\arcsin \frac{1}{\lambda} + \sqrt{\lambda^2 - 1} - \frac{\pi}{2} + \lambda \frac{C}{R} - \arcsin \frac{C}{R} \right) \quad (7.8)$$

где Z - число планок мотовила;

ε - коэффициент взаимодействия стеблей ($\varepsilon = 1, 0 \dots 1, 7$);

C -вынос мотовила относительно режущего аппарата, м;

R - радиус мотовила, м,

λ - показатель кинематического режима мотовила.

Если $C=0$, тогда КПД мотовила:

$$\eta_T = \frac{\varepsilon Z}{2\pi} \left(\arcsin \frac{1}{\lambda} + \sqrt{\lambda^2 - 1} - \frac{\pi}{2} \right) \quad (7.9)$$

7.2 Суть технологического процесса

Основная функция мотовила - подводить стебли к режущему аппарату в момент их среза и удерживать при срезе. Качество работы мотовила зависит, в основном, от следующих его параметров: окружной скорости конца планки, радиуса, установки центра мотовила по высоте, шага и выноса оси мотовила вперед относительно режущего аппарата. Выбор этих параметров определяется свойствами и состоянием стеблестоя.

Планка мотовила совершает относительное перемещение по окружности радиуса R (рис. 7.4) и переносное перемещение вместе с валом мотовила (точкой O) со скоростью V_m . В результате суммирования двух движений в абсолютном движении она описывает траекторию в виде циклоиды (трохоиды), в зоне петли ABB_1 которой и происходит основное взаимодействие планки со стеблями убираемой культуры.

Контакт планки со стеблями начинается в точке A , в которой она (при оптимальном режиме работы) должна войти в хлебную массу вертикально сверху вниз. Если вынос вала мотовила вперед по отношению к режущему аппарату отсутствует, то при перемещении планки из точки A в точку B происходит отгиб пучка стеблей назад. Срезание стеблей, непосредственно контактирующих с планкой мотовила, начинается при достижении соответствующим радиусом R мотовила вертикального положения (планка находится в этот момент в точке B). При этом режущий аппарат должен находиться непосредственно под планкой, то есть в точке C_0 .

Последний стебель отклоняемого планкой пучка должен быть срезан в положении DB_1 , когда он касается траектории движения в точке B_1 . При дальнейшем перемещении планки мотовила вверх должен происходить возврат стебля по направлению поступательного перемещения вала и потеря контакта.

Таким образом, зона взаимодействия планки мотовила с режущим аппаратом ограничена дугой BB_1 (для планки) и отрезком $C_0C_1 = \sigma_1$ (для режущего аппарата).

На отрезке $C_1C_2 = \sigma_2$ стебли отсутствуют (в результате их отгиба планкой мотвила вперед), поэтому режущий аппарат на этом участке работает вхолостую.

До начала зоны действия следующей планки мотвила (траектория движения которой показана на рисунке пунктирной линией), то есть, на отрезке $C_2C_3 = \sigma_3$, взаимодействие между планкой мотвила и режущим аппаратом отсутствует. Таким образом, теоретически (если не учитывать, что стебли имеют объем, в связи с чем действие планки мотвила распространяется за пределы непосредственной геометрической точки контакта) на этом участке происходит срезание свободно стоящих стеблей.

Суммирование трех рассмотренных выше участков, для которых характерен разный тип технологического процесса, дает величину теоретической ширины полосы стеблей, захватываемых одной планкой X_z (или поступательного перемещения комбайна, приходящегося на одну планку мотвила).

$$X_z = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (7.10)$$

С другой стороны, $X_z = 2\pi R/\lambda z \quad (7.11)$

$$X_z = 2 \cdot 3,14 \cdot 280/1,5 \cdot 5 = 234 \text{ мм.}$$

где $\lambda = U/V_m$ – показатель кинематического режима мотвила;

U – окружная скорость планки мотвила, м/с;

R – радиус мотвила, м;

V_m – скорость поступательного перемещения комбайна;

z – число планок на мотвиле.

