

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ФГБОУ ВО БРЯНСКИЙ ГАУ

Инженерно-технологический институт

Блохин В.Н., Гринь А.М., Орехова Г.В., Случевский А.М.

**АНАЛИЗ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ФРЕЗ
С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ
ДЛЯ УХОДА ЗА ВЫСОКОСТЕБЕЛЬНЫМИ КУЛЬТУРАМИ**

Монография

Брянская область 2022 г.

УДК 631.317 (035.3)

ББК 40.722

А 64

Анализ и конструирование фрез с вертикальной осью вращения для ухода за высокостебельными культурами: монография / В. Н. Блохин, А. М. Гринь, Г. В. Орехова, А. М. Случевский. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. – 173 с.

В монографии рассмотрены конструкции машин и активных рабочих органов по уходу за высокостебельными культурами, проведен анализ способов механизированного ухода за малиной.

Выявлены процессы снижения энергоемкости фрезы с вертикальной осью вращения по обработке почвы за счет применения комбинации активных и пассивных рабочих органов, подбора их оптимальных режимных и кинематических параметров.

© Брянский ГАУ, 2022

© Блохин В.Н., 2022

© Гринь А.М., 2022

© Орехова Г.В., 2022

© Случевский А.М.

Содержание

Введение	5
ГЛАВА 1. Состояние вопроса и задачи исследования	8
1.1 Сравнительный анализ способов механизированного ухода за малиной	8
1.2 Анализ технических средств по обработке почвы в междурядьях малины	13
1.3 Анализ конструкций машин по уходу за высокостебельными культурами	17
1.4 Высококлинренсные платформы и культиваторы для работы в питомниках по уходу за высокостебельными культурами	26
1.5 Классификация рабочих органов для фрез с вертикальной осью вращения	32
1.6 Выводы	44
1.7 Цели и задача	44
ГЛАВА 2 Конструкции рабочих органов фрез с вертикальной осью вращения	45
2.1 Исследование рабочих органов фрез с вертикальной осью вращения, обеспечивающих качественную обработку почвы при минимальной энергоемкости	45
2.2 Снижение энергоемкости фрезы за счет комбинации активных и пассивных рабочих органов	47
2.2.1 Снижение энергоемкости фрезы за счет комбинации активных и пассивных рабочих органов	47
2.2.2 Снижение энергоемкости фрезы с вертикальной осью вращения за счет подбора оптимальных режимных и кинематических параметров рабочих органов	50
2.2.3 Выбор и обоснование динамики взаимодействия рабочего органа с почвой с целью снижения крутящего момента	70
2.2.4 Определение энергетических показателей комбинированного ножа	81
2.2.5 Определение силы трения, возникающей при взаимодействии рабочего органа с почвой	95

2.2.6 Разработка конструкций рабочих активных органов фрез с вертикальной осью вращения	96
2.2.7 Заключение	117
Глава 3 Технологические, технические и теоретические основы работы почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью вращения	119
3.1 Обзор направлений повышения производительности труда и снижения энергоемкости процесса обработки почвы	119
3.2 Изменение состояния почвы	120
3.3 Предварительное рыхление почвы пассивными рабочими органами	124
3.4 Обработка переувлажненной почвы	126
3.5 Оптимизация параметров рабочих органов	126
3.5.1 Изменение формы рабочих органов	127
3.5.2 Увеличение радиуса загиба L-образных ножей	127
3.6 Винтовая поверхность полки L-образных ножей	128
3.7 Применение способов крепления ножей	128
3.8 Влияние кинематического показателя λ на процесс обработки почвы	132
3.9 Оптимизация угла установки ножей	134
3.10 Кинематика движения ножа	136
3.11 Влияние геометрических параметров ножа на энергоемкость фрезерования	140
3.12 Увеличение подачи на нож	145
Глава 4 Разработка конструктивной схемы машины для ухода за высокостебельными культурами и обоснование ее параметров, режимов работы по качественным и энергетическим показателям	150
Литература	166

Введение

Проблему увеличения плодово-ягодной продукции, в частности малины, смородины, винограда и других, можно успешно решить путем применения новейших технологических приемов по уходу за ягодными культурами и садовыми насаждениями [1].

Из доклада премьер - министра Мишустина М.В. на заседании правительства в июне 2021 следовало: производство фруктовой и ягодной продукции к 2025 должно увеличиться в два раза. Но эту проблему можно решить, если сады и ягодные плантации сконцентрировать в отдельных специализированных хозяйствах, применяя современную технологию по обработке почвы в междурядьях и приствольных полосах и прикустовых зонах. На сегодняшний день эти операции в фермерских хозяйствах и на специализированных плантациях выполняются сельскохозяйственными орудиями: культиваторами, дисковыми боронами с пассивными рабочими органами, а так же почвофрезами с горизонтальной осью вращения. Основная цель обработки почвы этими агрегатами: 1) рыхление почвы; 2) уничтожение сорняков. Но эти орудия не могут полностью удовлетворить агротехнические требования: не качественно крошат почву, образуя продольные глубокие борозды и крупные глыбы, малый процент уничтожения сорняков, рамы и рабочие органы забиваются растительными остатками, а дисковые бороны, плуги и культиваторы очень часто из-за большой глубины обработки почвы повреждают корни, что приводит к гибели растений. От этого затрудняется работа ягодоуборочных комбайнов и другой техники, что приводит к снижению продуктивности садовых насаждений и ягодных культур. Такая технология способствует развитию водной и ветровой эрозии летом, а также подмерзанию корневой системы зимой.

Необходимо иметь в виду, что культиваторы, плуги, дисковые бороны имеют большое тяговое сопротивление, фрезы с горизонтальной осью вращения – высокую энергоемкость. Надо подчеркнуть, что фрезы с горизонтальной осью вращения своими рабочими органами рубят сорняки в горизон-

тальной плоскости на большое их количество, что способствует образованию, в дальнейшем обильному всходу сорной растительности.

За рубежом в последнее время все большее внимание уделяется обработке почвы в междурядьях и приствольных полосах машинами с вертикально-ротационными активными рабочими органами, благодаря которым можно устранить много недостатков, присущих пассивным рабочим органам. К сожалению, в России нет отечественных машин, нет разработанных конструкций в большой степени позволяющих качественно ухаживать за ягодными плантациями и садовыми насаждениями, обеспечивающих качественный уход за плантациями ягодных кустарников и садов, а также производить механизированную уборку ягод комбайнами. Качественный уход за ягодными высокостебельными кустарниками (малина, смородина, крыжовник, виноград и др.) и низкорослыми садовыми насаждениями будет осуществлен, если агрегат может обеспечивать заданную ширину ряда нижеперечисленных высокостебельных культур по всей длине плантации. Почвообрабатывающие агрегаты с пассивными рабочими органами (дисковые бороны, культиваторы, плуги и др.), а также фрезы с горизонтальной осью вращения, не могут создать заданную ширину ряда для ягодных высокостебельных растений и низкорастущих садовых насаждений, что в конечном итоге приводит к большим потерям урожая при работе уборочных машин.

Фрезы с вертикальной осью вращения не только обеспечивают заданную ширину ряда ягодных растений и садовых насаждений, но и качественно удаляют сорняки не повреждая корневую систему садовых деревьев. Недостатком фрез с вертикальной осью вращения является их относительно большая энергоемкость обработки почвы, связанная в первую очередь, с конструкциями рабочих органов и роторов, а также с отклонением от оптимального подбора кинематических и геометрических параметров.

В связи с этим на протяжении последних 30 - ти лет нами были проведены теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию конструкций рабочих органов и роторов фрезы предназначенной для ухода за высокостебельными растениями.

Сущность работы состояла в следующем:

- а) разработка технологического процесса по уходу за высокостебельными культурами;
- б) изыскание и разработка наиболее рациональных рабочих органов и их аналитические и экспериментальные обоснования параметров;
- в) разработка конструкции и режима работы фрезы с вертикально-ротационными рабочими органами, совмещающей одновременно операции рыхления почвы, уничтожения сорняков и вырезание побегов вне заданной ширины ряда высокостебельных культур.

Все теоретические и экспериментальные исследования проводились в Брянском ГАУ, его учебно-опытном хозяйстве (УОХ «Кокино») и крестьянском (фермерском) хозяйстве «Ягодное» (п. Кокино, Брянская область).

Экспериментальные исследования проводились в специализированных хозяйствах Брянской области.

Результаты этих исследований и легли в основу данной работы.

ГЛАВА 1. Состояние вопроса и задачи исследования

1.1 Сравнительный анализ способов механизированного ухода за малиной.

Обработка междурядий плантаций малины является важным технологическим приемом, целью которого является рыхление почвы, уничтожение сорняков, вырезание побегов вне ширины ряда. Поверхностная обработка почвы способствует улучшению водно-воздушного и теплового режимов, которые уменьшают испарение почвы, способствуют достаточной водопроницаемости, аэрации и прогреву корнеобитаемых почвенных горизонтов [4]. Взрыхленная почва по своему строению должна иметь мелкокомковатый фракционный состав с малым количеством пылевидных частиц и сорняков. Известно, что растущие в рядах малины сорняки поглощают питательные вещества и воду и, при определенных условиях, могут быть рассадником вредителей и болезней. На засоренных плантациях или после засухи ослабленные растения легко подмерзают. Недостаток влаги вызывает ослабленный рост побегов, усыхания отдельных из них, а также утоньшение большинства побегов [1]. При недостатке влаги ягоды мельчают, многие из них усыхают до начала созревания. Малина не переносит как избыточной влажности почвы, так и ее недостаток. В местах с высоким стоянием вод малина подмерзает даже при сравнительно небольших морозах [5].

Во время роста побегов и в период плодоношения малина особенно нуждается в достаточном количестве влаги. Недостаток или избыток ее в этот период не только отрицательно сказывается на ягодах и побегах в этот момент, но и во многом предопределяет выживание побегов в урожай следующего года.

Уход за растениями малины начинается с проведения после посадочной культивации междурядий. В дальнейшем в течении вегетационного периода на каждом поле плантации проводят 4-5 рыхлений [4].

Междурядные обработки направлены на заделку удобрений, улучше-

ние аэрации почвы и уничтожение сорных растений, из которых многие способствуют накоплению вредителей и болезней малины, а также переносчиков вирусных заболеваний.

Основным способом содержания почвы в междурядьях является черный пар. Его поддерживают путем систематических культиваций почвы лапчатыми культиваторами, дисковыми боронами или фрезами с горизонтальной осью вращения на глубину 10-12 см. Обязательно рыхлят почву после сильных дождей или искусственных поливах. Наиболее глубокое рыхление (15 – 18 см) проводят после сбора ягод, что связано с сильным уплотнением почвы в период уборки урожая.

Многочисленные обработки почвы в междурядьях малины имеют и свои существенные недостатки. Малина меньше поражается болезнями и лучше развивается, если ее корневая система ничем не повреждена. Кроме того, частые рыхления верхнего слоя почвы приводит к ее распылению и потере структуры [6].

Чаще всего проведение междурядной обработки вызвано необходимостью борьбы с сорняками. Несвоевременное уничтожение сорняков в этот период приводит к их быстрому размножению и активной конкуренции с растениями малины. В последнее время для борьбы с сорняками в насаждениях малины все чаще применяют гербициды [7]. Считается, что гербициды полностью исключают повреждение корней и, что самое главное, резко сокращают затраты средств и труда. В опытах НИЗИ садоводства Нечерноземной полосы широко используется симазин, который не только не угнетает малину, но даже повышает урожайность и размер ягод по сравнению с контролем, где проводили борьбу с сорняками ручным способом [1]. Особенно эффективен симазин против наиболее вредоносного сорняка малины – пырея ползучего.

К сожалению, симазин – не универсальный гербицид в борьбе с сорняками. Существенным недостатком его является то, что он слабо подавляет сорняки с глубокой корневой системой: вьюнком и осотом, у которых корневая система проникает на глубину 60 – 120 см.

Однако в настоящее время полностью отказаться от междурядных обработок почвы на производственных плантациях нельзя. Этому в значительной мере мешают уплотнения почвогрунтов.

В современных условиях гербициды не могут полностью заменить обычную обработку почвы, они должны дополнить ее, угнетая сорняки внутри полос малины.

Малину на промышленных плантациях выращивают в виде сплошной ленты (полосы), ширина которой у основания не должна превышать 50 см [4]. Такая лента обеспечивает нормальное развитие растений, удобна для уборки урожая ручным и механизированным способами и не зависит от системы содержания почвы – механическая обработка, применение гербицидов или мульчи (рис. 1.1, рис. 1.2). Если ширина ленты достигает 70 – 120 см., то плантация, по существу, превращается в малоурожайные заросли, труднодоступные для сбора ягод малиноуборочными комбайнами и в сильной степени пораженные болезнями и вредителями.

При поверхностной обработке почвы нельзя, как было уже сказано выше, оставлять необработанными широкие защитные полосы земли вдоль ряда. Если ширина ряда достигает 70 см., то при весенней нормировке оказывается много лишних побегов (у малины 8 – 12). Это приводит к нерациональному расходу запасов элементов питания почвы. Для уменьшения ширины защитной зоны растений можно использовать мульчирующий материал, который сохраняет физико-механические свойства почвы, регулирует водно-воздушный, тепловой и питательный режимы почвы, ведет борьбу с сорняками. В качестве мульчи лучше всего использовать влажную торфяную крошку, торфокомпосты, перегной, резаную старую, непригодную на корм скоту солому. За рубежом в качестве мульчи применяют черную полиэтиленовую пленку и массу из мелко раздробленной коры – отходов деревообрабатывающей промышленности [7].

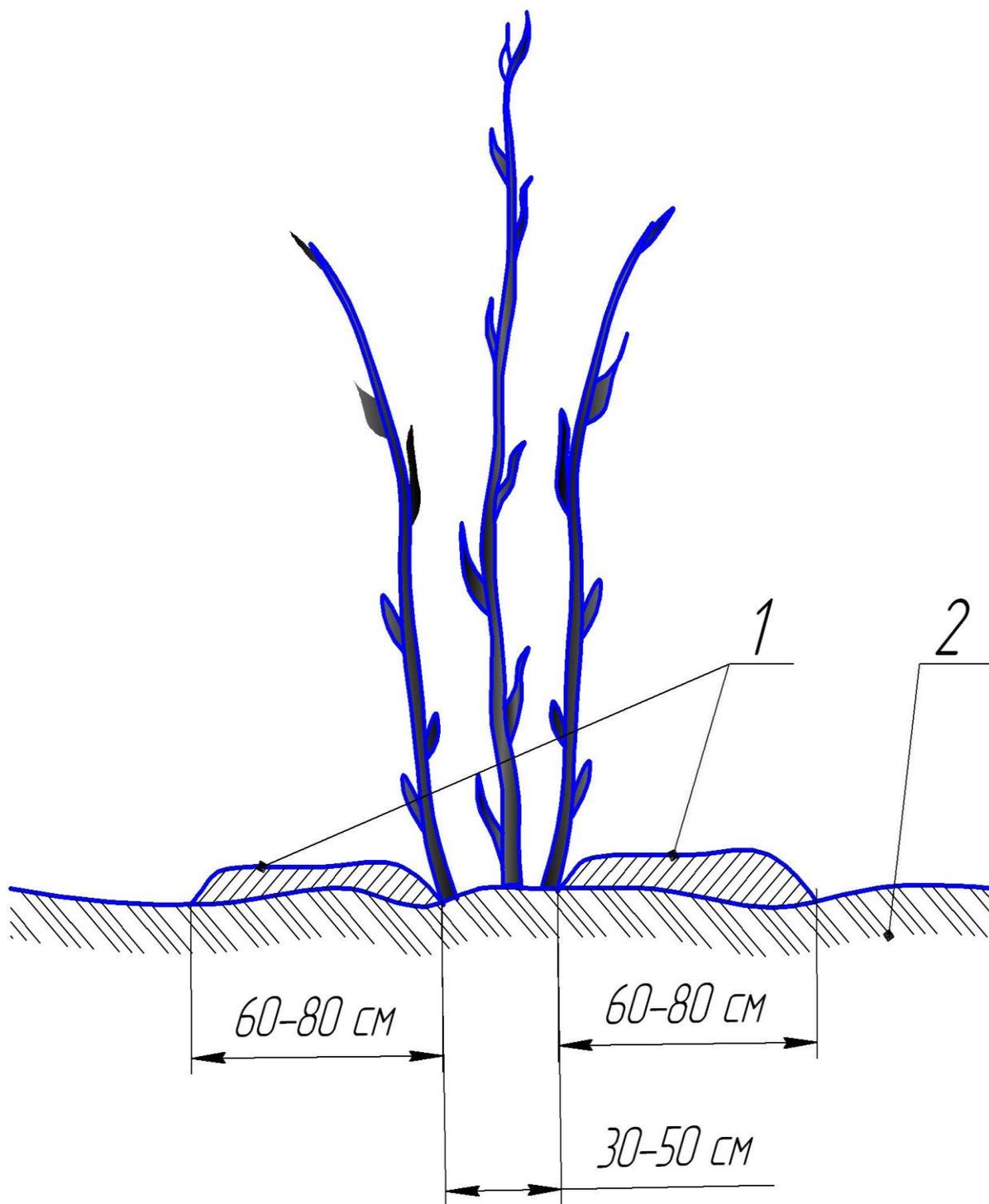


Рисунок 1.1 – Схема расположения мульчирующего материала:

1 – мульчирующий материал; 2 – поверхность почвы

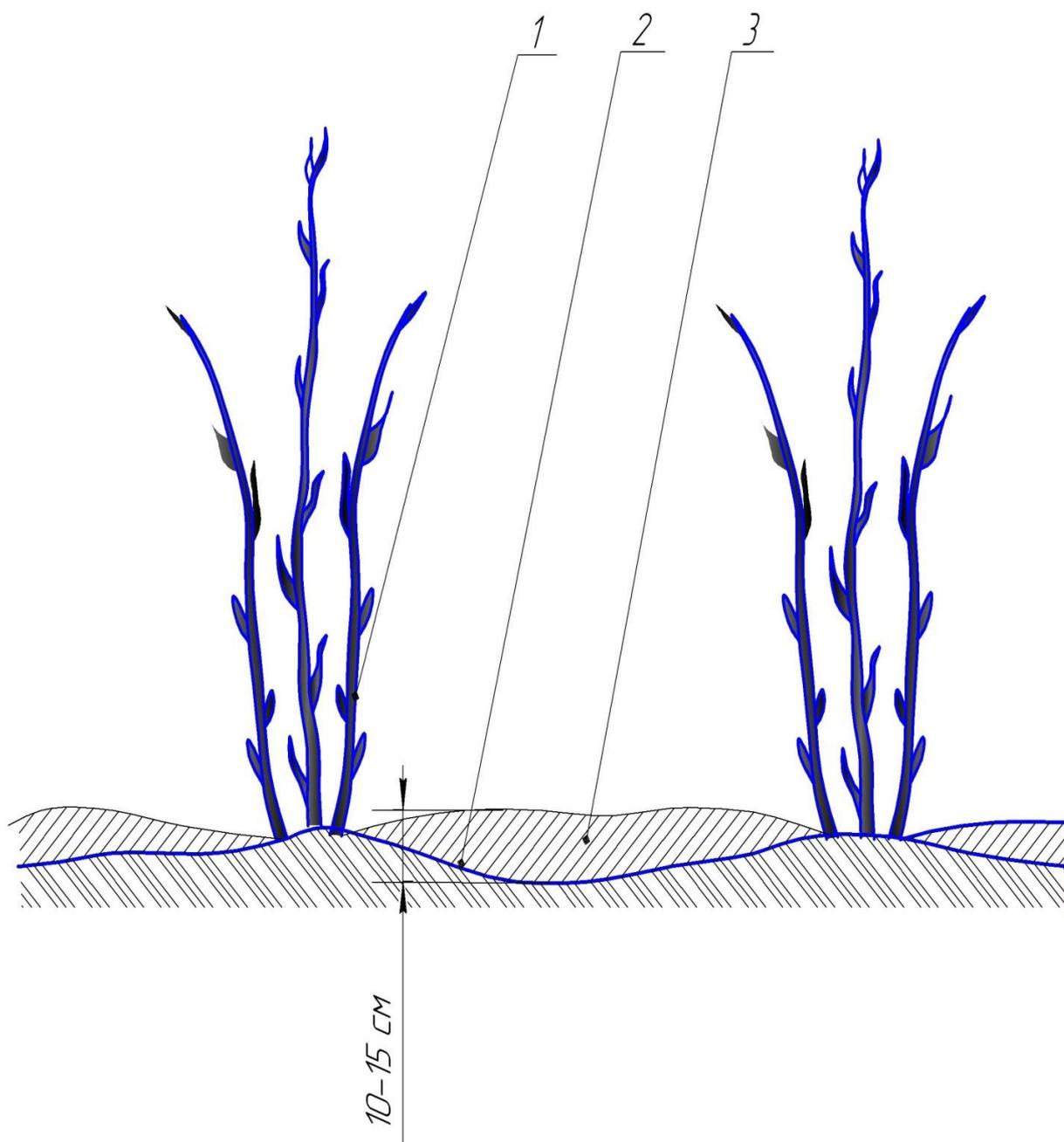


Рисунок 1.2 – Схема сплошного мульчирования соломой:

- 1 – побеги малины;
- 2 – поверхность почвы;
- 3 – солома.

Для обработки почвы в рядах и междурядьях, для борьбы сорняками во многих хозяйствах продолжают применять мотыжение, культивации и перекопку. В большинстве случаев частые глубокие культивации, а тем более вспашка, не решают проблему, к тому же причиняют вред растениям, лишая

их на 70% корневой системы, причем самой активной. Неповрежденными оказываются корни лишь в зоне, определяемой шириной ряда (50-70 см) и глубиной пахотного горизонта (в Нечерноземной зоне - 25-30 см).

Особенно вредна вспашка почвы в междурядьях в зонах недостаточного увлажнения. В результате обработки почвы плугом в развал по центру междурядья образуется глубокая борозда, а ряд с растениями оказывается на гребне, где почва быстро подсыхает, что тормозит рост растений. Применение дисковых борон позволяет сохранить корни в междурядьях, но после 2-3 - летнего дискования посадки оказываются на гребнях (рис. 1.3).

1.2 Анализ технических средств по обработке почвы в междурядьях малины

Для механической обработки почвы лучше использовать фрезы ФПШ-200, ФА-0,76 и другие, с горизонтальной осью вращения. Но у них есть ряд существенных недостатков: высокая энергоемкость и низкая производительность. Кроме того, они требуют повышенной защитной зоны у ряда многолетних растений для предотвращения повреждений растений элементами рамы и привода. Им свойственен нерациональный расход мощности, которая, с установкой защитного кожуха фрезерного барабана, увеличивается на 31% [8]. Это приводит к дополнительному дроблению и распылению почвы.

На почвах твердостью 3,5...5,0 МПа, по данным К.П. Яцука [9] горизонтальные фрезы практически не заглубляются.

На обслуживание и наладку фрез с горизонтальной осью вращения (заточка и замена большого количества ножей, увеличение или уменьшение ширины захвата) тратится много времени.

Повысить производительность горизонтальных фрез можно за счет увеличения угловой скорости барабана. Поверхность и дно обработанной почвы от увеличения частоты вращения барабана фрезы становятся менее гребнистыми, но в то же время приводит к чрезмерному измельчению и даже распылению почвы.

Отечественные и зарубежные ученые доказывают, а многолетний производственный опыт подтверждает, что почвообрабатывающие машины с активными рабочими органами обеспечивают высококачественное рыхление почвы и уничтожение сорняков и наряду с этим лишены многих указанных выше недостатков [10], присущих пассивным рабочим органам. Почвообрабатывающие машины с пассивными рабочими органами просты по конструкции, надежны в работе, но имеют значительное тяговое сопротивление, что вызывает необходимость агрегатировать их с тракторами повышенного тягового класса. А это усложняет применение ассиметричных агрегатов, что ведет к снижению качества обработки почвы.

У фрез же имеется возможность в широких пределах менять режим работы (подача, рабочая скорость движения, частота вращения), что ведет к направленному воздействию на фракционный состав почвы [11, 12].

С точки зрения общих затрат энергии пассивные рабочие органы более предпочтительны [13]. Однако, при определенных условиях, энергоемкость активных рабочих органов может быть на уровне и даже ниже энергоемкости пассивных рабочих органов, а качество обработки почвы - лучше. Следует иметь в виду, что ротационные рабочие органы обеспечивают необходимую степень крошения почвы за один проход, в то время как орудиям с пассивными рабочими органами для этого требуется несколько проходов.

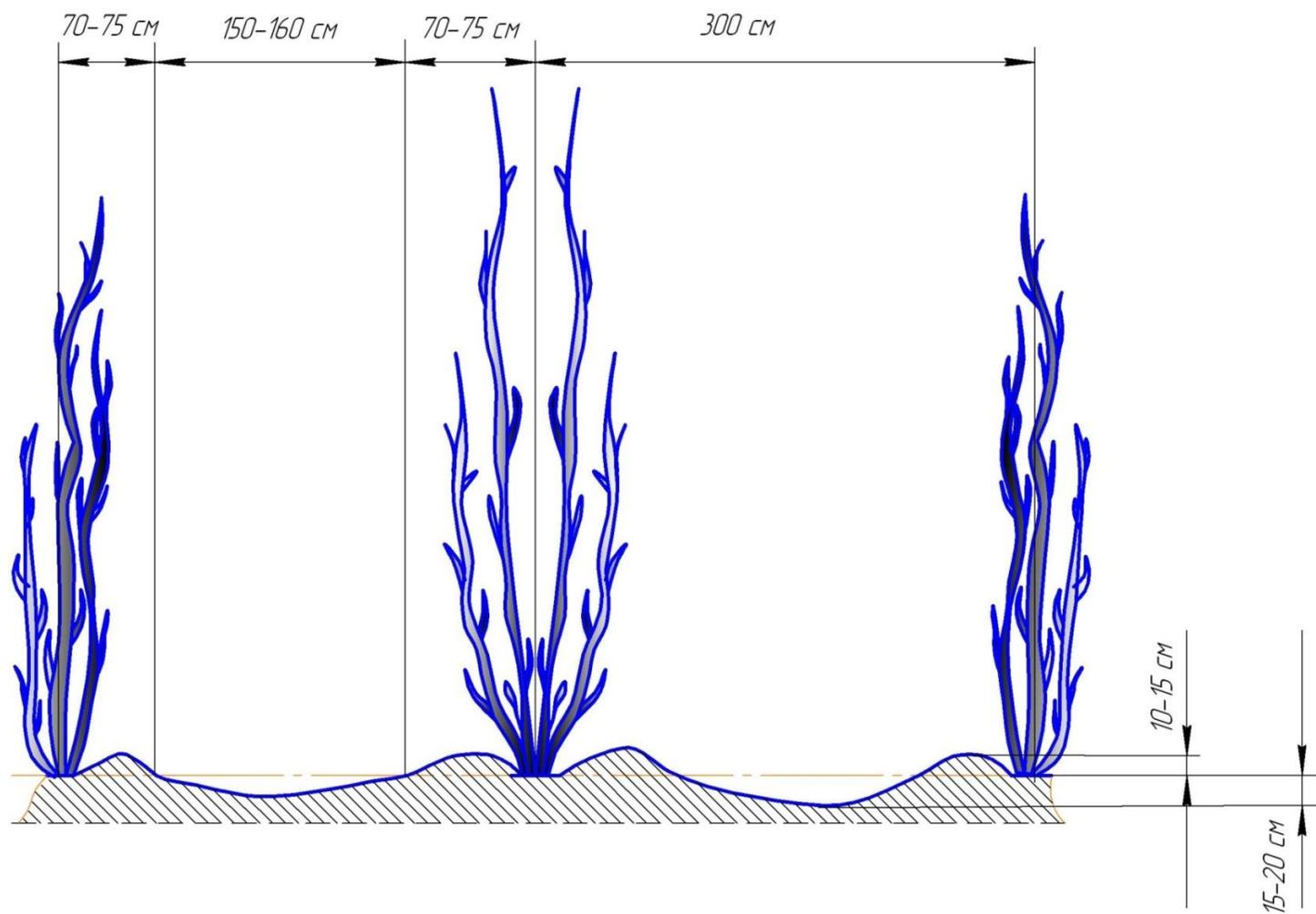


Рисунок 1.3 - Поверхность междурядья малины, образовавшаяся на 4 – 5 год после посадки в результате обработки дисковыми боронами

Вместе с тем, относительно высокая энергоемкость вертикально-роторных рабочих органов (15-20 кВт на метр ширины захвата) побуждает ученых искать пути ее уменьшения. В качестве одного из путей снижения энергоемкости фрез является комбинация пассивных и активных рабочих органов. Исследованиями Д.З. Стародинского [14] и А. Эггенмюллера [15] установлено, что комбинированные машины значительно меньше потребляют энергии, чем фрезы.

Энергоемкость почвообрабатывающей машины, изображенной на рис. 1.4 [16, 17], меньше по сравнению с фрезой, имеющей только одни активные рабочие органы.

Снижение энергоемкости фрезерования почвы машиной (рис. 1.5) достигается установкой роторов таким образом, что величина перекрытия каждого нечетного предыдущего к четному последующему больше, чем величина перекрытия четного предыдущего к нечетному последующему, и соответственно равны 0,5 и 0,2 величины радиуса роторов.

Все применяемые технические средства для обработки почвы в междурядьях малины - плуги, культиваторы, дисковые бороны, фрезы не могут обеспечить заданной ширины ряда малины по всей длине плантации (рис. 1.6). Однако для нормальной работы улавливающего устройства малиноуборочного комбайна ширина ряда должна быть постоянной и определенной.

Если ширина ряда малины окажется больше ширины захвата улавливателя, то часть плодоносящих побегов либо сломает, либо с них стряхиваются спелые ягоды элементами конструкции улавливающего устройства, что в конечном итоге приводит к невозвратимым потерям урожая. Заведомо малая ширина ряда малины по всей длине плантации по сравнению с шириной захвата улавливателя приводит к снижению продуктивности растений с единицы площади.

1.3 Анализ конструкций машин по уходу за высокостебельными культурами

Обработка почвы в междурядьях и уход за высокостебельными культурами осуществляется специальными агрегатами.

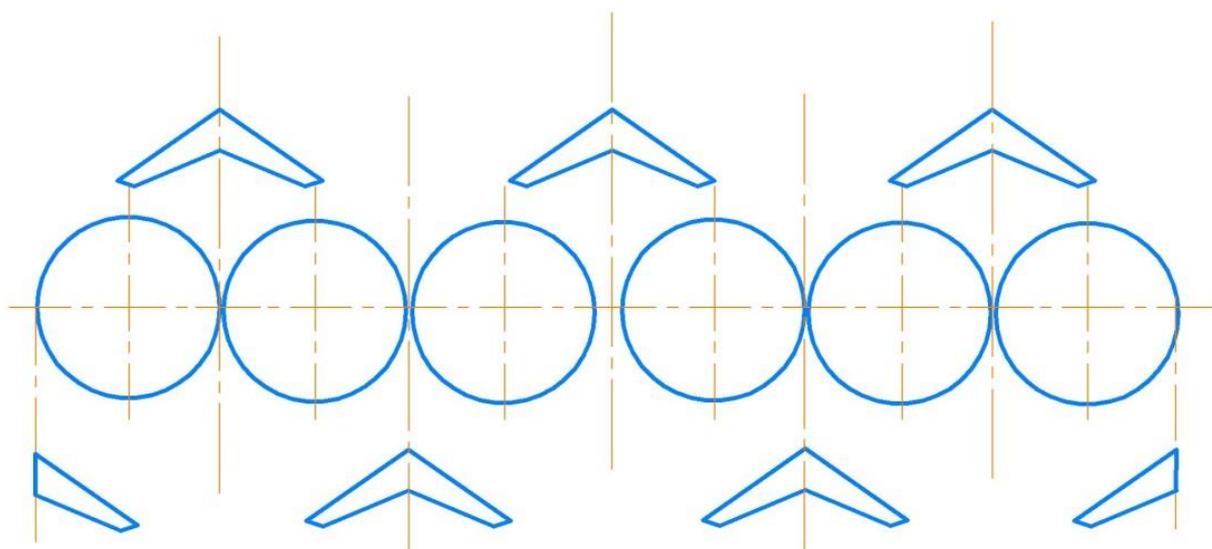


Рисунок 1.4 – Фреза, содержащая активные и пассивные рабочие органы

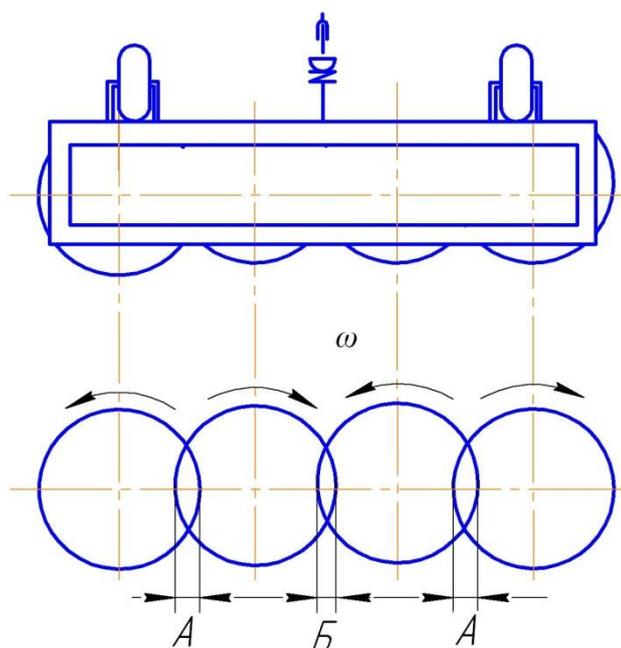


Рисунок 1.5 – Схема перекрытия обрабатываемых зон соседними роторами

Они включают вертикальную раму 1, закрепленную на тракторе 2, и поперечный брус 3 с вертикальными понизителями 4, к которым присоединяются необходимые рабочие органы 5 (рис. 1.7).

Недостатком таких агрегатов является неудовлетворительное копирование рабочими органами поверхности поля, в результате чего выполняемые операции не отвечают предъявляемым к ним агротехническим требованиям. Добиться одинаковой наперед заданной ширины обрабатываемого ряда также невозможно из-за того, что обработка осуществляется одновременно двух рядов (рис. 1.3).

Для улучшения процесса копирования обрабатываемой поверхности почвы применяется известный агрегат [18] по уходу за высокостебельными культурами, у которого поперечный брус 1 выполнен в виде параллелограммных механизмов, а вертикальные понизители 2 снабжены самоустанавливающимися опорными колесами 3 (рис. 1.9). По тем же причинам, что и агрегат, изображенный на рис. 1.7, он не может обеспечить заданную ширину ряда малины по всей длине плантации, а поэтому результаты обработки междурядий будут аналогичны изображенному на рис. 1.8. Недостатком этого агрегата является то, что его силовые конструкции работают на изгиб и кручение. Это приводит к тому, что агрегат не может обеспечить значительных усилий обработки, а конструкция его оказывается неприемлемо тяжелой.

Часть указанных недостатков устранена в агрегате по уходу за высокостебельными культурами, разработанном В.И. Малацай и А.В. Малацай [19] (рис. 1.10) за счет того, что он снабжен тяговым поперечным брусом 1, который шарнирно установлен посредством стоек 2 с подкосами 3 на передней части трактора и связан наклонными тягами 4 с нижними концами понизителей 5, а также шарнирно соединен жесткими балками с подъемным брусом 6. Ввиду того, что такой агрегат обрабатывает одновременно два ряда малины, но только с одной стороны каждого ряда, он не может обеспечить постоянную, наперед заданную ширину ряда по всей длине плантации.

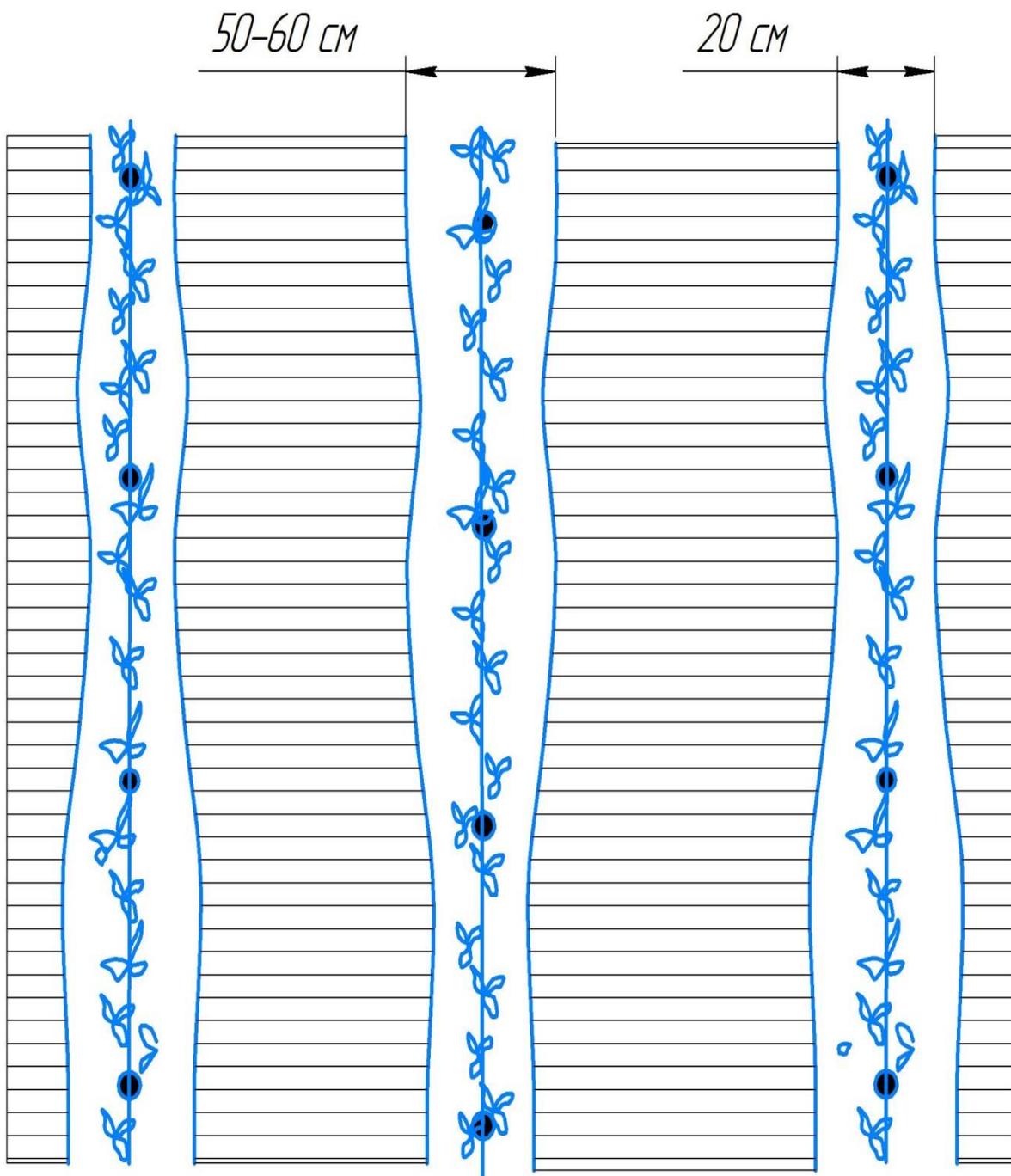


Рисунок 1.6 – Зоны обработки междурядий малины плугами, культиваторами, дисковыми боронами, фрезами с горизонтальной осью вращения

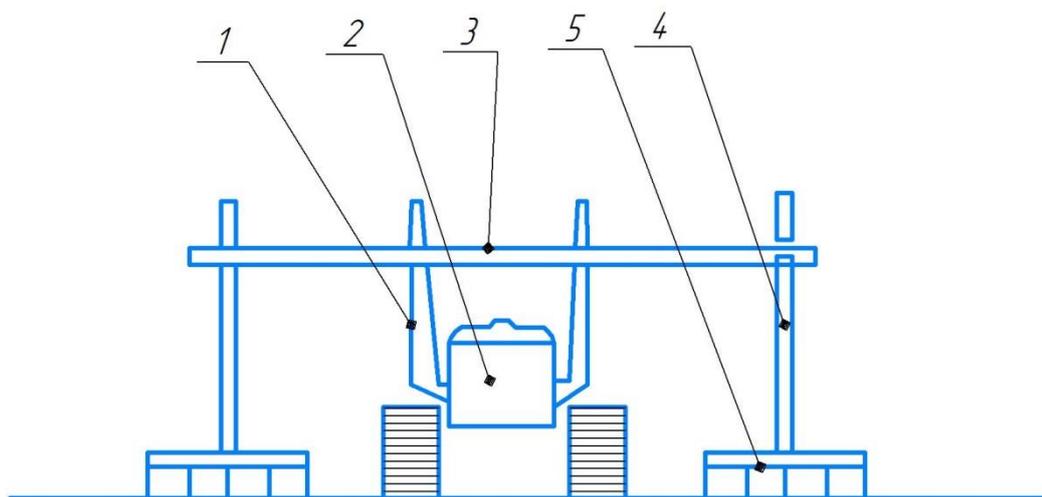


Рисунок 1.7 – Агрегат для обработки высокостебельных культур

Вертикально-роторная машина (рис. 1.11) для ограничения ширины ряда малины до 20-25 см с целью эффективной механизированной уборки ягод малиноуборочным комбайном «ЙООНАС» применяется в Финляндии [20]. Она навешивается на высококлиренсное самоходное шасси 1, входит в комплект самого комбайна и обеспечивает постоянную ширину ряда малины на всей длине плантации. Однако ей присущи следующие недостатки:

- а) использование дорогостоящего самоходного высококлиренсного шасси;
- б) отсутствие рабочего органа для обработки почвы в прикустовой зоне малины с целью внесения мульчирующих веществ;
- в) неудовлетворительное копирование плодовой стенки растений.

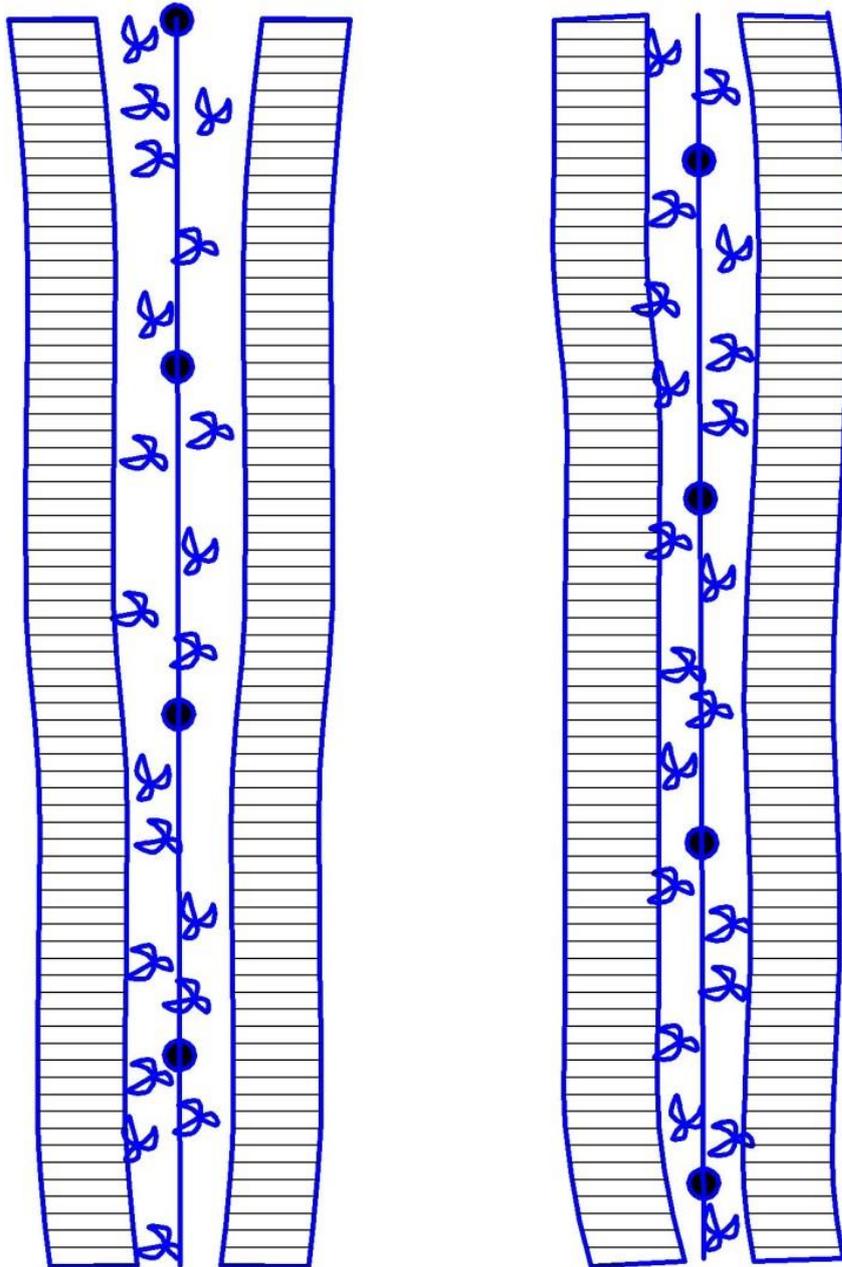


Рисунок 1.8 – Схема расположения обрабатываемых полос

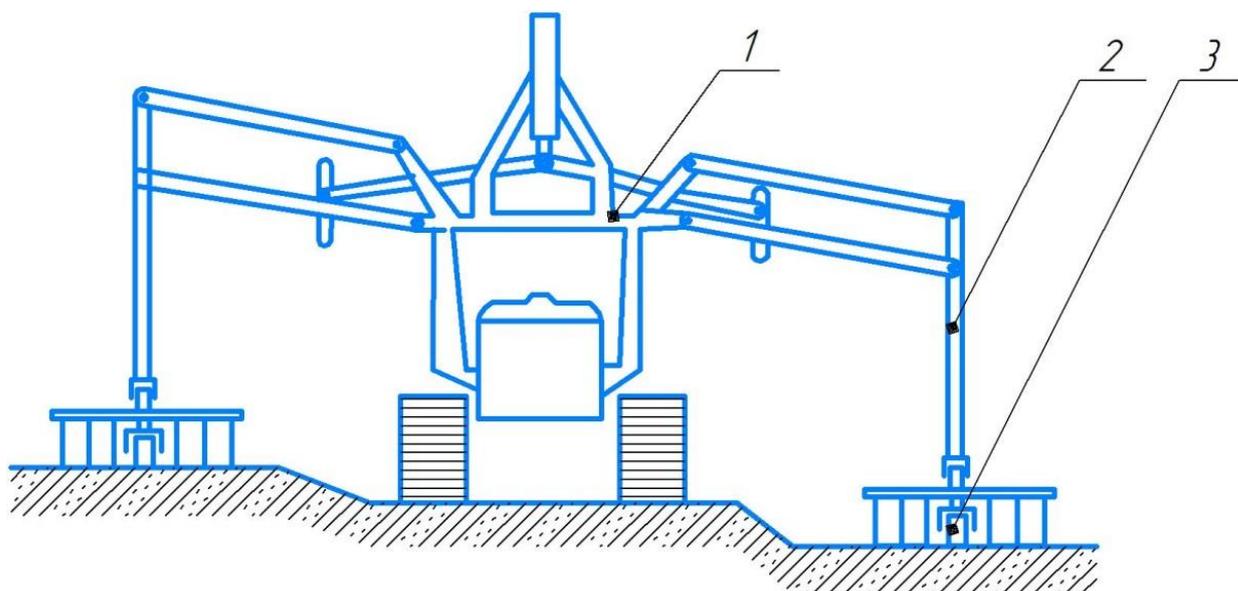


Рисунок 1.9 – Агрегат для возделывания высокостебельных культур

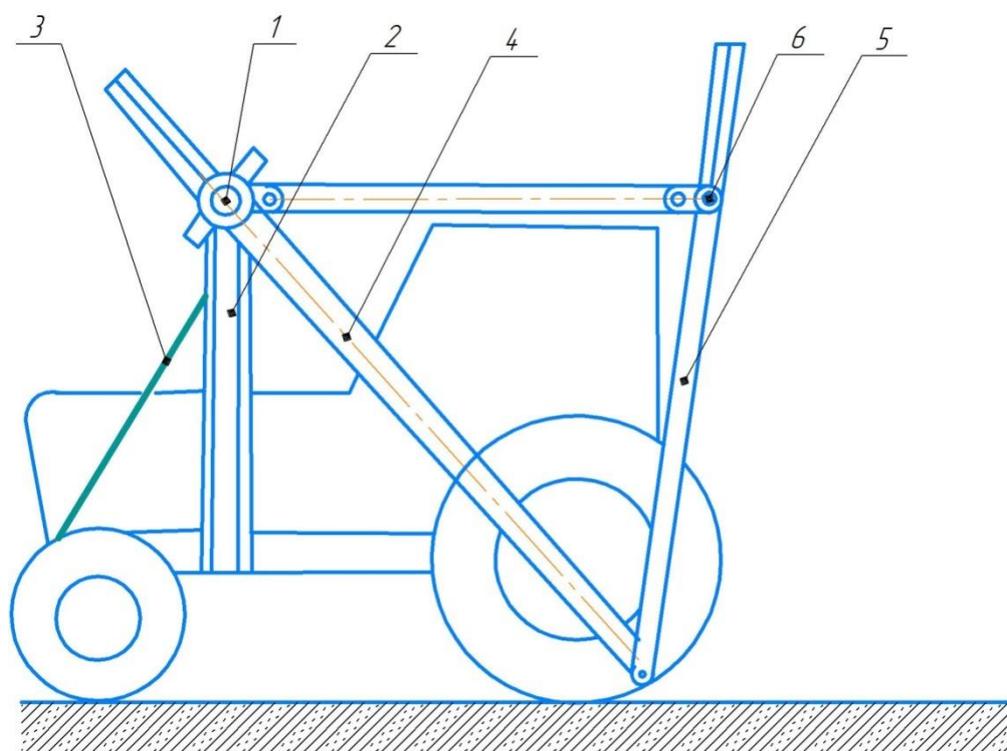


Рисунок 1.10 – Агрегат по уходу за высокостебельными культурами

Испытания этого узла представителями фирмы «Йоонас» на обрезке малины для ограничения ряда по ширине в НИЗИСНП в августе 1989 года показали, что верхушки растений обрезаются только на определенную заранее установленную высоту 160-180 см. Верхушка растения, длина которого меньше высоты установки «ножниц», не обрезается. Ограничение ряда малины по ширине 20- 25 см двумя вертикальными роторами 2, представляющих собой ротационные свободно подвешенные ножи молоткового типа 3, не осуществляется из-за большой плотности побегов 4, подлежащих вырезке от поверхности почвы на расстоянии 5-10 см. Ввиду того, что работа роторов 2 зависит друг от друга, происходит нарушение процесса копирования поверхности срезаемых растений малины и, что самое главное, плодовой стенки растений при встрече опорных колес 5 с препятствиями или углублениями. Но если плотность побегов вне заданной ширины ряда небольшая (до 5 побегов на 1 погонный метр) этим агрегатом можно производить ограничение ряда без обработки прикустовой зоны (рис. 1.12).