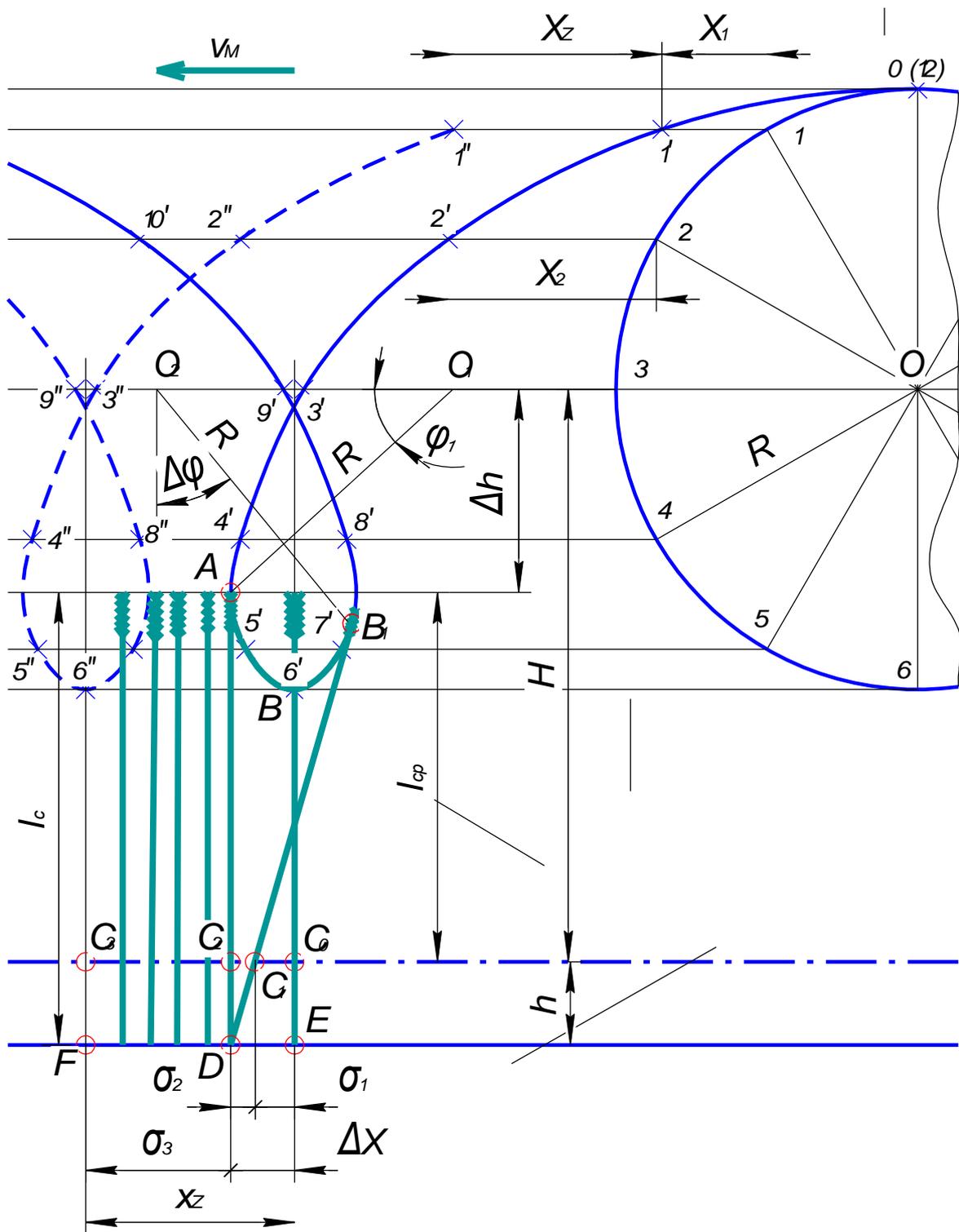


Рисунок 7.4 - Схема взаимодействия мотвила и режущего аппарата при срезании стеблей в отсутствие выноса вала мотвила вперед по отношению к режущему аппарату

Основным показателем оценки качества работы мотовила считают коэффициент воздействия мотовила на стебли (коэффициент полезного действия мотовила). Если пренебречь подпором стеблей ввиду наличия их фактического объема, то

$$\eta = \Delta X / X_z \quad (7.12)$$

В случае учета взаимодействия (подпора) стеблей выражение примет вид

$$\eta_l = \varepsilon^* \Delta X / X_z \quad (7.13)$$

где $\varepsilon = 1,0 \dots 1,7$ – коэффициент, учитывающий взаимодействие между стеблями;

$$\Delta X = \sigma_1 + \sigma_2 \quad (7.14)$$

- ширина полосы стеблей, срезаемых при взаимодействии режущего аппарата и планки мотовила, м.

Чтобы срезанные стебли не переваливались через планки мотовила вперед, точка контакта в момент среза должна находиться выше центра тяжести срезанной части стебля. Из этого условия радиус мотовила определяется по выражению:

$$R \leq \frac{l_c^2}{1,6(1 + l_{cp})(1 - \frac{1}{\lambda})} \quad (7.15)$$

$$R \leq \frac{0,97^2}{1,6 \cdot (1 + 0,85)(1 - \frac{1}{1,5})} = \frac{0,94}{1,6 \cdot 1,85 \cdot 0,3} = 1,06 \text{ м.}$$

где $l_c = l_{cp} + h = 0,85 + 0,12 = 0,97 \text{ м}$ - средняя длина растений на поле, м;

l_{cp} – длина срезаемой части стебля, м;

h – высота установки режущего аппарата над поверхностью поля (высота среза), м.

Коэффициент полезного действия мотовила можно увеличить, если вынести его вал вперед по отношению к режущему аппарату (по ходу комбайна). Тогда ширина полосы стеблей, срезаемых при взаимодействии планки мотовила и режущего аппарата увеличивается на величину Δ (рис. 7.4). То есть,

$$\Delta X^1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \Delta \quad (7.16)$$

Следовательно, $\Delta X^1 > \Delta X$

Тогда
$$\eta_2 = \Delta X^1 / X_z \quad (7.17)$$

Следовательно, $\eta_2 > \eta_1$.

Следует иметь в виду, что вынос мотовила вперед по ходу комбайна обеспечивает лучшее взаимодействие его планок с режущим аппаратом, но ухудшает взаимодействие со шнеком жатки.

7.3 Порядок выполнения работы

Таблица 7.1 - Исходные данные для расчета мотовила

№ вар.	$l_{cp}, м$	$h, м$	$V_m м/с$	λ	z	ε
1	0,85	0,12	0,65	1,5	5	1,3
2	0,85	0,14	0,7	1,52	6	1,1
3	0,85	0,16	0,75	1,54	5	1,2
4	0,85	0,18	0,8	1,56	6	1,3
5	0,85	0,2	0,85	1,58	5	1,4
6	0,8	0,1	0,9	1,6	6	1,5
7	0,8	0,12	1,0	1,58	5	1,6
8	0,8	0,14	1,05	1,56	6	1,4
9	0,8	0,16	1,1	1,54	5	1,2
10	0,8	0,18	1,1	1,52	6	1,2
11	0,95	0,2	1,0	1,5	5	1,1
12	0,9	0,18	1,25	1,52	6	1,3
13	0,9	0,16	1,2	1,54	5	1,2
14	0,9	0,14	1,3	1,56	6	1,3
15	0,9	0,12	1,35	1,55	5	1,1
16	0,8	0,11	1,25	1,5	6	1,25
17	0,85	0,15	1,1	1,51	5	1,2
18	0,85	0,17	0,9	1,56	6	1,3
19	0,85	0,16	0,85	1,53	5	1,4
20	0,85	0,18	0,95	1,52	6	1,3
21	0,9	0,2	1,0	1,53	5	1,25
22	0,9	0,18	0,95	1,56	6	1,25
23	0,9	0,16	1,1	1,55	5	1,3
24	0,9	0,14	1,25	1,52	6	1,3
25	0,9	0,12	1,4	1,54	5	1,4
26	0,8	0,11	1,3	1,55	6	1,4
27	0,8	0,13	1,35	1,53	5	1,4
28	0,8	0,14	1,2	1,5	6	1,3
29	0,8	0,16	0,95	1,52	5	1,41
30	0,8	0,18	0,9	1,54	6	1,28

А) Вынос мотовила отсутствует

1) Отступив (в выбранном масштабе) от верха рамки листа на величину ($R+15 \dots 20$ мм) провести горизонтальную линию, на которой в правой части половины листа отметить точку O и радиусом R выполнить полуокружность,

которая представляет собой траекторию относительного движения планки мотопила (рис. 7.4).

2) Начиная от верхней точки (O), находящейся на конце радиуса мотопила в его вертикальном положении, разбить полуокружность на шесть частей через 30° . Разбивку осуществить методом засечек циркулем радиусом R , либо иным способом, если построение выполняется в графическом редакторе «Компас – 3D». Обозначить полученные точки цифрами от 1 до 6.

3) Через полученные на окружности точки 1 ... 6 провести влево горизонтальные линии, которые являются траекториями переносного движения планки мотопила при его повороте на соответствующий угол.

4) Построить траекторию перемещения планки мотопила в абсолютном движении, начиная от точки $O(I2)$, следующим образом:

- Определить путь, пройденный комбайном на время одного оборота мотопила по формуле (7.18)

$$X_{об} = 2\pi R/\lambda \quad (7.18)$$

$$X_{об} = 2 \cdot 3,14 \cdot 280/1,5 = 1172,5 \text{ мм.}$$

- Определить путь, пройденный комбайном за время поворота мотопила на угол 30° , по формуле (7.19)

$$X_I = X_{об}/12 \quad (7.19)$$

$$X_I = 1172,5/12 = 97,7.$$

- От точки (I) отложить влево по горизонтальной линии (траектории переносного движения) отрезок X_I . Полученная в результате точка (I') принадлежит траектории перемещения планки мотопила в абсолютном движении при ее повороте от исходного положения на угол 30° .

- При повороте мотопила на угол 60° от исходного положения путь, пройденный комбайном, удваивается. То есть

$$X_2 = 2 * X_1 \quad (7.20)$$

$$X_2 = 2 * 97,7 = 195,4.$$

$$X_3 = 3 * 97,7 = 293,1.$$

$$X_4 = 4 * 97,7 = 390,8.$$

$$X_5 = 5 * 97,7 = 488,5.$$

$$X_6 = 6 * 97,7 = 586,2.$$

Отложив от точки (2) величину переносного движения X_2 за период поворота мотвила на угол 60° от исходного положения, получить точку (2'), принадлежащую траектории абсолютного движения планки мотвила.