Агрегат (рис. 1.13), состоящий из рамы порталного типа 1, навесного треугольника 2, горизонтального цилиндрического шарнира 3 и опорного колеса 4, можно использовать для ограничения ширины ряда малины. Горизонтальный шарнир 3, расположенный в центре навесного треугольника, позволяет уменьшить нагрузку на раму 1 в поперечно-вертикальной плоскости, которая возникает в связи с неровностями поверхности почвы, а также осуществлять процесс копирования плодовой стенки растений и рельефа почвы.

Рабочие органы такого агрегата могут подвешиваться к раме 1 и приводиться во вращение от ВОМа трактора через карданный вал, проходящий через горизонтальный цилиндрический шарнир 3. Недостатками этого агрегата являются: большие размеры горизонтального цилиндрического шарнира; зависящая работа роторов одного от другого; неудовлетворительный процесс копирования поверхности почвы и плодовой стенки растений при встрече значительного препятствия опорным колесом 4.

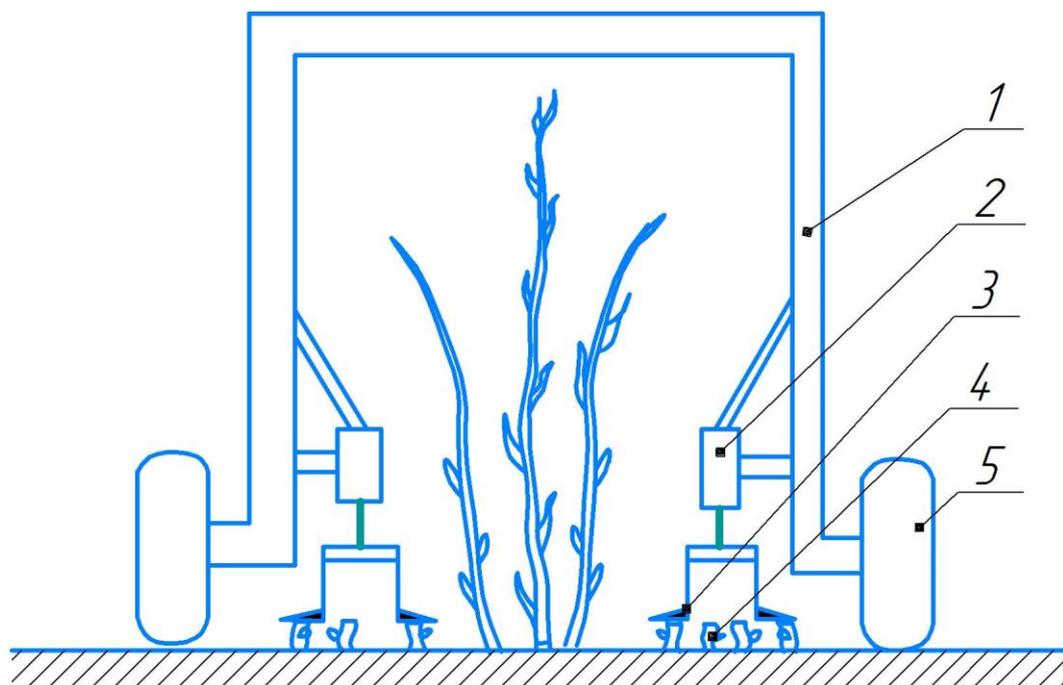


Рисунок 1.11 – Узел малиноуборочного комбайна для обрезки стеблей малины

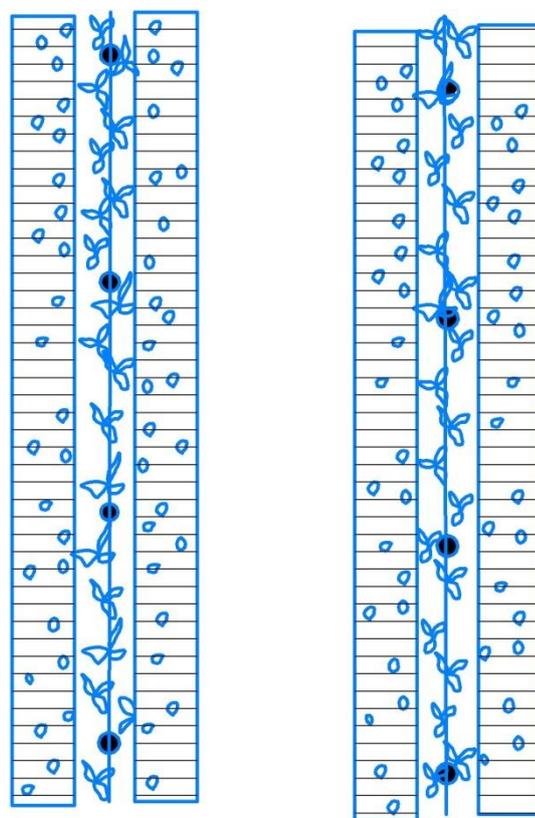


Рисунок 1.12 – Ограничение ширины ряда малины без обработки прикустовой зоны

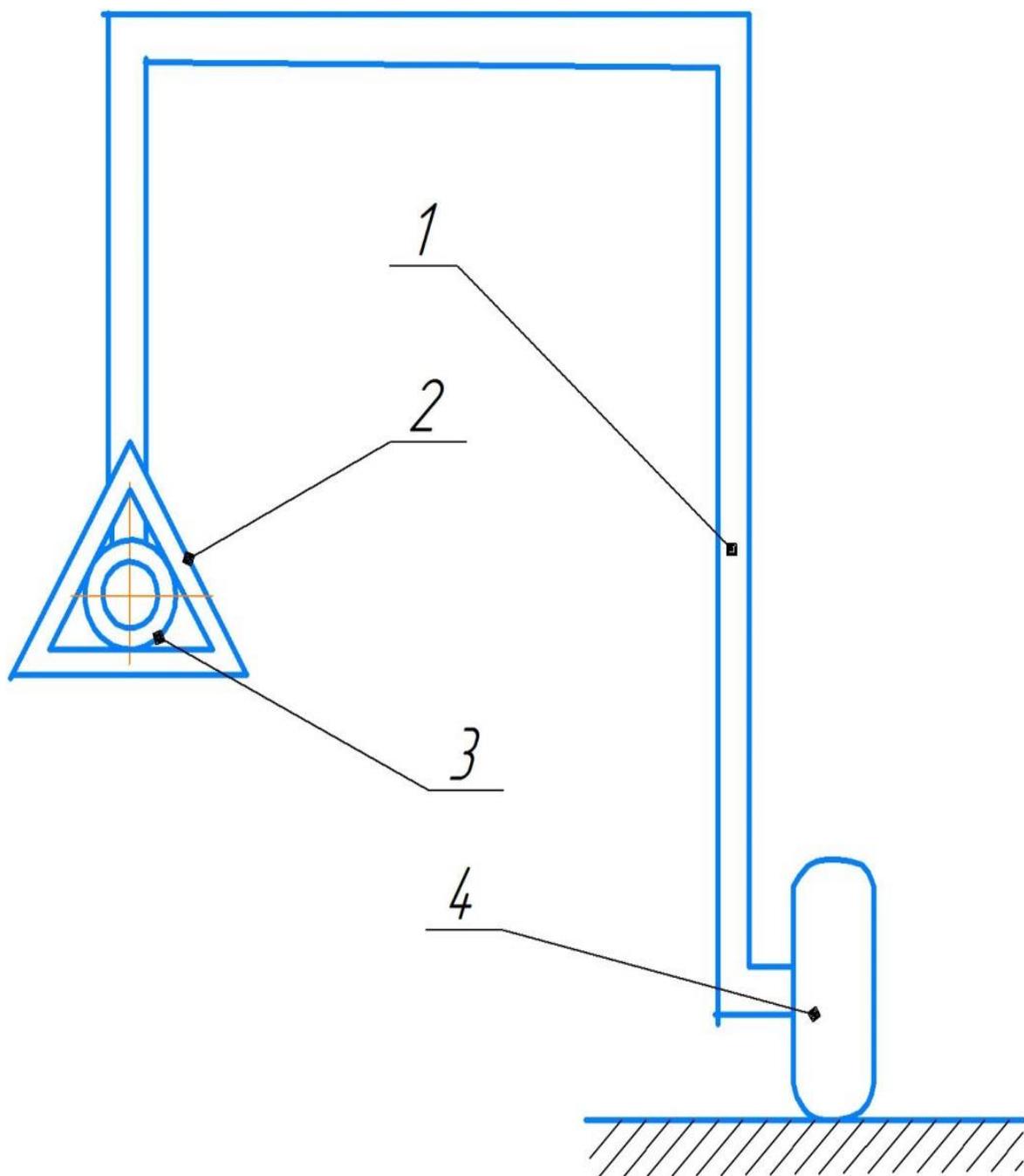


Рисунок 1.13 – Агрегат порталного типа

1.4 Высококлиренсные платформы и культиваторы для работы в питомниках по уходу за высокостебельными культурами

Данный агрегат предназначен для междурядной обработки высокостебельных культур пассивными рабочими органами. Он имеет дорожный просвет 1500 мм и колею 2800 мм.

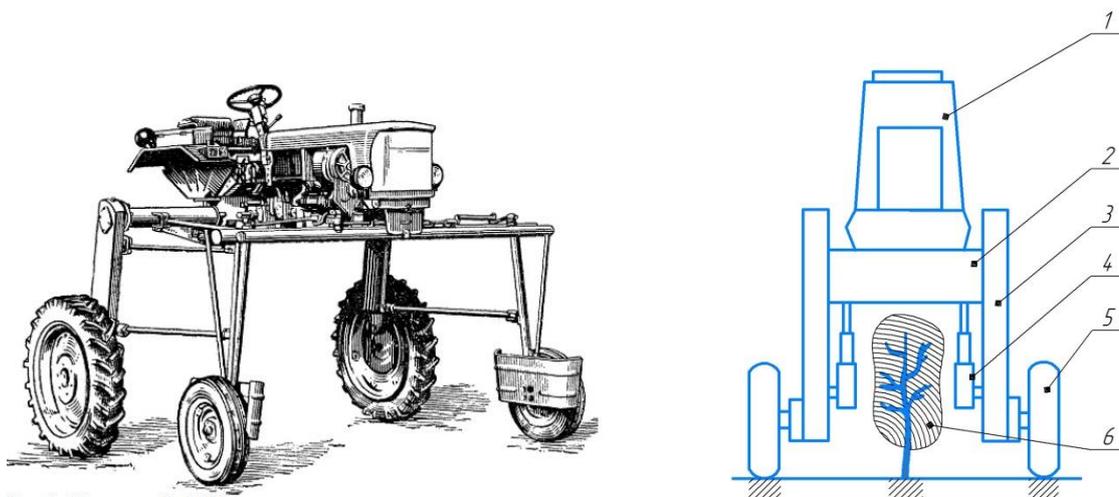


Рисунок 1. 14 - Высококлиренсный трактор Т-25К

кабина; 2- остов; 3 - цепная стойка; 4 - гидроподъемник; 5 – колесо трактора; 6 – плодовое дерево.

Высококлиренсная платформа ВП-1,5 для работы в питомниках
Предназначена для выполнения широкого спектра работ в плодовых и декоративных питомниках.

Техническая характеристика:

1. Агрегатирование – тракторы класса 6...9 кН;
2. Дорожный просвет – 1,5 м.;
3. Ширина колеи – 2,6 м.



Рисунок 1.15 - Высококлиренсная платформа ВП-1.5

Применение высококлиренсной платформы позволяет:

- использовать трактор общего назначения для работы в питомниках;
- обеспечить дорожный просвет – 1,5 м;
- исключить повреждение растений.

а) Навесное оборудование для высококлиренсной платформы



Рисунок 1. 16 - Культиватор высококлиренсный

Предназначен для интенсивного рыхления поверхностного слоя почвы для сохранения влаги, выравнивания поверхностного слоя почвы и уничтожения сорняков в питомниках. Обработка почвы производится пассивными рабочими органами в виде стрельчатых лап, и зубчатых дисковых борон



Рисунок 1.17 - Опрыскиватель и гербицидник

Опрыскиватель предназначен для химической обработки растений в плодовых и лесных питомниках.

Гербицидник предназначен для внесения гербицидов с целью эффективного уничтожения сорной растительности в междурядьях.

б) Самоходное универсальное высококлиренсное энергетическое средство с электронным управлением



Рисунок 1.18 - Высококлинренское средство, созданное в ФНАЦ ВИМ

Данный агрегат предназначен для работы в питомниках с широкой гаммой технологических машин

Интеллектуальная система управления и мониторинга рабочих процессов позволяет:

- автоматически поддерживать скорость движения в зависимости от выполняемой технологической операции;
- контролировать и управлять работой навесного оборудования;
- осуществлять автоматизированное слежение блока рабочих органов за плоскостью ряда и поверхностью почвы;
- отображать оперативную информацию о работе систем энергосредства и навесного оборудования на дисплее в кабине оператора.



Рисунок 1.19 - Работа с пестицидной системой



а) пассивные рабочие органы;

б) активные рабочие органы

Рисунок 1.20 - Культиватор высококлиренсный

Мотоблок с адаптером АП-1,5

Обеспечивает выполнение основного цикла работ, связанных с уходом за растениями в плодовых питомниках: обработку почвы в междурядьях, борьбу с сорняками, болезнями и вредителями.



Рисунок 1.21 – Адаптер АП-1,5 с моторблоком для работ в питомниках

В результате анализа технических средств выявлена эффективность универсальных высококлиренсных энергетических агрегатов :

- рост производительности труда в 3-5 раз на наиболее трудоемких процессах в садоводстве. Питомниководстве и виноградарстве, вследствие возможности агрегатирования с широкозахватными высокопроизводительными орудиями;

- снижение денежных затрат на выполнение операций до 30 %;

- рост технической производительности в 1.5-2 раза и снижение удельного расхода топлива на 12 – 15 % по сравнению с серийными отечественными машинами аналогичного назначения, благодаря применению современного электроуправляемого гидравлического топливного оборудования и систем автоматизированного управления и контроля;

- уменьшение капиталовложений и расходов по ремонту в 1.5-2 раза.

Вместе с тем, надо отметить, что высококлиренсное шасси портального типа обладает рядом недостатков:

- высокая стоимость агрегатов;

- сезонный характер работы, большие материальные и физические затраты при переоборудовании агрегата;
- дополнительные затраты на обслуживание, ремонт и хранение;
- выполнение только одной технологической операции за один проход агрегата.

1.5 Классификация рабочих органов для фрез с вертикальной осью вращения

Первыми исследователями процессов обработки почвы фрезами с вертикальной осью вращения и их рабочих органов в нашей стране были А.Д. Далин, П.В. Павлов [21] и И.С. Полтавцев [22]. Они установили ряд важных зависимостей:

- влияние скорости резания на затраты мощности при фрезеровании;
- уменьшение энергоемкости процесса фрезерования при увеличении подачи на нож фрезы;
- расход мощности на резание почвы и ее отбрасывание.

Ими выведены формулы для определения скорости резания и скорости движущихся по трохоиде рабочих органов.

Процесс фрезерования почвы на глубину до 20 см рабочими органами вертикально-роторной машины изучал В.И. Порфирюк [3]. Им была установлена зависимость крутящего момента и тягового сопротивления от режимных параметров, обеспечивающих необходимую степень рыхления почвы; получены оптимальные геометрические параметры исследуемых ножей.

Изучением процесса фрезерования почвы на глубину до 25 см занимался Ф.С. Любимов [24]. Своими исследованиями он еще раз подтвердил выводы, сделанные А.Д. Далиным, П.В. Павловым и И.С. Полтавцевым, что наименьший расход мощности получается при минимальных значениях кинематического показателя и количества ножей и при максимальном значении подачи на нож, а также установил зависимость энергоемкости фрезерования почвы рабочим органом от силы сопротивления резанию почвы.

С.В. Чудак [13] исследовал процесс обработки почвы вертикально-фрезерным культиватором в междурядьях виноградника на глубину до 12 см. Им установлено, что фрезы с вертикальной осью вращения имеют малое тяговое сопротивление по сравнению с пассивными рабочими органами, что позволяет конструировать ассиметричные агрегаты для междурядной обработки виноградников и малины. В его работе определены экспериментальным путем оптимальные кинематические параметры L -образного ножа с наружно-отогнутым (рис. 1.23 а) режущим лезвием, а также теоретически определена сила резания почвы P , крутящий момент на валу фрезы M , тяговое сопротивление и общая мощность (рис. 1.21).

Из рисунка видно, что

$$P_k = P \cos \Delta\gamma$$

$$P_n = P \cos(\varphi - \Delta\gamma)$$

$$M = \sum_{i=1}^{Z_\phi + Z_T} n_\phi P_{ki} r_{pk},$$

где r_{pk} – радиус приложения силы;

Z_T – число ножей, режущих твердую почву;

Z_ϕ - число ножей, режущих разрыхленную почву;

n_ϕ - число фрез в культиваторе.

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (1.1)$$

где

$$P_1 = \frac{\tau h \sin(\alpha + 2\varphi) \cos\varphi \cdot \cos\rho \left(\frac{l \sin\gamma + \frac{h}{2} \operatorname{ctg}\psi_1}{\sin\Psi} + \frac{h \operatorname{ctg}\Psi}{2 \sin\Psi_1} \right)}{\cos(\varphi - \beta) \cdot \sin(\alpha + \beta + \rho + \varphi + \Psi)} \quad (1.2)$$

- сила сжатия и скалывания стружки горизонтальными элементами ножа;

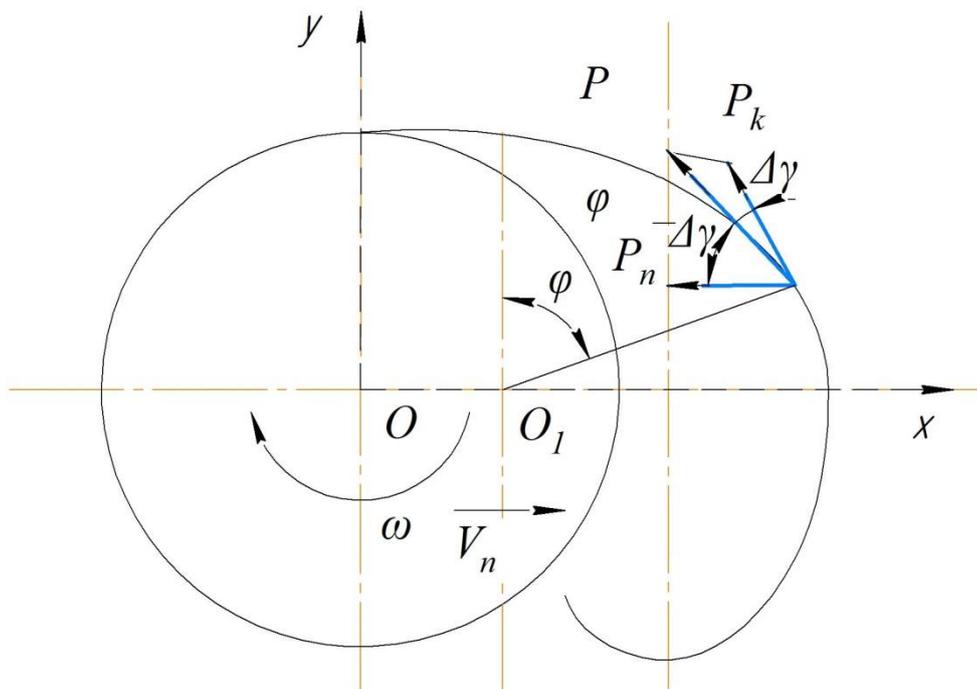


Рисунок 1.21 – Схема к определению усилий, создающих крутящий момент и тяговое сопротивление фрезы

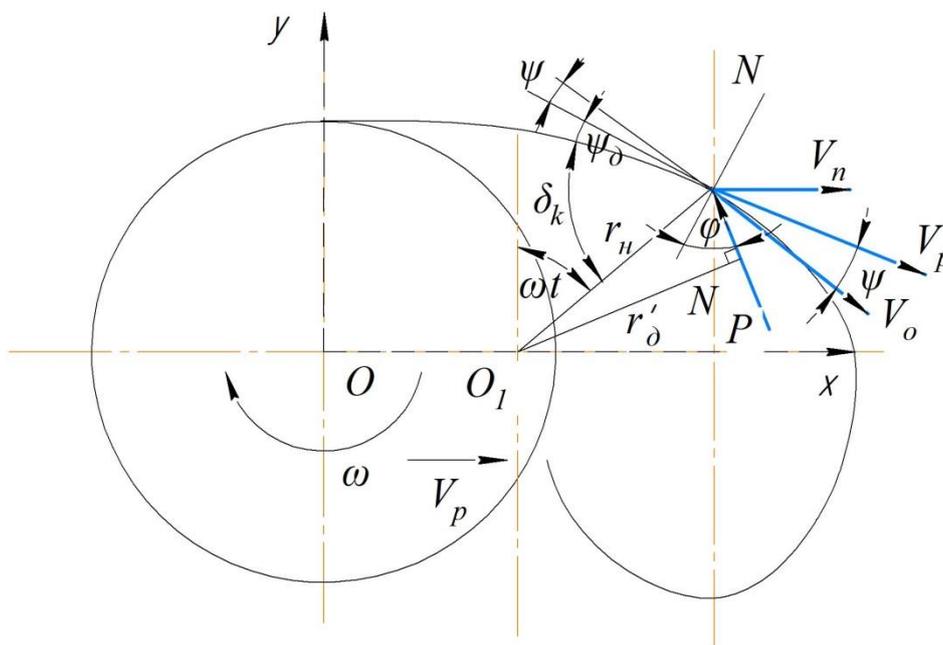


Рисунок 1.22 – Схема к определению крутящего момента

$$P_2 = \delta_1 k_1 l + \delta_2 k_2 h \quad (1.3)$$

- суммарное усилие, затрачиваемое на преодоление сопротивления снятию грунта режущими кромками горизонтального и вертикального элементов ножа;

$$P_3 = \frac{h\gamma_1 V_p^2 \left(l \sin \gamma + \frac{h \operatorname{ctg} \Psi_1}{2} \right)}{g \sin \alpha} \quad (1.4)$$

- динамическое усилие, возникающее вследствие отбрасывания частиц,

где τ - предельное напряжение сдвигу;

h - глубина обработки;

α - угол трения грунта по металлу;

ρ - угол внутреннего трения грунта по грунту;

l - длина лезвия;

γ - угол раствора ножа;

Ψ, Ψ_1 - углы лобового и бокового скалывания;

β - угол крошения почвы;

δ_1, δ_2 - толщина режущей кромки горизонтального и вертикального элементов;

γ_1 - объемная масса почвы;

k_1, k_2 - удельное сопротивление твердой и рыхлой почвы.

Аналогичным исследованием, только с L -образным режущим лезвием, отогнутым внутрь, занимался У.Р. Игамбердиев [25]. Сравнительные исследования L -образных ножей и стрелчатых лап показали, что общие затраты мощности на 17% меньше у L -образных ножей при прочих равных условиях.

При движении рабочего органа фрезы (рис. 1.22) в горизонтальной плоскости действует сила сопротивления P , которая отклонена от нормали к поверхности ножа на угол трения φ . При определении энергетических показателей фрезы приняты следующие допущения: нож фрезы представляет со-

бой двухгранный клин, установленный к радиусу r_H под углом δ_K , а сила приложена к средней части лезвия. Величина угла δ_K зависит от кинематического режима работы и диаметра фрезерного барабана. Из схемы (рис. 1.22) вытекает, что

$$\delta_K = \frac{\pi}{2} - \Psi_g - \Psi$$

Плечо приложения силы P (действительный радиус резания) определяется следующим образом:

$$r_g = r_H \cos(\delta_K - \varphi)$$

или

$$r_g = r_H \cos\left(\frac{\pi}{2} - \Psi_g - \Psi - \varphi\right).$$

Тогда средняя величина крутящего момента за полный оборот фрезерного барабана с z ножами определяется из выражения

$$M_{кр} = zPr_H \cos\left(\frac{\pi}{2} - \Psi_g - \Psi - \varphi\right).$$

Исследования Д.Я. Зангаладзе [26] фрезерных рабочих органов с вертикальной осью вращения показали, что рабочие органы с прямой кромкой резания менее энергоемки, чем с винтовой поверхностью резания (рис. 1.17).

В.Б. Мостовский в своих исследованиях рассмотрел работу тарельчатых ножей и подтвердил, что наименьшей энергоемкостью обладают L -образные наружно-отогнутые ножи (рис. 1.23а) и круглые рыхлительные пальцы (рис. 1.23 в). Однако, первые сильно разбрасывают почву по сторонам, а вторые не полностью уничтожают сорную растительность. Что касается тарельчатых ножей и комбинированных, то они более энергоемки, зато

хорошо уничтожают сорняки и работоспособны на почвах высокой твердости (рис. 1.2 г, д). Разброс почвы тарельчатыми ножами незначителен. Недостатком комбинированных ножей является само выглубление на почвах твердостью выше 2,6 МПа. Наибольшей энергоемкостью обладают *L*-образные внутренне-загнутые ножи. По-видимому, это объясняется тем, что стойка рабочего органа расположена дальше от оси вращения ротора, чем у других видов ножей, что приводит к увеличению момента силы, а значит и крутящему моменту.

Процессом оптимизации кинематических параметров плоскорежущей лапы занимался В.Н. Ожерельев [27], в результате чего удалось снизить энергозатраты на обработку почвы за счет того, что внешняя режущая кромка ножа (рис. 1.23е) имеет форму участка архимедовой спирали, полюс которой расположен на оси вращения ротора, а внутренняя режущая кромка рабочего органа имеет форму участка архимедовой спирали. За один оборот рабочий орган фрезы с вертикальной осью вращения делает петлю в виде трохоиды.

Для качественной обработки почвы и уменьшения энергии на фрезерование необходимо, чтобы рабочий орган фрезы не сминал почву стенки борозды своей боковой поверхностью, а стойка ножа - тыльной стороной.

Изменением угла установки ножа на фрезерном диске на протяжении одного оборота вертикальной фрезы изучалось М.И. Розумом [28], который также установил зависимость ширины стойки ножа от радиуса фрезы и ее кинематического показателя.

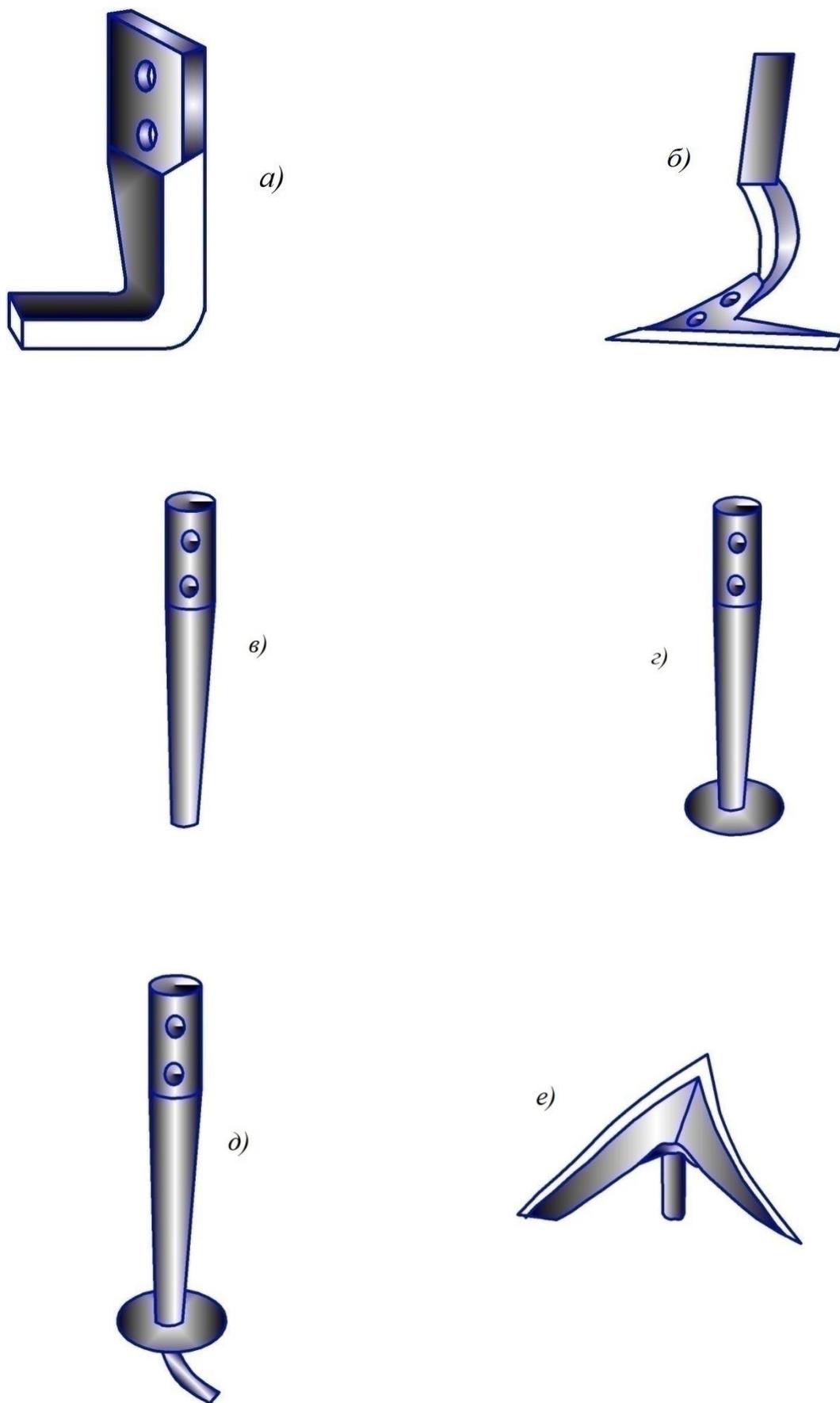


Рисунок 1.23 – Рабочие органы вертикальных фрез

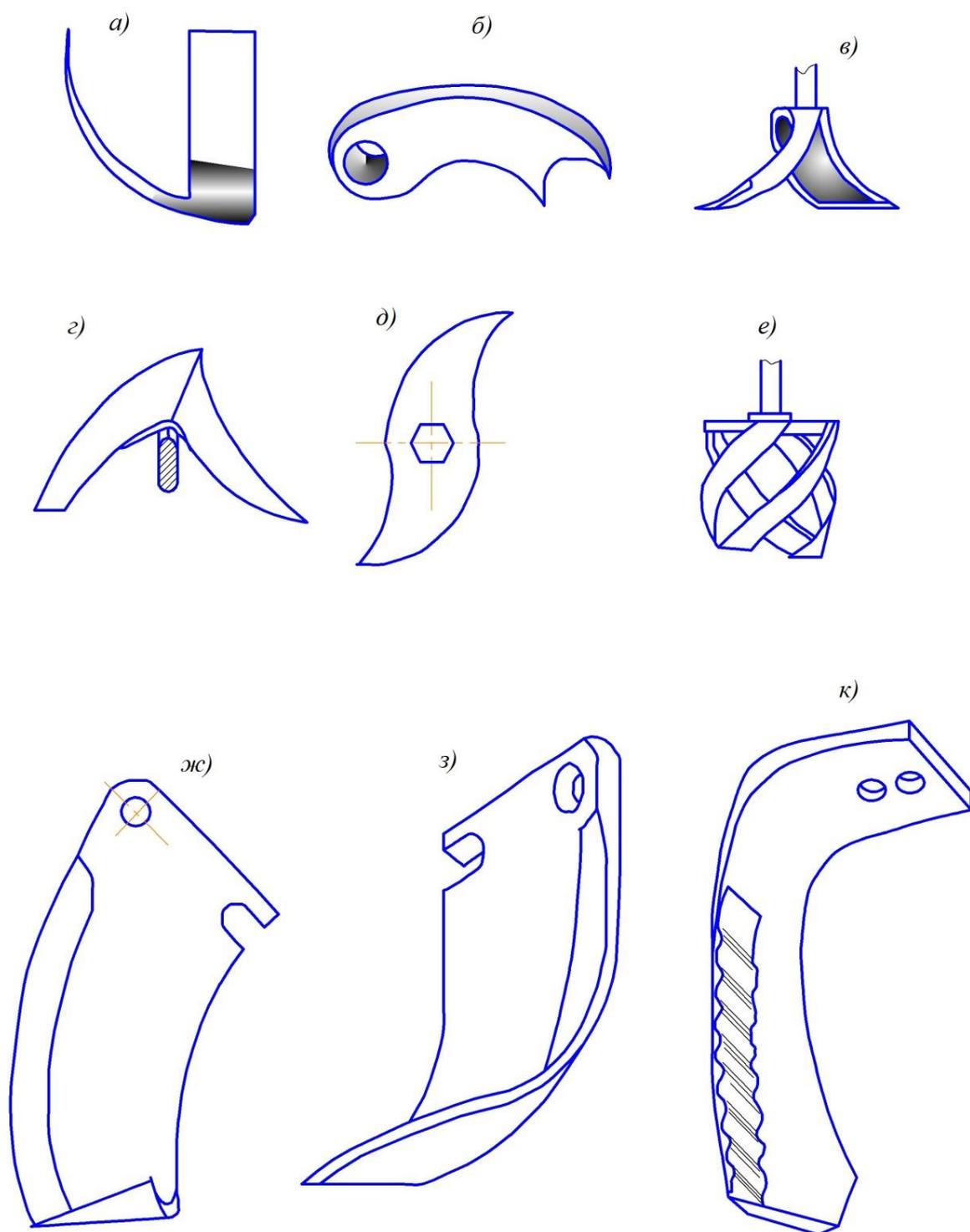


Рисунок 1.24 – Рабочие органы с винтовой режущей кромкой

При междурядной обработке поверхности почвы в основном применяются *L*-образные, *T*-образные и стрелчатые ножи (рис. 1.23 а, б, г, д, е), а для рыхления почвы - круглые пальцы (рис. 1.23 в).

В процессе работа вертикальных фрез, которые одновременно совершают поступательное и вращательное движение, рабочий орган движется по циклоиде, в результате чего происходит частичное наложение следов ножей друг на друга, что приводит к многократному резанию почвы. А это, в свою очередь, вызывает рост затрат энергии на обработку почвы, ее разброс и распыл. Над устранением этих недостатков работали С.В. Чудак [13] и В.Н. Ожерельев [27], которые сконструировали фрезы с вертикальной осью вращения, позволяющие рабочим органам находиться в почве только в передней по ходу агрегата половине описываемого ими круга и затем выводятся на поверхность. Таким образом, кратность воздействия ножей на почву уменьшается, что приводит к уменьшению энергозатрат.

При работе фрезы без выглубления ножей в передней половине описываемого ими круга создаются боковые усилия, направленные в одну сторону, а находящиеся в задней половине окружности - в противоположную. Поэтому за счет разности твердости почвы в передней и задней половинах обрабатываемой окружности появляется сила реакции всех ножей, направленная в одну какую-то сторону. Например, при вращении фрезы по часовой стрелке боковая сила будет направлена влево по ходу движения агрегата. В варианте с выглублением ножей эта результирующая сила имеет еще большее значение, что приводит к нарушению динамической симметрии агрегата.

Многороторные фрезы с вертикальными осями симметрии, вращающиеся попарно в разные стороны, позволяют динамически уравновесить агрегат.

Что касается кинематики рабочих органов вертикальной фрезы, то известно, что для работы без огрехов длина подрезающего лезвия должна быть больше или равна подаче на нож. При таком режиме резания почвы ножи по несколько раз обрабатывают одну и ту же зону, что приводит к нерациональным затратам энергии на фрезерование.

На рис. 1.25 дана кинематика следов 2-х рабочих органов вертикальной фрезы, когда длина рабочего органа b равна подаче H на один нож. Из рисунка видно, что некоторые зоны поверхности почвы обрабатываются от одного

до четырех раз. С увеличением числа ножей на роторе фрезы площадь повторной обработки почвы возрастает [24] и может составлять для $z = 4$, $K_{\pi} = 6$, $\lambda = 4,7$ по данным В.Б. Мостовского 150%, где z - число ножей; $K_{\pi} = \frac{D}{b}$ - коэффициент перекрытия ширины захвата ножа; D - диаметр фрезы по наружным кромкам ножа; b - ширина захвата одного ножа; $\lambda = \frac{V_0}{V_{\pi}}$ - кинематический показатель; V_0 - окружная скорость вращения ротора; V_{π} - поступательная скорость агрегата.

Очевидно, что оптимальной будет кинематика рабочих органов в том случае, если кратность воздействия ножей на почву будет наименьшей наряду с эффективным выполнением технологического процессе. Исследования В.Б. Мостовского [29] дали возможность получить математическую модель, позволяющую определять площадь зон лишнего резания для любых комбинаций некоторых факторов:

$$S_{\pi} = 89,8 - 19,967\lambda + 3,9K_{\pi} - 17,7Z + 1,925\lambda^2 + 0,31K_{\pi}^2 + 1,2Z^2 - 1,03\lambda K_{\pi} + 1,38\lambda Z - 0,633K_{\pi}Z, \quad \% \quad (1.5)$$

$$S_{\lambda} = 29,867\lambda - 10,93K_{\pi} + 21,7Z + 1,8\lambda^2 + 2,3K_{\pi}^2 + 1,2Z^2 - 6,2\lambda K_{\pi} + 11,22\lambda Z - 4,8K_{\pi}Z - 56,3, \quad \% \quad (1.6)$$

где S – площадь необработанных зон.

Для получения математических моделей, отражающих изменение площади необработанных зон и зон лишнего резания в интервалах изменения факторов $2 \leq \lambda \leq 6,6 \leq K_{\pi} \leq 12,2 \leq Z \leq 8$, применялся метод планирования эксперимента с использованием плана Бокса-Бенкина. При этом принималось допущение, что увеличение необработанных зон S_{π} до определенной величины не должно сказаться на качестве обработки почвы и степени уничтожения сорняков. Это допущение способствует и уменьшению кратности воздействия ножей на почву, а значит и уменьшению затрат энергии на фрезерование.

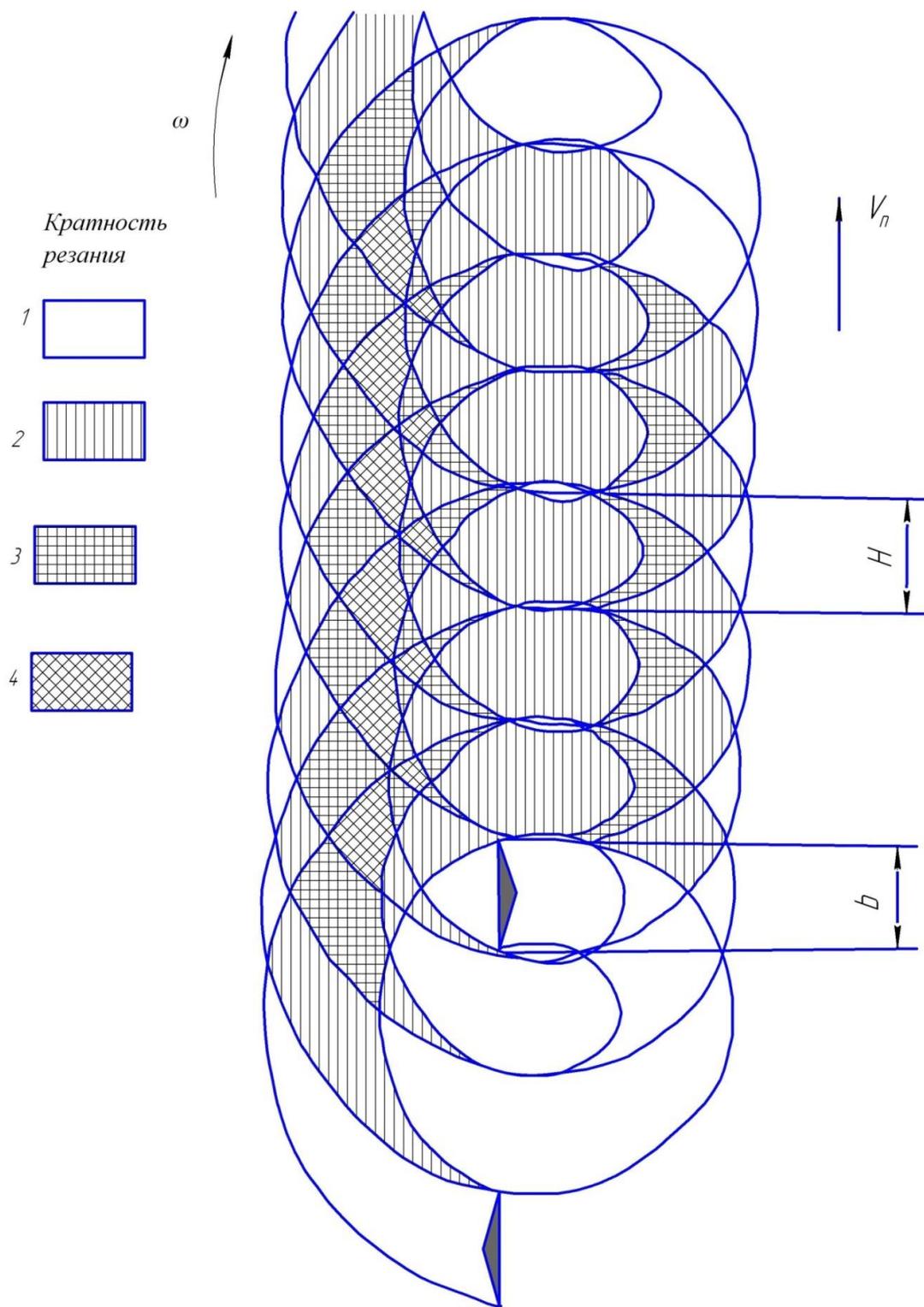


Рисунок 1.25 – Картина следов рабочих органов вертикальной фрезы

При традиционном подходе к выбору кинематических параметров, когда подача на нож принимается равной ширине захвата ножа, произведенный по известным формулам расчет показывает, что, например, при $Z = 4$ и $K_n = 6$ величина кинематического коэффициента должна составлять $\lambda = 4,7$. Согласно

но подсчету по полученным моделям, площадь зон лишнего резания для такой комбинации факторов состава 150%. При предложенном подходе к кинематике, когда учитывается воздействие ножей на почву на всей территории их движения и допускается 10% необработанных зон, для $Z = 4$ и $K_n =$ бвеличина кинематического показателя составит $\lambda = 2,9$, а площадь зон лишнего резания – 75%. А, как известно, уменьшение λ при прочих равных условиях ведет к уменьшению энергоемкости.