- Аналогичным образом построить точки (4' ... 6'), последовательно увеличивая длину отрезка переносного движения на X_1 . В результате, например, при повороте мотвила на угол 90° от точки (6) следует отложить отрезок $X_6 = 6 * X_1$. Полученная точка (6') является нижней точкой траектории абсолютного движения планки мотвила.

- Положение точек (7' ... 11') можно строить аналогичным образом, продолжая последовательно увеличивать отрезок переносного движения на величину X_1 , либо зеркально отразить точки (2' ... 5') относительно вертикальной оси симметрии, проходящей через точку (6'), дополнительно обозначенную на рис. 7.4 буквой В. Точку (12'), являющуюся зеркальным отражением точки (0 (12)), при наличии на чертеже места, целесообразно построить. В противном случае, при проведении траектории в графическом редакторе «Компас 3D», могут возникнуть нежелательные искажения и асимметрия.

- Соединив (вручную или посредством команды «Сплайн по точкам» в редакторе «Компас 3D») построенные точки (0, 1' ... 11', 12'), получить траекторию перемещения планки мотвила в абсолютном движении.

5) Переместив точки $(0, 1' \dots 11', 12')$ траектории абсолютного движения влево на величину X_z , найденную по формуле (7.11), построить траекторию абсолютного движения следующей планки мотовила (точки $1'' \dots 9'', \dots$), обозначив ее пунктирной линией. Построить столько точек второй трохоиды, сколько позволяет поле чертежа и выбранный масштаб. Главное, чтобы была изображена петля трохоиды.

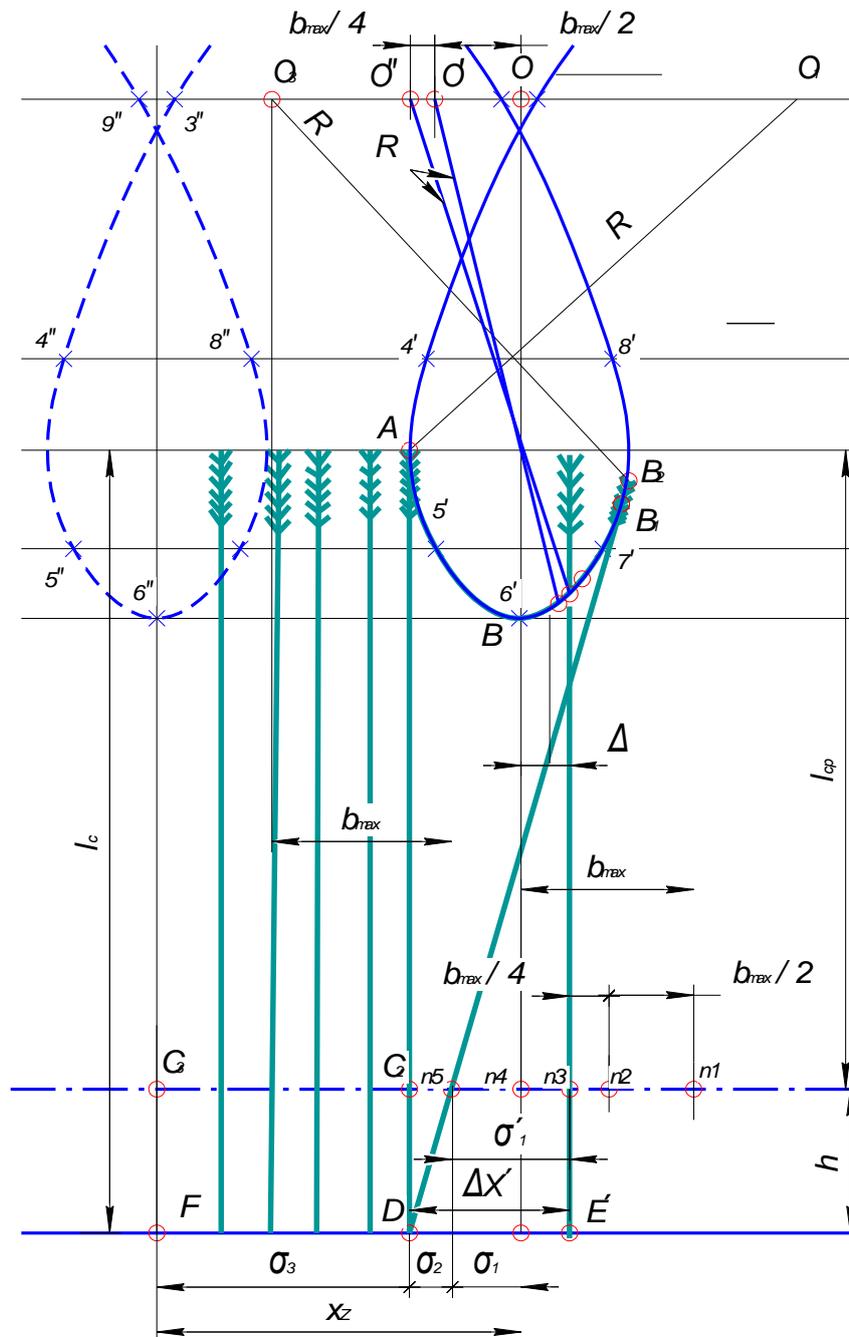


Рисунок 7.5 - Влияние выноса мотовила на взаимодействие его планки со стеблями и режущим аппаратом