В результате исследований, проведенных В. Зоне [30], было установлено, что за счет правильного подбора геометрических параметров рабочих органов вертикальной фрезы (угол крошения, радиус изгиба ножа и др.) можно снизить энергозатраты на фрезерование на 10 – 15%.

Фундаментальными исследованиями А.Д. Далина и В.П. Павлова [21] В.И. Порфирюка [31] и других авторов [32, 33, 9, 34] было установлено, что с точки зрения энергоемкости ротационных машин, главной является величина подачи на нож. Она должна быть возможно большей, поскольку при этом снижается удельная энергоемкость фрезерования. Предельно допустимой подачей на нож является такая, при которой выполняются агротехнические требования на обработку междурядий малины.

Таким образом, анализ проведенных исследований показывает, что несмотря на значительное количество работ, посвященных проблеме ухода за малиной (поверхностная обработка междурядий и прикустовой зоны, а также ограничение ряда высокостебельных культур), выбору рациональных конструкций машин и их рабочих органов, обоснованию оптимальных режимных и геометрических параметров и другим взаимосвязанным задачам (энергоемкость, качественные показатели и др.), предпочтение следует отдать машинам с активными рабочими органами.

1.6 Выводы

Проведенный анализ состояния вопроса по уходу за малиной показал следующее:

1. Пассивные рабочие органы, применяемые для поверхностной обработки междурядий и кустовой зоны малины, а также для уничтожения сорняков, малоэффективны, обладают большим тяговым сопротивлением и не обеспечивают выполнение предъявляемых агротехнических требований.

2. Активные рабочие органы вертикальных фрез, выполненные в виде прямых, *L*-образных, стрельчатых лап, тарельчатых и комбинированных ножей хотя и более эффективны в процессе ухода за малиной, но по всей видимости, не являются оптимальными с точки зрения уменьшения энергоемкости фрезерования почвы.

3. Конструктивное исполнение агрегатов для ухода за высокостебельными растениями не обеспечивают одновременного ограничения ширины ряда малины по всей длине плантации, рыхления почвы и уничтожения сорняков, и в настоящее время практически отсутствуют.

1.7 Цель и задачи исследований

Целью настоящей работы является проведение исследований для создания рабочих органов вертикальной фрезы и обоснование технологии ухода за малиной, обеспечивающих качественное рыхление почвы в междурядьях и прикустовой зоне, уничтожение сорной растительности и ограничение ширины ряда малины у основания.

Исходя из этого, перед настоящим исследованием поставлены следующие задачи:

1. Обосновать технологию по уходу за малиной фрезой с вертикальной осью вращения.

2. Изыскать и исследовать рабочие органы, обеспечивающие высокое

качество обработки почвы в междурядьях и прикустовой зоне малины и обладающие сравнительно небольшой энергоемкостью.

3. Оптимизировать кинематику и динамику ножей фрезы с вертикальной осью вращения.

4. Предложить конструктивную схему машины по уходу за высокостебельными культурами и обосновать ее параметры и режимы работы для получения требуемых качественных и энергетических показателей.

Одной из гипотез эффективного взаимодействия рабочих органов с почвой может являться уменьшение крутящего момента ротора фрезы.

ГЛАВА 2 Конструкции рабочих органов фрез с вертикальной осью вращения

2.1 Исследование рабочих органов фрез с вертикальной осью вращения, обеспечивающих качественную обработку почвы при минимальной энергоемкости

Взаимодействие активных рабочих органов с почвой в процессе обработки поверхностного слоя сложно и зависит от многих факторов. Изучением процесса обработки почвы и раскрытию этих зависимостей посвящены работы В.П. Горячкина [35], М.Х. Пигулевского [36], Г.Н. Синеокова [37], В.А. Желиговского [38], А.Н. Зеленина [39], и других авторов [40, 41, 42, 43].

Основоположник теории сельскохозяйственных машин академик В.П. Горячкин дал глубокий теоретический анализ воздействия двухгранного клина на пласт с учетом деформации почвы и показал, насколько сложна картина перемещения частиц почвы и как возникают различные силы, усложняющие весь процесс ее крошения.

Отечественная и зарубежная наука и многолетний практический опыт показали, что фрезы с активными рабочими органами наряду с уничтожением сорняков обеспечивают высококачественное рыхление почвы [10].

Известно, что на культурных почвах для междурядной обработки применяются в основном, L-образные отогнутые вовнутрь или наружу лезвия, Т-образные и стрелчатые лапы (рис. 2.1). Исследованию этих активных почвообрабатывающих рабочих органов с целью изыскания путей уменьшения энергоемкости и присущих им недостатков посвящены работы многих авторов. В результате наметились следующие пути их преодоления: подбор оптимальных режимных и геометрических параметров рабочих органов, сочетание активных и пассивных рабочих органов, снижение энергоемкости вертикальных фрез за счет уменьшения кратности воздействия ножей на почву, увеличение подачи на нож настолько, чтобы она была больше, чем его ширина захвата до величины, допускаемой агротехническими требованиями.

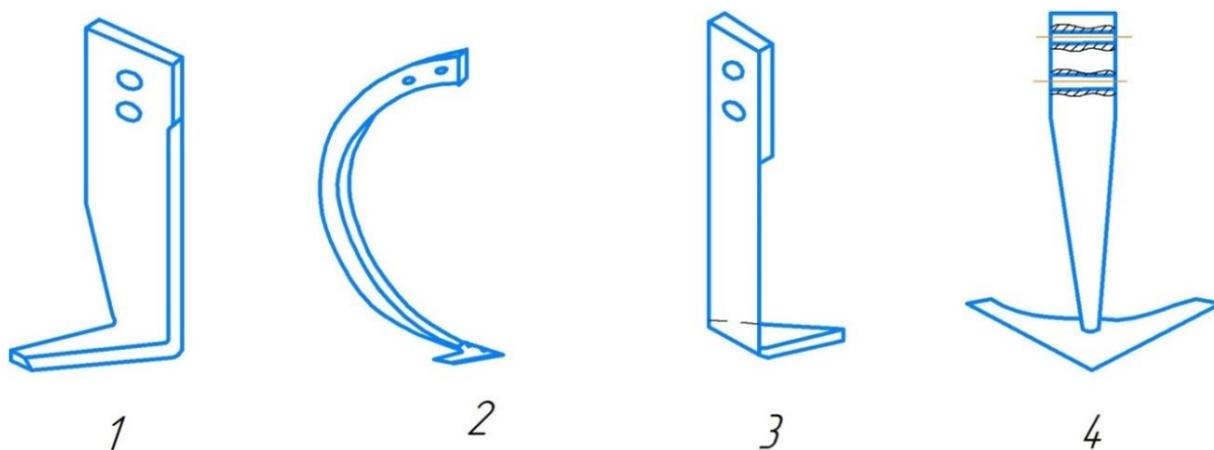


Рисунок 2.1 – Активные рабочие органы фрезы с вертикальной осью вращения:

- 1 – L-образный, наружу отогнутый нож;
- 2 – стрелчатая лапа;
- 3 – L-образный отогнутый вовнутрь;
- 4 – Т-образный.

2.2 Снижение энергоемкости фрезы за счет комбинации активных и пассивных рабочих органов

2.2.1 Снижение энергоемкости фрезы за счет комбинации активных и пассивных рабочих органов

Известно, что машины с пассивными рабочими органами с точки зрения общих затрат энергии предпочтительнее фрез [13]. Однако, практическое использование фрез при определенных условиях показывает, что энергоемкость активных рабочих органов может быть на уровне и даже ниже энергоемкости пассивных рабочих органов, при лучшем качестве обработки [16, 17].

Энергоемкость почвообрабатывающей машины, изображенной на рис. 2.4, меньше по сравнению с фрезой, имеющей только одни активные рабочие органы. Снижение энергоемкости здесь достигается за счет размещения пассивных рабочих органов в шахматном порядке.

Снижение энергоемкости фрезерование почвы машиной, изображенной на рис. 2.5, достигается за счет установки роторов в определенном положении. Величина перекрытия каждого нечетного предыдущего к четному последующему больше, чем величина перекрытия четного предыдущего к нечетному последующему, и, соответственно, равны 0,5 и 0,2 величины радиуса роторов.

Однако, за счет определенной комбинации расположения пассивных и активных рабочих органов фрезы с вертикальными осями вращения и соответствующего перекрытия роторов можно добиться снижения энергоемкости обработки почвы по сравнению с известными фрезами (рис. 2.2).

Такая почвообрабатывающая машина содержит поперечный ряд роторов 2, 3, 4, 5, установленных с взаимным перекрытием и попарно противоположным направлением вращения. В паре роторов 3, 4, вращающихся в зоне перекрытия в направлении, противоположном направлению движения машины, размер зоны перекрытия больше, чем в паре роторов 2, 3, вращаю-

щихся в соответствующей зоне в направлении, совпадающем с направлением движения машины (рис. 2.3).

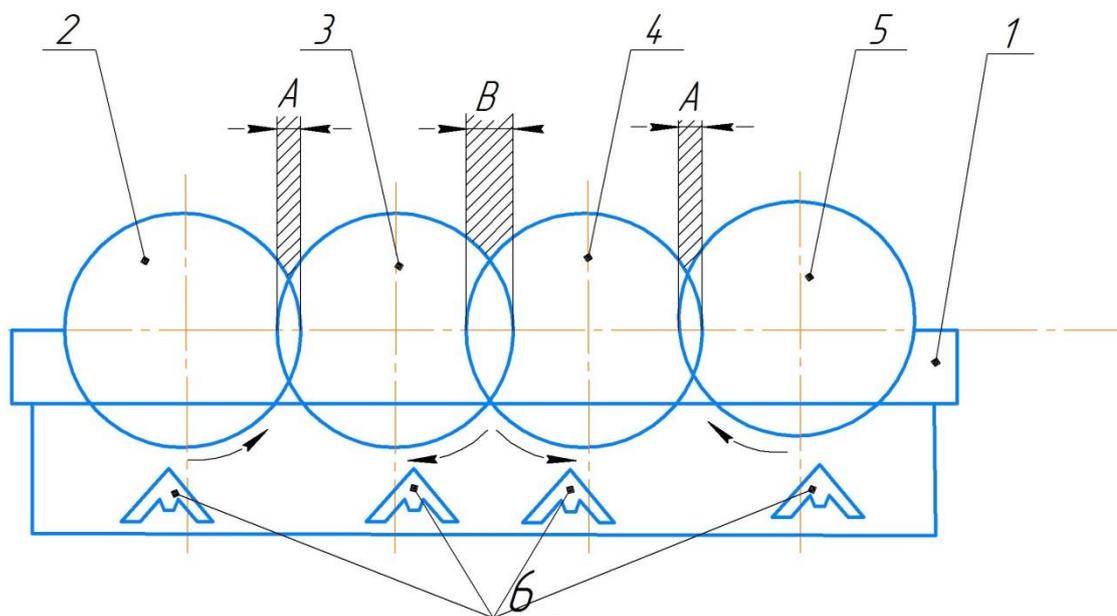


Рисунок 2.2 - Сочетание активных и пассивных рабочих органов

За рядом роторов 2, 3, 4, 5 установлен ряд стрелчатых лап 6, продольные оси которых смещены относительно осей вращения роторов вправо и влево. Ширина S стрелчатой лапы, диаметр D ротора и ширина l ножа ротора находятся в соотношении $S \leq D - 2l$.

На рис. 2.2 показана почвообрабатывающая машина, вид сверху; на рис. 2.3 и 2.4 - процесс обработки почвы.

Почвообрабатывающая машина содержит раму 1, на которой установлены поперечно в ряд к направлению ее движения приводные ножевые роторы 2-5. Каждый из роторов 2-5 выполнен в виде вертикального вала, на нижнем конце которого посредством держателя и стоек закреплены ножи. Роторы 2-5 установлены с возможностью попарно противоположного вращения. Диаметры D всех роторов 2- 5 одинаковы. Ширина рабочего органа - l , который может иметь любую форму и вид. Смежные роторы 2 и 3, 3 и 4, 4 и 5 установлены таким образом, что траектория вращения их ножей 9 перекрывают друг друга. Роторы 2 и 3 в зоне перекрытия A действия их ножей 9 имеют вращение в направлении, совпадающем с направлением движения машины, а роторы 3 и

4 в зоне перекрытия B действия их ножей 9 имеют вращение в направлении, противоположном направлению движения машины.

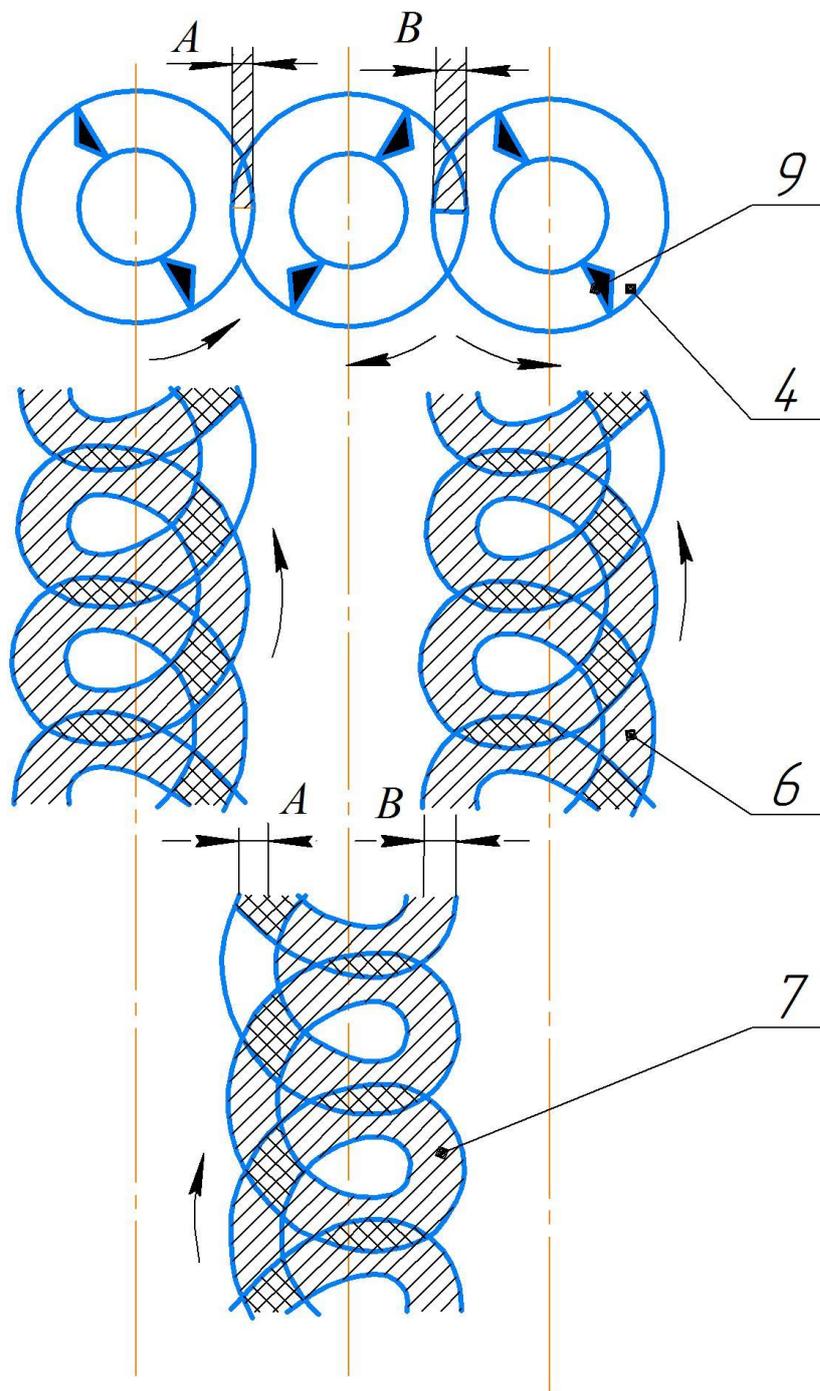


Рисунок 2.3 - Взаимное перекрытие роторов

Размер зоны B больше размера зоны A . Оптимальная ширина зоны A составляет $0,07...0,08$, а зоны B - $0,12...0,13$ радиуса ротора. Позади ряда роторов 2-5 установлен поперечный ряд стрелчатых лап 6, ширина каждой из которых

равна S . Величина диаметра D ротора, ширина l ножа ротора и ширина S стрелчатой лапы связаны соотношением $S \leq D - 2l$. Стрелчатые лапы 6 установлены со смещением своих продольных осей относительно осей вращения впереди расположенных роторов 2-5 на величину $0,13...0,17$ радиуса ротора. Лапа 6, которая установлена за ротором 2, имеющим вращение против часовой стрелки, смещена влево от оси вращения ротора 2 (относительно продольно-вертикальной плоскости). Лапа 6, которая установлена за ротором 3, имеющим вращение по часовой стрелке, смещена влево от указанной оси.

Почвообрабатывающая машина работает следующим образом.

При движении машины вращающиеся роторы 2-5 обрабатывают полосу почвы шириной около четырех диаметров ротора. Необработанные зоны 2 и 3 (рис. 2.4), получающиеся от каждого отдельного ротора, фрезеруются за счет установки роторов с перекрытием. Необработанные участки 4, которые получаются при больших поступательных скоростях агрегата, подрезаются стрелчатыми лапами 1. Основная площадь почвы обрабатывается рабочими органами 2-5, которые описывают в своем сложном движении трохоиды 6 и 7 (рис. 2.3). Остановка роторов 2-5 с описанным перекрытием позволит уменьшить площадь участка многократной обработки почвы в зонах перекрытия при сохранении сплошной обработки.

Снижение энергоемкости обработки почвы за счет такого расположения активных и пассивных рабочих органов подтверждено полученным авторским свидетельством №1604180.

2.2.2 Снижение энергоемкости фрезы с вертикальной осью вращения за счет подбора оптимальных режимных и кинематических параметров рабочих органов

В процессе работы вертикальной фрезы вследствие движения ножей по трохоиде происходит частичное наложение следов рабочих органов друг на друга. В результате наряду с необработанными зонами образуются зоны многократной обработки почвы (рис. 2.5).

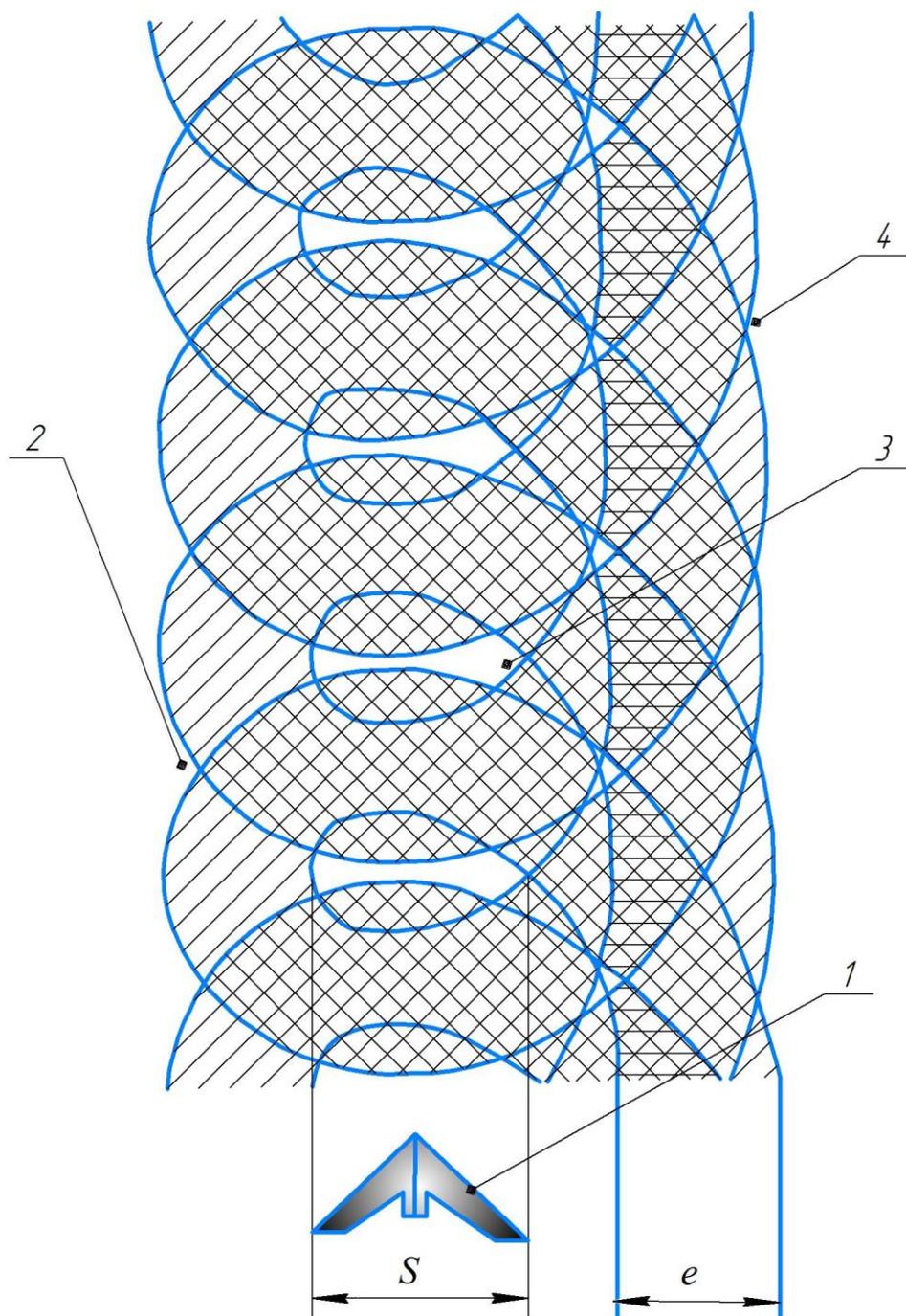


Рисунок 2.4 – Расположение пассивного рабочего органа по отношению к следу обработки почвы активным рабочим органом

Исследования Б.Б. Ростовского показывают, что при междурядной обработке сада площадь необработанных зон для ножей, имеющих форму стрелчатых лап, не должна превышать 10% [44].

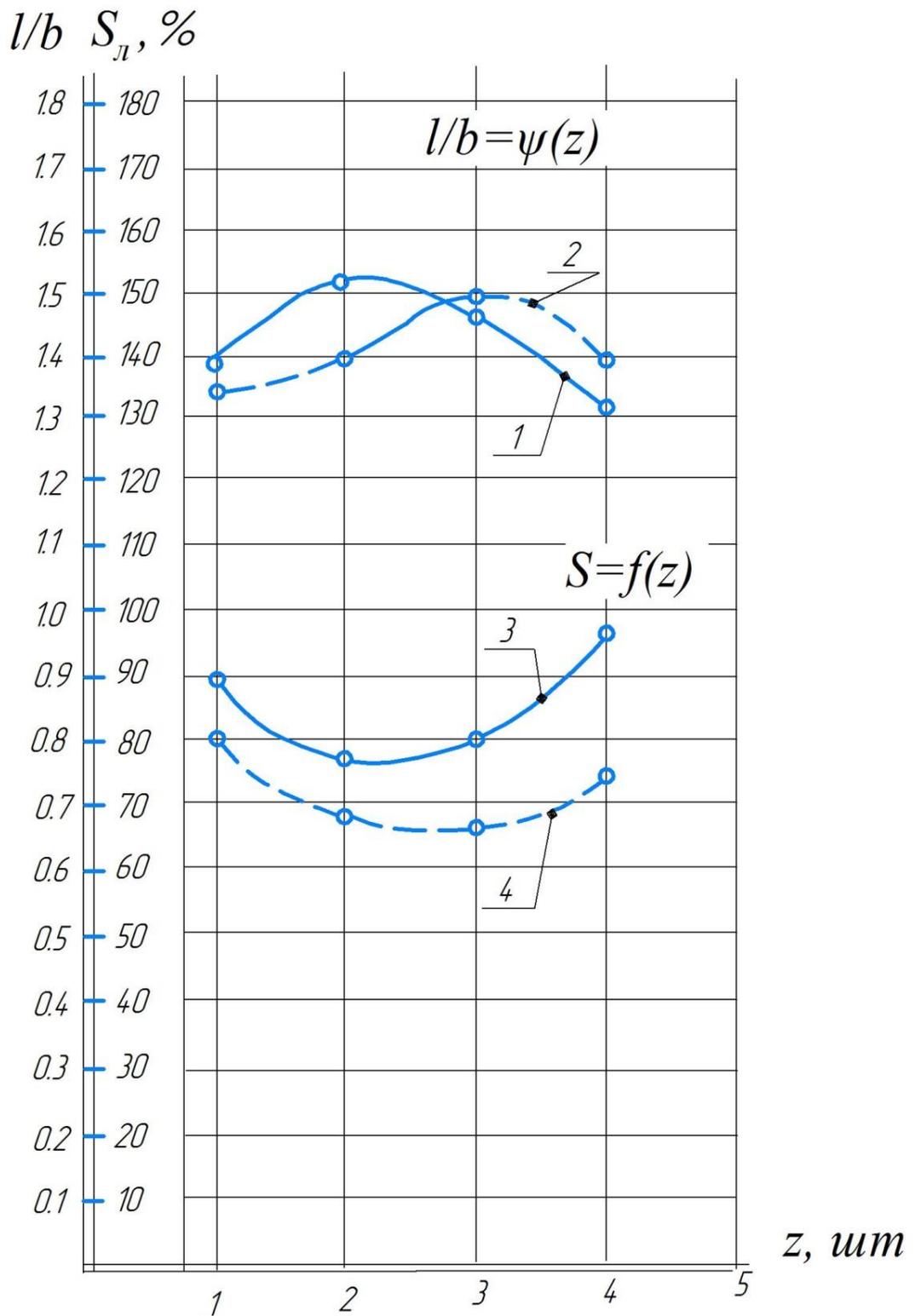


Рисунок 2.5 – Удельная подача на нож $\left(\frac{l}{b}\right)$ и площадь зон многократной обработки ($S_{\text{мнн.}}$) в зависимости от числа ножей z и отношения диаметра ротора к ширине захвата K_n :

$$1 - \left(\frac{l}{b}\right) = \Psi(Z) \text{ при } K_n = 5; 2 - \left(\frac{l}{b}\right) = \Psi(Z) \text{ при } K_n = 4;$$

$$3 - S_{\text{лиш.}} = f(Z) \text{ при } K_n = 5; 4 - S_{\text{лиш.}} = f(Z) \text{ при } K_n = 4.$$

При традиционном подходе к выбору кинематических параметров, когда подача на нож принимается равной ширине захвата ножа, произведенный по известным формулам расчет показывает, что, например, при $Z = 4$ и $K_n = 6$ величина кинематического коэффициента должна составить $\lambda = 4,7$.

Формулы математики позволяют определить площадь необработанных зон и зон лишнего резания для любых комбинаций указанных факторов: количества ножей Z ; коэффициента перекрытия ширины захвата ножа $K_n = \frac{D}{b}$; кинематического показателя $\lambda = \frac{V_0}{V_n}$; подачи фрезы на один нож l см длиной режущей кромки, равной l (D – диаметр фрезы по наружным кромкам ножа, V_0 – окружная скорость ножей, V_n – поступательная скорость фрезы, b – ширина захвата одного ножа).

Для практического применения этих моделей необходимо экспериментально обосновать допустимые с точки зрения качества выполняемого процесса площади необработанных зон при использовании разных типов ножей. Обработывая прикустовую зону ряда малины, можно допустить ширину необработанного участка до 2 см. В противном случае на необработанных «огрехах» будут оставаться не срезанные ножами побеги малины, что приведет в конечном итоге к ухудшению качества работы улавливающего устройства малиноуборочного комбайна, а также останутся неподрезанными часть сорняков.

Для оптимизации картины следов рабочих органов вертикальной фрезы был использован метод последовательного построения кинематических диаграмм, сущность которого заключается в следующем: при заданных $K_n = 4$ и $K_n = 5$ ($D = 0,4$ м и $b_1 = 0,08$ м, $b_2 = 0,1$ м) [45] подача на каждый нож равномерно увеличивалась от b до $2b$ через каждые 0,5 см для числа ножей от $Z = 1$ до $Z = 4$. Характер изменения величины подачи на нож и площади зон повтор-

ного резания в зависимости от кинематических параметров K_n , Z , l , λ при 5%-ной величине площади необработанных участков приведены в таблице 2.1.

Для выполнения агротехнических требований по срезанию побегов, находящихся вне ширины ряда, зона необработанных участков должна составлять не более 5%, так как ширина такой зоны не больше 2 см.

Таблица 2.1 – Соотношение между кинематическими параметрами и площадью повторной обработки

K_n	Z	t	λ	$\frac{t}{B}$	$S_n\%$
4	1	13,5	7,4	1,35	77
4	2	14	3,6	1,40	69
4	3	15	2,2	1,50	66
4	4	14	1,8	1,40	74
5	1	11	9,0	1,37	89
5	2	12	4,2	1,50	73
5	3	11,5	2,9	1,44	80
5	4	10,5	2,4	1,31	96

Площадь зон резания S_n и площадь необработанных зон, представляющих собой криволинейные трапеции, подсчитывались двумя способами: 1) с помощью интегрального исчисления; 2) суммировались площади квадратиков миллиметровой сетки, которая налагалась на криволинейную трапецию. Относительная погрешность в подсчетах обоими способами составляла 0,01.

Графическая интерпретация данных, приведенных в таблице 2.1, показала, что оптимальное количество ножей при $K_n=4$ - три, а при $K_n=5$ - два. Указанные параметры обеспечивают минимальную величину зон многократной обработки (соответственно 66 и 72%) при допустимой величине необработанных зон(5%). При всех других значениях Z площадь повторной обработки возрастает (рис. 2.5), а это, в свою очередь, вызывает рост затрат энер-

гии на фрезерование и увеличение распыла почвы. Из рисунка 2.5 видно, что при оптимальных значениях параметра Z подача на каждый нож максимальна и составляет 1,5 ширины захвата ножа. Это ведет к уменьшению кинематического показателя λ . А, как известно, уменьшение λ при прочих равных условиях ведет, в свою очередь, к уменьшению энергоемкости [45].

Характерно в картине движения вертикально-ротационных рабочих органов наличие необработанных участков переменной ширины по краям обрабатываемой полосы. Из рисунка 2.6 видно, что необработанные зоны слева 2 и справа 4 неодинаковы по площади. Справа они больше, чем слева. Сравнение кинематических диаграмм позволило выявить характерную закономерность увеличения площадей этих зон и различия между ними с уменьшением λ . Обработка этих зон обеспечивается перекрытием между роторами, величина которого зависит от выбора направления их вращения.

Необработанные участки 3, которые появляются внутри петли трохойды, не должны оказывать существенного влияния на качество измельчения почвы и степень уничтожения сорняков при междурядной обработке.

Итак, согласно рис. 2.5, в результате оптимизации перечисленных выше кинематических параметров, подача на нож должна составлять 1,5 ширины захвата ножа при 5%-ной величине площади необработанных участков. Это приводит к уменьшению кратности обработки почвы с 150% при традиционном способе до 70% при предложенном способе обработки прикустовой зоны малины с выполнением агротехнического требования по срезанию побегов, находящихся вне заданной ширины ряда малины.

Таким образом, уменьшение кратности воздействия рабочих органов вертикальной фрезы [26, 46] на почву приводит к снижению распыления, дробления, разброса, а значит и уменьшению затрат энергии на выполнение технологического процесса.

И все же применение фрез для обработки почвы, по мнению многих авторов [8, 48] сдерживается сравнительно малой производительностью и высокой энергоемкостью. Решению этих проблем посвящены работы многих авторов

[35, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 48, 49, 50, 51, 52], которые показали, что определяющим с точки зрения энергоемкости ротационных машин является величина подачи на нож. Она должна быть, возможно, большей, поскольку при этом снижается удельная энергоемкость фрезерования. Предельно допустимой подачей на нож является такая, при которой все еще обеспечивается рыхление с допускаемыми агротребованиями количеством крупных фракций почвы.

Традиционный подход к кинематике рабочих органов фрезы с вертикальной осью вращения основан на утверждении, что ширина захвата ножа должна быть больше или равна подаче на нож, чтобы не иметь необработанных участков. Такой подход не учитывает воздействие ножей на почву при прохождении задней половины описываемой ими окружности (рис. 2.4), что приводит к возрастанию кратности обработки почвы. Площадь зон лишнего резания почвы составляет 150% [45]. А это вызывает рост затрат энергии на фрезерование и увеличение распыла или разброса почвы по сторонам обрабатываемой полосы.

Одним из путей снижения энергозатрат на обработку почвы вертикально-фрезерными почвообрабатывающими машинами является уменьшение объема почвы, подвергаемого многократному воздействию рабочих органов [44]. Этого можно добиться, в частности, выглублением ножей в задней половине окружности, описываемой ими в относительном движении [53].

В настоящее время известно несколько технических решений, обеспечивающих выполнение данного условия [54, 55, 56, 57]. Однако в этом случае за счет большой разности твердости почвы в передней и задней половинах обрабатываемой окружности, появляется сила реакции всех ножей, направленная в одну какую-то сторону, что приводит к нарушению динамической симметрии агрегата.

Анализ исследования процесса движения рабочих органов без их выглубления позволил установить, что существует прием установки ножей на роторе вертикальной фрезы, с помощью которого можно уменьшить кратность действия рабочих органов на почву. При известном подходе к кинема-

тике рабочего органа вертикальной фрезы видно, что движение режущих кромок ножей происходит по циклоидам (рис. 2.6 а). Крайне удаленная точка от оси вращения ротора описывает циклоиду ade , а ближняя – циклоиду vcf .

В результате поворота ротора на угол 360° рабочим органом описывается трохоида $adefcv$ (на чертеже заштрихована), ограниченная циклоидами ade и vcf симметричная относительно прямой cd . Части $adcv$ и $cdef$ трохоиды $adefcv$ равны по площади. Значит рабочий орган в передней и задней половине своего движения за один оборот обрабатывает равные по площади участки земли. В результате одновременной работы всех ножей происходит частичное наложение следов ножей друг на друга, что приводит к образованию зон многократного резания (рис. 2.7). По выше проведенным исследованиям автора площадь зон лишнего резания для такой установки ножей может составлять приблизительно 150%.

Если рабочий орган 1 (рис. 2.6 б) повернуть на угол $\beta < 90^\circ$ к направлению движения вертикальной фрезы (на рис. 2.6 а угол $\beta=90^\circ$), то результатом движения ножа является след трохоиды $ad'efc'v'$ не имеющей оси симметрии. В передней половине своего движения получается часть площади $ad'c'v'$ трохоиды, а в задней – площадь $ad'ef'$. При такой установке рабочего органа в передней и задней половине своего движения за один оборот ротора обрабатываются разные по площади участки земли. Площадь участка $ad'c'v'$ трохоиды $ad'efc'v'$ больше площади участка $c'd'ef'$. Значит, предложенный прием установки ножей на роторе позволяет уменьшить кратность действия рабочих органов на почву, не выглубляя последних на поверхность в задней половине своего движения. Результатом работы всех ножей одного ротора служит картина наложения следов ножей друг на друга, представленная на рис. 2.7.

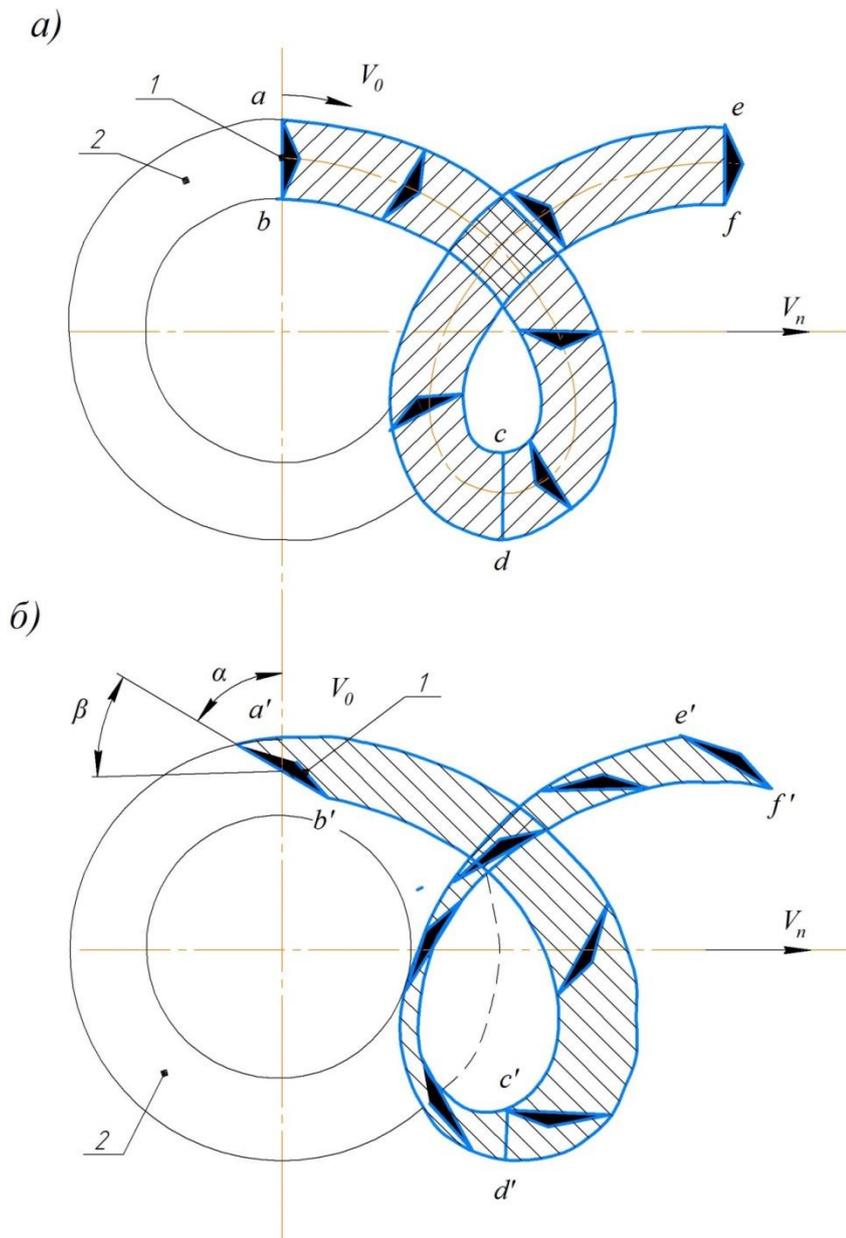


Рисунок 2.6 – Следы рабочего органа в зависимости от угла установки ножа: а) угол установки ножа $\beta = 90^\circ$; б) угол установки ножа $\beta < 90^\circ$

Возникает вопрос, изменяется ли кратность обработки поверхности почвы от угла установки рабочих органов к направлению движения? Из рисунка 2.6 видно, как меняется площадь трохоиды от угла установки ножа за один оборот ротора в передней и задней половинах своего движения при одинаковой подаче на нож и одном и том же кинематическом показателе

$\lambda = \frac{V_0}{V_n}$. На рисунке 2.8 заштрихованная часть трохойды показывает след рабочего органа в передней половине своего движения, а не заштрихованная - в задней половине своего движения. Наиболее оптимальное сочетание площадей передней и задней частей трохойды будет в том случае, когда их отношение площадей будет наибольшим, т.е.

$$\frac{S_n}{S_3} = \max ,$$

где S_n – площадь передней половины трохойды;

S_3 – площадь задней половины трохойды.

Характер изменения площадей заштрихованных (передних) и не заштрихованных (задних) частей трохойды от угла установки ножа приведены в таблице 2.2, из которой видно, что наибольшая площадь передней части трохойды получается при угле $\beta = 60^0$. Однако, наибольшее отношение площадей $\frac{S_n}{S_3} = 6,83$ (рис. 2.9) получается при установке ножа, когда $\beta=0^0$.

Указанные параметры, из-за большой сложности наложения следов рабочих органов друг на друга, не могут служить оценкой минимальной величины зон многократной обработки почвы.

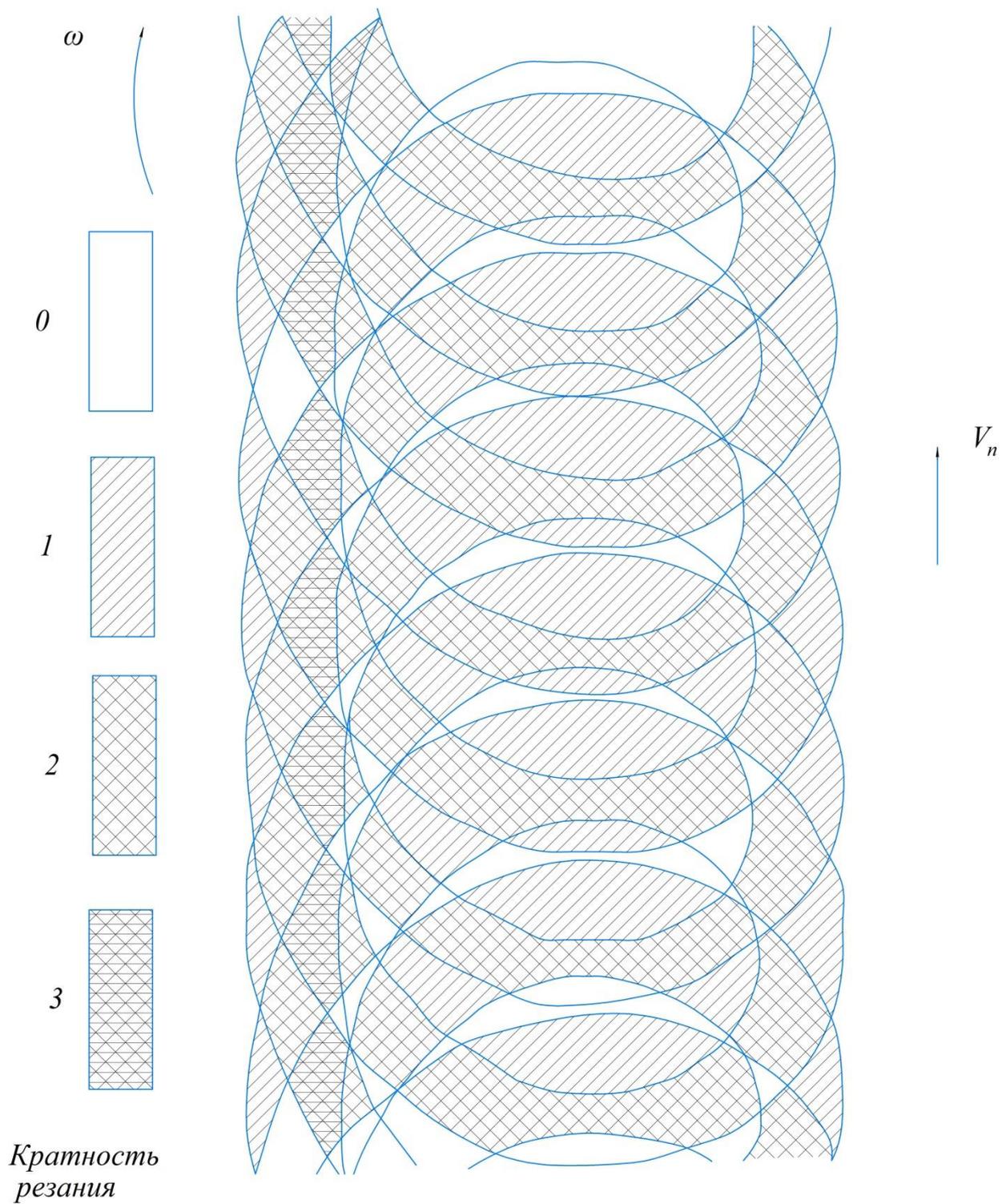


Рисунок 2.7 – Картина наложения следов рабочих органов при угле установке ножей на роторе

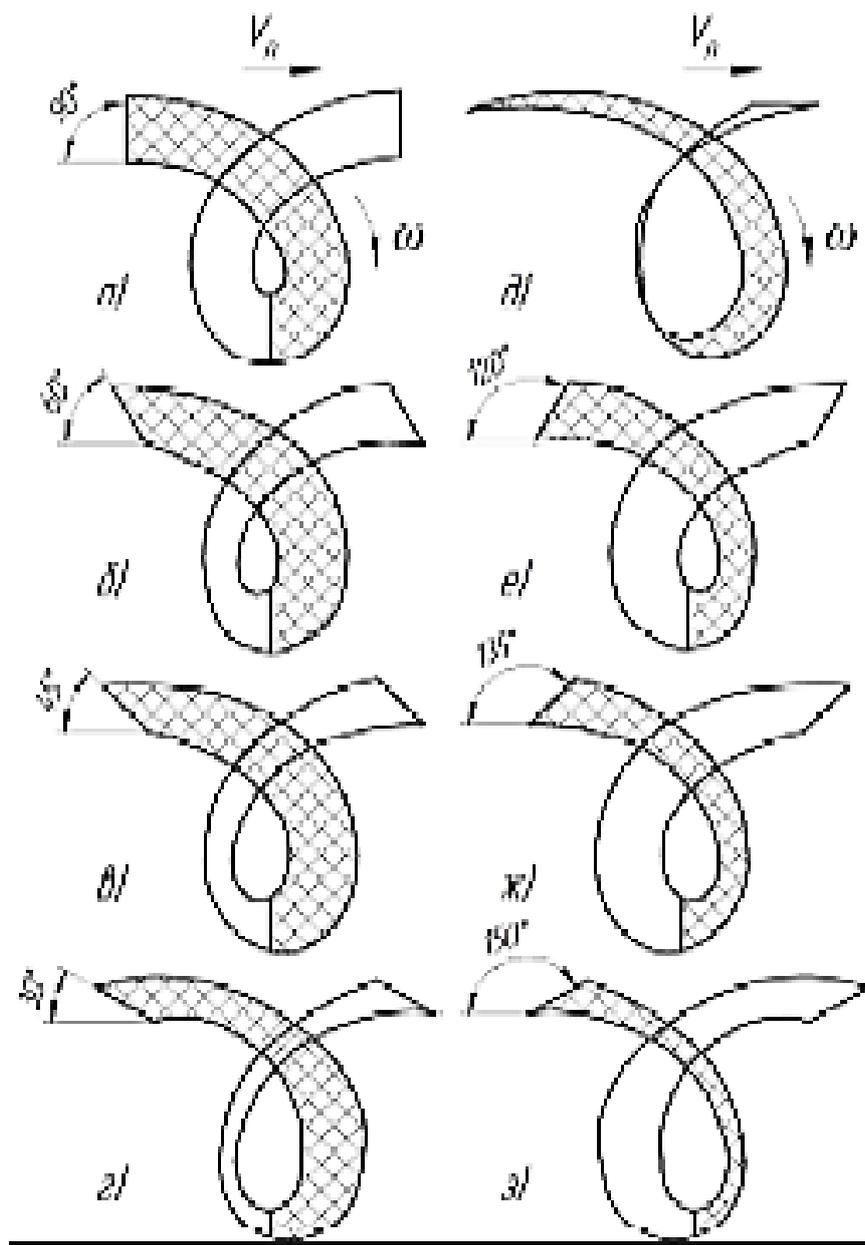


Рисунок 2.8 – Зависимость площади трохоиды в передней и задней половинах своего движения от угла установки рабочего органа

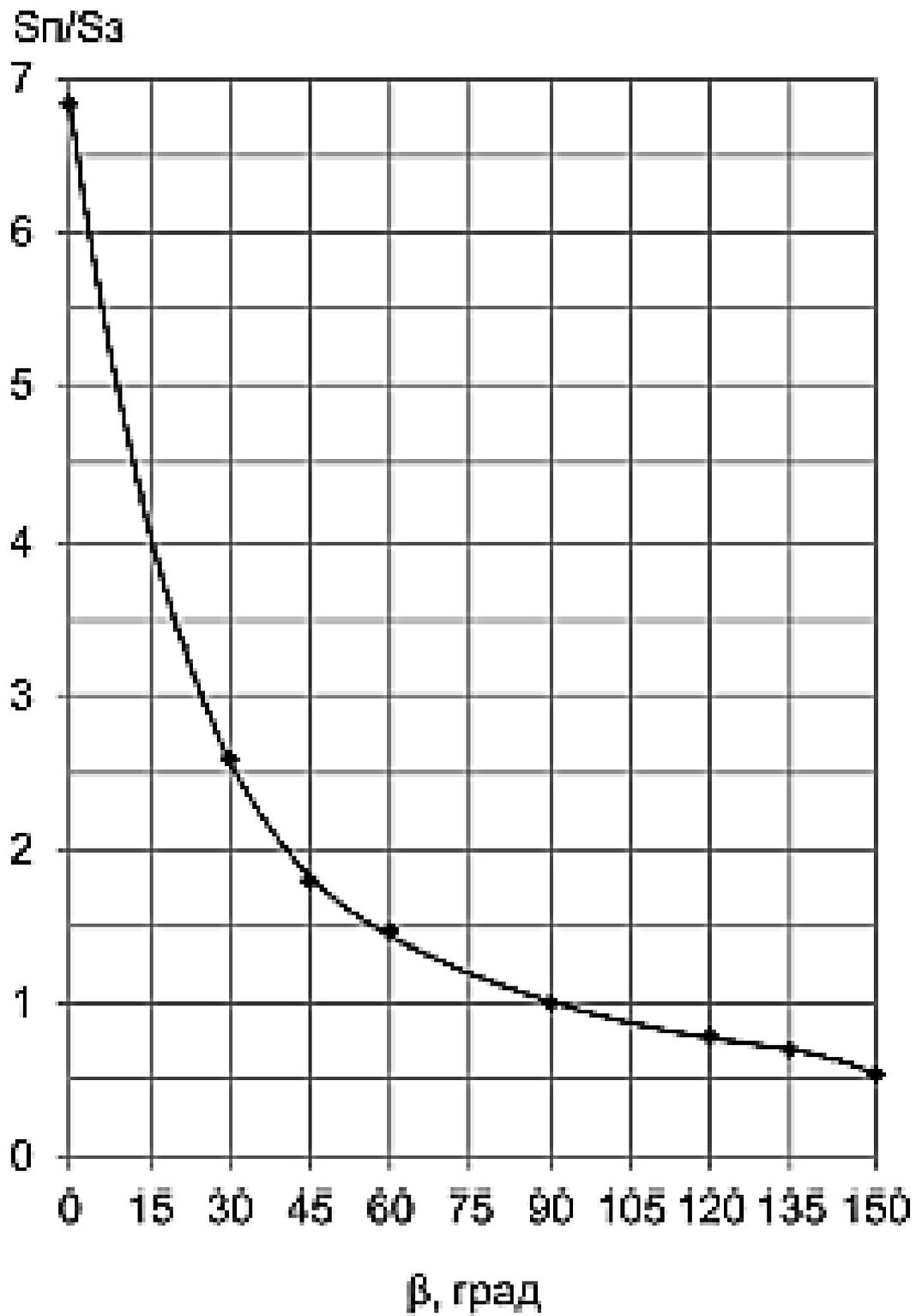


Рисунок 2.9 – Удельное отношение площадей частей трохойды ($\frac{S_n}{S_3}$) в зависимости от угла установки ножей на роторе

Таблица 2.2 – Соотношение между углом установки ножа и площадями частей трохойды

№ пп	β (град)	S_n (ед ²)	S_z (ед ²)	$\frac{S_n}{S_z}$
1	150	61	116	0,53
2	135	85	123	0,69
3	120	111	143	0,78
4	90	150	150	1
5	60	164	112	1,46
6	45	160	89	1,80
7	30	114	44	2,59
8	0	82	12	6,83

К тому же практически получить трохойду, изображенную на рисунке 2.8, нельзя из-за конструктивных особенностей рабочих органов. Поскольку любой рабочий орган имеет помимо ширины w еще и длину L (рис. 2.10), то любая трохойда в задней половине должна иметь ширину не менее длины рабочего органа (рис. 2.11). Вероятно, что рабочие органа с наименьшей длиной (при одинаковой ширине захвата) предпочтительнее с точки зрения снижения площади зон многократного резания для обработки вертикальными фрезами.

Известно, что величина зон многократного резания зависит от следующих параметров: Z , K_n , λ , l . Процесс оптимизации этих параметров был исследован выше (рис. 2.5).

Величина угла β установки рабочего органа на роторе вертикальной фрезы также влияет на величину необработанных зон и зон лишнего резания. Для окончательной оптимизации величины угла β был использован уже описанный ранее метод последовательного построения кинематических диаграмм с такими же параметрами. Только в этом случае подача на нож не увеличивалась, а оставалась постоянной при разных углах β .

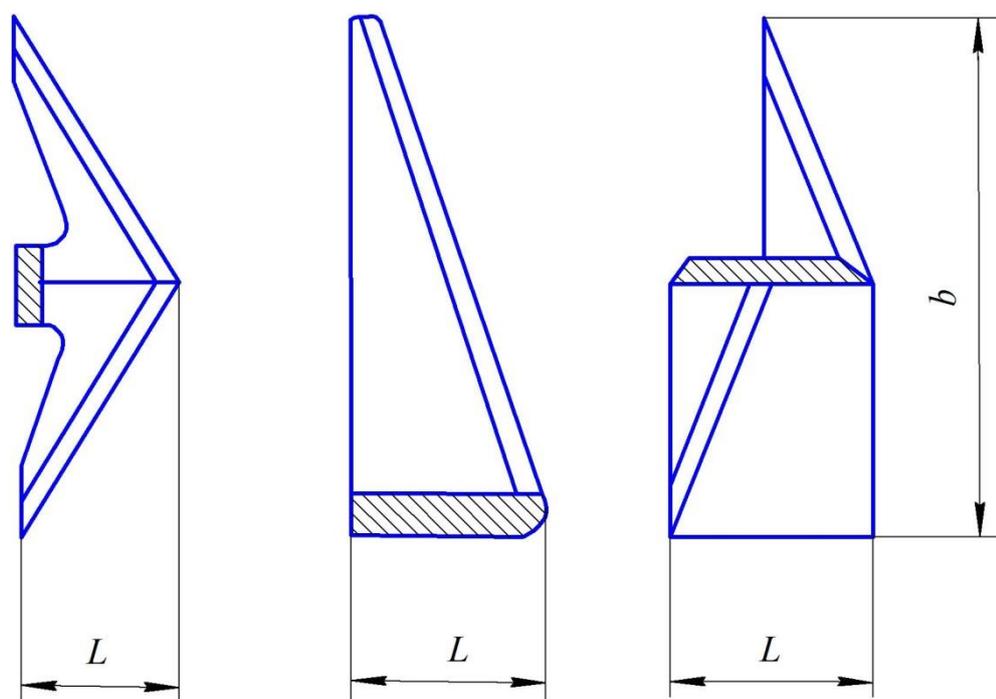


Рисунок 2.10 – Ширина b и длина L различных видов рабочих органов

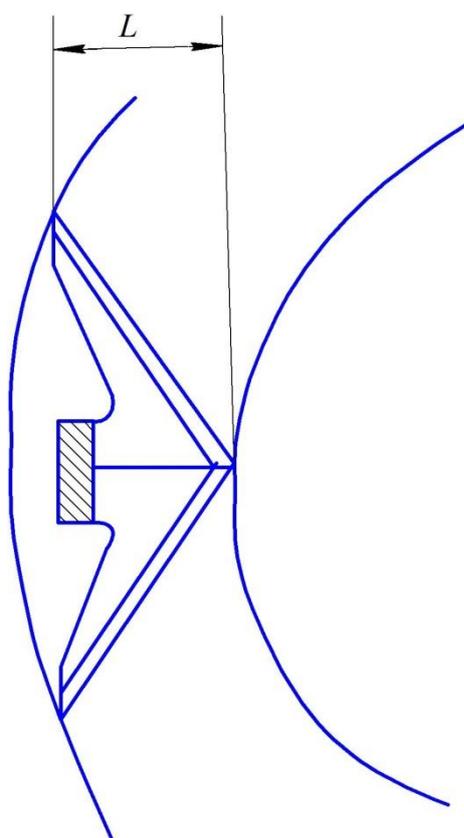


Рисунок 2.11 – Соотношение длины L рабочего органа с шириной тро-
хоиды в задней половине своего движения

Характер изменения площадей зон лишнего резания и необработанных зон в зависимости от величины угла установки ножа и числа ножей приведены в таблице 2.3.

Из рисунков 2.12 и 1.13 видно, что с увеличением угла β площадь зон многократной обработки почвы уменьшается, а площадь необработанных зон увеличивается.

Для оптимизации угла β была применена та же методика, что и для определения подачи на нож. Для числа ножей $Z = 2; 3; 4$ оптимальный угол β будет неодинаковым. Учитывая ширину трохойды в задней половине своего движения (рис. 2.11) и допустимую площадь необработанной зоны 5% для обработки прикустовой зоны малины, можно определить оптимальные углы β установки ножей на роторе с разным количеством последних. Для $Z = 2$ угол $\beta = 60^\circ$ и площадь зон лишнего резания составляет в этом случае $S_{\text{л}} = 61\%$. Для $Z = 3$ угол $\beta = 65^\circ$, $S_{\text{л}} = 63\%$. При $Z = 4$ угол $\beta = 70^\circ$, $S_{\text{л}} = 65\%$ (рис. 2.12).

В случае, когда площадь частей трохойды в передней и задней половинах своего движения были одинаковы (рис. 2.8, табл. 2.2), площадь зон лишнего резания соответственно составляла 69%, 66%, 74%. Итак видно, что за счет изменения величины установки угла рабочих органов можно добиться снижения кратности повторной обработки почвы, а значит и уменьшения энергозатрат.

На роторах вертикальной фрезы с числом ножей, равным 2, 3, и 4, должны устанавливаться рабочие органы под соответствующим углом к направлению движения (рис. 2.14).

Таблица 2.3 – Соотношение между углом установки ножа, числом ножей и площадями резания

Z = 2																			
β^0	0	5	10	15	10	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
$S_{\text{И}} \%$	150	132	115	102	93	88	79	76	74	69	67	64	61	59	57	56	54	53	52
$S_{\text{Н}} \%$	0	0,3	0,7	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,3	3,0	3,2	3,6	4,0	4,8	6,0	8,0	11,3	16,0	25,0
Z = 3																			
β^0	0	5	10	15	10	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
$S_{\text{И}} \%$	150	138	125	117	106	98	91	85	81	77	73	71	67	64	62	58	57	56	54
$S_{\text{Н}} \%$	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,4	2,0	2,7	3,4	4,3	5,7	7,8	10,8	14,7	20,0
Z = 4																			
β^0	0	5	10	15	10	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
$S_{\text{И}} \%$	150	142	133	125	115	108	102	93	88	83	80	76	72	68	65	62	61	58	57
$S_{\text{Н}} \%$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,9	2,7	3,4	4,3	6,2	8,8	12,0	16,0

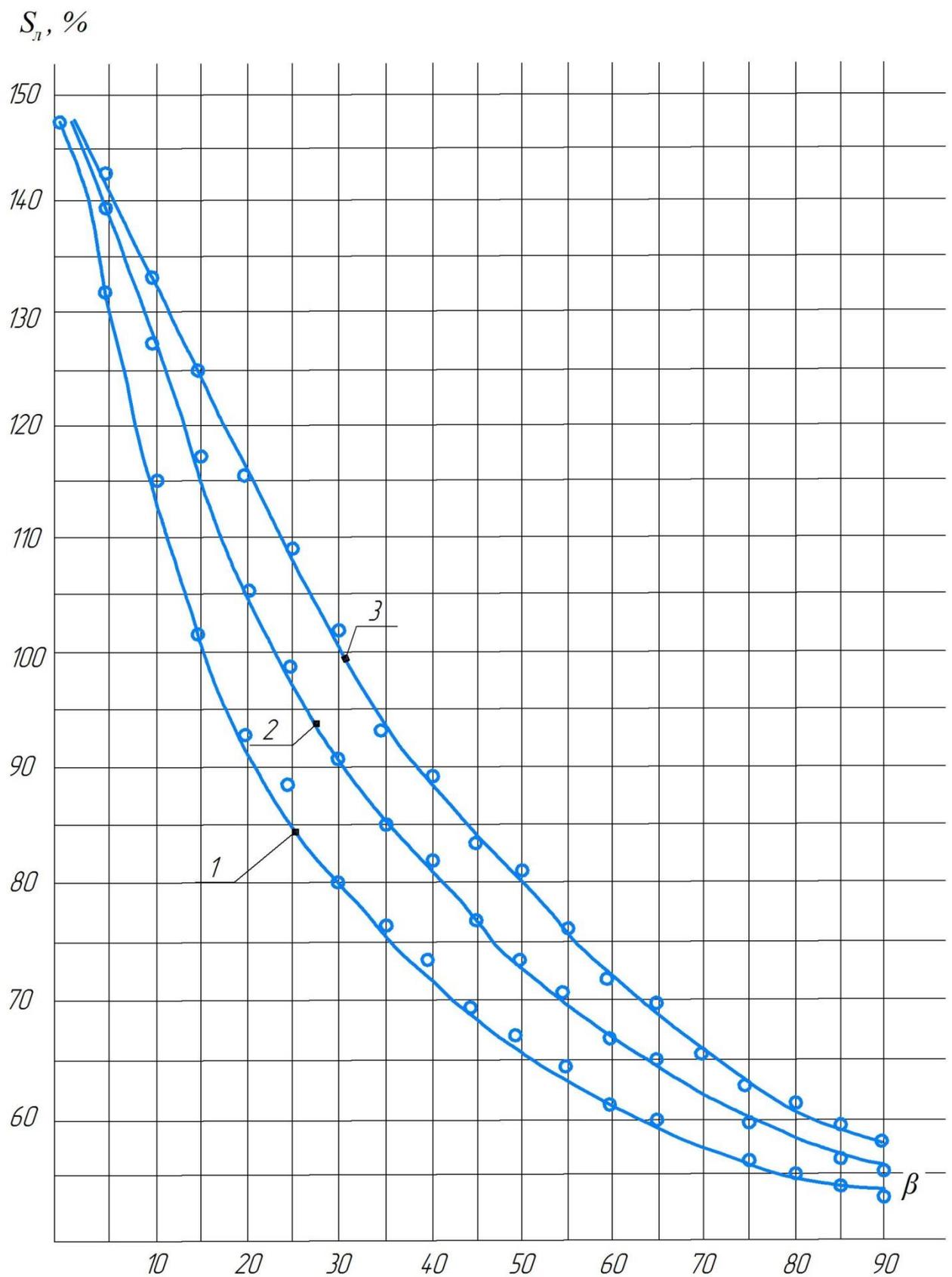


Рисунок 2.12 – Влияние величины установки угла β рабочего органа на величину зон лишнего резания при $l = \text{const}$; 1) $Z = 2$; 2) $Z = 3$; 3) $Z = 4$

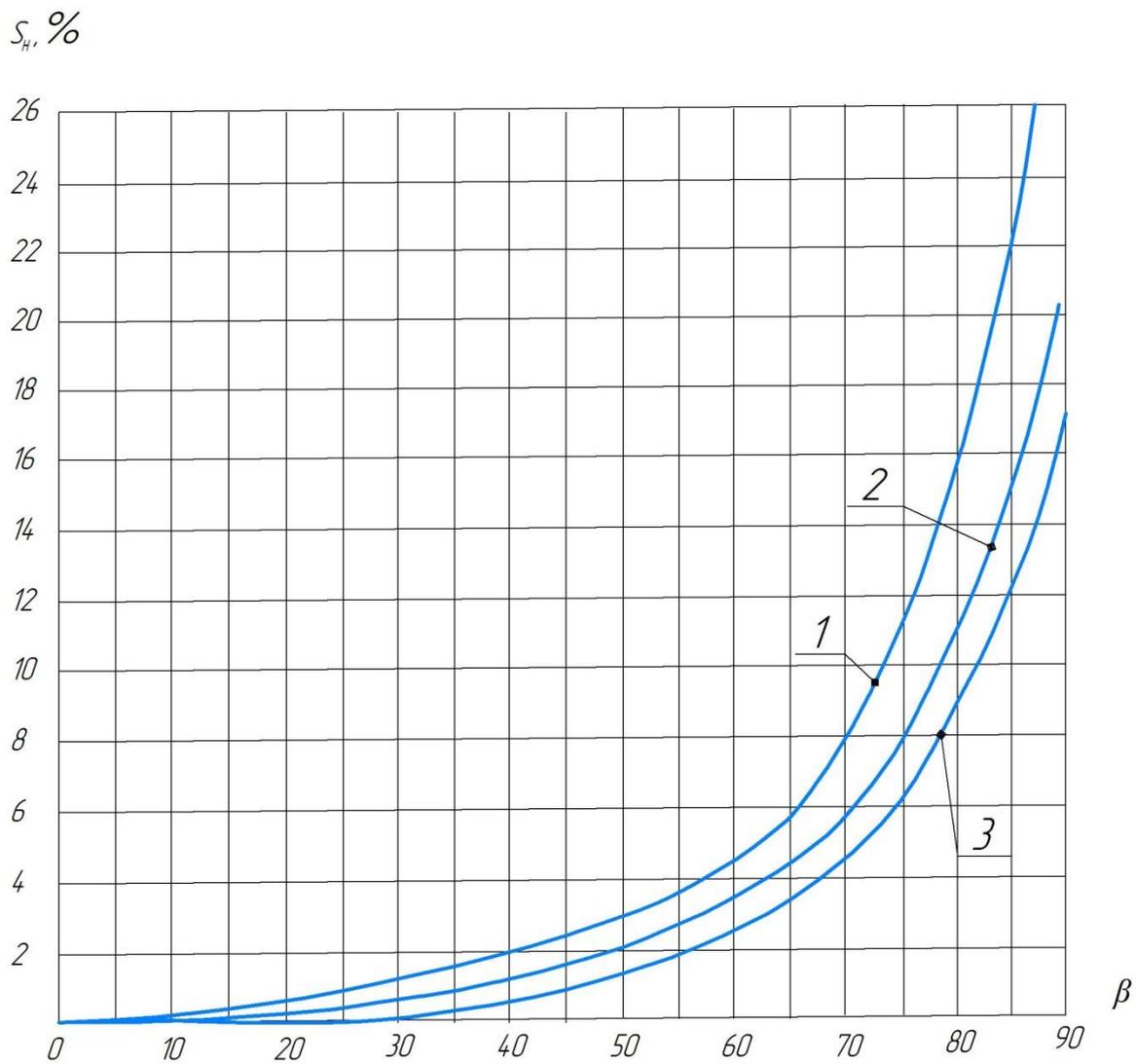


Рисунок 2.13 - Влияние величины установки угла β рабочего органа на площадь необработанных зон при $l = \text{const}$; 1) $Z = 2$; 2) $Z = 3$; 3) $Z = 4$.

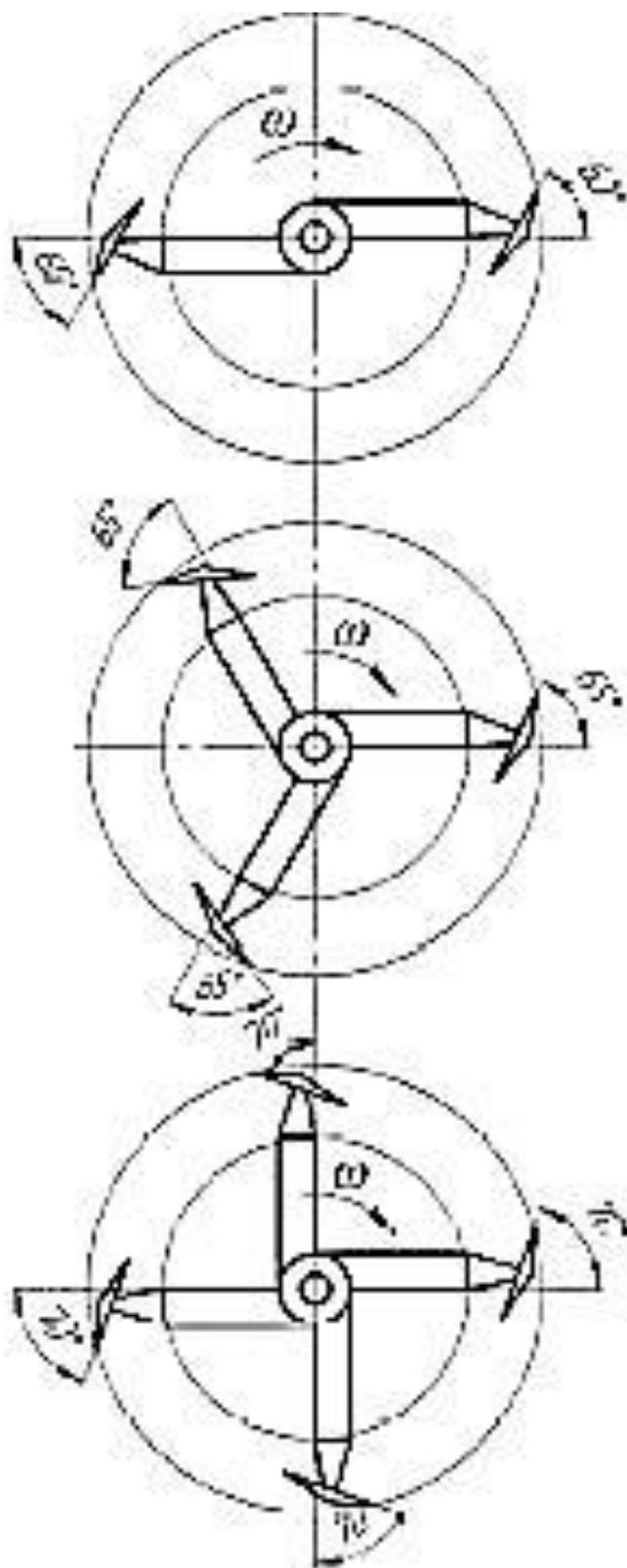


Рисунок 2.14 – Зависимости между числом ножей Z и величиной установки угла β : а) $Z = 2$; б) $Z = 3$; в) $Z = 4$.

2.2.3 Выбор и обоснование динамики взаимодействия рабочего органа с почвой с целью снижения крутящего момента

При определенных условиях энергоемкость активных рабочих органов может быть на уровне и даже ниже энергоемкости пассивных рабочих органов, при лучшем качестве обработки [58]. Вместе с тем, относительная высокая энергоемкость [59, 60, 61] вертикально-ротационных рабочих органов (15 – 20 кВт на метр ширины захвата) побуждает ученых искать пути ее уменьшения.

Существенное влияние на энергоемкость фрезы оказывает форма ее ножей. Одни авторы [44] считают, что наименьшую энергоемкость имеют *L*-образные, наружу отогнутые ножи. Другие утверждают, что наименьшей энергоемкостью обладают ножи с горизонтальными лезвиями, выполненными по логарифмической спирали [62, 63, 64, 65]. Таким образом, оптимальная форма как подрезающего лезвия, так и его режущей кромки не установлена, хотя этому вопросу посвящен ряд теоретических и экспериментальных вопросов.

Однако очевидно, что в качестве одного из путей снижения энергоемкости вертикальных фрез является уменьшение толщины стойки ножа и его подрезающего лезвия до определенного предела, чтобы не снизить надежность и прочность элементов рабочего органа.

Испытания *L*-образных, наружу отогнутых ножей в УОХ «Кокино» Брянской области показали, что относительно слабым местом такого рабочего органа является промежуток стойки (площадка *abcd*), расположенный непосредственно у изгиба лезвия (рис. 2.15). При встрече с препятствием лезвие и стойка ножа испытывают одновременно действие крутящего и изгибающего момента со стороны препятствия. Это приводит к деформации или поломке рабочего органа у основания стойки (площадка *abcd*). Для того, чтобы рабочий орган был достаточно прочным, можно стойку у основания изготовить с утолщением, что приведет в конечном итоге к увеличению энергозатрат.

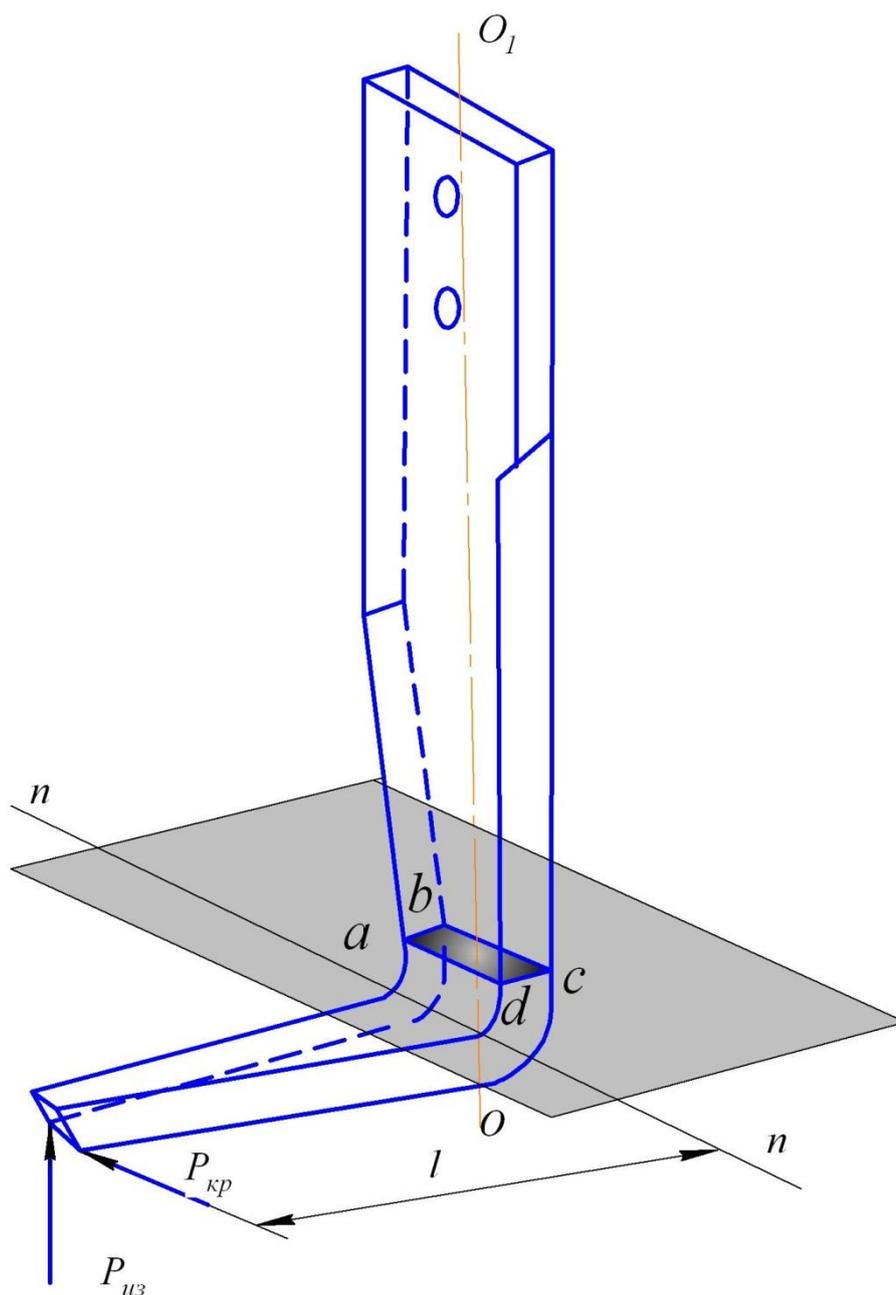


Рисунок 2.15 – Действие крутящего и изгибающего моментов на лезвие рабочего органа

Снижение нагрузки на нож в указанном месте можно достигнуть за счет меньшего крутящего и изгибающего моментов в процессе работы, что позволит сделать стойки ножа тонкими у основания, а значит и снизить энергоёмкость фрезы. Поскольку крутящий и изгибающий моменты зависят от длины лезвия, то для их уменьшения надо укоротить длину лезвия, не уменьшая ширину захвата ножа.

Рабочий орган, отвечающий при этом требованиям, изображен на рис. 2.18, у которого ширина захвата b равна ширине захвата (рис. 2.15) L-образного ножа. У нового рабочего органа крутящий и изгибающий моменты относительно оси, проходящей через стойку, значительно меньше по сравнению с L-образным ножом.

Действительно, у L-образного ножа изгибающий момент $M_{из}$ относительно оси nn равен произведению суммарной изгибающей силы $P_{из}$ на длину отогнутого лезвия l :

$$M_{из} = P_{из} \cdot l,$$

а крутящий момент $M_{кр}$ относительно оси OO равен произведению суммарной крутящей силы $P_{кр}$ (сила сопротивления) на длину отогнутого лезвия l :

$$M_{кр} = P_{кр} \cdot l$$

причем, сила сопротивления $P_{кр}$ зависит от многих факторов [13].

Для рабочего органа вертикальной фрезы, изображенного на рисунке 2.18, соответственно изгибающий и крутящий моменты равны

$$M'_{из} = P'_{из} \cdot \frac{l}{2},$$

$$M'_{кр} = P'_{кр} \cdot \frac{l}{2}$$

В то же время $P'_{из} < P_{из}$ и $P'_{кр} < P_{кр}$.

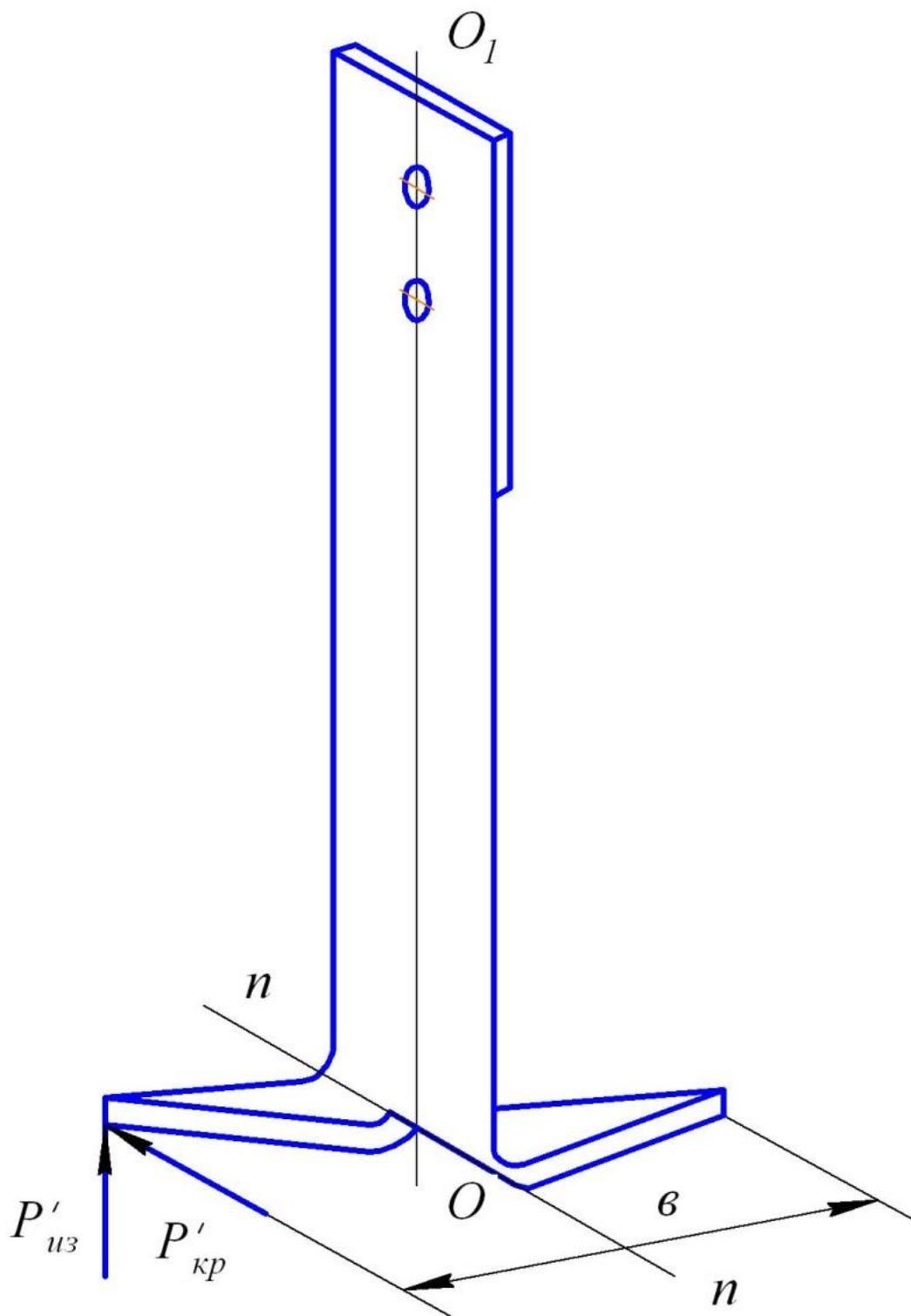


Рисунок 2.16 – Действие крутящего и изгибающего моментов на подрезание лезвия комбинированного рабочего органа

Рассмотрим, как меняется в процессе работы ножа крутящий момент, действующий на отогнутые лезвия относительно оси OO_1 (рис. 2.18). Для

удобства исследования изобразим вид сверху нового рабочего органа (рис. 2.17), поскольку сила сопротивления лежит в горизонтальной плоскости и направлена под углом трения φ к нормали NN , перпендикулярной кромки TK .

Выберем произвольную точку M , лежащую на режущей кромке лезвия отогнутого от оси вращения ротора S , к которой приложена сила сопротивления P . Так как рабочие органы фрезы с вертикальной осью вращения в процессе обработки почвы участвуют одновременно во вращательном и поступательном движении, то траектория каждой точки ножа в абсолютном движении имеет форму циклоиды. Значит, геометрические параметры и режим работы фрезы изменяют свое значение за один оборот ножа.

Абсолютная скорость (скорость резания) точки ножа, лежащей на режущей кромке, согласно А.Д. Далину имеет вид:

$$V_p = V_n \sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos \omega t} \quad (2.1.)$$

где $\lambda = \frac{V_o}{V_n} \geq 1$ – кинематический показатель, характеризующий кривизну циклоиды;

ω – угловая скорость вращения ротора.

У пассивных рабочих органов и фрез с горизонтальной осью вращения угол раствора (γ) соответствует углу между направлением движения агрегата и линией, проходящей через лезвие ножа. Этот угол при условии сохранения динамической симметрии машины является величиной постоянной. У фрез с вертикальной осью вращения этот угол определяется касательной к циклоиде в данной точке и лезвием ножа и, следовательно, является величиной переменной.

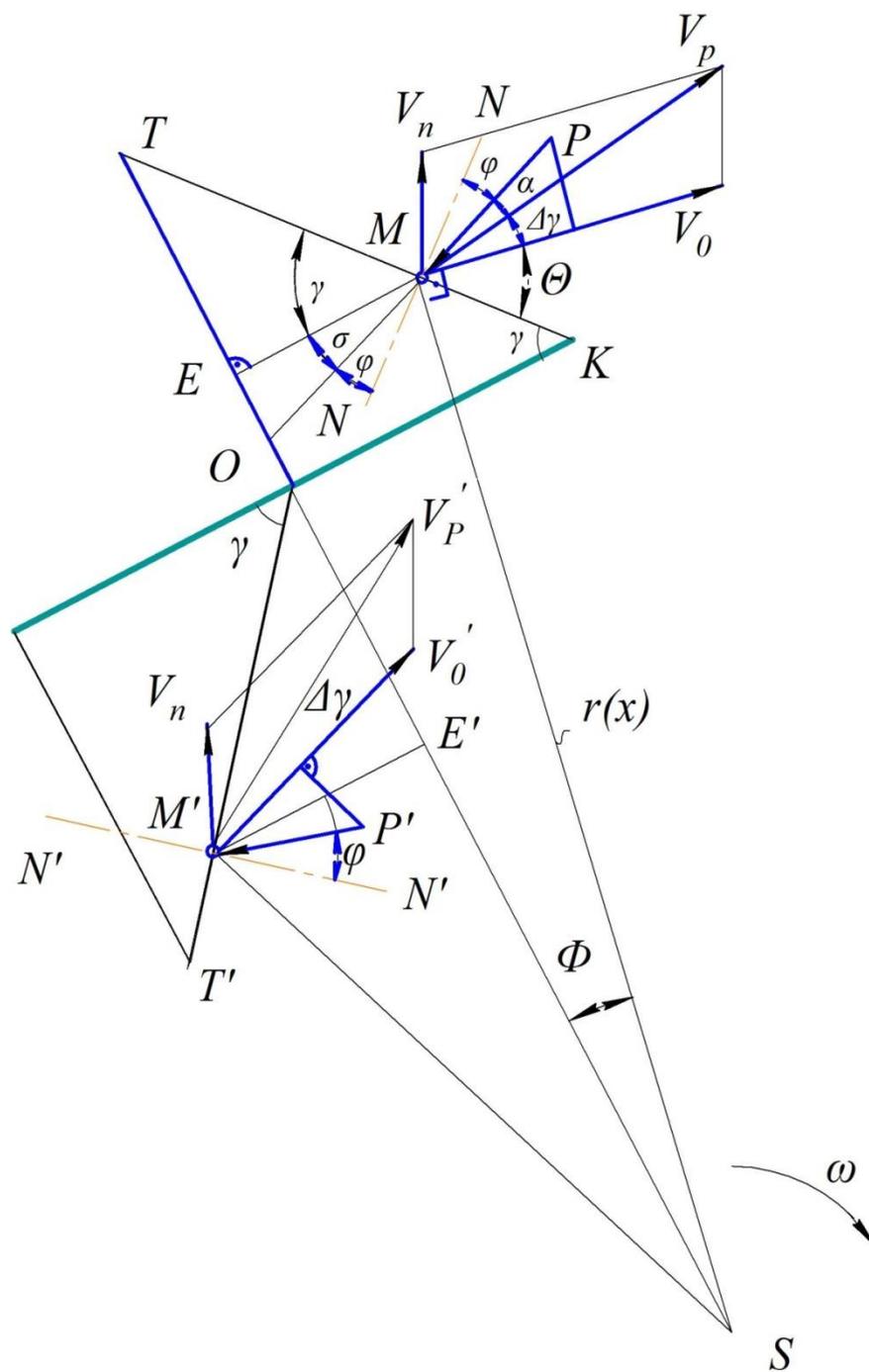


Рисунок 2.17 – Действие силы сопротивления на подрезающие лезвия ножа

Величина изменения угла раствора за один цикл характеризуется углом $\Delta\gamma$ (рис. 2.19), который образуется между касательными к окружности и циклоиде в данной точке. Он определяется по следующей формуле [13]:

$$\Delta\gamma = \arctg \frac{\sin\omega t}{\lambda + \cos\omega t} \quad (2.2)$$

Рассмотрим сопротивление почвы движению рабочего органа. Движущийся в почве нож вертикальной фрезы преодолевает общее сопротивление P и согласно формулам (1.1), (1.2), (1.3) и (1.4) имеет:

$$P = \frac{\tau h \sin(\alpha_1 + 2\varphi) \cos\varphi \cdot \cos\rho \left(\frac{l \sin\gamma + \frac{h}{2} \operatorname{ctg}\Psi_1}{\sin\Psi} + \frac{h \operatorname{ctg}\Psi}{2 \sin\Psi_1} \right)}{\cos(\varphi - \beta_1) \cdot \sin(\alpha_1 + \beta_1 + \varphi + \Psi)} +$$

$$+ \delta_1 k_1 l + \delta_2 k_2 h + \frac{h \gamma_1 V_p^2 \left(l \sin\gamma + \frac{h \operatorname{ctg}\Psi_1}{2} \right)}{g \sin\Psi} \quad (2.3)$$

Из рис. 2.17 видно, что крутящий момент силы P , действующей на произвольную точку M , лежащей на лезвии ножа, относительно точки O равен:

$$m_o = P \cdot \cos\sigma \cdot OE \quad (2.4)$$

Но действие силы P осуществляется на всей длине лезвия, поэтому суммарный крутящий момент сил сопротивления относительно точки O будет:

$$M_o^{\text{кр}} = \int_0^l P \cdot OE \cdot \cos\sigma \cdot dx \quad (2.5)$$

где $0 \leq x \leq l$

Все величины, входящие в (2.3.5) выразим через переменную x . Из рис. 2.19 видно, что $\varphi + \sigma + \gamma = \frac{\pi}{2}$; откуда $\sigma = \frac{\pi}{2} - \varphi - \gamma = const$. σ – от x не зависит, где φ – угол трения грунта по металлу и γ – угол раствора ножа - величины заданные.

Выразим OE через x . принимаем $TM = x$, тогда $KM = l-x$;

$$OE = (l - x) \sin\gamma$$

Сила сопротивления P также зависит от переменной x .

Выразим P через x . Для этого определим кинематический показатель λ , V_p^2 и радиус вращения $SM = r(x)$. Принимаем $OS = r$.

Так как

$$r(x) = \sqrt{(r + (l - x)\sin\gamma)^2 + x^2\cos^2\gamma} \quad , \quad \text{то} \quad (2.6)$$

$$\lambda = \frac{V_o}{V_n} = \frac{SM \cdot \omega}{V_n} = \frac{r(x) \cdot \omega}{V_n}$$

$$\lambda = \frac{\omega}{V_n} \sqrt{(r + (l - x)\sin\gamma)^2 + x^2\cos^2\gamma} \quad (2.7)$$

Подставив (2.7) в (2.1.) и возведя обе части в квадрат, получим:

$$V_p^2 = V_n^2 \left\{ 1 + \frac{\omega^2}{V_n^2} ([r + (l - x)\sin\gamma]^2 + x^2\cos^2\gamma) + \frac{2\omega}{V_n} \sqrt{[r + (l - x)\sin\gamma]^2 + x^2\cos^2\gamma} \cdot \cos\omega t \right\} \quad (2.8)$$

Так как сила сопротивления P есть функция от V_p^2 , т.е. $P = P(V_p^2)$, то значение интеграла (2.5) принимает вид после подстановки в него значений P , OE , $\cos \sigma$:

$$M_o^{кр} = \int_0^l P(V_p^2)(l-x) \cdot \sin \gamma \cdot \cos \sigma \cdot dx \quad (2.9)$$

$$\text{где} \quad P(V_p^2) = P_1 + P_2 + P_3, \quad (2.10)$$

P_1 и P_2 не зависят от x и принимают значения (1.2) и (1.3) соответственно.

$$P_3 = \frac{h\gamma_1(\sin \gamma + \frac{hctg\Psi_1}{2} V_n^2 \{1 + \frac{\omega^2}{V_n^2} (\cos^2 \gamma)\})}{g \cdot \sin(\Psi)} +$$

$$+ \frac{\frac{2\omega}{V_n} \sqrt{[r + (l-x)\sin \gamma]^2 + x^2 \cos^2 \gamma} \cdot \cos \omega t}{g \sin \Psi} \quad (2.11)$$

Таким образом, подставляя значения параметров в (2.9), можно определить крутящий момент лезвий ножа относительно оси OO_1 .

В работах С.В. Чудака [13] определены экспериментальным путем часть оптимальных кинематических параметров L-образного ножа, другая часть определена теоретическими исследованиями [35, 32, 66, 67, 68, 69].

Для аналитического подсчета крутящего момента лезвий рабочего органа С.В. Чудаком рекомендованы следующие параметры: $\tau = 0,012$ МПа; $\alpha_1 = 10^0$; $\varphi = 25^0$; $\rho = 35^0$; $\gamma = 50^0$; $\beta_1 = 5^0$; $\delta_1 = 0,00065$ м; $\delta_2 = 0,0013$ м; $K_1 = 1,37$ МПа; $K_2 = 0,58$ МПа; $\Psi = 50^0$; $\Psi_1 = 30^0$; $\omega = 11,3$ с⁻¹; $V_n = 1,5$ м/с; $l = 0,08$ м; $h = 0,08$ м; $R = 0,25$ м; $r = 0,19$ м.

где $R = TS$; $r = OS$.

Значение γ_1 – объемная масса почвы подсчитывается согласно размерам рабочего органа и плотности почвы.

Для решения интеграла (2.9) на ЭВМ необходимо значения всех параметров подставить в формулы (2.1), (2.3), (2.7), (2.8) и получить подынтегральную функцию, зависящую только от переменной x .

Сделав подстановку, получим:

$$M_0^{\text{кр}} = \int_0^{0,08} \left(284,4 - 0,05x + 0,013x^2 + 0,0034\sqrt{0,06 - 0,38x + x^2} \cdot \cos\omega t \right) \cdot (0,06 - 0,74x) dx \quad (2.12)$$

где $0 \leq x \leq l$

Длина режущей кромки $l = 0,08$ м принималась согласно рекомендациям В.Б. Мостовского [44].

Рабочий орган фрезы, имея угловую скорость $\omega = 11,3 \text{ с}^{-1}$, совершает один оборот за время $T = 0,56$ с. Разбив время одного оборота ножа T на интервалы в $t = 0,05$ с и подсчитав значение крутящего момента времени, находим среднее значение крутящего момента $M_0^{\text{кр}}$ за один оборот ножа. Для внешнего лезвия, которое находится дальше от оси вращения ротора, средний крутящий момент относительно оси OO_1 равен:

$$M_0^{\text{кр}} = 0,68 \text{ Нм}$$

Аналогично, для внутреннего лезвия, которое находится ближе к оси вращения ротора (рис. 2.17), среднее значение крутящего момента относительно той же оси OO_1 равен:

$$M_0^{/кр} = 0,83 \text{ Нм}$$

Итак, на стойку рабочего органа со стороны отогнутых лезвий действуют разные по величине крутящие моменты

$$M_0^{/кр} > M_0^{кр}$$

Уравнять крутящие моменты можно за счет изменения параметров, входящих в равенство (2.3.9).