б) Найти положение точки Аначала внедрения планки мотовила в хлебную массу вертикально сверху вниз, для чего выполнить следующие действия:

- Найти величину угла φ_1 по формуле (7.21),

$$\varphi_1 = \arcsin(1/\lambda) \quad (7.21)$$

$$\varphi_1 = \arcsin(1/1,5) = \arcsin 0,7 = 0,78$$

Внимание! Угол φ_1 будет получен в радианах.

- Найти высоту Δh расположения точки Аотносительно траектории движения вала мотовила (линии OO') по формуле (7.22)

$$\Delta h = R \sin \varphi_1 \quad (7.22)$$

$$\Delta h = 280 \cdot 0,706 = 197,8 \text{ мм.}$$

- Отложить отрезок Δh вниз от горизонтальной линии OO' и, проведя горизонтальную линию до ее пересечения с петлей трохоиды, получить искомую точку А.

1) Отложив от точки А вниз величину срезаемой части стебля l_{cp} , получить положение траектории перемещения режущего аппарата (штрихпунктирная линия на рис. 7.4). Таким образом, высота H размещения вала мотовила над режущим аппаратом получается автоматически.

2) Отложив от траектории движения режущего аппарата вниз величину h (высоту среза), провести линию, обозначающую поверхность поля (сплошная линия на рис. 7.4).

3) Из точки А построить положение первого стебля, с которым начинается контакт планки мотовила с хлебной массой (стебель AD).

4) Из точки D построить по касательной к петле трохоиды конечное (наклонное) положение первого стебля (DB_1), соответствующее моменту его среза режущим аппаратом в точке C_1 .

5) Из точки E , находящейся на оси симметрии петли трохойды, построить положение вертикального стебля (EB) перерезаемого в точке C_0 первым из всего пучка стеблей, срезаемых режущим аппаратом при взаимодействии с данной планкой мотовила.

б) Обозначить точки C_2 и C_3 , между которыми все стебли срезаются режущим аппаратом без участия в технологическом процессе планки мотовила. При этом иметь ввиду, что точка C_2 находится на пересечении первого стебля (AD) с траекторией движения режущего аппарата, а точка C_3 находится на пересечении вертикальной оси симметрии (Fb'') петли второй трохойды (штриховая линия) также с траекторией движения режущего аппарата. Изобразить несколько стеблей, расположенных между точками C_2 и C_3 .

7) Обозначить длину характерных участков $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \Delta X$ и X_2 . Измерить их длину и по формулам (7.12) и (7.14) найти коэффициенты полезного действия мотовила без учета взаимодействия между стеблями и с учетом указанного взаимодействия.

Б) При максимальном выносе вала мотовила вперед

1) На второй половине листа изобразить (воспроизвести с рисунка 4) две петли трохойды, а также поверхность поля и траекторию движения режущего аппарата (рис. 7.5). При этом следует воспроизвести точку A , вертикальный стебель AD и радиус мотовила AO_1 , а также траекторию движения вала мотовила. Кроме того, целесообразно воспроизвести стебли, которые на рис. 7.5 размещены левее стебля AD .

2) Определить графически максимально возможную величину выноса мотовила b_{max} , для чего выполнить следующие построения:

- Считая, что стебель при отклонении его планкой мотовила остается прямолинейным, поворачиваясь в точке D как в шарнире, раствором циркуля $AD = l$ выполнить засечку на петле трохойды, получив точку B_2 , являющуюся верхней точкой колоса. Построить стебель DB_2 в этом наклонном положении.

- Считая, что в точке B_2 контакт планки мотовила со стеблем нарушается, найти положение вала мотовила, соответствующее данному моменту. Для этого из точки B_2 выполнив засечку циркулем радиусом R на траектории перемещения вала мотовила получить точку O_3 , которая соответствует моменту завершения взаимодействия между планкой и стеблем.

- Поскольку в момент, изображенный на рисунке 7.5, контакт между планкой мотовила и стеблем завершается, то последний должен быть перерезан, то есть режущий аппарат в момент потери контакта должен быть размещен в точке $n5$.

- Расстояние между горизонтальными координатами точек O_3 и $n5$ представляет собой искомую величину максимального выноса вала мотовила b_{max} вперед по отношению к режущему аппарату.