Лучше всего это сделать за счет изменения длин лезвий у внешнего и внутреннего лезвия. Методом последовательных приближений увеличивали длину внешнего и уменьшали, соответственно, длину внутреннего лезвия до тех пор, пока крутящие моменты по абсолютной величине не стали одинаковыми. Итак, крутящие моменты лезвий относительно стойки имеют противоположные направления, но равны по величине. Это дает возможность разгрузить стойку рабочего органа, а значит и уменьшить ее толщину, что в конечном итоге ведет к уменьшению энергозатрат. Поскольку в процессе оптимизации длина внешнего лезвия увеличивалась, а внутреннего - уменьшалась, это привело к тому, что расстояние от оси вращения ротора до стойки уменьшалось. Диаметр ротора и ширина захвата ножа при этом не изменялись. А уменьшение расстояния от стойки рабочего органа до оси вращения при прочих равных условиях ведет к уменьшению энергозатрат. Согласно выше принятым параметрам, предложенным С.В. Чудаком, длина внешнего лезвия должна быть 9 см, а внутреннего 7 см (рис. 2.18). Крутящий момент такого ножа относительно точки O равен крутящему моменту ножа, изображенного на рис. 2.17.

На рис. 2.17 был рассмотрен рабочий орган, у которого внешнее отогнутое лезвие по сравнению с внутренним находилось впереди при вращении ротора. Анализ динамики воздействия рабочего органа с почвой, у которого внешнее отогнутое лезвие по сравнению с внутренним находится сзади

(рис. 2.19) при вращении ротора показал, что крутящий момент внешнего лезвия относительно точки равен 0,63 Нм, а внутреннего - 1 Нм. Следовательно, такой рабочий орган более энергоемкий.

2.2.4. Определение энергетических показателей комбинированного ножа

Мощность, которую потребляет фреза с вертикальной осью вращения, расходуется на преодоление сил сопротивления вращению и сопротивления поступательному движению при установившемся движении.

При движении агрегата с постоянной поступательной скоростью и вращении ротора с постоянной угловой скоростью ω общая мощность затрачиваемая фрезой на обработку почвы, складывается из мощности, затрачиваемой на ее вращение, которое оценивается крутящим моментом $M_{кр}$ относительно оси вращения ротора, а сила тяги P_T .

Определим эти показатели для комбинированного рабочего органа (с двумя отогнутыми лезвиями) (рис. 2.17). Из рисунка видно, что крутящий момент силы P , действующей на произвольную точку M лезвия ножа относительно точки S равен:

$$M_S^{кр} = \int_0^x P \cdot \cos(\alpha + \Delta\gamma) \cdot r(x) dx \quad (2.13)$$

Значение $r(x)$ и силы сопротивления P уже было выражено через x в формулах (2.6), (2.10) и (2.11).

Выразим теперь углы $\Delta\gamma$ и α через x .

Согласно формулам (2.2) и (2.7) имеем:

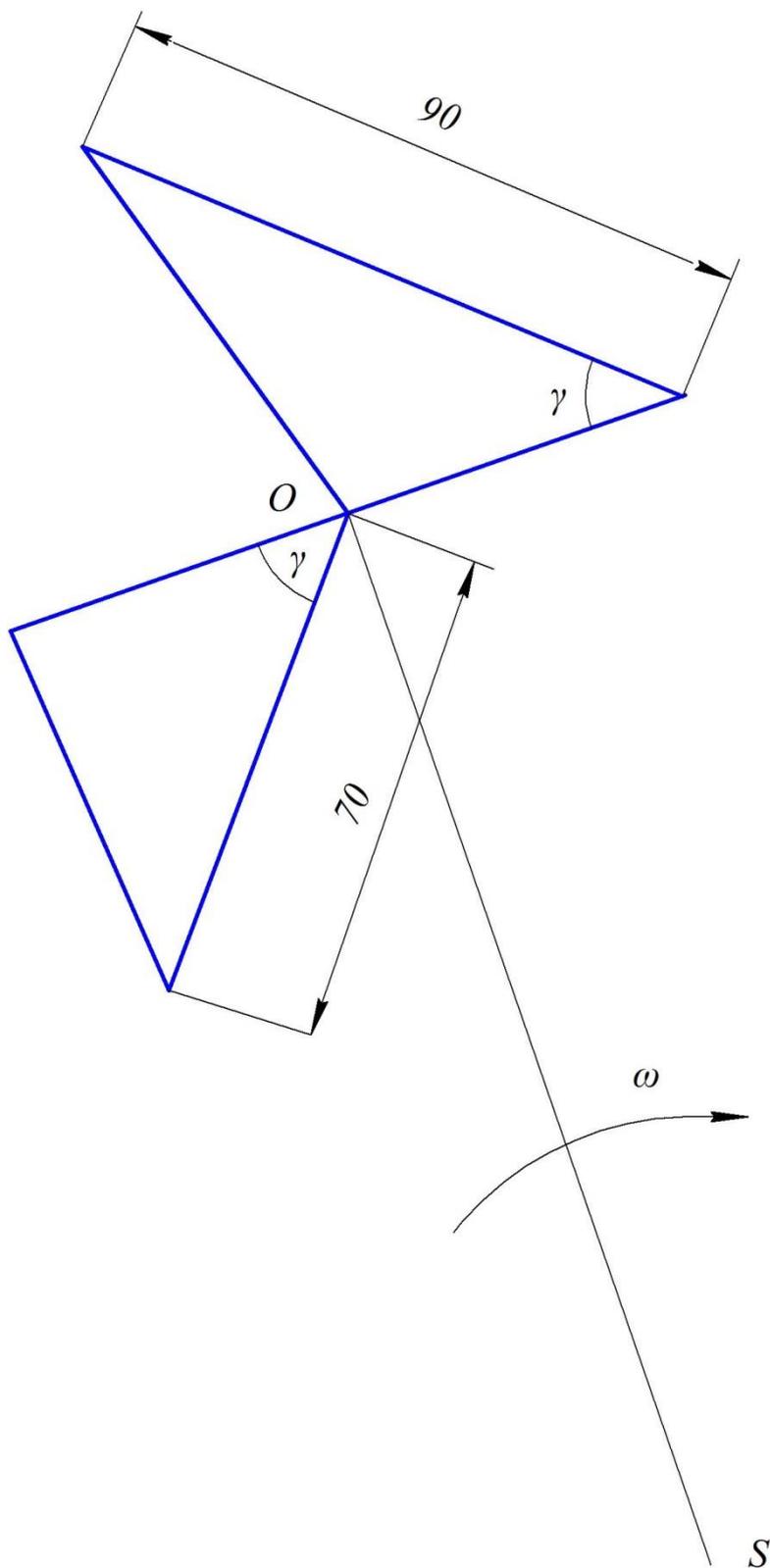


Рисунок 2.18 – Соотношение длин подрезающих лезвий рабочего органа при равенстве крутящих моментов

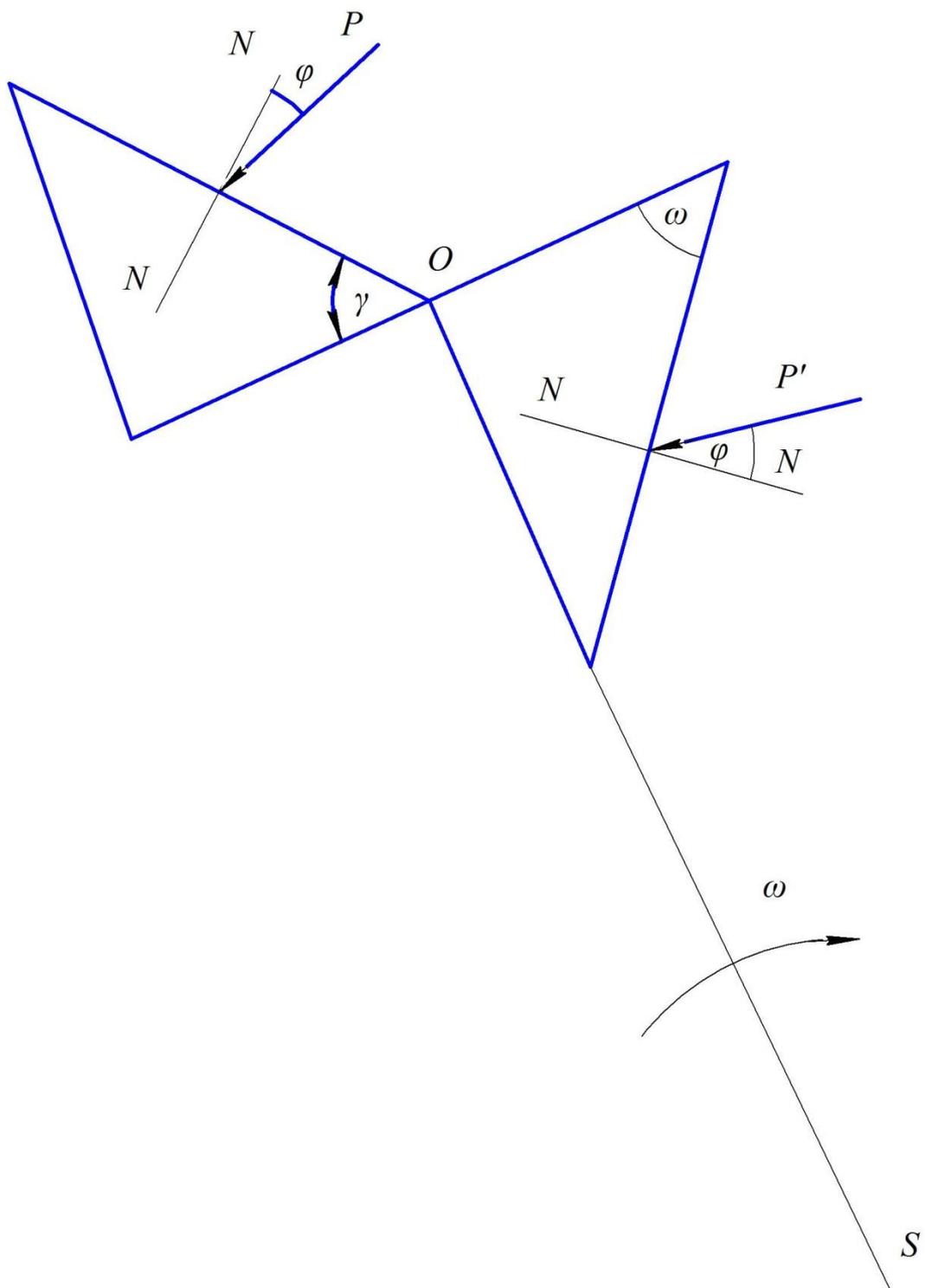


Рисунок 2.19 – Схема расположения подрезающих лезвий

$$\Delta\gamma = \operatorname{arctg} \frac{\sin \omega t}{\frac{\omega}{V_{\Pi}} \sqrt{(r + (l - x) \sin \gamma)^2 + x^2 \cos^2 \gamma} + \cos \omega t} \text{ или}$$

$$\Delta\gamma = \operatorname{arctg} \frac{V_{\Pi} \sin \omega t}{\omega \sqrt{(r + (l - x) \sin \gamma)^2 + x^2 \cos^2 \gamma} + V_{\Pi} \cos \omega t} \quad (2.14)$$

Значение угла α , для определения крутящего момента относительно оси S ротора можно найти из рисунка 2.19:

$$\varphi + \alpha + \Delta\gamma + \theta = \frac{\pi}{2}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi - \theta - \Delta\gamma \quad (2.15)$$

где $\theta = \gamma - \phi$

Найдем величину ϕ . Так как $SE = r(x) \cdot \cos \phi$, то

$$\cos \phi = \frac{r + (l - x) \sin \gamma}{\sqrt{(r + (l - x) \sin \gamma)^2 + x^2 \cos^2 \gamma}}$$

$$\phi = \arccos \frac{r + (l - x) \sin \gamma}{\sqrt{(r + (l - x) \sin \gamma)^2 + x^2 \cos^2 \gamma}} \quad (2.16.)$$

Подставив в (2.15) значения углов φ , θ , $\Delta\gamma$, получим:

$$\alpha$$

$$= 0,08\pi + \arccos \frac{r + (l - x) \sin \gamma}{\sqrt{(r + (l - x) \sin \gamma)^2 + x^2 \cos^2 \gamma}}$$

$$- \operatorname{arctg} \frac{V_{\Pi} \sin \omega t}{\omega \sqrt{(r + (l - x) \sin \gamma)^2 + x^2 \cos^2 \gamma} + V_{\Pi} \cos \omega t} \quad (2.17)$$

Подсчитав значения углов α и $\Delta\gamma$ для внешнего лезвия и значения α' и $\Delta\gamma'$ для внутреннего лезвия за один оборот ротора, согласно ранее принятым параметрам [13], получим закон изменения этих углов относительно силы сопротивления P и P' (рис. 2.22).

Таблица 2.4.1 – Зависимость углов α и $\Delta\gamma$ от угла поворота ωt

ωt	0	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°
α	7	0	-7	-12	-14	-6	12	27	31	29	23	16	7
$\Delta\gamma$	3	9	16	21	21	14	-4	-12	-20	-22	-17	-7	3
α'	9	15	30	38	40	37	19	-9	-19	-16	-13	0	9
$\Delta\gamma'$	2	-9	-18	-26	-29	-26	6	19	27	28	25	7	2

Значение крутящего момента для внешнего лезвия относительно оси ротора за один его оборот будет определяться как сумма интегралов:

$$M_s = \int_0^l P \cdot r(x) \cos(\Delta\gamma - \alpha) dx + \int_0^l P \cdot r(x) \cos(\alpha - \Delta\gamma) dx + \int_0^l P \cdot r(x) \cos(\Delta\gamma + \alpha) dx \quad (2.18)$$

где

$$\int_0^l P \cdot r(x) \cos(\Delta\gamma - \alpha) dx$$

находится при повороте ротора от $\frac{\pi}{6}$ до $\frac{9}{10}\pi$;

$$\int_0^l P \cdot r(x) \cos(\alpha - \Delta\gamma) dx$$

находится при повороте ротора от $\frac{9}{10}\pi$ до $1,93\pi$;

$$\int_0^l P \cdot r(x) \cos(\Delta\gamma + \alpha) dx$$

находится при повороте ротора от $1,93\pi$ до $\frac{\pi}{6}$.

Значение крутящего момента для внутреннего лезвия относительно оси ротора за один оборот будет определяться как сумма интегралов:

$$\begin{aligned} M'_s = & \int_0^l P' \cdot r'(x) \cos(\alpha' - \Delta\gamma') dx + \int_0^l P' \cdot r'(x) \cos(\Delta\gamma' - \alpha') dx \\ & + \int_0^l P' \cdot r'(x) \cos(\Delta\gamma' + \alpha') dx \end{aligned} \quad (2.19)$$

где

$$\int_0^l P' \cdot r'(x) \cos(\alpha' - \Delta\gamma') dx$$

находится при повороте ротора от 0 до π ;

$$\int_0^l P' \cdot r^-(x) \cos(\Delta\gamma^- + \alpha') dx$$

находится при повороте ротора от π до $1,1\pi$;

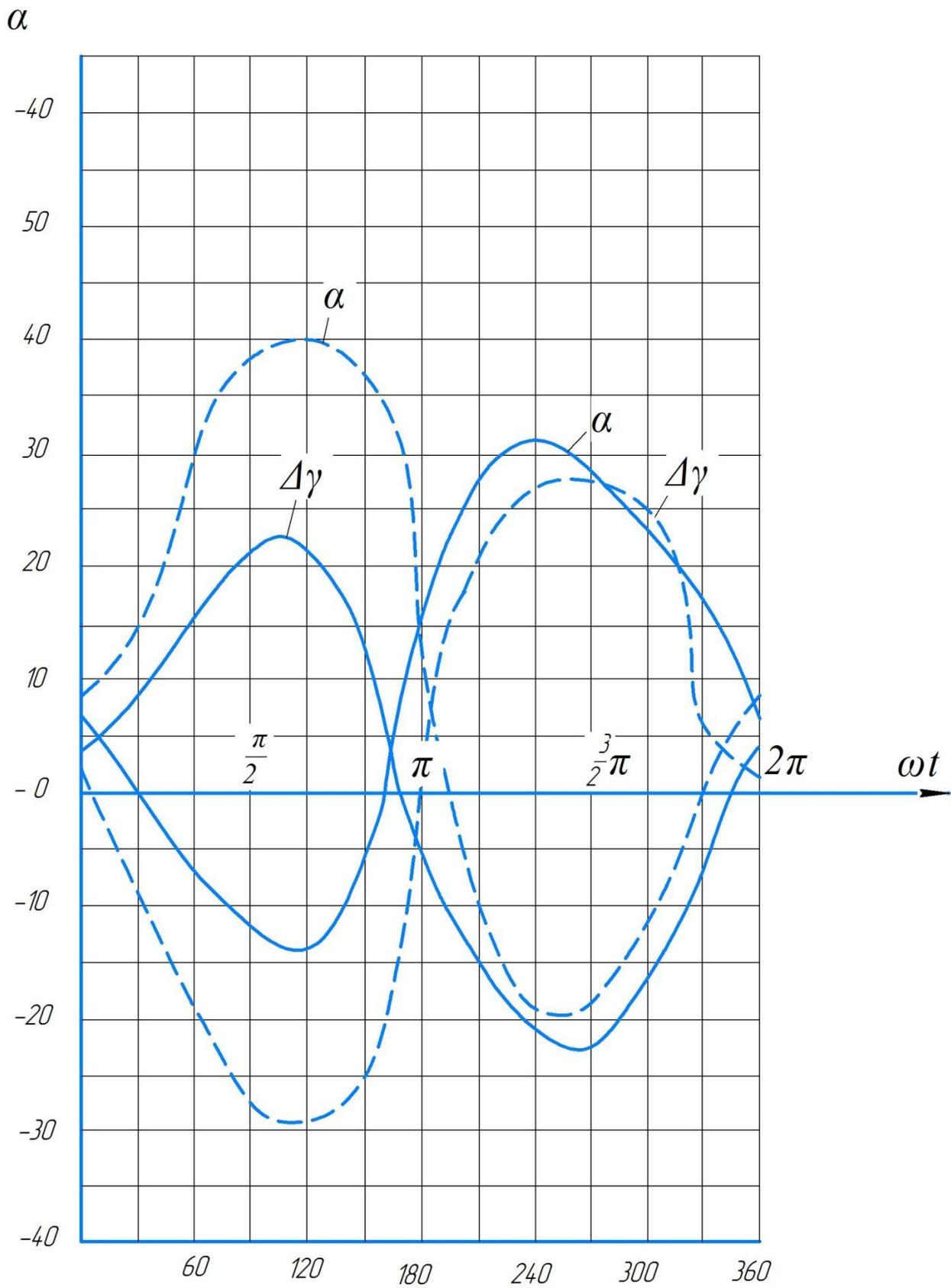


Рисунок 2.20 – Зависимость углов α и $\Delta\gamma$ от угла поворота ωt

$$\int_0^l P' \cdot r'(x) \cos(\Delta\gamma' - \alpha') dx$$

находится при повороте ротора от $1,1\pi$ до 2π .

Подставив в (2.18) и (2.19) значения известных параметров [11], получим выражение крутящего момента для подсчета на ЭВМ.

$$\begin{aligned}
 M_s = & \int_0^{0,05} (253 + 0,0024x + 0,0064x^2 + 0,002\sqrt{0,06 + 0,38x + x^2} \cdot \cos\omega t) \\
 & \cdot \sqrt{0,06 - 0,38x + x^2} \cdot \cos\left(2\operatorname{arctg} \frac{\sin\omega t}{7,5\sqrt{0,06 - 0,38x + x^2} + \cos\omega}\right) \\
 & - \arccos \frac{0,24 - 0,766x}{\sqrt{0,06 - 0,38x + x^2}} - 0,08\pi) dx + \\
 & + \int_0^{0,05} (253 - 0,0024x + 0,0064x^2 + 0,002\sqrt{0,06 - 0,38x + x^2} \cdot \cos\omega t) \\
 & \cdot \sqrt{0,06 - 0,38x + x^2} \cdot \cos\left(0,08\pi - \arccos \frac{0,24 - 0,766x}{\sqrt{0,06 - 0,38x + x^2}}\right) \\
 & - 2\operatorname{arctg} \frac{\sin\omega t}{7,5\sqrt{0,06 - 0,38x + x^2} + \cos\omega} dx + \\
 & + \int_0^{0,05} (253 - 0,0024x + 0,0064x^2 + 0,002\sqrt{0,06 - 0,38x^2 + x^2} \cdot \cos\omega t) \\
 & \cdot \sqrt{0,06 - 0,38x + x^2} \cdot \cos(0,08\pi \\
 & + \arccos \frac{0,24 - 0,766x}{\sqrt{0,06 - 0,38x + x^2}}) dx
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

Численные значения крутящего момента обеих лезвий приведены в таблице 2.4.2.

Закон изменения крутящего момента каждого лезвия в отдельности и всего рабочего органа показан на рисунке 2.21.

Среднее значение крутящего момента комбинированного рабочего органа равно 3,60 Нм.

Если на роторе расположено Z рабочих органов, то суммарный момент ротора равен сумме крутящих моментов каждого ножа:

$$M^{kp} = r \int_0^x P \cdot r(x) \cdot \cos(\alpha + \Delta\gamma) \cdot dx \quad (2.21)$$

Построим график изменения крутящего момента для $Z = 4$. Для этого, кривая 3 (рис. 2.21) должна быть сдвинута на угол $\frac{\pi}{2}$. На рис. 2.22 *а* получены графика изменения крутящего момента каждым из четырех ножей в зависимости от угла поворота. На рис. 2.22 *б* представлен крутящий момент всего ротора, среднее значение которого равно 14,4 Нм.

Таблица 2.4.2 – Изменение крутящих моментов за один оборот ротора от угла поворота ωt

ωt	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2}{3}\pi$	$\frac{5}{6}\pi$	π	$\frac{7}{6}\pi$	$\frac{4}{3}\pi$	$\frac{3}{2}\pi$	$\frac{5}{3}\pi$	$\frac{11}{6}\pi$	2π
M	2,86	2,75	2,50	2,37	2,03	1,82	1,59	1,25	0,81	1,31	2,03	2,62	2,86
M'	1,81	2,05	2,18	2,21	2,16	2,13	1,81	0,29	0,33	0,68	1,09	1,49	1,81
M _c	4,67	4,80	4,68	4,58	4,19	3,95	3,40	1,54	1,14	1,99	3,12	4,11	4,67

$M, \text{ Нм}$

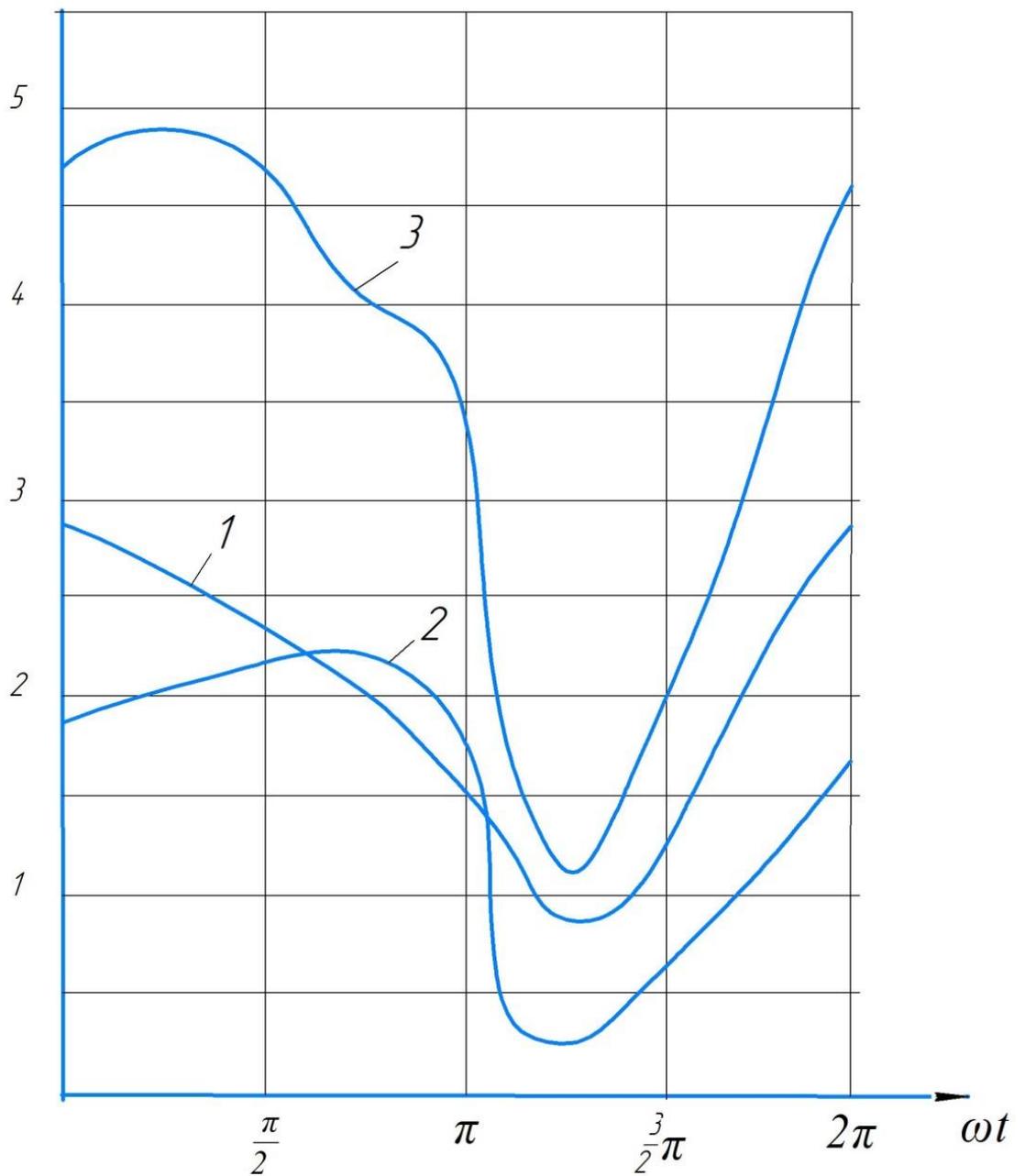


Рисунок 2.21 – Изменение крутящих моментов за один оборот ротора: 1 – крутящий момент внешнего лезвия; 2 – крутящий момент внутреннего лезвия; 3 – суммарный крутящий момент ножа

$M, \text{ Нм}$

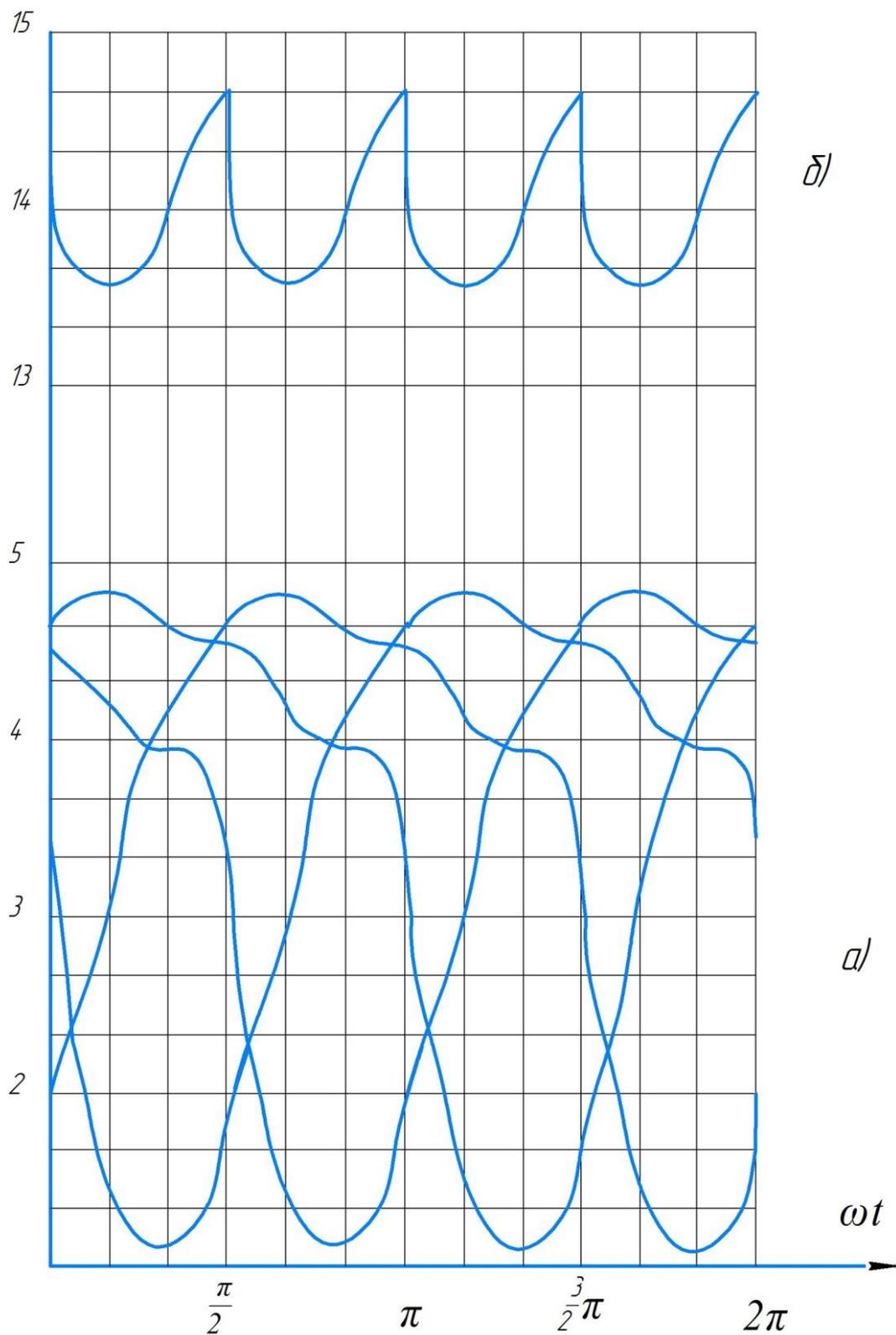


Рисунок 2.22 – Изменение крутящего момента от угла поворота; а) крутящий момент каждого из четырех ножей; б) суммарный крутящий момент всего ротора

Теперь перейдем к сравнению энергетических показателей комбинированного рабочего органа с классическим L-образным, у которого лезвие отогнуто во внешнюю сторону.

На рисунке 2.16 был рассмотрен рабочий орган, у которого внешне отогнутое лезвие по сравнению с внутренним, находилось впереди при вращении ротора. Анализ динамики воздействия рабочего органа с почвой, у которого внешнее отогнутое лезвие по сравнению с внутренним находится сзади, показал, что крутящий момент внешнего лезвия относительно точки O равен 0,83 Нм, а внутреннего - 1 Нм. Следовательно, такой рабочий орган более энергоемкий.

Сравним энергетические показатели классического L-образного ножа (рис. 2.15) и комбинированного рабочего органа (рис. 2.16). Наименее энергоемким считается L-образный нож с внешне отогнутым лезвием. Рассмотрим движение этих рабочих органов (рис. 2.6 а). В процессе обработки почвы фрезами с вертикальной осью вращения ножи совершают плоскопараллельное движение. Кинетическая энергия, которой обладают активные рабочие органы, подсчитывается по известной формуле:

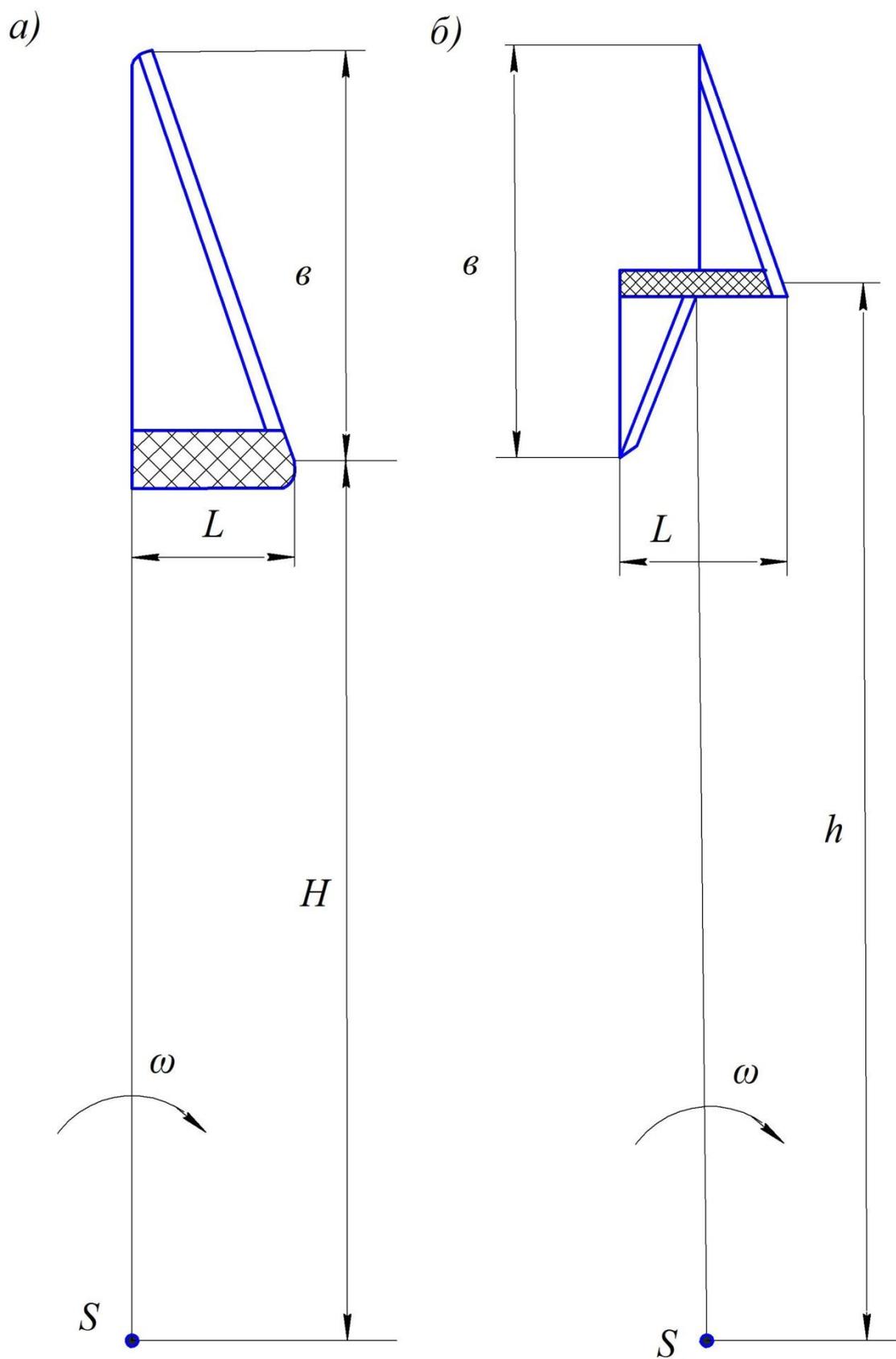
$$T = \frac{mV_c^2}{2} + \frac{mJ_c\omega^2}{2} \quad (2.22)$$

где m – масса ножа;

V_c - скорость центра масс поступательная;

J_c - момент инерции тела относительно центра масс;

ω - угловая скорость ротора.



а) L-образный нож; б) комбинированный нож

Рисунок 2.23 – Относительные размеры подрезающих лезвий

Согласно принятым параметрам, предложенным С.В. Чудаком, подсчитываем кинетическую энергию обеих ножей при угловой скорости вращения ротора $\omega = 10 \text{ с}^{-1}$ и поступательной скорости движения агрегата $V_{\pi} = 1 \text{ м/с}$. Пусть масса стойки L-образного ножа $m_L = 2 \text{ кг}$, а масса стойки комбинированного ножа $m_k = 1 \text{ кг}$, то при одинаковой ширине захвата ножей $b = 10 \text{ см}$ и радиусах инерции $\rho_L = 30 \text{ см}$, $\rho_k = 35 \text{ см}$ имеем:

$$J_S^L = m_L \cdot \rho_L^2 = 2 \cdot 0,3^2 = 0,18 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

момент инерции стойки L-образного ножа относительно оси вращения S ротора.

Для комбинированного ножа^

$$J_S^k = m_k \cdot \rho_k^2 = 1 \cdot 0,35^2 = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

момент инерции стойки комбинированного ножа относительно той же оси вращения S.

Тогда кинетические энергии стоек этих рабочих органов согласно формулам (2.4.9) будут равны:

$$T_L = 10 \text{ Дж}; T_k = 6,5 \text{ Дж}. \quad (2.23)$$

Предполагаем, что кинетические энергии подрезающих лезвий у обеих ножей одинаковыми.

Сравнивая результаты формулы (2.21) отмечаем, что большей кинетической энергией при прочих равных условиях обладают L-образный нож с внешне отогнутым лезвием, а значит он более энергоемкий, чем комбинированный рабочий орган.

Согласно формуле (2.22) стойку и подрезающие лезвия комбинированного рабочего органа можно сделать в два раза тоньше. Это должно привести к уменьшению сопротивления, а значит, снижению энергоемкости.

2.2.5 Определение силы трения, возникающей при взаимодействии рабочего органа с почвой

Как известно, сила трения, возникает в результате действия активной внешней силы, стремящейся переместить тело, лежащее на опорной поверхности. В общем случае действующая на тело сила имеет произвольное направление и ее нормальная к опорной поверхности слагающая вызывает реакцию, направленную в обратную сторону, касательная же слагающая вызывает силу трения. Предельная величина силы трения зависит от нормального давления и свойств трущихся поверхностей, от скорости относительного движения, от удельного давления, но в значительно меньшей мере. Обычно для определения силы трения F^{TP} пользуются упрощенной формулой (Амонтона):

$$F = \frac{f}{N} \quad (2.24)$$

где f – коэффициент трения;

N – нормальное давление.

Сила трения всегда больше в самом начала скольжения при переходе от состояния покоя к движению. Поэтому различают два значения коэффициента силы трения: 1 – статический коэффициент силы трения; 2 - динамический коэффициент силы трения.

Сила трения всегда направлена обратно касательной слагающей активной силы, ее вызывающей. При скольжении сила трения направлена в сторону, обратную относительному движению.

Более точное уравнение (И.В. Крагельского) для определения силы трения имеет вид:

$$F^{TP} = \alpha \cdot S_{\phi} + \beta \cdot N, \quad (2.25)$$

где α и β - константы трения;

S_{ϕ} - действующая площадь поверхности соприкосновения трущихся тел.

Как видно из уравнения (2.25) сила трения зависит не только от нормального давления, но также и от площади соприкосновения.

Поэтому у рабочих активных органов фрез с вертикальной осью вращения для уменьшения энергозатрат на обработку почвы площадь поверхностей ножа, соприкасающихся с почвой должна быть наименьшей. Все ножи с винтовой (криволинейной) поверхностью стоек и подрезающих лезвий, как правило, более энергоемки, чем ножи, имеющие плоские стойки и подрезающие лезвия.

Надо также учитывать, что коэффициент трения в широких пределах меняется в зависимости от влажности.

2.2.6 Разработка конструкций рабочих активных органов фрез с вертикальной осью вращения

Обработку почвы активными рабочими органами фрезы с вертикальной осью вращения можно производить как основную, на глубину до 15 см, так и поверхностную на глубину до 3 – 5 см. На ягодных плантациях и в садах осуществляют основную обработку почвы в междурядьях насаждений, а

поверхностную обработку – в прикустовых зонах или приствольных полосах (рис. 2.24).

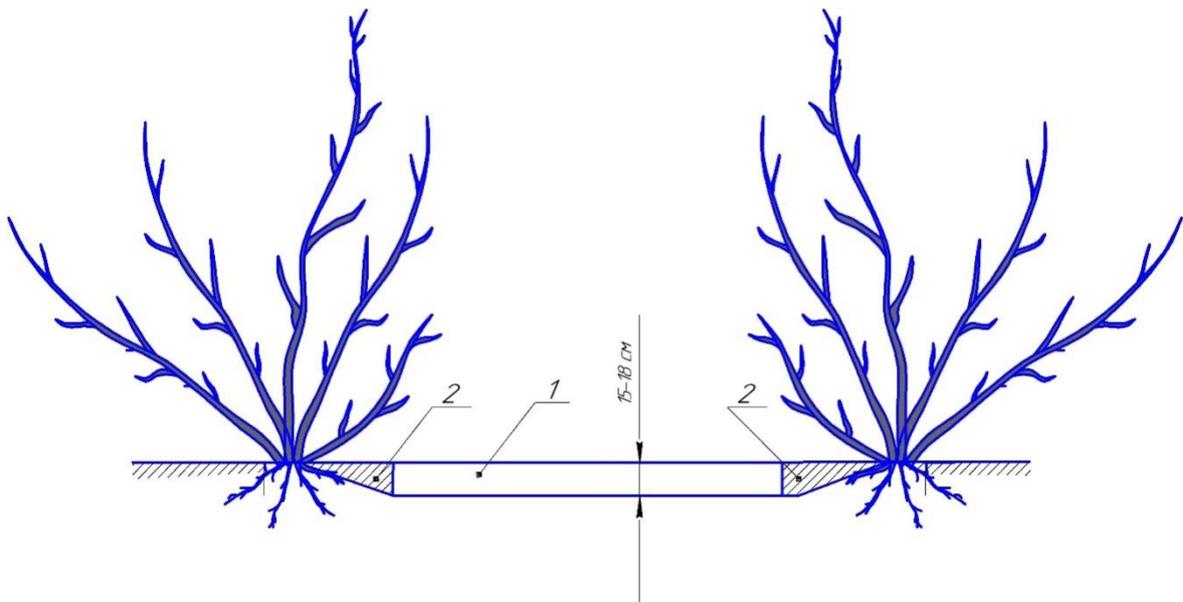
Рабочие органы для основной обработки почвы (рис. 2.25) обладают высокой энегоемкостью. Они при своем плоскопараллельном движении очень сильно разбрасывают почву, на что уходит часть энергии, а также не режут почву, а сминают ее, а потом скалывают, разбрасывая на большое расстояние.

Причем, поверхность почвы, обработанная такими активными рабочими органами в полной мере не отвечает агротехническим требованиям: сильно распылена и не ровная, что приводит к испарению влаги из почвы и затрудняется на работе улавливающих устройств ягодоуборочных комбайнов, что естественно, сказывается на больших потерях и ягод и плодов; конструкция таких рабочих активных органов приводит к повреждению корневой системы ягодных культур, что сказывается на урожайности ягод.

Фрезы с вертикальной осью вращения для обработки почвы активными рабочими органами значительны по энергоемкости превышают почвообрабатывающие орудия с пассивными рабочими органами. Для выполнения определенных операций по уходу за высокостебельными культурами почвофрезы требовательны к мощности агрегатов. Это объясняется конструкцией активных рабочих органов: их кинематическими параметрами и геометрической формой [26]. Подбор кинематических параметров и геометрической формы ножей зависит от многих факторов: условия работы, глубина обработки, влажность почвы, твердость, засоренность, каменистость и др.

Многие ученые, в том числе и Д.Я Зангеладзе, доказали на практике и теоретически обосновали, что с прямой кромкой резания рабочие органы менее энергоемки, чем с винтовой поверхностью резания (рис. 2.28).

В.Б. Мостовский [45] в своих исследованиях показал, что при рыхлении почвы в междурядьях тарельчатые ножи (рис. 1.16 г, д), круглые рыхлительные пальцы (рис.1.16 в), L-образные вовнутрь отогнутые лезвия сильно разбрасывают почву по сторонам.



1 - междурядье кустарниковых насаждений; 2- прикорневая зона.

Рисунок 2.24 - Расположение зон для сплошной и поверхностной обработки почвы в рядах высокостебельных культур

Основная обработка почвы в междурядьях садовых насаждений и ягодных плантациях производится для рыхления почвы, улучшения водного, воздушного, теплового режимов. Все это должно приводить к уменьшению испарения влаги, проницаемости водой, аэрации. Обработанная почва должна быть представлена мелкокомковатым составом и малым количеством сорняков [10]. Активные рабочие органы фрез с вертикальной осью вращения для основной обработки почвы чаще всего выполняются в виде прямых стоек без отогнутых подрезающих лезвий (рис. 2.25).

Для обработки почвы в прикорневых зонах требуется совершенно другие по конструкции рабочие органы. Они предназначены для рыхления почвы на глубину 3...5 см и удаления сорной растительности. Поверхностная обработка почвы нужна в первую очередь для создания теплового, воздушного, водного режимов и для прогрева корневой системы растений не повреждая ее при одновременном копировании.