3) Методом графической интерполяции (с учетом величины b_{max}) определить положение стебля, отклоняемого планкой мотовила пучка стеблей, первым перерезаемого режущим аппаратом. Для этого выполнить следующие построения:

- Поместить вал мотовила в исходное положение (точку O), находящуюся на пересечении вертикальной оси симметрии петли трохойды и траектории движения вала. При этом радиус мотовила принимает вертикальную ориентацию (рис. 7.5), а режущий аппарат оказывается размещенным в точке $n1$, горизонтальная координата которой «отстает» от соответствующей координаты вала на величину b_{max} .

- Разделить разницу между горизонтальными координатами режущего аппарата и вала пополам и переместить на эту величину ($b_{max}/2$) вал и режущий аппарат вперед. В результате режущий аппарат должен переместиться в точку $n2$, а вал мотовила в точку O' . Радиусом R из точки O' выполнить засечку на петле трохойды, получив, таким образом, новое положение планки мотовила.

- Поскольку планка мотовила остается при этом впереди режущего аппарата, продолжить графическую интерполяцию, например, переместив вал и ре-

жуший аппарат вперед еще на $(b_{max}/4)$. В результате режущий аппарат оказывается в точке $n3$, а вал мотовила в точке O'' . Из точки O'' радиусом R выполнить засечку на петле трохоиды. В варианте, изображенном на рисунке 7.5, горизонтальные координаты режущего аппарата и планки мотовила практически совпали, поэтому считаем графическую интерполяцию завершённой. В иных конкретных случаях, когда координаты не совпадают на величину, превышающую в принятом масштабе 1 мм, следует переместить вал мотовила и режущий аппарат еще раз на половину имеющейся разницы в их горизонтальных координатах.

- Разместить вертикальный стебель $E'n3$ так, чтобы он контактировал и с планкой мотовила, и с режущим аппаратом (рис. 7.5). Считаем, что именно этот стебель отгибаемого планкой мотовила пучка стеблей должен быть перерезан режущим аппаратом первым. При этом последним должен быть перерезан в точке $n5$ стебель DB_2 , первым вступивший в контакт с планкой мотовила.

4) Результат построения свидетельствует о том, что ширина пучка стеблей, перерезаемых режущим аппаратом при взаимодействии с планкой мотовила, увеличилась на величину Δ . Измерить длину Δ и найти коэффициент полезного действия мотовила при наличии выноса его вала вперед по отношению к режущему аппарату на расстояние b_{max} , воспользовавшись формулами (7.15) и (7.16). Сопоставить полученный результат с результатом аналогичного расчета, выполненного для варианта с отсутствием выноса мотовила.

Контрольные вопросы

1. При каком соотношении ширины захвата и глубины вспашки отвальный пласт сохраняет устойчивое положение?
2. Какие типы лемешно-отвальных поверхностей используют при конструировании плужных корпусов?
3. Закономерность изменения какого угла определяет тип лемешно-отвальной поверхности и ее способность к оборачиванию и крошению пласта почвы?
4. Каким образом при конструировании лобового контура корпуса плуга предотвращения возможность задиранья пласта почвы, отвального предыдущим корпусом?
5. Как на устойчивость оборота пласта влияет наличие уклона поверхности поля?
6. Из каких соображений назначается максимальная высота лемешно-отвальной поверхности?
7. Из каких соображений принимается высота H полевого обреза корпуса?
8. Как при проектировании учитывается увеличение объема пласта при его разрыхлении?
9. Каким образом на устойчивость оборота пласта влияет использование предплужников?
10. Назовите преимущества активного лемеха по сравнению с пассивным.
11. Назовите недостатки активного лемеха по сравнению с пассивным.
12. Почему тяговое сопротивление машины с активным лемехом меньше чем с пассивным?
13. Нарисуйте принципиальную схему активного лемеха.
14. В каком положении кривошипа тяговое сопротивление зуба вибробороны является максимальным?
15. Почему среднее тяговое сопротивление зуба вибробороны меньше, чем у зуба обычной зубовой бороны?

16. Напишите формулы для определения координат положения зуба вибробороны в произвольный момент времени.
17. В каком положении кривошипа тяговое сопротивление зуба вибробороны является минимальным?
18. Почему секции вибробороны движутся в противофазах?
19. Напишите формулу для определения скорости поперечного колебания зуба вибробороны.
20. По какой траектории движутся зубья вибробороны?
21. По какому закону меняется реакция почвы на движущийся в ней зуб вибробороны?
22. Как называется траектория движения точек ножа почвофрезы?
23. Запишите формулу для определения показателя кинематического режима почвофрезы.
24. Какая высота гребней на дне обработанного слоя считается допустимой при фрезеровании почвы?
25. От каких конструкционных и технологических параметров почвофрезы зависит высота гребней?
26. Как зависит высота гребней от подачи на нож?
27. Как зависит высота гребней от числа ножей?
28. Как зависит высота гребней от скорости движения агрегата?
29. Как зависит высота гребней от угловой скорости фрезерного барабана?
30. По какой формуле определяется величина подачи на нож почвофрезы?
31. По какой формуле определяется величина подачи на один оборот ротора почвофрезы?
32. По какой формуле определяют величину мощности, потребляемой на привод почвофрезы?
33. Почему у фрезы относительно небольшое тяговое сопротивление?
34. Что такое активный слой семян?
35. Как найти передаточное отношение привода высевающего аппарата, зная частоту вращения колеса и вала аппаратов?