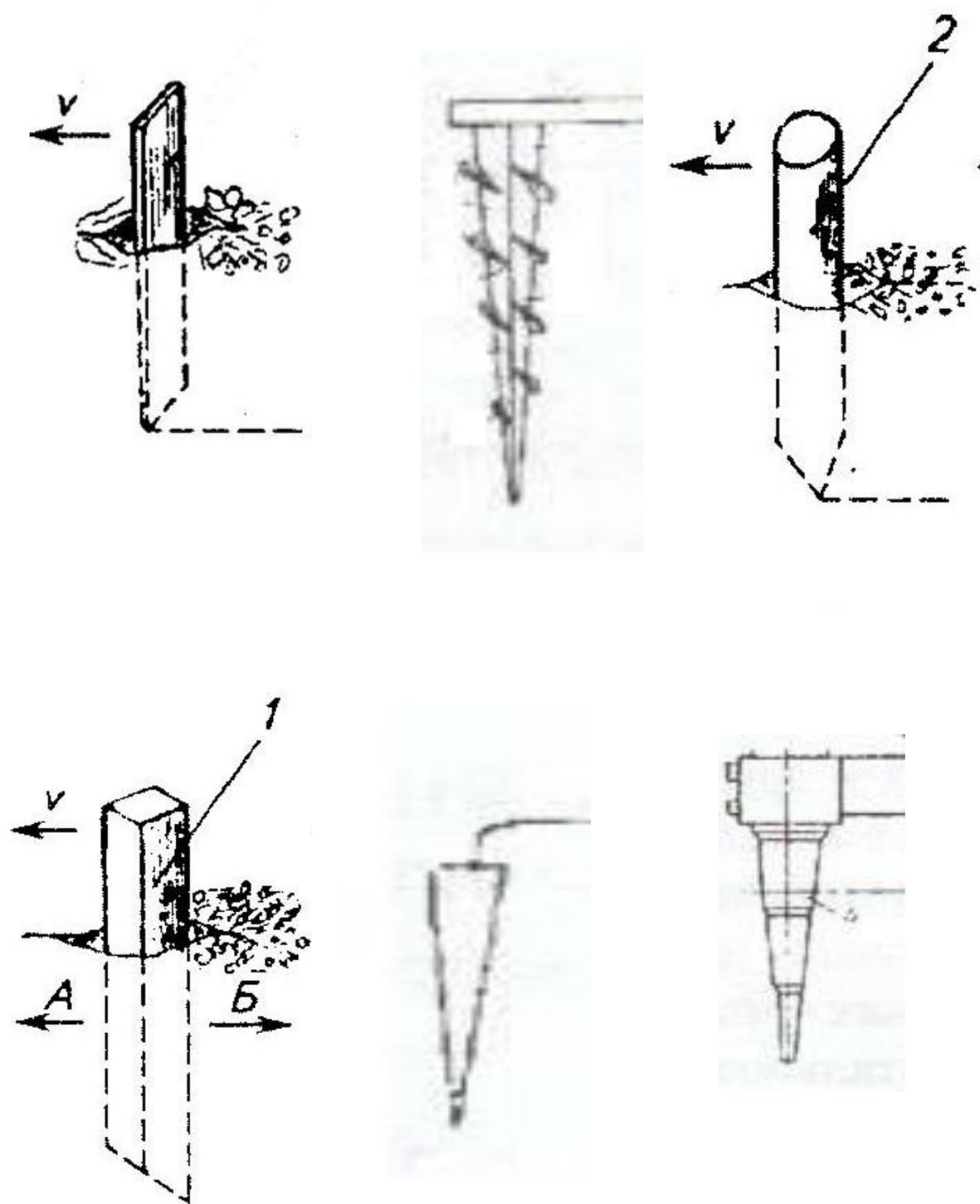


Рисунок 2.25 – Рабочие органы для основной обработки почвы в междурядьях садовых насаждений

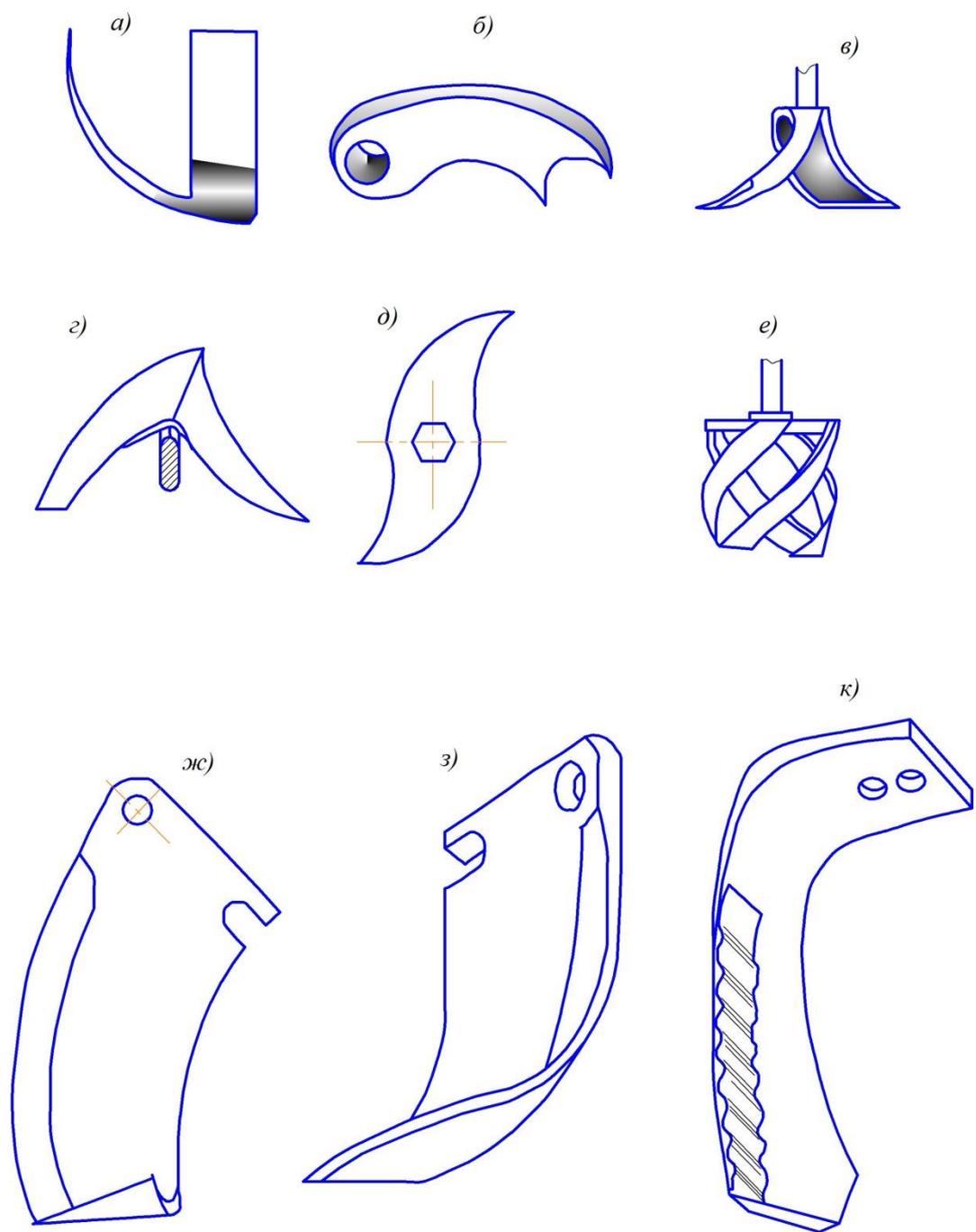


Рисунок 2.26 – Активные рабочие органы с винтовой поверхностью режущей кромкой

a)



б)



в)



г)

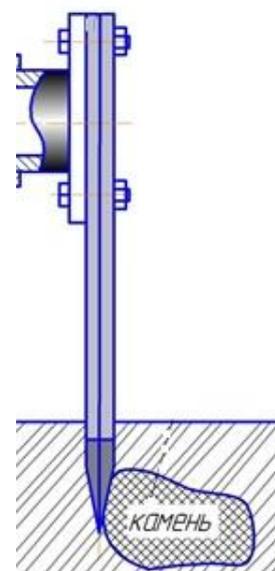
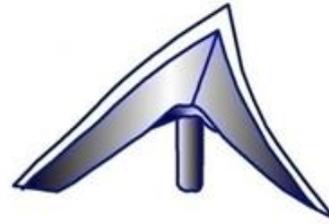


Рисунок 2.27 – Активные рабочие органы для сплошной обработки ПОВЫ

а)



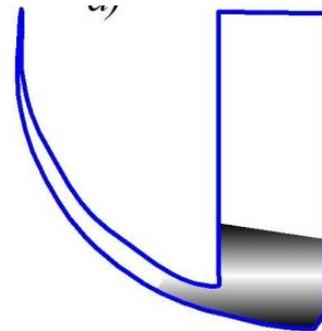
б)



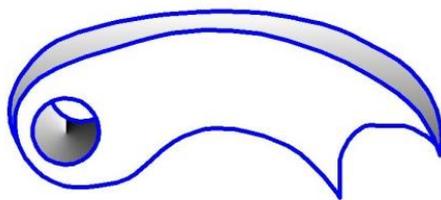
в)



г)



д)



е)

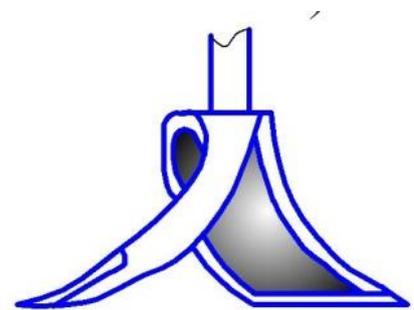


Рисунок 2.28 – Ножи с подрезающими винтовыми лезвиями

Новые современные конструкции рабочих органов фрез с вертикальной осью вращения должны отвечать требованиям:

- 1) быть прочными и надежными в работе;
- 2) качественно крошить почву;
- 3) вырезать сорняки, не дробя их на части;
- 4) обладать относительно малой энергоемкостью обработки почвы.

В связи с этим учеными кафедры «Технические системы в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве» Брянского государственного аграрного университета были за последние 10 лет разработаны активные рабочие органы фрез, предназначенные для сплошной и поверхностной обработки почвы, которые были подтверждены изобретениями.

Как уже было отмечено выше, экспериментальный рабочий орган [70] (рис. 2.29) обладает рядом преимуществ, по сравнению с традиционными активными рабочими органами.

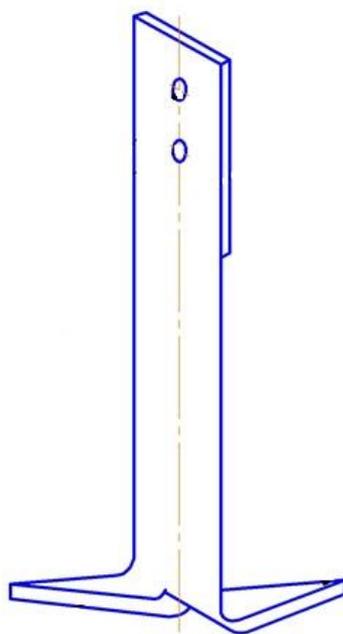


Рисунок 2. 29 – Экспериментальный рабочий орган

Этот рабочий орган может применяться как для основной так и для поверхностной обработки почвы, обладая малой металлоемкостью, что приводит к уменьшению затрат энергии на обработку почвы, улучшению качества обработки почвы и подрезания сорняков. Улучшение качества подрезания сорняков осуществляется за счет того, что подрезающие лезвия и стойка в два раза тоньше, чем у традиционных ножей.

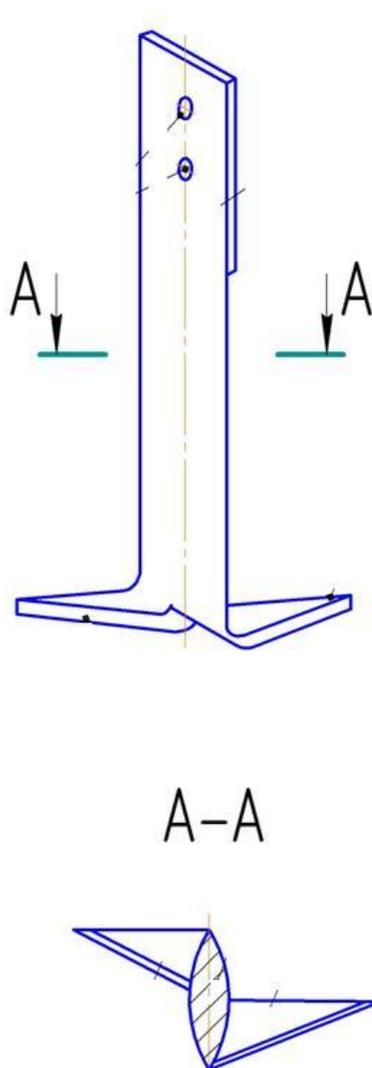


Рисунок 2.30 – Рабочий орган фрезы с вертикальной осью вращения

Рабочий орган, изображенный на рисунке 2.30, имеет сниженную энергоемкость процесса обработки почвы, что подтверждается патентом на полезную модель [71].

Рабочий орган, изображенный на рисунке 2.31 менее энергоемкий при обработке почвы за счет того, что подрезающие лезвия разной длины и режущая кромка выпуклая, что подтверждается патентом на полезную модель [72]. Может применяться как для сплошной, так и для поверхностной обработки почвы.

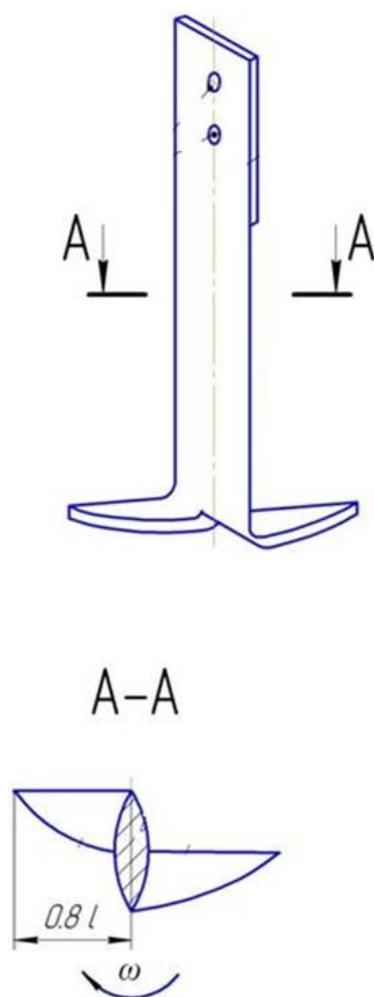


Рисунок 2.31 – Активный рабочий орган фрезы с вертикальной осью вращения

Активный рабочий орган, изображенный на рисунке 2.32, применяется для поверхностной обработки почвы [73]. Это составной рабочий орган: стойка круглая и двойное подрезающее лезвие. Преимущество перед остальными заключается в том, что стойка выполнена в виде усеченного конуса, что способствует меньшему забиванию растительными остатками на роторе, а значит, приводит к уменьшению энергозатрат на обработку почвы. Применяется для поверхностной обработки почвы.

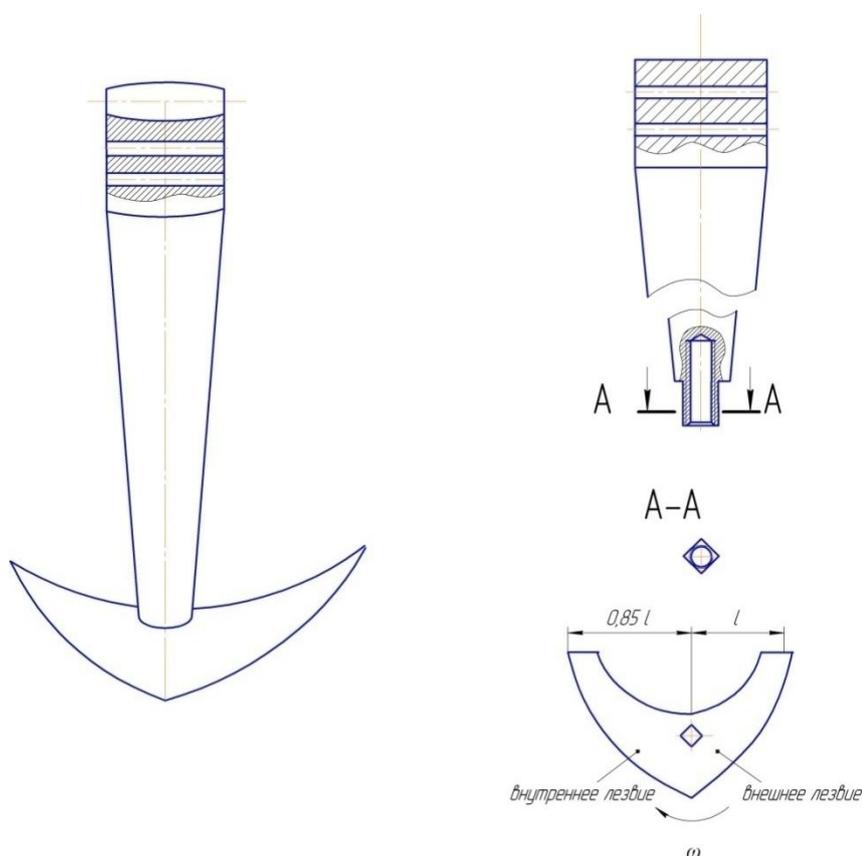


Рисунок 2.32 – Активный рабочий орган фрезы с вертикальной осью вращения для поверхностной обработки почвы

По конструкции это составной нож. При поломке подрезающего лезвия стойка остается рабочей, т.е. возможна взаимозаменяемость, что позволяет применять в зависимости от условий подрезающие лезвия разной конструкции.

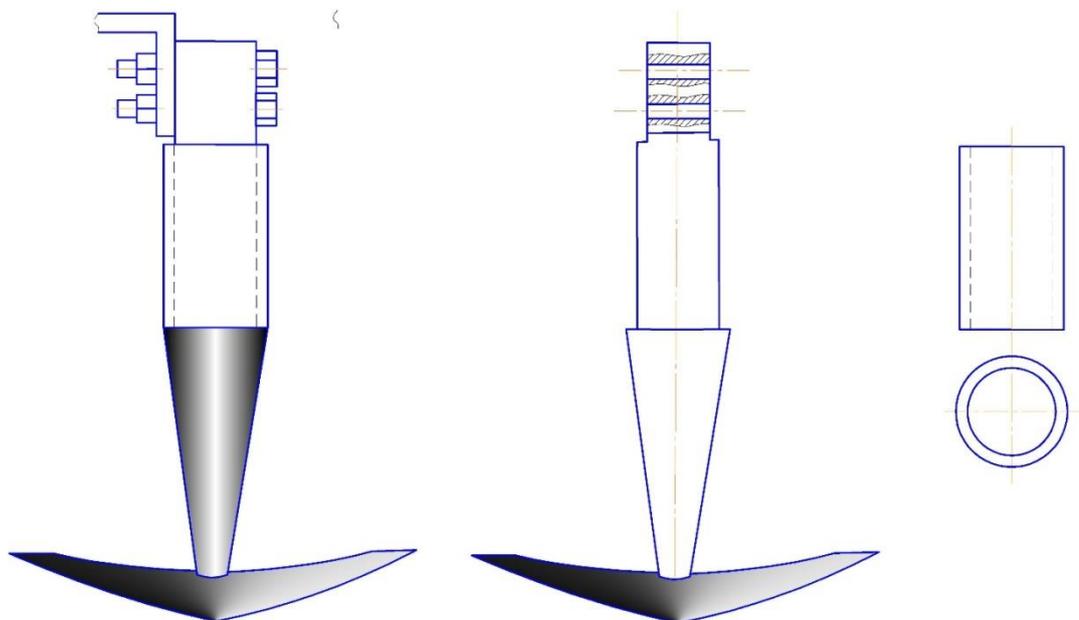


Рисунок 2.33 – Активный рабочий орган фрезы для поверхностной обработки почвы, сильно засоренной растительными остатками

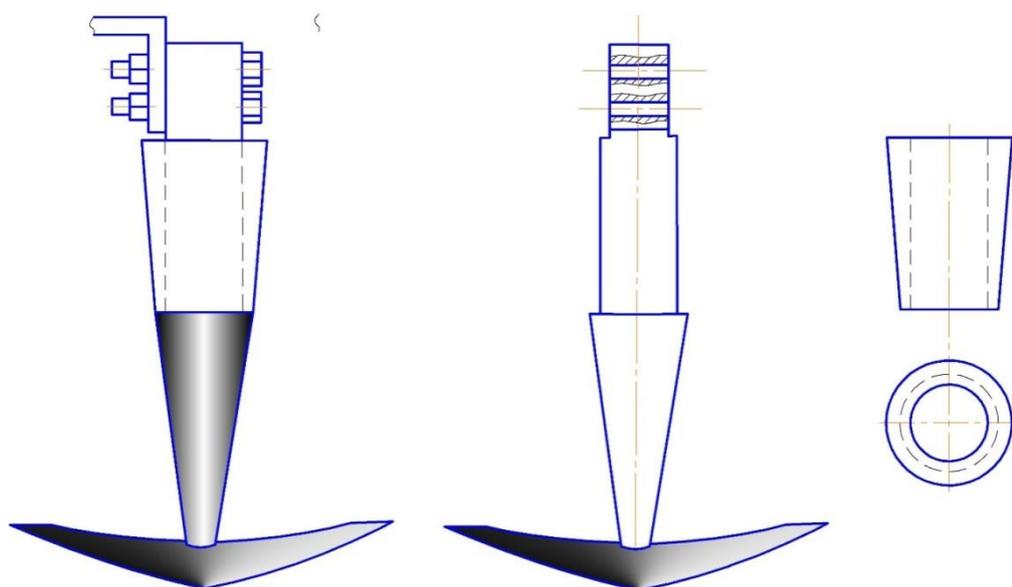


Рисунок 2.34 – Рабочий орган с конической втулкой

Представленный на рисунке 2.33 рабочий орган почвофрезы [74] предназначен для поверхностной обработки почвы засоренной сорняками. Благодаря наличию цилиндрической втулки, способной вращаться вокруг вертикальной оси, происходит постоянно сброс сорной растительности с ротора фрезы, что сказывается на уменьшении энергозатрат на обработку почвы и увеличении производительности труда. Если сброс растительных остатков с ротора фрезы не происходит, то надо останавливать агрегат и вручную освобождать ротор от сорняков, а это уменьшает производительность труда.

Рабочий орган [75] показанный на рисунке 2.34 отличается от предыдущего наличием конусной втулки, которая более эффективна в процессе сбрасывания сорняков, чем цилиндрическая.

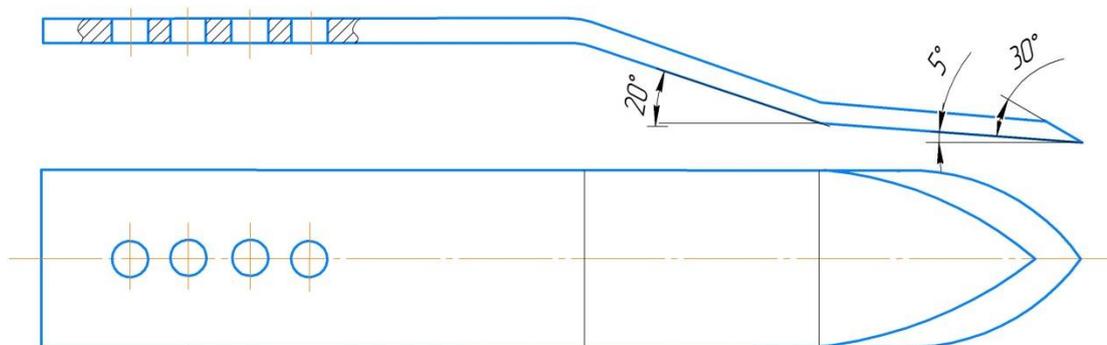


Рисунок 2.35 – Нож почвофрезы для подрезания сорняков

Нож почвофрезы [76], изображенной на рисунке 2.35 обладает малой энергоемкостью процесса обработки почвы за счет того, что стойка его наклонена к горизонту. Этот нож имеет двойную лезвийную части, что позволяет ему работать в любом направлении.

Известно, что фрезы с вертикальной осью вращения обладают высокой энергоемкостью обработки почвы по сравнению с традиционными орудиями, имеющими пассивные рабочие органы. Основная энергоемкость приходится на стойку ножа, имеющей форму плоской широкой по размеру пластины (рис. 2.29). При движении в первой половине трохойды стойка ножа не режет почву, а сдавливает, вызывая большее сопротивление (рис. 2.29), т.е. резко возрастает момент сопротивления. Поэтому ученые изыскали другую конструкцию стойки ножа [78] (рис. 2.36), которая в процессе работы в меньшей степени происходит смятие почвы, что сказывается на затратах энергии при обработке почвы.

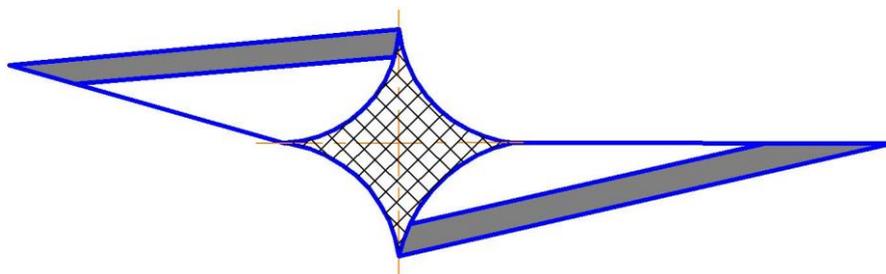


Рисунок 2.36 – Рабочий орган фрезы со стойкой, имеющей форму гипоциклоиды с четырьмя ветвями

Основная цель ученых – это найти оптимальные геометрические параметры стойки рабочего органа фрезы с вертикальной осью вращения. основным интерес вызывает стойка ножа (рис. 2.37), имеющая не плоскую рабочую поверхность, а вогнуто-выпуклую [78].

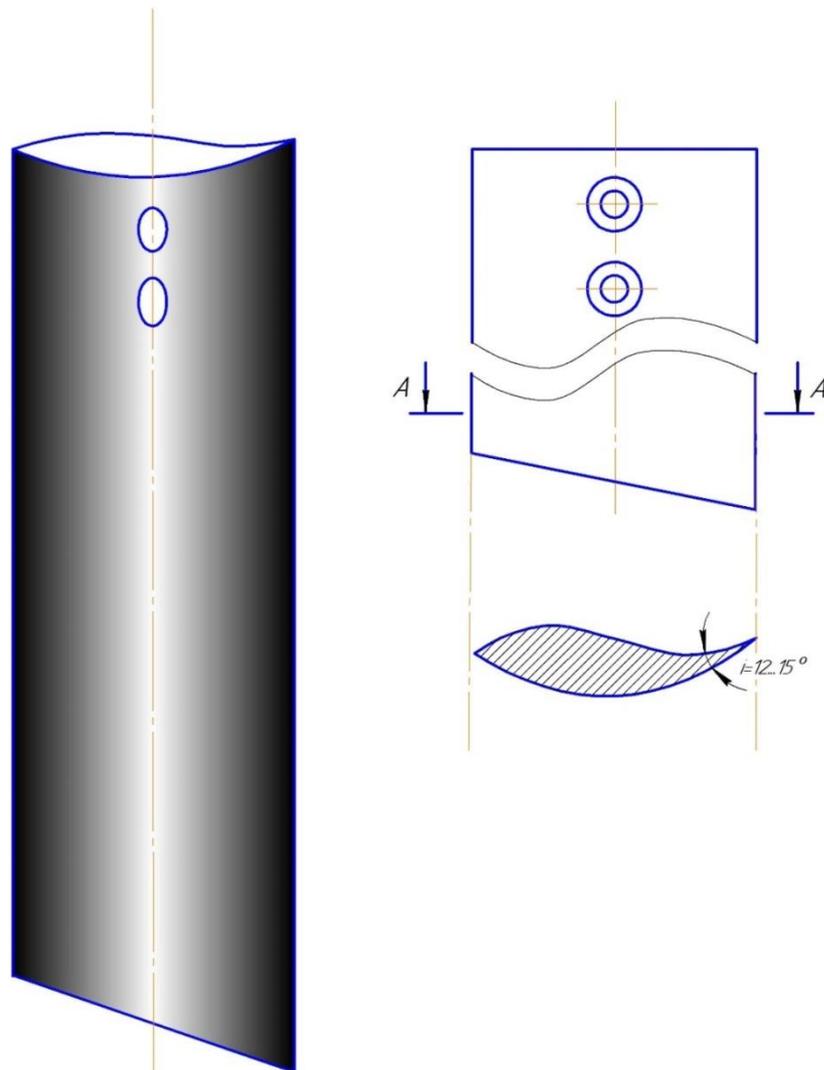


Рисунок 2.37 – Стойка рабочего органа почвофрезы с вертикальной осью вращения

Такая геометрическая форма позволяет снизить энергозатраты на обработку почвы. Уменьшение величины силы трения происходит за счет частичного перекатывания почвы по криволинейным поверхностям стойки, т.е. наблюдается процесс трения качения, а не трения скольжения.

Рассматривая процесс обработки почвы активными рабочими органами, состоящих только из прямых стоек фрез с вертикальной осью вращения видим, что этот процесс складывается из нескольких этапов; 1) - происходит уплотнение почвы (монолита); 2) - скалывание почвы боковой поверхностью

стойки; 3) -отбрасывание скальваемой стружки почвы. Теоретические исследования показывают, что большое количество энергии затрачивается на уплотнение почвы боковой и задней поверхностями стойки. В результате прохода одним ножом в первой половине своего движения почва уплотняется. Ее плотность становится выше, чем плотность монолита до его обработки (рисунок 2.38).

а) до прохода агрегата; б) после прохода агрегата

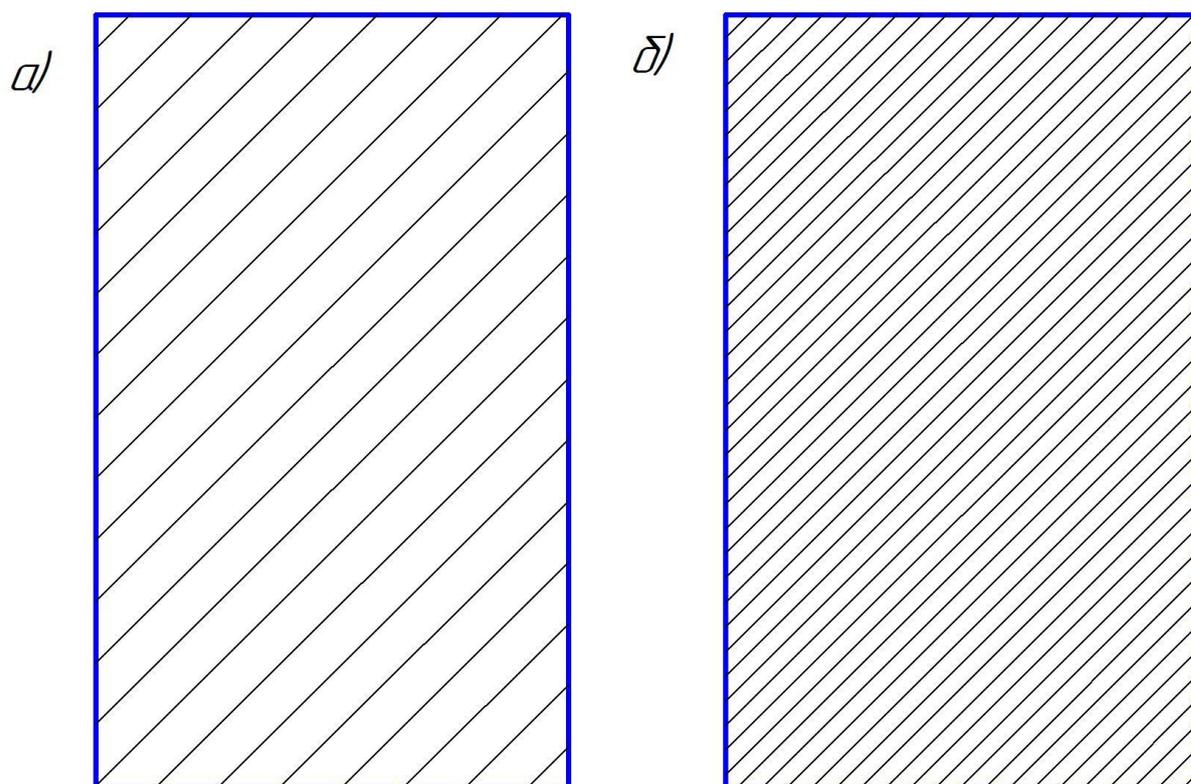
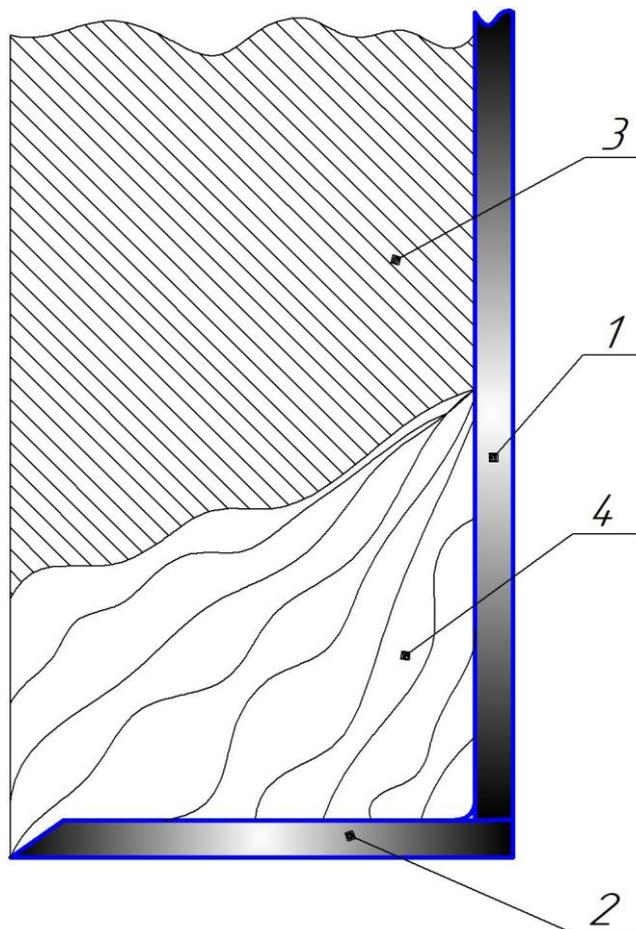


Рисунок 2.38 – Уплотнение почвы

Если для обработки почвы применить активный рабочий орган с внешне отогнутым лезвием (рисунок 1.16 а) то картина обработки почвы будет следующей (рисунок 2.38).



- 1 – стойка рабочего органа
- 2 - подрезающее лезвие;
- 3 - слой монолита;
- 4 - разрыхленный слой

Рисунок 2.39 - Картина образования разрыхленного слоя

Подрезающее лезвие 2 при работе фрезы рыхлит монолит 3, образуя рыхлительный слой 4, который будет уплотняться стойкой, но уже с менее плотной средой, чем было раньше (без подрезающего лезвия). Значит затраты энергии на обработку почвы снизятся.

Для разрыхления почвенного слоя 3 (рисунок 2.39) надо установить выше отогнутого лезвия 2 еще одно лезвие (рисунок 2.40).

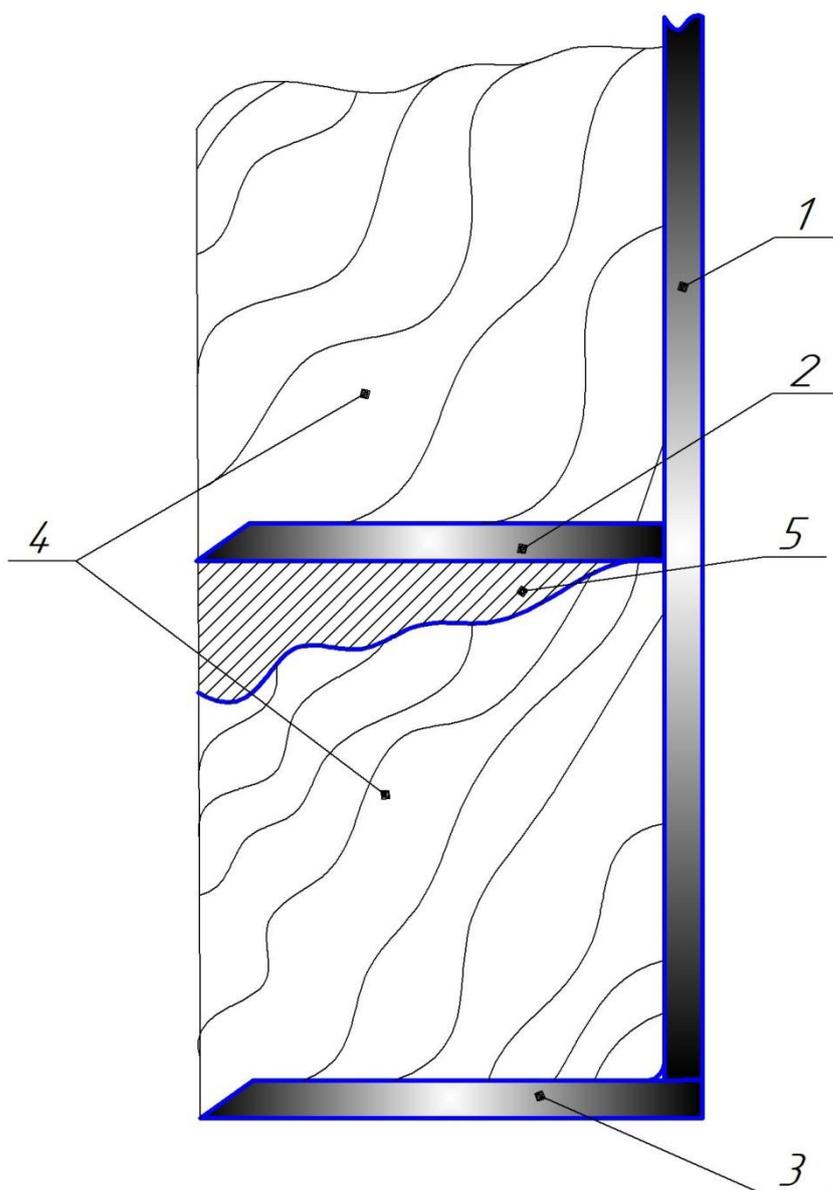


Рисунок 2.40 – Картина образования разрыхленного слоя двумя подрезающими лезвиями

Такая конструкция рабочего органа позволяет увеличить объем почвенного слоя, что в конечном итоге приводит к уменьшению затрат энергии на обработку почвы. Конструкция такого активного рабочего органа [79] представлена на рисунке 2.41. Надо отметить, что подрезающие лезвия в этой модели выдвинуты вперед на несколько сантиметров, чтобы обеспечить разрыхление почвы для стойки ножа. Объем разрыхленной зоны хоть и под-

вергается уплотнению почвы стойкой ножа, но значительно в меньшей степени, чем ранее. Все выше указывает на то, что затраты энергии на обработку почвы становятся меньше, чем когда почва обрабатывается только одной стойкой ножа.



Рисунок 2.41 – Конструкция рабочего активного органа для основной обработки почвы

Для обработки почвы вертикальной фрезой на глубину 3...5 см можно с успехом применять плоскорежущие рабочие органы и полольные стрельчатые лапы (рис. 2.42, 2.43, 2.44), которые качественно рыхлят почву и подрезают сорняки [80, 81, 82].

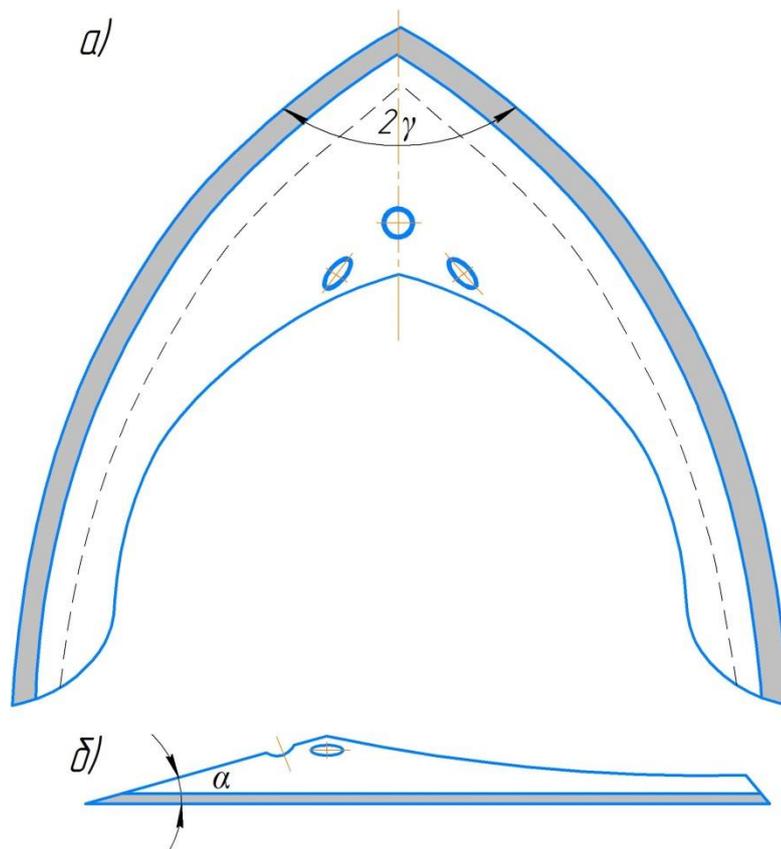


Рисунок 2.42 - Плоскорежущая полая стрелчатая лапа

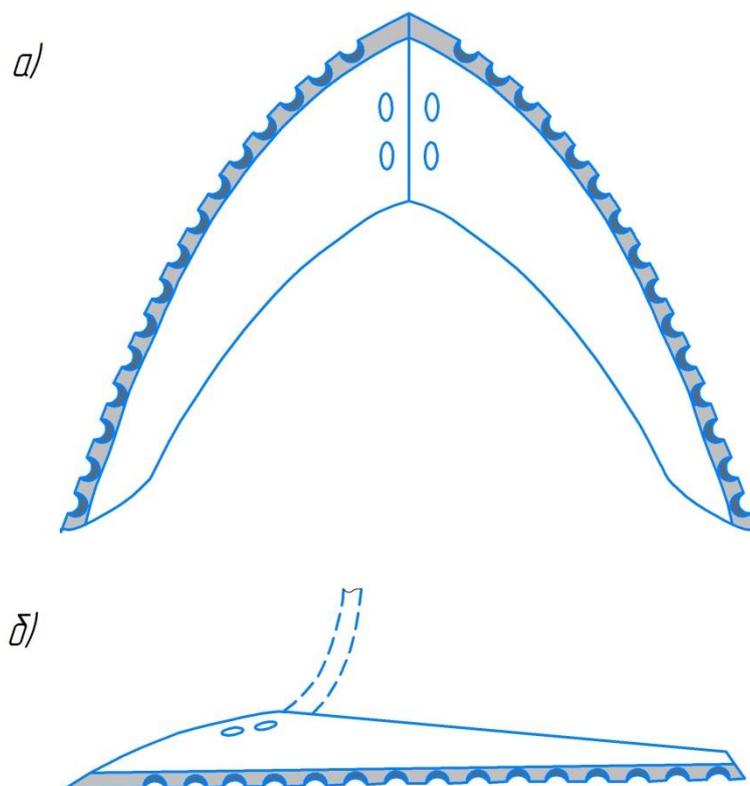


Рисунок 2.43 – Полая стрелчатая лапа

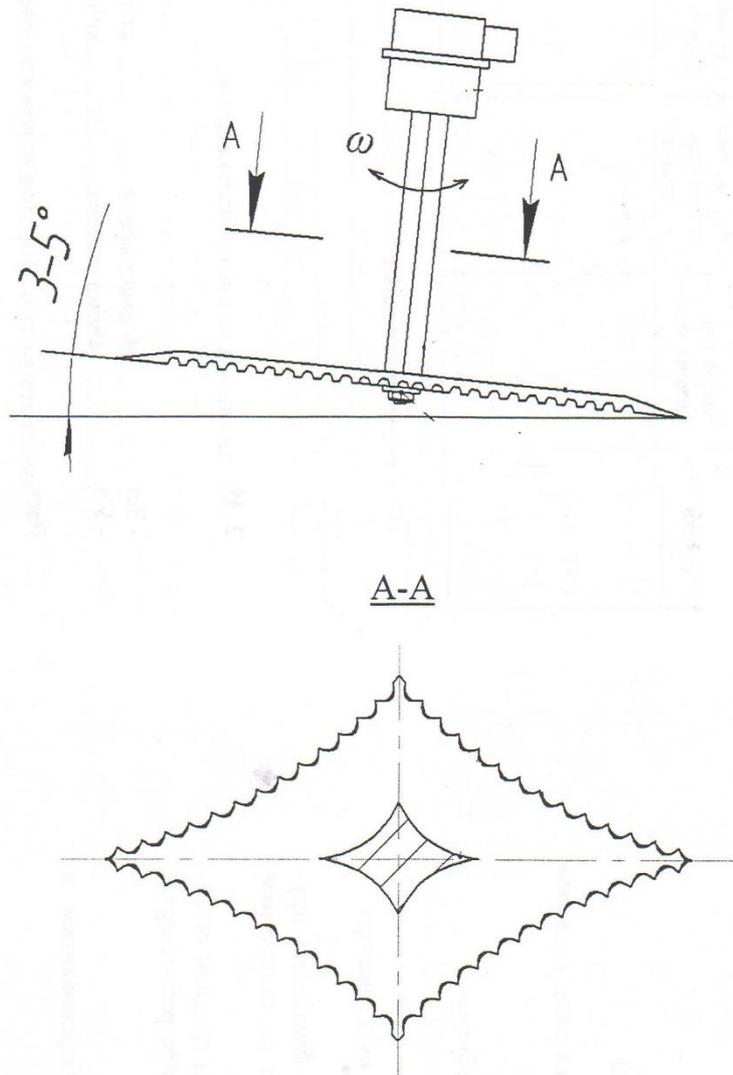


Рисунок 2.44 - Плоскорежущий рабочий орган для обработки почвы

Обобщая проведенные выше теоретические и практические исследования, можно сделать определенные выводы о взаимодействии активного рабочего органа с почвой:

1. Стойка ножа должна быть не плоской, а с определенной кривизной на некоторых участках;
2. Должно быть наличие двух подрезающих лезвий;
3. В зависимости от количества ножей, они должны быть повернуты на определенный угол к направлению движения;
4. Стойка ножа должна быть наименьшей по ширине, не снижая при этом прочность изделия;

5. Подрезающие лезвия должны быть выдвинуты несколько вперед по отношению к стойке;

6. Стойки жестко закрепленных ножей должны быть повернуты на угол $a = 15... 18^\circ$ против направления хода вращения.

2.2.7 Заключение

Экономическая эффективность при поверхностной и, особенно, основной обработки почвы фрезами с вертикальной осью вращения достигается, в основном, за счет снижения энергозатрат на фрезерование почвенных слоев и за счет повышения качества обработки почвы.

Качество обработки почвы в садовых насаждениях и на ягодных плантациях с учетом агротехнических требования обеспечивает:

- 1) стандартную структуру почвенных комков;
- 2) снижение повреждения стволов садовых насаждений и ветвей ягодных кустарников;
- 3) сохранность корневой системы растений при обработки почвы на заданную глубину;
- 4) качественное удаление сорняков из прикустовой зоны;
- 5) оптимальную ширину защитной зоны растений;
- 6) приемлемые условия работы ягодоуборочной техники и других сельскохозяйственных машин;
- 7) целесообразность эксплуатации роторов фрез с изменяемой шириной и глубиной захвата обрабатываемой почвы;
- 8) снижение ручной прополки прикустовой зоны и приствольных полос садовых насаждений;
- 9) заданную ширину ряда растений с целью качественной механизированной уборки ягод и плодов;
- 10) качественную заделку удобрений;
- 11) улучшение аэрации почвы;

- 12) уменьшение выноса и разброса почвы по сторонам;
- 13) качественную уборку урожая ручным и механизированным способом;
- 14) снижение энергоемкости обработки почвы фрезами с вертикальной осью вращения;
- 15) простота изготовления активных рабочих органов и роторов фрез;
- 16) увеличение применение ассиметричных агрегатов, влияющих на качество обработки почвы;
- 17) возможность в широких пределах менять режимы работы фрезы (рабочая скорость движения, подача на нож, частота вращения ротора);
- 18) уменьшение тягового сопротивления;
- 19) обеспечение качественного крошения за один проход;
- 20) качественный контроль глубины обработки почвы и копирование поверхности залегания корневой системы растений;
- 21) применение упругих и шарнирных соединений рабочих органов с держателями ротора, обеспечивающих снижение затрат энергии на обработку почвы.
- 22) уменьшение числа проходов техники в междурядьях и, как следствие, снижения уплотнения почвенных слоев и снижение затрат на топливо-смазочные материалы.