36. Почему для высева удобрений не используют желобковую катушку?
37. Какой тип высевающего аппарата применяют для высева минеральных удобрений?
38. Как изменить норму высева семян на серийной сеялке типа СЗТ-3,6?
39. Зависит ли норма высева семян от передачи, на которой движется трактор?
40. Каким образом происходит отключение привода высевающих аппаратов при развороте сеялки в конце гона?
41. Почему в семенной ящик сеялки ни в коем случае нельзя засыпать минеральные удобрения?
42. Как изменить передаточное отношение привода высевающих аппаратов зерновой сеялки типа СЗТ-3,6А?
43. Как изменить рабочую длину желобковой катушки?
44. Какие функции выполняют планки мотовила?
45. Нарисуйте вид траекторий движения планки мотовила при $\lambda < 1$, $\lambda > 1$ и $\lambda = 1$.
46. Выведите с использованием схемы выражение для определения радиуса мотовила.
47. Из каких соображений обосновывается радиус мотовила.
48. Укажите с использованием схемы, на каком участке траектории планка способна отклонять стебли навстречу режущему аппарату.
49. Обоснуйте с использованием схемы выражение для определения рациональной высоты установки мотовила.
50. Из каких соображений обосновывается высота установки мотовила.
51. Покажите схематически границы участков $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.
52. Докажите, что коэффициент полезности мотовила всегда меньше единицы.
53. Охарактеризуйте влияние загущённости посевов и выноса мотовила на эффективность его работы.
54. Охарактеризуйте известные Вам кинематические схемы мотовила.
55. На какие виды потерь урожая влияют параметры и режимы работы мотовила?
56. Обоснуйте условие отсутствия опрокидывания срезанных стеблей через планку мотовила.

Литература

1. Имбри Дж., Имбри К.П. Тайны ледниковых эпох: пер. с англ / под ред. Г.А. Авсюка. М.: Прогресс, 1988. 264 с.
2. Лёсс [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лёсс>.
3. Деградация почв [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://uchebniki-besplatno.com/injenernaya-ekologiya_1389/degradatsiya-pochv-47178.html.
4. Изменение содержания и качества гумуса при сельскохозяйственном использовании [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://agronom.ru/stati/2096-Izmenenie_soderjaniya_i_kachestva_gumusa_pri_selskohozyaistvennom_ispolzovanii/
5. Воробьев Г.Т. Агрохимические основы реабилитации почв центра Русской равнины, загрязненных радионуклидами: дис. ... д-ра с.-х. М., 1999. 122 с.
6. Воробьев Г.Т., Бобровский А.И., Прудников П.В. Агрохимические свойства почв Брянской области и применение удобрений. Брянск: Брянский центр «Агрохимрадиология», 1995. 122 с.
7. География Нидерландов: рельеф, гидрография. климат, флора и фауна [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.gecont.ru/articles/geo/holland.htm>.
8. Подземные труженики (о дождевых червях) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://journal-shkolniku.ru/dogdevoi-cherv.html>.
9. Почвообразовательный процесс и основные типы почв на территории Беларуси [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/5611047/page:3/>
10. Технологические свойства почвы [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://vuzlit.com/995467/tehnologicheskie_svoystva_pochvy. Дата обращения 8.10.2022.
11. Михальченков А.М., Шустов А.Ф. Особенности изнашивания и ресурс

восстановленных импортных составных лемехов при пахоте на супесчаных почвах // Техника и оборудование для села. 2017. № 11. С. 37-40.

12. Лемех ПЛЖ (вес 4,7кг, 12мм наплавленный) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://агро-экс.рф/catalog/zapchasti_dlya_pluga/lemekh_pluga/2120/

13. Сидоров М.В. Повышение эффективности использования машинно-тракторного агрегата за счет применения технологического модуля с ведущими движителями для трактора тягового класса 1,4: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Калуга, 2017. 20 с.

14. Ожерельева М.В. Теоретические, методические и прикладные аспекты размещения предприятий плодово-ягодного подкомплекса АПК в ЦФО РФ: дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05. Курск, 2008. 380 с.

15. Ожерельева М.В. Экономические основы эффективного ягодоводства: монография. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2007. 217 с.

16. Ожерельев В.Н. Разработка элементов технологии междурядной обработки ягодных кустарников и обоснование параметров фрезы с вертикальной или крутонаклонной осью вращения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Рязань, 1985. 22 с.

17. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Товарное производство ягод малины: монография. М.: Колос, 2004. 96 с.

18. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Ягоды: практические рекомендации по выращиванию для себя и на продажу: монография. М.: Колос, 2006. 160 с.

19. Ожерельев В.Н. Фермерское хозяйство «Ягодное» // Садоводство и виноградарство. 1994. № 2. С. 2–3.

20. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В., Подобай Н.В. Специализация и перспективы развития фермерских хозяйств Брянской области // Международный научный журнал. 2012. № 1. С. 24–28.

21. Ожерельев В.Н. Инженерно-технологические предпосылки фермеризации производства ягод малины // Ягодоводство в нечерноземье: сб. науч. тр. ВСТИСП. М., 1993. С. 61–69.

22. Ожерельев В.Н. Технологические процессы и средства механизации

производства ягод малины: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Воронеж, 2002. 31 с.

23. Ожерельев В.Н. Технологические процессы и средства механизации производства ягод малины: дис. ... д-ра с.-х. наук: 05.20.01. Брянск, 2001. 312 с.

24. Бычков В.В. Специализированные технические средства для механизации трудоёмких процессов в садоводстве // Плодоводство и ягодоводство России. 2012. Т. 29, № 1. С. 83-90.

25. Бычков В.В., Кадыкало Г.И. Новые специализированные машины для механизации садоводства // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 1 (38). С. 52-56.

26. Дубовик И.К. Рост активных корней черной смородины на дерново-подзолистой почве в Ленинградской области // Записки Ленингр. с.-х. ин-та. 1971. С. 71–75.

27. Сидорович А.С. Технология возделывания малины в Сибири // Садоводство. 1978. № 9. С. 13–14.

28. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 326 с.

29. Киртбая Е.К. Рост и развитие корневой системы у различных сортов крыжовника // Проблемы садоводства Сев. Кавказа. Краснодар, 1970. С. 75–84.

30. Хомко В.Г. Развитие корневой системы смородины и крыжовника на остепненном черноземе второй надпочвенной террасы // Сборник работ по селекции и агротехнике плодовых и ягодных культур. Воронеж, 1969. С. 372–382.

31. Ожерельев В.Н., Астахов А.А. Кинематический и динамический анализ, конструирование и испытание машин ротационного типа: монография. М.: ООО «РПЦ Офорт», 2011. 120 с.

32. Мостовский В.Б. Исследование кинематики рабочих органов почвенных фрез с вертикальной осью вращения // Механизация работ в виноградарстве и садоводстве НПО «Виерул», НИИ плодоводства НПО «Кодру». Кишинев: Картя молдовеняскэ, 1979. С. 189-204.

33. Сборник агротехнических требований на сельскохозяйственные машины. М.: ЦНИИТЭИ, 1981. Т. XXVII. 295 с.

34. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1981–1990 гг. Ч. 1. М.: ЦНИИТЭИ, 1982. 847 с.
35. Чудак С.В. Исследование фрезы с вертикальным валом вращения // Механизация работ в виноградарстве и садоводстве НПО «Виерул», НИИ плодородства НПО «Кодру». Кишинев, 1979. С. 159–174.
36. Rotari tiller: пат. 3115190 США: НКИ 172 – 49; заявл. 1963.
37. Почвообрабатывающая фреза: пат. 2603914 Рос. Федерация: МПК7А01В 33/06; 39/16; 49/02 / Ожерельев В.Н. - № 2015135107/13; заявл. 19.08.2015; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34. 6 с.
38. Мостовский В.Б. Исследование процесса обработки приствольных полос в интенсивных садах вертикальными фрезами и обоснование типов и параметров их рабочих органов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1980. 22 с.
39. Хайлис Г.А. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин: учеб. пособие для студентов вузов по спец. «Механизация сел. хоз-ва». Киев: Изд-во УСХА, 1992. 235 с.
40. Диденко Н.Ф., Хвостов В.А., Медведев В.П. Машины для уборки овощей. 2-е изд., перераб и доп. М.: Машиностроение, 1984. 320 с.
41. Борона активная: пат. 17165 Рос. Федерация: МКИ А01В 21/02; А01В 21/06 / Шило И.Н. и др.; заявка № 20101731; заявл. 01.12.2010; опубл. 30.08.2012.
42. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. Л.: «Машиностроение», 1977. 528 с.
43. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1980. 671 с.
44. Матяшин Ю.И., Гринчук И.М., Егоров Г.М. Расчет и проектирование ротационных почвообрабатывающих машин. М.: ВО «Агропромиздат», 1988. 176 с.

Учебное издание

Ожерельев Виктор Николаевич
Орехова Галина Владимировна

**Учебно-методическое пособие
к курсовому проекту**

по дисциплине: Основы теории и тенденции развития
сельскохозяйственных машин

для студентов вузов очного и заочного обучения
по направлению бакалавриата 35.03.06 Агроинженерия,
профиль образовательной программы «Технические системы в агробизнесе»

Редактор Лебедева Е.М.

Подписано к печати 12.02.2024 г. Формат 60x84. 1/16.
Бумага офсетная. Усл. п. 6,91. Тираж 25 экз. Изд. № 7626.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