ГЛАВА 3 Технологические, технические и теоретические основы работы почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью вращения

3.1 Обзор направлений повышения производительности труда и снижения энергоемкости процесса обработки почвы

Опыт работы по фрезерной обработке почвы позволил установить восемь направлений, представленных на рисунке 2, по снижению энергоемкости и повышению производительности труда.

1. Изменения состояния почвы.
2. Предварительное рыхление почвы тяговыми рабочими органами.
3. Обработка переувлажненной почвы.
4. Обработка почвы залитой водой.
5. Оптимизация параметров рабочих органов.
6. Изменение формы рабочих органов.
7. Увеличение радиуса загиба L-образных ножей.
8. Применение способов крепления ножей.
9. Оптимизация угла установки ножей.
10. Увеличение ширины захвата ножа.
11. Винтовая поверхность полки L-образных ножей.
12. Уменьшение диаметра барабана.
13. Применения упругих ножей.
14. Оптимизация режимов работы.
15. Снижение окружной скорости ротора.
16. Увеличение подачи на нож.
17. Увеличение ширины захвата машины.
18. Обеспечение постоянного угла резания лезвия ножа.

3.2 Изменение состояния почвы

Чтобы правильно воздействовать почвоорудиями на почву надо знать строение, фазовый состав и технологические свойства почвы [4].

1) Строение и фазовый состав.

Почва – не сложная однородная масса, а трехфазная дисперсная среда, состоящая из твердых, жидких и газообразных фракций.

В почве могут содержаться растительные остатки (корни и стебли растений) и живые организмы растительного и животного происхождения. Почвенные организмы, разлагая органические остатки, не только обеспечивают минеральное питание растений, но и участвуют в почвообразовательном процессе, способствуя накоплению гумуса, оказывающего положительное влияние на технологические свойства почвы. От соотношения в почве жидкой и газообразной фаз в большей степени зависят ее технологические свойства.

Основными характеристиками строения почвы являются: скважность (порозность, пористость) и плотность (объемная масса).

Скважность – отношение объема пустот к общему объему почвы, выраженное в процентах.

Плотность – отношение массы m абсолютно сухой почвы к объему V исследуемой пробы

$$\rho_n = \frac{m}{V}$$

Плотность зависит от механического состава, содержания гумуса и скважности почвы. Плотность пахотного слоя изменяется в широких пределах – от 0,9 до 1,6 г/см³. Подпахотные горизонты почвы имеют более высокую плотность – 1,6 до 1,8 г/см³. Плотность влияет не только на развитие корневой системы растений, но и на водный, воздушный и пищевой режимы. При уплотнении почвы выше оптимальной плотности урожай снижается, а

при очень высоком уплотнении вообще отсутствует. Поэтому плотность почвы считается очень важным фактором плодородия. Но плотность почвы можно регулировать с помощью механической обработки в соответствии с требованиями для отдельных видов растений.

Твердая фаза представлена в почве «скелетом» - каменистыми включениями (частицы больше 1 мм) и мелкоземом (частицы меньше 1 мм).

При классификации почв по механическому составу мелкозем условно разделяют на две фракции: «физическую глину» (частицы меньше 10 мкм) и «физический песок» (частицы больше 10 мкм).

Почвы с различным содержанием этих фракций получили различные наименования:

Таблица 1.1 - Фракционный состав почвы

Виды почв	Содержание «физической глины», %	Содержание «физического песка», %
Глина	более 50	менее 50
Суглинок	50...20	50...80
Супесь	20...10	80...90
Песок	менее 10	более 90

Почвы с высоким содержанием глинистых частиц относят к тяжелым. Во влажном состоянии при механической обработке они налипают на рабочие органы, а в сухом образуют крупные глыбы.

Почвы с высоким содержанием песчаных частиц относят к легким. Они легко крошатся, хорошо поглощают влагу, но плохо ее удерживают, растительные остатки и удобрения разлагаются в ней быстро.

Суглинистые и супесчаные почвы по своим свойствам занимают промежуточное положение. Они сравнительно легко крошатся, хорошо поглощают и удерживают влагу, обладают большим плодородием.

Твердая фаза почвы разделяется на отдельные агрегаты, представляю-

щие собой комки почвы. Размер и форма комков весьма разнообразна. В соответствии с ОСТ 70.2.15-73 структурные агрегаты по размерам подразделяются на следующие типы:

Таблица 1.2 - Геометрические параметры твердой фазы

Глыбистая структура	более 10 мм
Комковатая структура	10...3 мм
Зернистая структура	3...0,25 мм
Пылеватая структура	менее 0,25 мм

Наиболее ценными считают агрегаты размером 1...3 мм, так как они отличаются наибольшей водопрочностью. Наиболее опасными считают песчинки размером от 0,5 до 0,1 мм.

Основная физическая характеристика твердой фазы – удельная масса почвы:

$$\rho_{т.ф.} = \frac{m}{V};$$

Жидкая фаза представлена в почве водой или растворами различных веществ в ней. О количестве воды, содержащейся в почве, судят по ее абсолютной влажности ω_a (%), которую определяют как отношение массы воды к массе сухой твердой фазы:

$$\omega_a = \frac{100(m_B - m_C)}{m_C},$$

где m_B и m_C - массы соответственно влажной и сухой почвы.

О степени увлажнения почвы судят по значению относительной влажности ω_0 (%):

$$\omega_0 = \frac{100\omega_a}{\omega_n},$$

где ω_n - полевая влагоемкость почвы.

Влажность почвы оказывает большое влияние на ее технологические свойства, а следовательно, на качество обработки и расход энергии.

При переувлажненном состоянии происходит залипание рабочих органов, сгуживание почвы; в пересохшем – образуются глыбы и пылевидные элементы, повреждаются структурные агрегаты.

Однако при определенной влажности структурная почва легко и хорошо крошится, на ее обработку расходуется минимальное количество энергии. Такое состояние почвы называется «спелостью». Состояние «спелости» наступает при относительной влажности 40...70%, что соответствует абсолютной влажности 15...30%. Механическую обработку почвы в состоянии «спелости» считают одним из способов улучшения ее структуры.

Газообразная фаза в почве представлена воздухом и другими газами (аммиак, метан и т.п.). Воздух в почве может содержаться в свободном и «защемленном» состоянии. «Защемленное» состояние – это когда он герметически закупорен с помощью твердых частиц и воды в капиллярных пустотах. При действии рабочих органов на почву воздух их свободного состояния переходит в «защемленное» накапливая потенциальную энергию, которая, освобождаясь после прекращения сжатия, разрывает связи между почвенными комочками, способствуя хорошему крошению спелой структуры почвы.

2) Технологические свойства почвы

Это те свойства почвы, которые проявляются в процессе ее механической обработки и оказывают существенное влияние на закономерности и характер протекания технологического процесса.

К технологическим свойствам почвы относятся: сопротивление ее различным видам деформации (прочность), трение о поверхности рабочих органов и внутреннее трение, липкость, связность, упругость, пластичность, абразивные свойства, упругость, вязкость, хрупкость, задернелость.

3) Технологические операции и процессы

Основная цель механической обработки почвы может быть достигнута выполнением следующих основных технологических операций: оборачивание, крошение (рыхление), резание, перемешивание, уплотнение, выравнивание поверхности, подрезание и выдергивание сорняков, формирование гребней, борозд, лунок и т.п.

Под технологическим процессом понимают выполнение одним рабочим органом нескольких операций: отрезание пласта, оборот, рыхление (крошение), перемешивание. К технологическим процессам относятся: вспашка, глубокое рыхление, лушение, культивация, боронование, прикатывание, фрезерование и т.п.

3.3 Предварительное рыхление почвы пассивными рабочими органами

Ротационные рабочие органы в отличие от пассивных совершают сложное (плоскопараллельное) движение: поступательное (переносное) вместе с машиной и вращательное (относительное) относительно нее. Вращательное движение активных рабочих органов осуществляется от вала отбора мощности. Это позволяет в широких пределах изменять степень крошения пласта и использовать эти рабочие органы для обработки связных задерженных почв. Фрезы применяют для интенсивного крошения почвы, уничтожения сорняков, измельчения растительных остатков, формирование гребней или выравнивания поверхности.

В основном для предпосевной обработки почвы применяют вертикально-фрезерный культиватор КВФ-2,8 (рис. 1.1) [5].

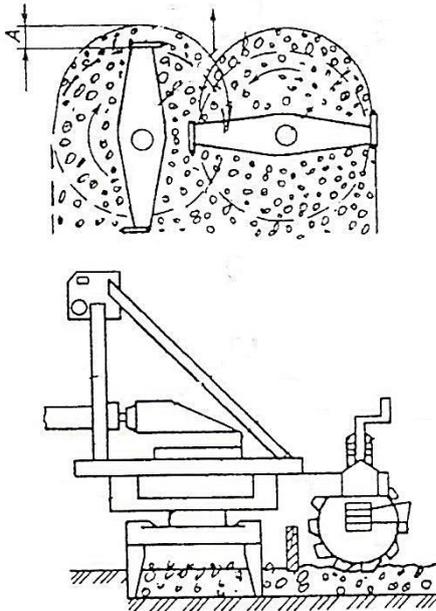


Рисунок 3.1 – Почвообрабатывающая фреза с вертикальной осью вращения

Вертикально-фрезерные навесные культиваторы предназначены для предпосевной подготовки почвы на глубину до 14 см. Фрезерование может выполняться как по вспаханному, так и по неспаханному полю после прохода лушильника. Частота вращения ротора фрезы составляет 295 мин^{-1} .

3.4 Обработка переувлажненной почвы

Повышение влажности почвы способствует уменьшению ее плотности и твердости. Обработка почвы (резание) такими активными органами приводит к снижению динамической части сопротивления, а также к снижению энергозатрат на обработку почвы.

3.5 Оптимизация параметров рабочих органов

Исследования различных по конструкции L-образных ножей с подрезающими лезвиями, расположенными под прямым углом к стойке, показали

возможность уменьшить затраты энергии на обработку почвы путем оптимизации их геометрических параметров.

3.5.1 Изменение формы рабочих органов

Изменение формы рабочих органов так же приводит к снижению затрат энергии на обработку почвы (рисунок 3.2).

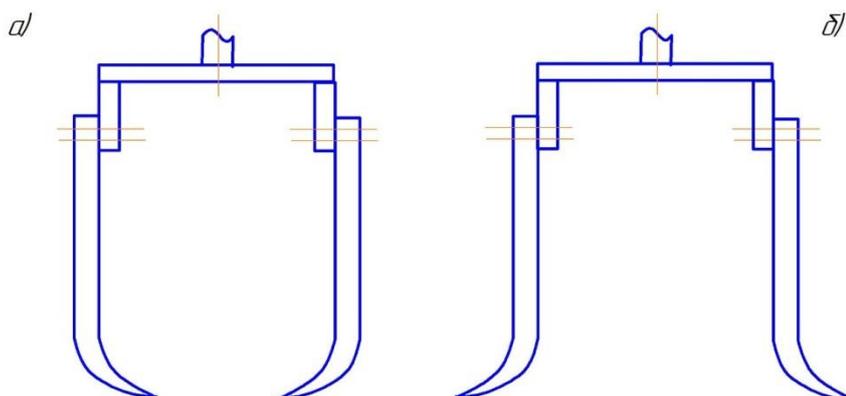


Рисунок 3.2 – Активные рабочие органы

а - L-образные ножи, загнутые во внутрь,

б - L-образные ножи, загнутые во внешние стороны

Изменение формы рабочих органов приводит к изменению затрат энергии на обработку почвы [7]. Наименьшей энергоемкостью обладают L-образные наружно-отогнутые.

3.5.2 Увеличение радиуса загиба L-образных ножей

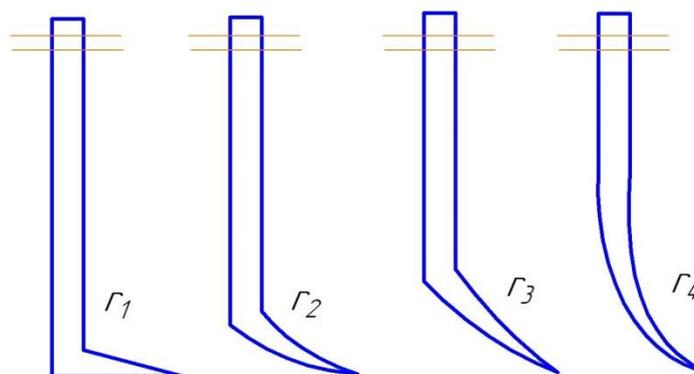


Рисунок 3.3 – Картина радиусов загиба L-образных ножей

Исследования, проведенные В. Зоне [8] показали, что за счет правильного подбора (рисунок 3.3) радиуса изгиба r можно снизить энергозатраты на 10-15%.

3.6 Винтовая поверхность полки L-образных ножей

Исследования Д.Я. Зангаладзе [26] фрезерных активных рабочих органов с вертикальной осью вращения показали, что рабочие органы с прямой режущей кромкой менее энергоемки, чем с винтовой поверхностью резания (рисунок 3.4).

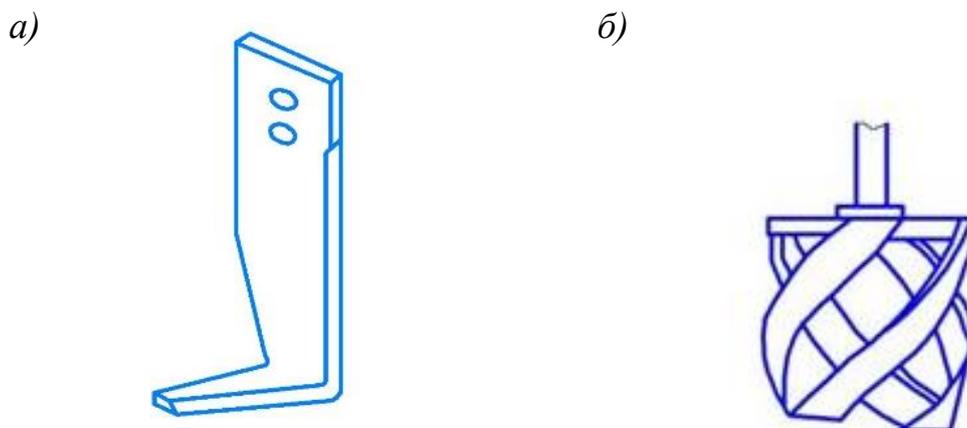


Рисунок 3.4 – Активные рабочие органы

а) с плоской поверхностью полки; б) с винтовой поверхностью полки

3.7 Применение способов крепления ножей

Ножи фрез с вертикальной осью вращения крепятся к фланцу ротора или держателю жестко с помощью болтового соединения (рисунок 3.5).

а)



б)

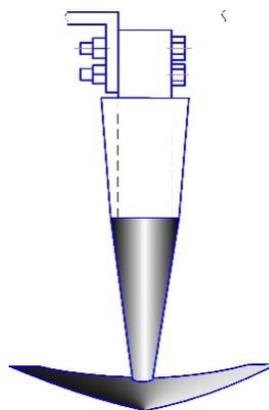


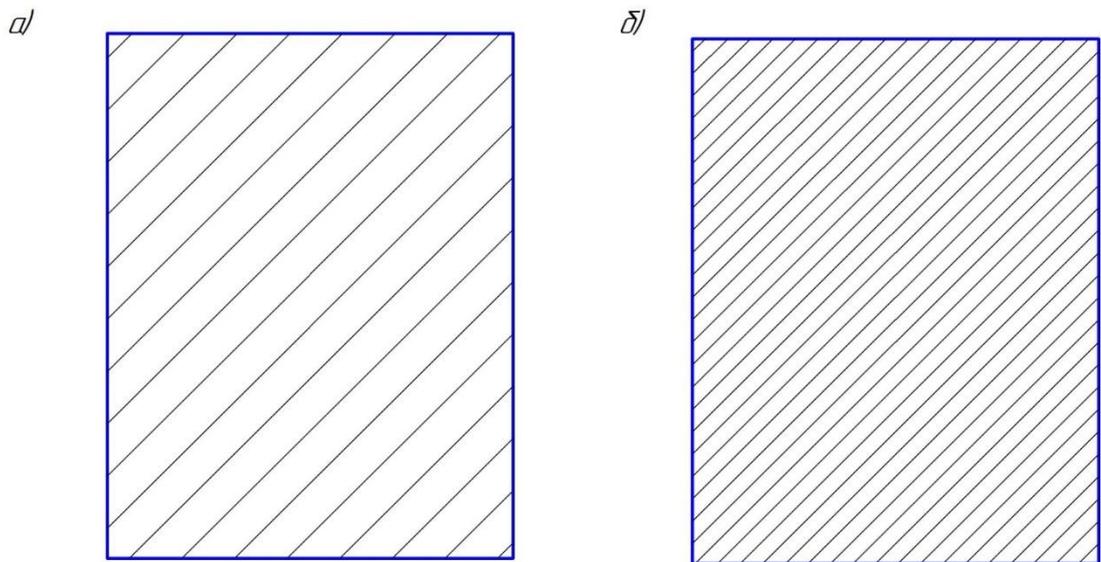
Рисунок 3.5 – Крепление ножей к ротору почвы фрезы с вертикальной осью вращения

- а) крепление ножей к фланцу ротора;
- б) крепление ножа к держателю ротора.

При обработке почвы активными рабочими органами, состоящими из прямых стоек, имеющих форму параллелепипеда (рисунок 3.5, а) наблюдается процесс, складывающийся из нескольких этапов:

- 1) на первом этапе происходит уплотнения почвы (монолита);
- 2) затем происходит скалывание почвы боковой поверхностью стойки;
- 3) и только затем отбрасывание скалываемой стружки почвы.

Теоретические исследования показывают, что большое количество энергии затрачивается на уплотнение почвы боковой и задней поверхностями стойки. В результате прохода одним ножом в первой половине своего движения почва уплотняется. Ее плотность становится выше, чем плотность монолита до его обработки (рисунок 3.6).

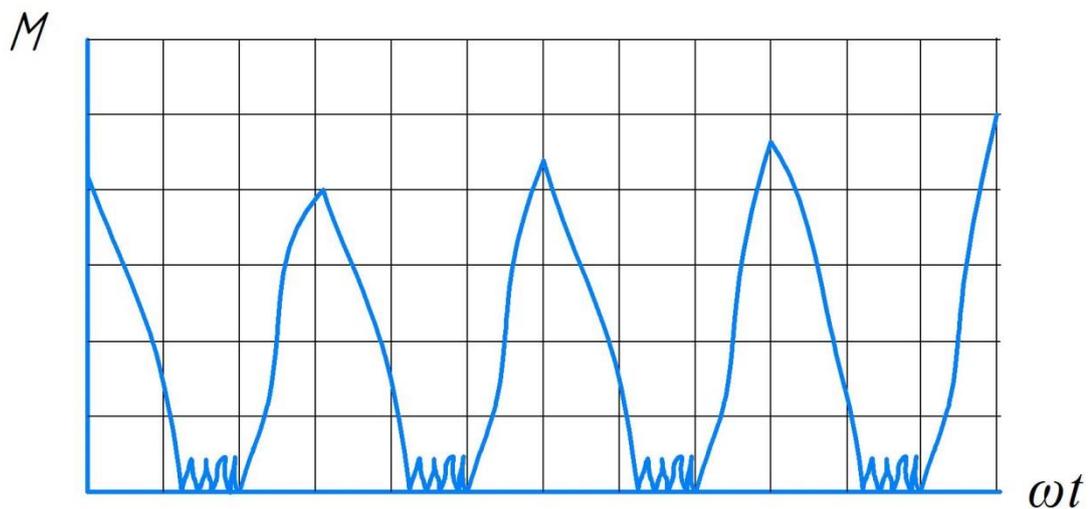


а) до прохода агрегата;

б) после прохода агрегата

Рисунок 3.6 – Уплотнение почвы

Уплотнение почвы до ее обработки (до скалывания) объясняется [70] увеличением крутящего момента на валу ротора. Эксперимент проводился с четырьмя рабочими органами. График крутящего момента тензограммы (рисунок 3.7) при установившемся режиме работы имеет вид:



3.7 - Фрагмент тензограммы по определению крутящего момента на валу ротора с четырьмя рабочими органами

Из тензограммы видно, что значение крутящего момента на валу ротора носит «пиковый» характер, что отрицательно сказывается на работе всего агрегата, качестве обработки почвы, затратах энергии.

Объясняется это тем [70], что плотность стойки рабочего органа движется не по циклоиде, а под углом крошения почвы δ (рисунок 3.8). Угол крошения δ - это угол между направлениями скоростей $\overline{V_{окр}}$ и $\overline{V_p}$, который в процессе движения ножа (стойки) все время меняется за один оборот ротора.

Анализируя картину движения ножа, заключаем, что при угле крошения $\delta = 0$ (положение 1) происходит резание почвы, а не смятие. По мере движения ножа угол крошения изменяется, при этом смятие почвы, качество резания ухудшается, растет крутящий момент на валу ротора до «пикового» значения. Чем больше δ , тем больше сила сопротивления резанию почвы, а значит растет энергоемкость обработки почвы.

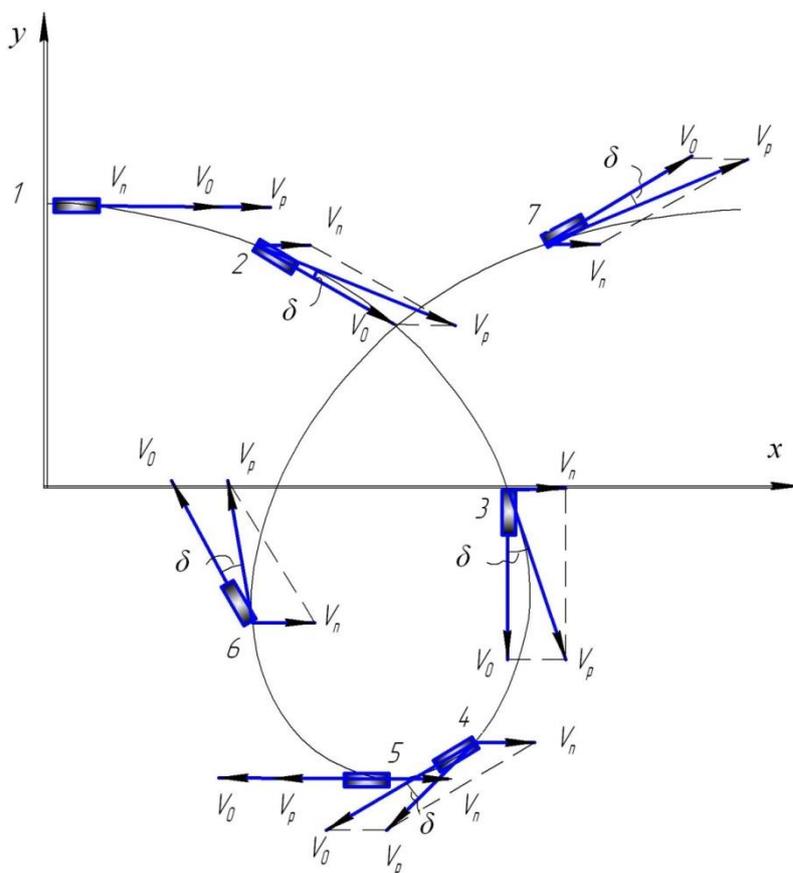


Рисунок 3.8 – Движение стойки ножа при ее жестком креплении к ротору

При малых скоростях окружной скорости $V_{\text{окр}}$ сила сопротивления пропорциональна скорости

$$F_{\text{соп}} = \beta \cdot V ,$$

а при больших скоростях сила сопротивления пропорциональна второй степени скорости

$$F_{\text{соп}} = \beta \cdot V^2 ,$$

где β – коэффициент пропорциональности.

Наименьший крутящий момент наблюдается в положении 5:

$$V_0 = V_{\text{окр}} - V_{\text{п}},$$

В этом положении плоскость стойки рабочего органа совпадает с направлениями скоростей $\overline{V_{\text{окр}}}$ и $\overline{V_{\text{р}}}$, испытывая наименьшее сопротивление, а значит, и затраты энергии на обработку почвы. Наибольшее сопротивление стойка ножа испытывает в положении 3 и 6, вызывая относительно большие затраты энергии на обработку почвы. Кроме того, что увеличиваются затраты энергии на обработку, еще наблюдается процесс уплотнения почвы (рисунок 3.9), который сказывается также на затратах энергии.

3.8 Влияние кинематического показателя λ на процесс обработки почвы

Кинематический показатель λ , характеризующий кривизну циклоиды равен:

$$\lambda = \frac{V_{\text{окр}}}{V_{\text{п}}} \geq 1,$$

где $V_{\text{окр}}$ - окружная скорость ротора,

$V_{\text{п}}$ - поступательная скорость трактора.

Рассмотрим положение (рисунок 3.8) рабочего органа на позиции 3.

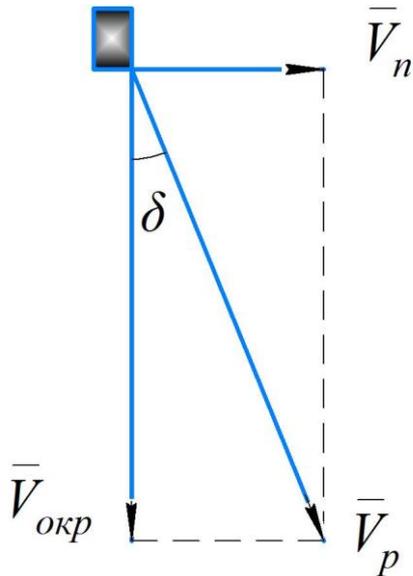


Рисунок 3.9 – Определение скоростей ротора

Из рисунка 3.9 видно, что при увеличении поступательной скорости агрегата будет уменьшаться λ , а это приводит к росту производительности обработки почвы.

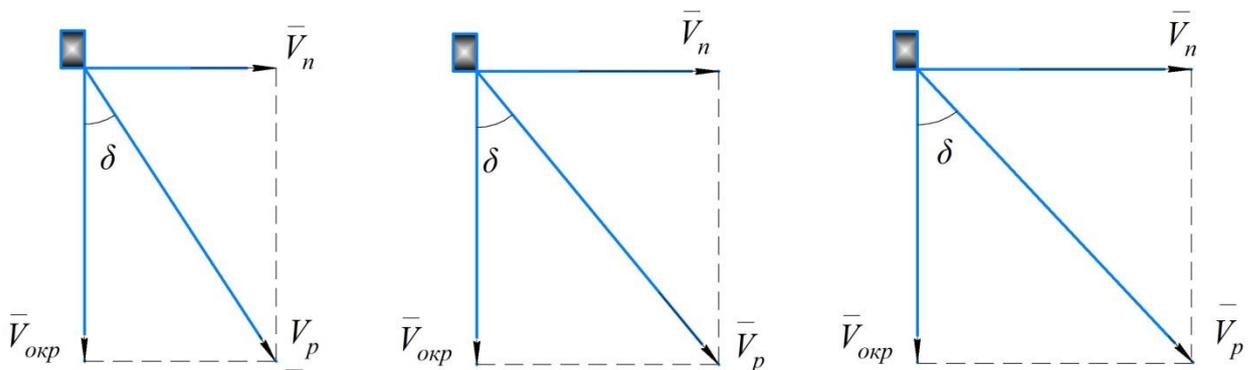


Рисунок 3.10 – Картина увеличения поступательной скорости $V_{\text{п}}$

а) при $\lambda = 2$; б) при $\lambda = 1,5$; в) при $\lambda = 1$

Увеличение поступательной скорости $V_{\text{п}}$ приводит к увеличению угла крошения δ , что отрицательно сказывается на агротехнических требованиях к обработке почвы: появляются необработанные участки; образуется плохая структура почвы; увеличивается сопротивление резанию почвы; растут затраты энергии на обработку, появляется «пиковая» нагрузка на рабочий орган, что отрицательно сказывается на работе всей фрезы.

Увеличение поступательной скорости приводит не только к увеличению угла крошения, но и к увеличению скорости резания $V_{\text{р}}$ (рисунок 3.10), а значит и к силам сопротивления $F_{\text{соп}} = \beta \cdot V_{\text{р}}$ или $F_{\text{соп}} = \beta \cdot V_{\text{р}}^2$.

3.9 Оптимизация угла установки ножей

Уменьшить затраты энергии и улучшить качество обработки почвы можно [10] в том случае, если рабочий орган почвофрезы будет резать, а не снимать почву своей боковой поверхностью и тыльной стороной. Для этого угол установки ножа должен быть определенным [11] (рисунок 3.11).

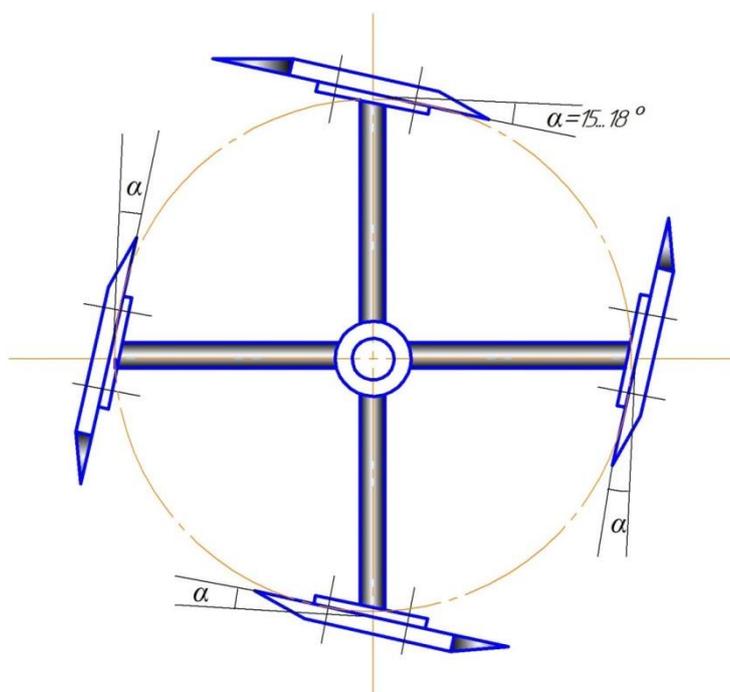


Рисунок 3.11 – Установка ножей относительно радиуса ротора

При жестком (болтовом) креплении рабочего органа угол поворота λ должен приблизительно составлять $15^{\circ} \dots 18^{\circ}$ с радиусом ротора, что способствует уменьшению угла крошения δ , а значит и снижению энергозатрат на обработку почвы.

Существенное влияние на обработку почвы (качество и энергоемкость) фрезой с вертикальной осью вращения оказывают геометрические и кинематические параметры стойки ножа. Особенно это проявляется при основной обработке почвы [10], когда силы реакции почвы оказывают давление на боковые поверхности стоек ножа. Действие сил реакций показаны на рисунке 3.12.

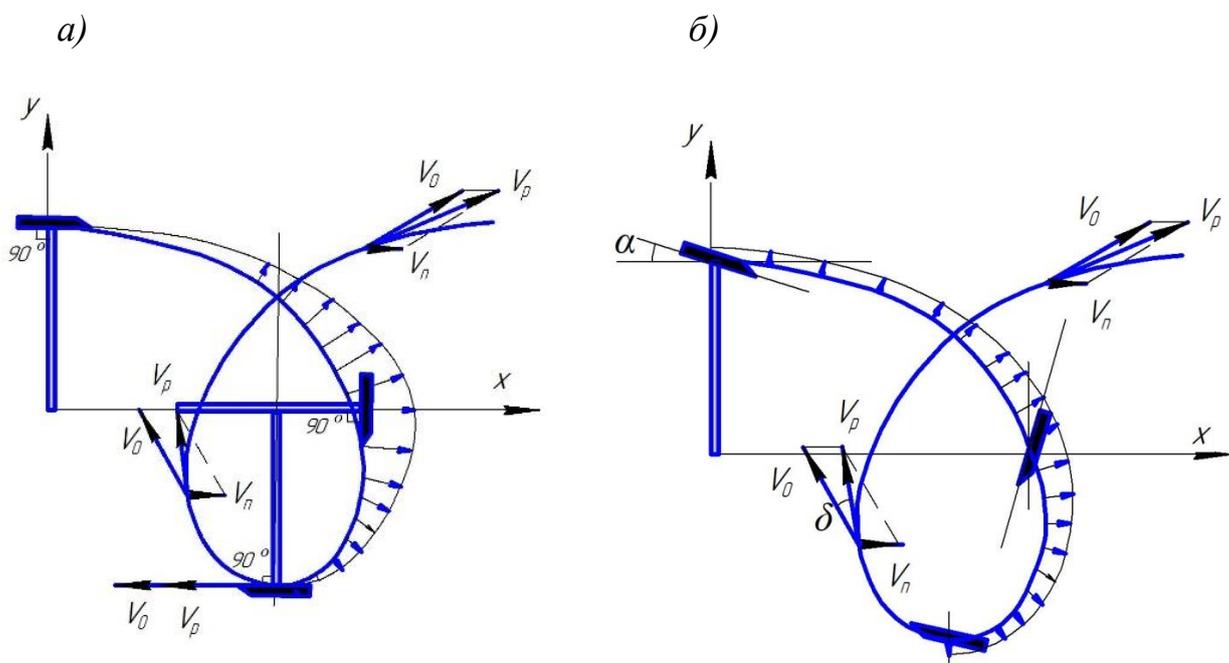


Рисунок 3.12 – Действие сил реакций почвы на стойки ножа

- а) стойка ножа расположена под прямым углом к радиусу ротора;
- б) стойка ножа расположена под углом α к радиусу ротора

С целью снижения затрат энергии на обработку почвы нужно знать кинематику движения ножа для того, чтобы правильно подобрать оптимальные геометрические и режимные параметры ножа. Активный рабочий орган (нож) в процессе обработки почвы совершает плоскопараллельное движение (рисунок 3.13).

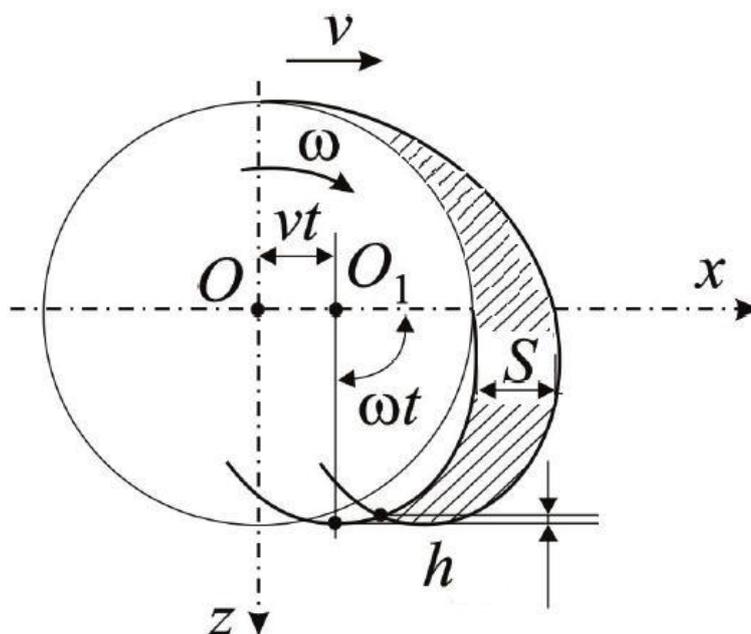


Рисунок 3.13 – Плоскопараллельное движение активного рабочего органа фрезы с вертикальной осью вращения

3.10 Кинематика движения ножа

Каждая точка ножа движется по циклоиде, траектория которой зависит от величины окружной $V_{окр}$ и поступательной скорости $V_{п}$.

Абсолютная скорость V_a любой точки ножа есть геометрическая сумма окружной $V_{окр}$ и поступательной $V_{п}$ скоростей этой точки,

На рисунке 3.13:

V – поступательная скорость трактора;

ω – угловая скорость вращения ротора;

$\varphi = \omega t$ – угол поворота ротора;

t – время поворота стойки ножа;

S – подача ножа;

В результате одного оборота ротора получаем след движения ножа (рисунок 3.14). Это будет трохоида. Очевидно, что при плоскопараллельном движении фрезы

$$\vec{V}_p = \vec{V}_{\text{окр}} + \vec{V}_{\text{п}},$$

где V_p – скорость резания;

$V_{\text{окр}}$ – окружная скорость;

$V_{\text{п}}$ – поступательная скорость.

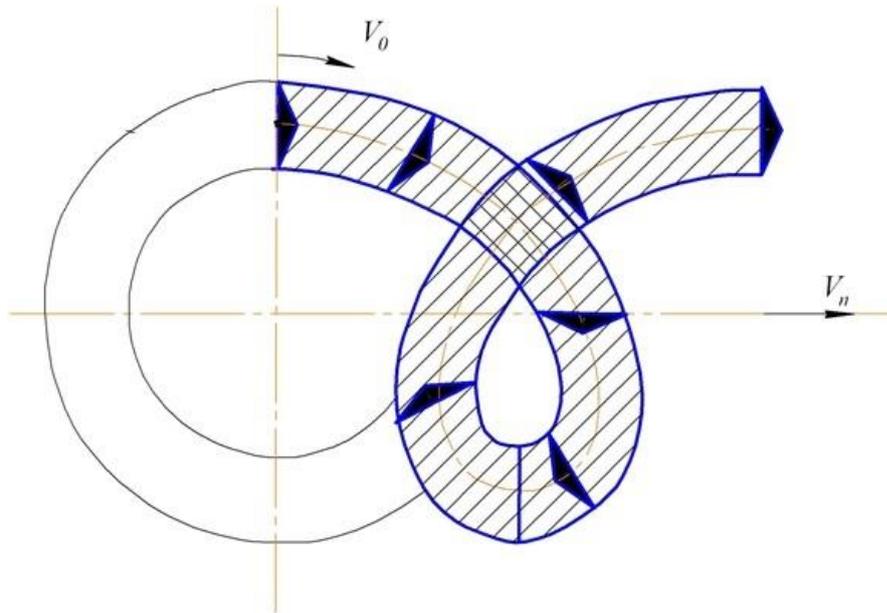


Рисунок 3.14 – След движения ножа

При известном подходе к кинематике рабочего органа вертикальной фрезы видно, что движение режущих кромок происходит по циклоиде, а сам рабочий орган движется по трохоиде. Угол крошения почвы δ все время меняется за один поворот ротора. Угол δ – это угол между направлениями векторов \vec{V}_p и $\vec{V}_{\text{окр}}$. Из рисунка 3.12 видно, что вектор $\vec{V}_{\text{окр}}$ совпадает с длиной стойки. Чистое резание без смятия почвы происходит, когда угол крошения $\delta = 0$.

Угол $\delta = 0$ наблюдается, когда нож находится в положении 1 и 5 (рисунок 3.8) и смятие почвы отсутствует. Если $\delta > 0$ направление векторов \vec{V}_p и $\vec{V}_{окр}$ не совпадают, то происходит частичное смятие почвы, приводящее к увеличению затрат энергии на фрезерование. Чем больше δ , тем больше расходуется энергии на обработку.

Если ввести систему отсчета хоу, то зная, что

$$\vec{V}_a = \vec{V}_x + \vec{V}_y,$$

где V_a – абсолютная скорость любой точки ножа;

V_x – скорость точки вдоль оси Ox ;

V_y – скорость точки относительно оси Oy .

Тогда скорости V_x и V_y относительно осей будут:

$$\frac{dx}{dt} = \pm V_{окр} \cos \varphi + V_{п},$$

$$\frac{dy}{dt} = V_{окр} \sin \varphi$$

где $\varphi = \omega t$ – угол изменения при повороте ножа (рад);

ω – угловая скорость ротора, рад/с;

t – время поворота лезвия, с.

Окружная скорость ротора

$$V_{окр} = \pm \omega R,$$

После преобразований и подстановки уравнений, учитывая направление вращения, выбирают знак плюс или минус.

Знак плюс или минус зависит от направления вращения ножей.

После подстановки уравнения получим:

$$\left. \begin{aligned} dx &= \pm(\omega R \cos \omega t + v_{\Pi}) dt \\ dy &= \omega R \sin \omega t dt \end{aligned} \right\}$$

Интегрируя уравнение, получим уравнение траектории движения точки ножа:

$$\begin{aligned} x &= \pm \omega R \int \cos \omega t dt + V_{\Pi} \int dt = \pm R \sin \omega t + V_{\Pi} t + c_1 \\ y &= \omega R \int \sin \omega t dt = R \cos \omega t + c_2 \end{aligned}$$

Учитывая начальные условия $t = 0$; $x = 0$; $y = 0$, находим постоянные интегрирования c_1 и c_2 , по которым можно определить координаты, подставив в эти уравнения значения начальных условий.

В результате получаем $c_1 = 0$; $c_2 = R$.

Тогда уравнение изменится:

$$\left. \begin{aligned} x &= \pm R \sin \omega t + V_{\Pi} t \\ y &= R(1 - \cos \omega t) \end{aligned} \right\}$$

Уравнения позволяют определить положение любой точки ножа, скорость резания V_R и ускорение a через заданный промежуток времени t .

Абсолютная скорость (скорость резания) точки ножа, лежащей на режущей кромке, согласно А.Д. Далину имеет вид:

$$V_p = V_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos \omega t}$$

где $\lambda = \frac{V_{\text{окр}}}{V_{\pi}} \geq 1$ – кинематический показатель, характеризующий кривизну циклоиды; $V_{\text{окр}}$ – окружная скорость точки ротора; V_{π} – поступательная скорость агрегата; ω – угловая скорость вращения ротора.

При небольшой глубине обработки почвы в прикустовой зоне смородины размер стойки и ее форма не оказывают существенного влияния на энергоемкость ножа. При глубине обработки почвы 10 – 15 см размеры стойки – ее длина и ширина, а также геометрическая форма, оказывают существенно большее влияние на фрезерование почвы, чем подрезающие лезвия.

3.11 Влияние геометрических параметров ножа на энергоемкость фрезерования

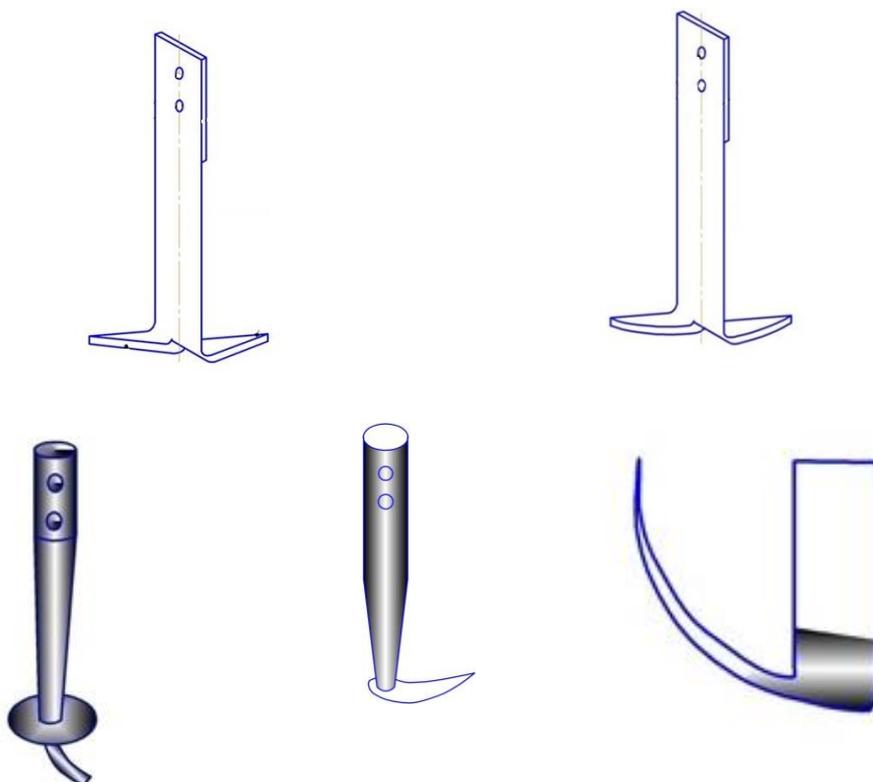


Рисунок 3.15 – Подрезающие лезвия активных рабочих органов

Форма подрезающих лезвий активных рабочих органов (рисунок 3.15) фрез с вертикальной осью вращения оказывает существенное влияние на качество крошения почвы и незначительное влияние на энергоемкость обработки почвы. Форма режущей кромки должна быть не прямой, а криволинейной и выпуклой. Это дает возможность резать почву со скольжением, уменьшая, таким образом, силу трения, а значит и сопротивление, приводящее к снижению энергозатрат.

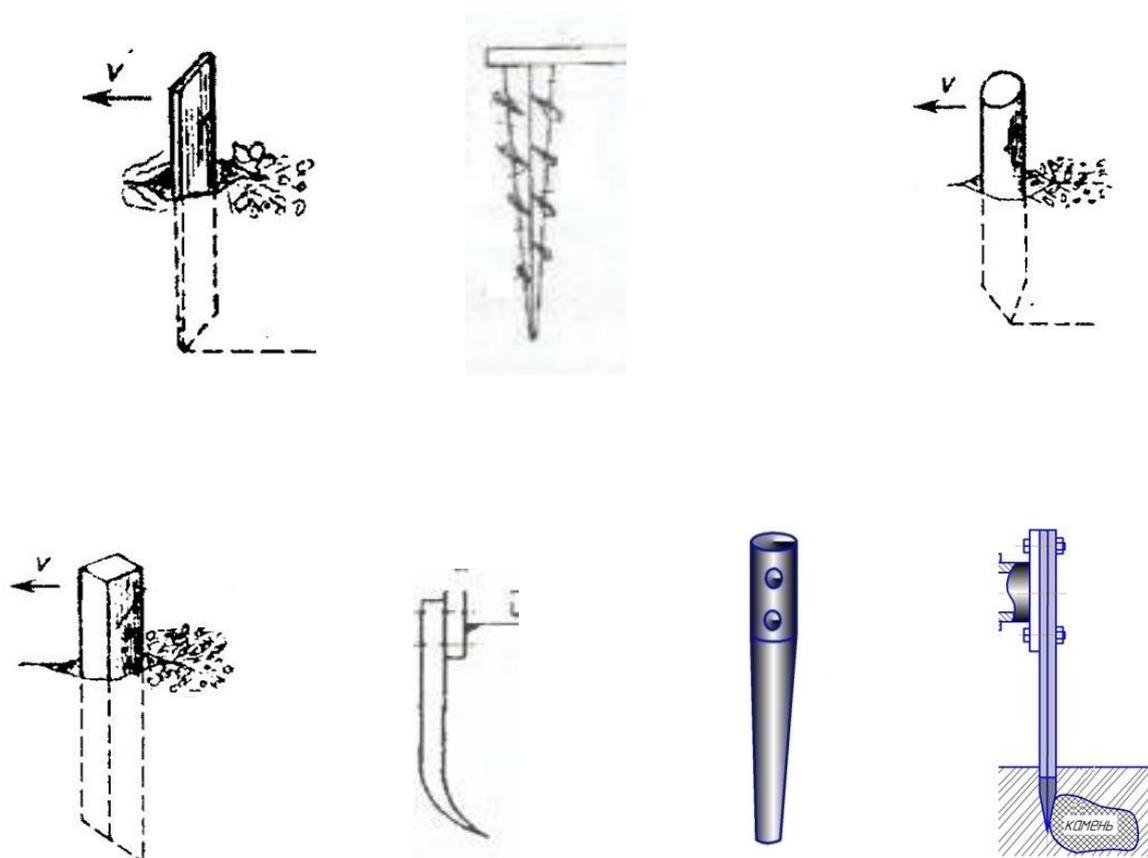


Рисунок 3.16 – Формы стоек ножей

А вот геометрические параметры стоек активных рабочих органов существенно влияют на энергозатраты и качество крошения почвы. Боковые поверхности рабочих органов, для снижения энергозатрат должны быть выполнены выпуклыми (рисунок 3.17).

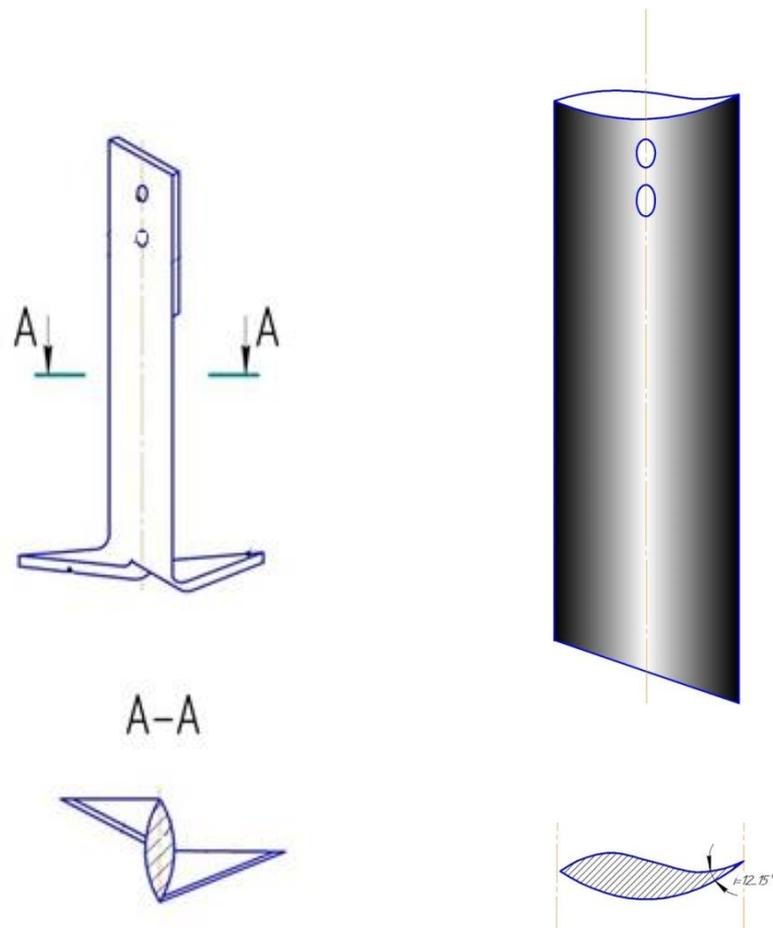


Рисунок 3.17 – Форма боковых поверхностей стоек активных рабочих органов

Рассмотрим действие сил на частицу почвы при ее движении вдоль прямой и выпуклой линии поверхности стойки (рисунок 3.18).

Для этого составим дифференциальное уравнение движения частицы почвы вдоль оси x :

- 1) При прямолинейном движении

$$m\ddot{x} = N - mg \cos a \quad (1)$$

- 2) При движении по выпуклой кривой

$$m\ddot{x} = N + \frac{mV^2}{\rho} - mg \cos a \quad (2)$$

где m – масса частицы почвы;

\ddot{x} - ускорение частицы;

N – сила реакции;

V – скорость движения частицы почвы;

ρ - радиус кривизны выпуклой кривой.

Из уравнения (1) следует:

$$N = m\ddot{x} + mg \cos a$$

Из уравнения (2) следует:

$$N = m\ddot{x} + mg \cos a - \frac{mV^2}{\rho} \quad (3)$$

Из уравнений (3) и (4) видно, что сила реакции N , а значит и сила давления при движении почвы по выпуклой поверхности меньше, на величину $\frac{mV^2}{\rho}$, чем по прямой.

А это сказывается на энергоёмкости процесса культивации, на износе боковой поверхности, на качестве подрезания сорняков и крошении почвы.

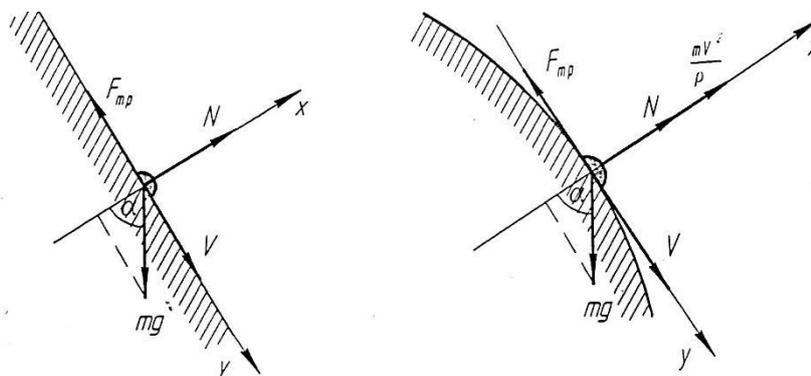


Рисунок 3.18 – Действие частиц почвы на боковую поверхность стойки

Для уменьшения разброса почвы по сторонам и снижения энергозатрат на обработку почвы за счет снижения сопротивления вертикального перемещения ножа, стойка ножа должна быть повернута на угол μ к касательной окружности ее вращения, а форма боковой поверхности совпадает с кривой эллипса [13, 14] в любой ее точке.

Для определения угла установки ножа (угла изгиба) рассмотрим $\triangle ABA_1$ (рисунок 3.19).

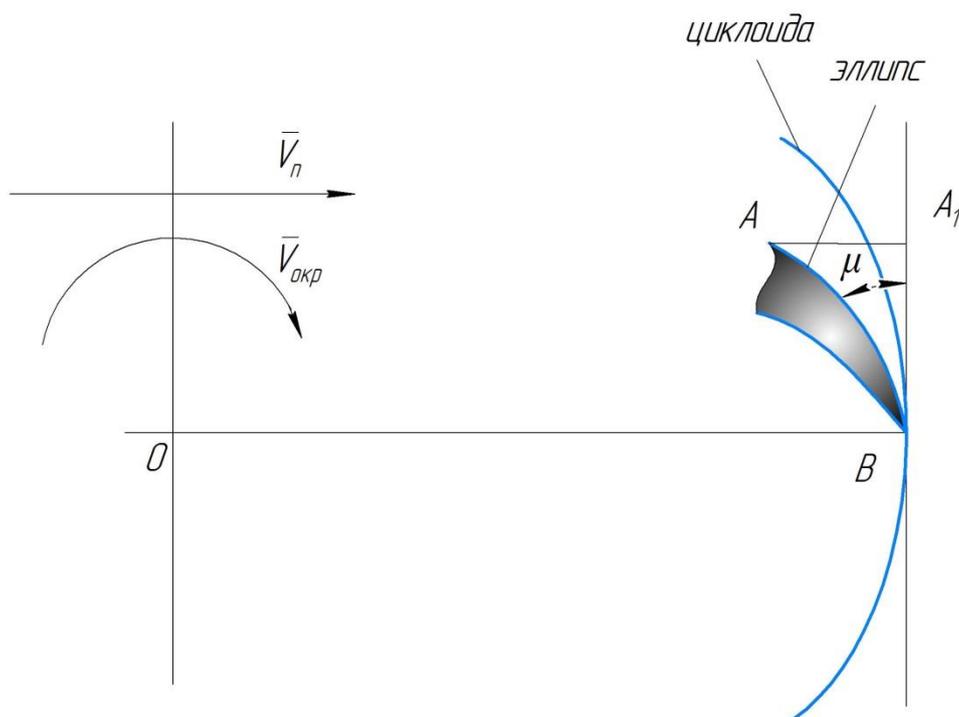


Рисунок 3.19 – Определение угла установки и изгиба ножа

При поступательной скорости V_n и окружной скорости $V_{окр}$ передняя плоскость ножа из точки A за время поворота ротора на угол α должна переместиться в точку B . Это перемещение можно записать как перемещение в двух направлениях: $AA_1 = V_n t$ и A_1B . Поскольку ширина ножа AB мала по сравнению с радиусом OB , то величину AB можно с известным допущением приравнять к $V_n t$. Тогда угол установки ножа μ можно определить как:

$$\mu = \operatorname{arctg} \frac{V_{\Pi}}{V_{\text{окр}}},$$

Но отношение $V_{\text{окр}}$ к V_{Π} есть λ – кинематический показатель, т.е.

$$\lambda = \frac{V_{\text{окр}}}{V_{\Pi}} \text{ и тогда } \mu = \operatorname{arctg} \frac{1}{\lambda}.$$

При жестком креплении рабочего органа к ротору вертикальной фрезы угол установки ножа зависит от кинематического показателя λ .

3.12 Увеличение подачи на нож

Одним из факторов снижающих затраты энергии на обработку почвы является увеличение подачи на нож. Это также приводит к увеличению производительности труда [88].

Сечение стружки, срезаемой одним ножом фрезы в определенный момент, равно:

$$F = a \cdot s'$$

где a – глубина работы одного ножа, см;

s' - толщина стружки в исследуемом положении ножа, см.

Толщина стружки с достаточной точностью может быть определена из треугольника ABC (рисунок 3.20)

$$s' = s \cdot \sin a$$

где s – величина подачи на один нож фрезы, см.

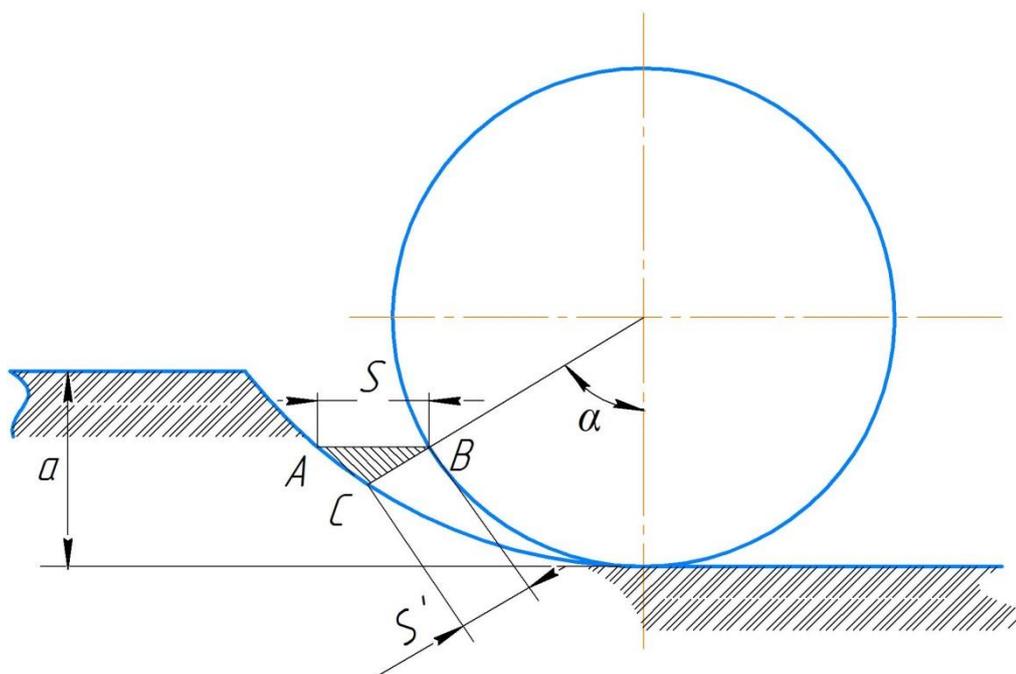


Рисунок 3.20 – Определение сечения стружки

После подстановки получим:

$$F = a \cdot s \cdot \sin a$$

Ввиду того, что в работе одновременно принимает участие несколько ножей, находящихся под различными углами, суммарное сечение стружки, снимаемое фрезой (рисунок 3.20) будет равно:

$$F_{\text{сум}} = B i \sum_1^i \sin a,$$

где B – ширина захвата фрезы, мм

i – количество одновременно работающих ножей.

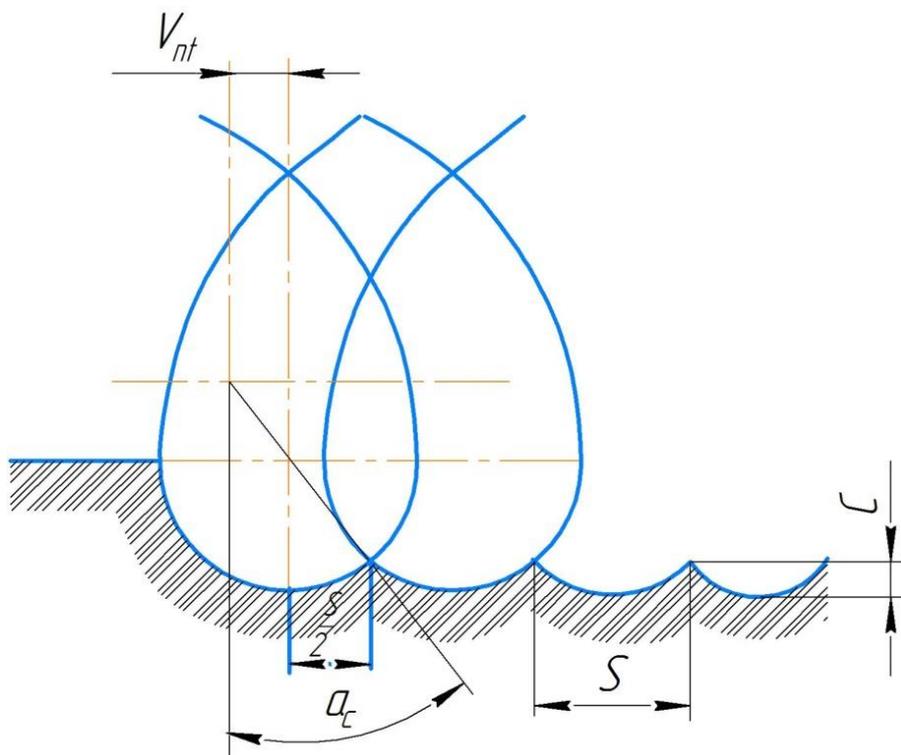


Рисунок 3.21 – Схема для определения параметров траектории движения ножей фрезы

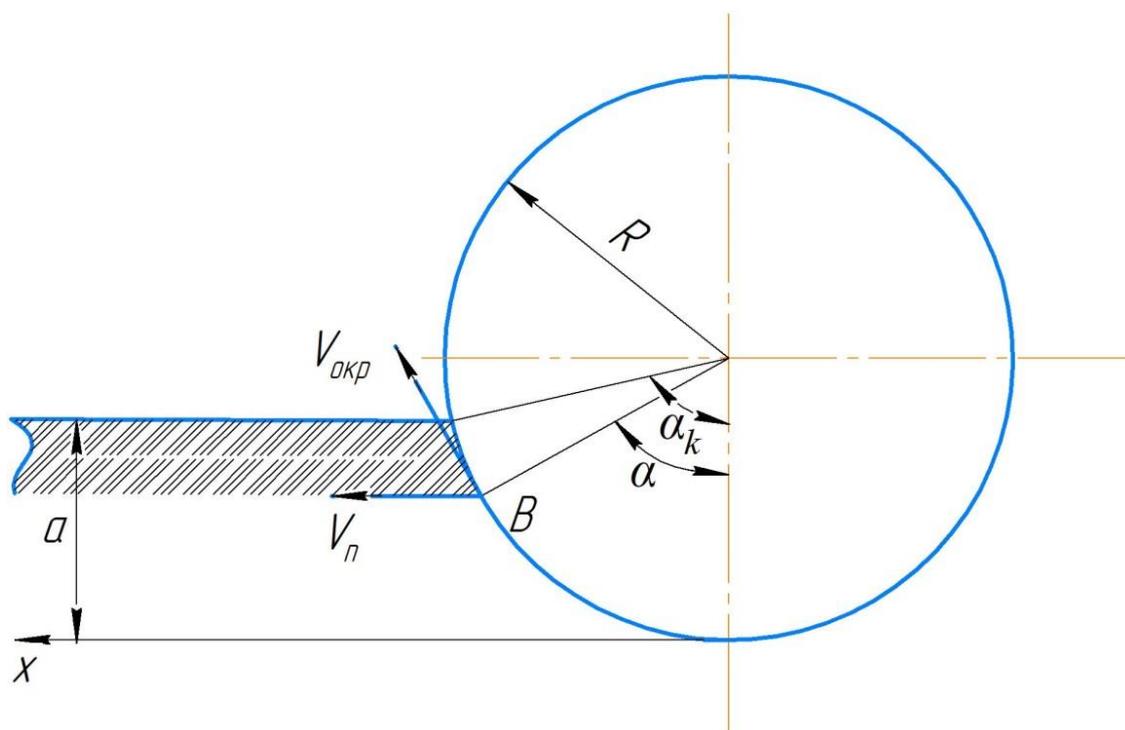


Рисунок 3.22 – Определение суммарного сечения стружки снимаемой фрезой (движение вдоль оси x)

В среднем за цикл количество одновременно работающих ножей равно:

$$i = \frac{a_k z}{720},$$

где a_k – угол контакта фрезы с почвой (см. рисунок 3.22), град.;

z – число ножей фрезы на одном роторе, шт.

Угол контакта фрезы с почвой находим из выражения:

$$a_k = \arccos\left(1 - \frac{a'}{R}\right),$$

где a' – расстояние от стенки фрезеруемой канавки до определенного положения режущей кромки ножа, мм.

При работе фрезы с горизонтальной осью вращения основание пахотного слоя получается гребнистым, что нежелательно. Поэтому при проектировании фрезы необходимо выбрать такие параметры, которые обеспечили бы минимальную высоту гребней.

Из уравнения высота гребней составляет:

$$c = R(1 - \cos a_c).$$

Вторая координата вершины гребня $x = s/2$. Подставив это значение в уравнение, заменив $\omega t = a_c$ и $t = a_c/\omega$, получим:

$$s/2 = \pm R \sin a_c + v_n a_c/\omega$$

Для малых значений углов можно с небольшой погрешностью принять $\sin a_c \approx a_c$.

Подставляя это значение, получим:

$$s/2 = \pm R a_c + v_n a_c / \omega$$

Откуда:

$$a_c = \frac{s}{2\left(\pm R + \frac{v_n}{\omega}\right)},$$

Подставив в эту формулу $\omega = v_{\text{окр}}/R$, получим:

$$a_c = \frac{s}{2R\left(\frac{v_n}{v_{\text{окр}}} \pm 1\right)},$$

Тогда

$$c = R \left[1 - \cos \frac{s}{2R \left(\frac{v_n}{v_{\text{окр}}} \pm 1 \right)} \right]$$

Учитывая, что $\lambda = \frac{v_{\text{окр}}}{v_n}$, получим, что высота гребней равна:

$$c = R \left[1 - \cos \frac{x}{2R \left(\frac{1}{\lambda} \pm 1 \right)} \right]$$

ГЛАВА 4 Разработка конструктивной схемы машины для ухода за высокостебельными культурами и обоснование ее параметров, режимов работы по качественным и энергетическим показателям

Известно, что в конструктивную схему машин по уходу за высокостебельными культурами входит рама порталного типа, на которую монтируются роторы зависимого [18] и независимого [89] принципа действия.

Исследуем процесс копирования поверхности почвы и плодовой стенки растений агрегатом порталного типа, который имеет возможность совершать вращательное движение вокруг неподвижного горизонтального шарнира (см. рисунок. 4.1). Тогда траекторией любой точки будет окружность. Если тело повернуто на малый угол $\delta\varphi$, то очевидно, что $\delta S_A \approx OA \cdot \delta\varphi$ и чем меньше $\delta\varphi$ тем эти равенства точнее ($\delta S_A \perp OA$, $\delta S_B \perp OB$). Исследуем погрешность равенства $\delta S = R \cdot \delta\varphi$ (рисунок 4.3). Пусть, например, точка A плоской конструкции находится на расстоянии R от оси вращения. При повороте на угол $\delta\varphi$ она перейдет по дуге $\widetilde{AA'}$ в положение A' . Очевидно, что

$$\widetilde{AA'} = R \cdot \delta\varphi \quad (4.1)$$

С другой стороны вариация δS из прямоугольного треугольника OAC равна:

$$\delta S = R \operatorname{tg} \delta\varphi \approx R \cdot \delta\varphi \quad \text{т.к.} \quad \operatorname{tg} \delta\varphi \approx \sin \delta\varphi \approx \delta\varphi$$

учитывая, что разложение функции $\operatorname{tg} x$ в ряд Маклорена имеет вид:

$$\operatorname{tg} x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{2x^5}{15} + \frac{17x^7}{315} + \dots, \text{ рассмотрим модуль разности } |\widetilde{AA'} - \delta S|.$$

$$|\widetilde{AA'} - \delta S| = |R\delta\varphi - Rtg\delta\varphi| = R|\delta\varphi - tg\delta\varphi| = R\left|\delta\varphi - \delta\varphi - \frac{(\delta\varphi)^3}{3}\right| =$$

$$= R\left|\frac{-(\delta\varphi)^3}{3}\right| = R\frac{1}{3}\delta\varphi^3$$

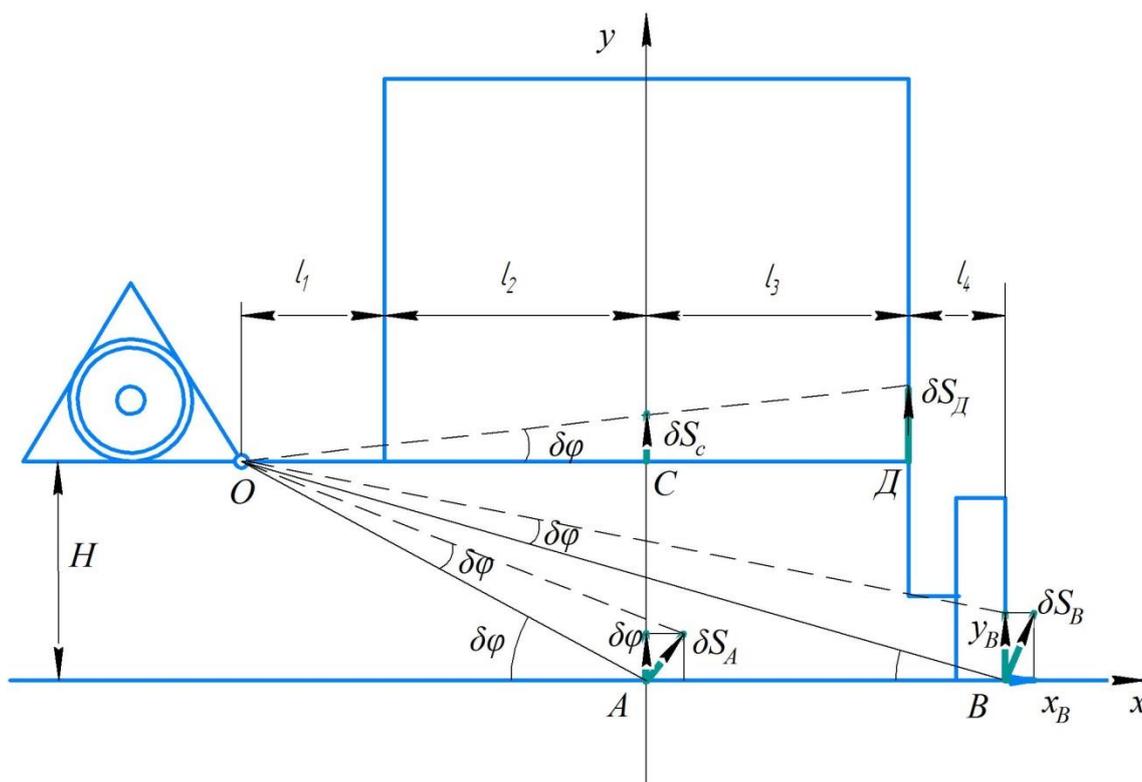


Рисунок 4.1 – Схема агрегата порталного типа

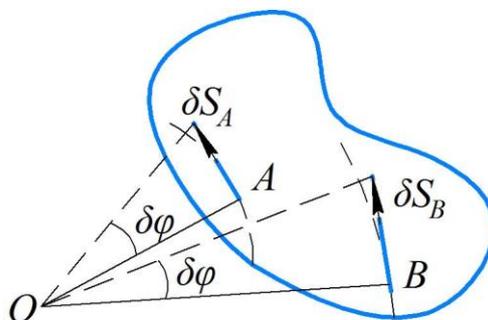
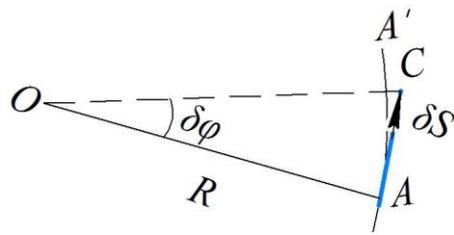
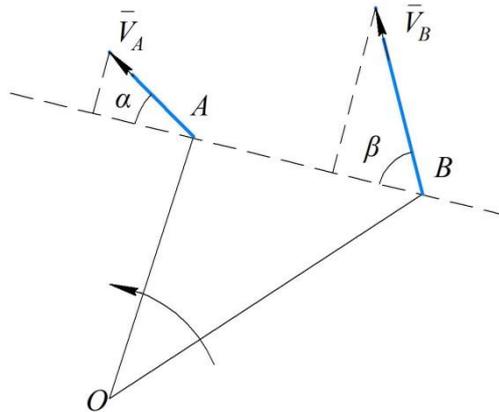


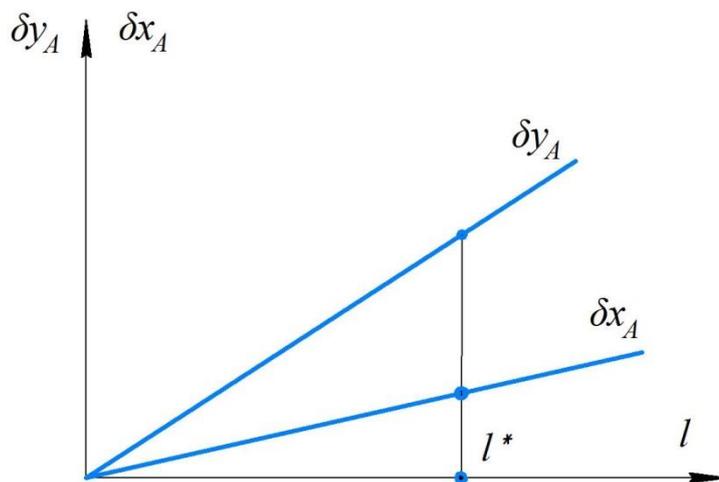
Рисунок 4.2 - Траектории движения точек, принадлежащих агрегата



4.3 К определению погрешности равенства $\delta S = R \cdot \delta \varphi$



4.4. Зависимость скоростей точек по величине и направлению



4.5 Определение величин δy_A и δx_A как функций от l

А это значит, что относительная погрешность примерно равна (с точностью до бесконечно-малых более высокого порядка малости)

$$\frac{|\widetilde{AA'} - \delta S|}{\widetilde{AA'}} \approx \frac{1}{3} (\delta\varphi)^2 \quad (4.2)$$

Из (4.2) при значении $\delta\varphi = \frac{\pi}{18} = 10^\circ$, например имеем

$$\frac{\widetilde{AA'} - \delta S}{\widetilde{AA'}} = \frac{1}{3} \left(\frac{\pi}{18}\right)^2 \leq \frac{1}{100},$$

т.е. если угол $\delta\varphi < 10^\circ$, то относительная погрешность при замене перемещения $\widetilde{AA'}$ на AC менее 1%. Поворот рамы на угол $\delta\varphi > 10^\circ$ мало вероятен. По этой причине далее мы будем считать перемещение точек механизма виртуальными (бесконечно-малыми) и учитывать, что $\delta S = R \cdot \delta\varphi$. Кстати, из рисунка 4.1 видно, что проекция δS_A и δS_B на ось OY всегда меньше, чем проекция действительного перемещения этих точек. Это означает, что фактически дальнейший анализ будет проводиться еще с меньшей погрешностью, чем мы получили в результате теоретического исследования при принятом допущении малости перемещения.

Из формулы $\delta S = R \cdot \delta\varphi$ непосредственно следует, что проекции перемещений двух точек плоской фигуры на прямую, их соединяющую, равны. Действительно, из теоретической механики [90] известно (рисунок 4.4), что применяя теорему о проекции скоростей двух точек плоской фигуры, имеем:

$$V_A \cos \alpha = V_B \cos \beta \quad (4.3)$$

Но при принятом допущении $V_A = \frac{\delta S_A}{dt}$, $V_B = \frac{\delta S_B}{dt}$, где dt время, за которое фигура вернулась на угол $\delta\varphi$. Но тогда из (4.3) следует

$$\frac{\delta S_A}{dt} \cdot \cos \alpha = \frac{\delta S_B}{dt} \cdot \cos \beta \Rightarrow \delta S_A \cdot \cos \alpha = \delta S_B \cdot \cos \beta \quad (4.4)$$

Перейдем непосредственно к исследованию механизма. Наша задача заключается в определении оптимального центра вращения «О». Допустим, что колесо агрегата наехало на препятствие высотой l . Тогда весь механизм повернется на некоторый угол $\delta\varphi$ (рисунок 4.1). Используя уравнение (4.4) и равенство $\delta S = R \cdot \delta\varphi$, находим последовательно интересующие нас величины.

$$\delta S_{\text{Д}} = l = \delta S_{\text{В}} \cdot \cos a_{\text{В}} \Rightarrow \delta S_{\text{В}} = \frac{l}{\cos a_{\text{В}}},$$

$$\delta y_{\text{В}} = l, \delta x_{\text{В}} = \delta S_{\text{В}} \cdot \sin a_{\text{В}}$$

Т.е.

$$\delta y_{\text{В}} = l, \delta x_{\text{В}} = l \operatorname{tg} a_{\text{В}} = l \frac{H}{l_1 + l_2 + l_3} \quad (4.5)$$

Далее из подобия треугольников

$$\frac{\delta S_{\text{Д}}}{\delta S_{\text{С}}} = \frac{OD}{OC} \Rightarrow \delta S_{\text{С}} = l \frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_2 + l_3},$$

Но в силу

$$\delta S_{\text{С}} = \delta y_{\text{А}} \Rightarrow \delta y_{\text{А}} = l \frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_2 + l_3} \quad (4.6)$$

И учитывая $\operatorname{tg} a_{\text{А}} = \frac{\delta x_{\text{А}}}{\delta y_{\text{А}}}$ имеем

$$\delta x_{\text{А}} = \delta y_{\text{А}} \cdot \operatorname{tg} a_{\text{А}} = l \frac{H}{l_1 + l_2 + l_3}$$

Т.е. как и следовало ожидать $\delta x_{\text{А}} = \delta x_{\text{В}}$

Итак,

$$\delta x_A = l \frac{H}{l_1+l_2+l_3}; \delta y_A = l \frac{l_1+l_2}{l_1+l_2+l_3} \quad (4.7)$$

Если все размеры (кроме l) фиксированы, то δx_A и δy_A - есть линейные функции от l (рисунок 4.5).

Из (4.7) видно, что отношение δy_A и δx_A постоянно и равно

$$\frac{\delta y_A}{\delta x_A} = \frac{l_1+l_2}{H} = ctg a_A \quad (4.8)$$

Максимальная разность между δy_A и δx_A будет при $l = l^* = l_{max}$. Разность $\delta y_A - \delta x_A$ может превосходить $max \delta x_A$ в несколько раз (пусть n), тогда из рисунка 4.1:

$$\frac{(\delta y_A)_{max} - (\delta x_A)_{max}}{(\delta x_A)_{max}} = \frac{l_1 + l_2}{H} - 1 = \frac{l_1 + l_2 - H}{H} = n$$

Кроме того должно выполняться

$$(\delta x_A)_{max} = l^* \frac{H}{l_1 + l_2 + l_3} \leq \varepsilon$$

где ε - заданная техническая точность копирования плодовой стенки растений.

Таким образом

$$\left\{ \begin{array}{l} l_1 + l_2 = (n + 1)H, \\ \frac{H}{l_1+l_2+l_3} = \frac{\varepsilon}{l^*} = \varepsilon_1 \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} l_1 + l_2 = (n + 1)H, \\ l_1 + l_2 + l_3 = \frac{H}{\varepsilon_1} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} l_3 = H \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - n - 1 \right), \\ l_1 + l_2 = (n + 1)H \end{array} \right.$$

Как видно из этих выражений значения l_1 и l_2 по отдельности не оказывают влияние на величины δx_A и δx_B , а важно лишь значение их суммы. Поэтому, не ухудшая решения, можем (для удобства конструкции) взять $l_2 = l_3$ и тогда $l_1 = (n + 1)H - l_2$, а значит, формулы примут вид

$$l_3 = H \left(\frac{l^*}{\varepsilon} - n - 1 \right)$$

$$l_1 = H \left(2n + 2 + \frac{l^*}{\varepsilon} \right)$$

при $l_2 = l_3$.

В этом варианте n - надо выбрать так, чтобы $\frac{l^*}{\varepsilon} > n + 1$ и

$$\frac{l^*}{\varepsilon} < 2(n + 1) \Rightarrow n + 1 < \frac{l^*}{\varepsilon} < 2(n + 1)$$

Выражение δx_A в этом варианте имеет вид:

$$\delta x_A = \varepsilon \frac{l}{l^*}; \quad \delta y_A = \varepsilon \frac{l}{l^*} (n + 1) \quad (4.9)$$

Значение n желательно брать наименьшим и необязательно целым. На пример, при $l^* = 20$ см; $\varepsilon = 5$ см, имеем:

$$n + 1 < 4 < 2(n + 1) \Rightarrow n_{min} = 2$$

Тогда

$$\delta x_A = \frac{1}{4}l; \quad \delta y_A = \frac{3}{4}l \quad \text{при } l = 2H; \quad l_2 = l_3 = H.$$

Учитывая формулы (4.7) и (4.9) и зная, что все размеры фиксированы, а δx_A и δy_A - есть линейные функции от l , можно получить и графическую интерпретацию процесса копирования поверхности δy_A почвы и плодовой стенки δx_A растений одновременно. Для определения оптимального положения горизонтального шарнира O необходимо менять два размера: H и l_1 , так как размеры l_2 и l_3 должны быть постоянными и отвечать техническим требованиям агрегата. Проведем два исследования: в первом будем изменять расстояние H от поверхности земли до шарнира O , а во втором – расстояние l_1 от шарнира O до рамы конструкции. Пусть параметры конструкции, отвечающей техническим требованиям, будет: $l_1 = 30$ см; $l_2 = 100$ см; $l_3 = 100$ см; $l = 20$ см – высота препятствия. Определим δx и δy изменяя расстояние H . Подставим в (7) заданные параметры, получим δx и δy (рисунок 4.5).

H	100	80	60	40	20
δx	8,7	7,0	5,2	3,5	1,7
δy	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3

Из таблицы и рисунка 4.6 видно, что с уменьшением расстояния копирования рабочего органа плодовой стенки растений улучшается, а глубина обработки (копирование поверхности почвы) остается без изменения.

Во втором исследовании высоту $H = 50$ см сделаем фиксированной, а будем менять l_1 .

l_1	0	20	40	60	80
δx	5,0	4,5	4,2	3,8	3,6
δy	10,0	10,9	11,7	12,3	12,9

Во втором случае улучшается процесс копирования плодовой стенки растений и несколько ухудшается копирование поверхности почвы.

Из графика зависимости копирования следует однозначно, что горизонтальный шарнир, относительно которого происходит поворот рамы, дол-

жен находиться ближе к поверхности земли, а расстояние l_1 – по возможности большим.

Учитывая результаты проведенных исследований, нами была разработана конструкция агрегата для ухода за малиной (рисунок 31), на которую было получено авторское свидетельство на изобретение №1724040.

На рисунке 4.7 показан вид спереди агрегата для ухода за малиной, состоящего из рамы 1 portalного типа, к которой крепятся роторы 2 и 3 с рабочими органами 4. Рама опирается на колеса 5 и 6. Гидроцилиндр 7 служит для заглубления и выглубления рабочих органов из почвы. Редукторы 8, 9, 10 и 11 совместно с карданными валами 12, 13, 14 (на чертеже не видно) и 15 передают вращающий момент от ВОМа трактора. Вертикальный шарнир 16 предназначен для поворота рамы 1 на 90^0 в транспортное положение. Вокруг горизонтального шарнира 17 осуществляется свободный поворот рамы с роторами и рабочими органами в вертикальной плоскости, перпендикулярной направлению движения, с целью копирования поверхности почвы и плодовой стенки растений. С помощью навесного треугольника 18 машина навешивается на трактор.

Работает агрегат следующим образом. Вращающийся момент от ВОМа трактора Т-25 передается через редукторы 8, 9, 10, 11 и карданные валы 12, 13, 14, 15 на роторы 2 и 3, которые вращаются в разные стороны (навстречу друг другу) по ходу движения агрегата. Заглубление рабочих органов в почву на глубину 6 – 8 см происходит с помощью навесного треугольника 18 и гидроцилиндра 7. Расстояние между роторами 2 и 3 регулируется и устанавливается заранее на заданную ширину обработки ряда малины. Угол наклона рабочих органов к поверхности почвы $5 - 7^0$ (для лучшего копирования корневой системы куста малины). Агрегат седлает ряд малины, заглубляет рабочие органы, и после включения передачи трактора начинается одновременно вырезание побегов вне ширины заданного ряда и обработка почвы в прикустовой зоне.

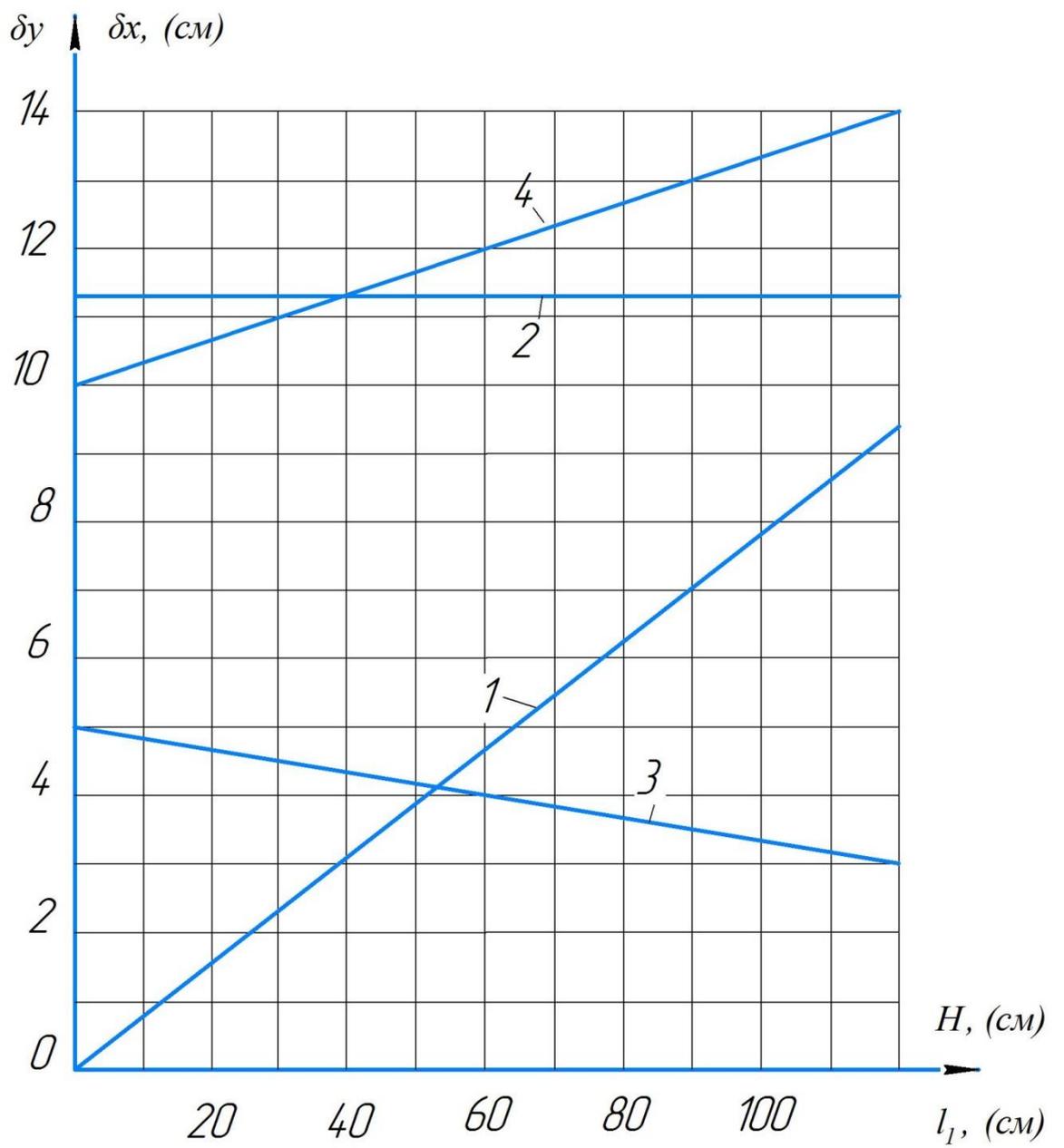


Рисунок 4.6 – Зависимость копирования:

- 1 – плодовой стенки от H ;
- 2 – поверхности почвы от H ;
- 3 – плодовой стенки от l_1 ;
- 4 – поверхности почвы от l_1 .

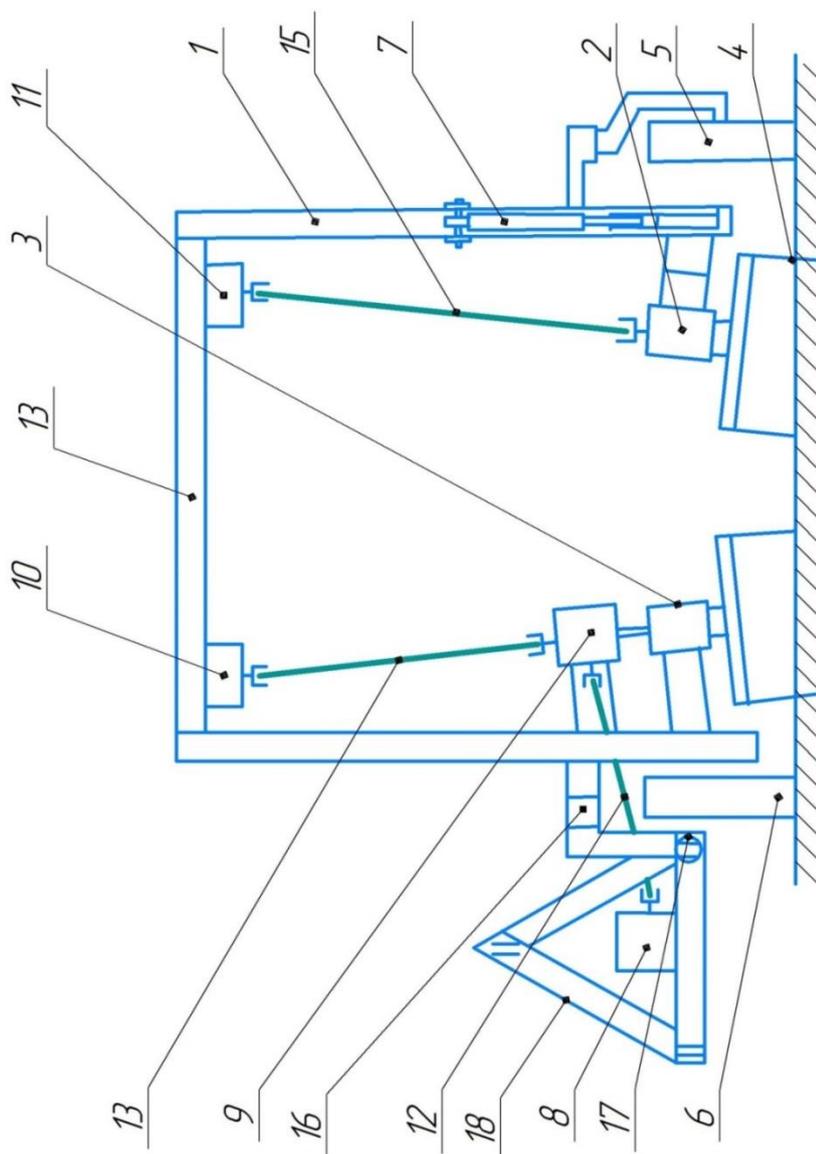


Рисунок 4.7 – Схема агрегата с рамой портального типа для ухода за малиной

Особенностью этой машины является то, что горизонтальный цилиндрический шарнир 17 расположен в вершине основания навесного треугольника, а не в центре, как у всех машин такого типа. Это дает возможность качественнее копировать поверхность почвы и плодовую стенку растений рабочим органом, а также не мешает карданному валу (на схеме не показано) передавать крутящий момент от ВОМа трактора к редуктору 8.

Учитывая отмеченные недостатки после испытаний такого агрегата (большая металлоемкость, зависящая работа роторов 2 и 3 друг от друга), была разработана конструкция с гидравлическим приводом рабочих органов (рисунки 4.8, 4.9, 4.10). На рисунке 4.8 показан вид спереди, на рисунке 4.9 – вид сбоку, а на рисунке 4.10 – вид сверху агрегата, на который было получено авторское свидетельство №1794335 на изобретение. Агрегат состоит из рамы 1, которая с помощью шарнира 10 крепится к остоу трактора Т-25. К раме 1 крепится арка 2 также с помощью горизонтального цилиндрического шарнира 9. К концам рамы 1 и арки 2 присоединены основания 3, на которых установлены гидромоторы 4 и роторы 5 с рабочими органами 6, которые с помощью ременной передачи 7 приводятся в движение от гидромоторов. Опорные колеса 8 крепятся к основаниям 3 и движутся вслед за рабочими органами 6. Гидроцилиндр 11, одним концом присоединенный к остоу трактора, а другим к раме 1, поднимает и опускает раму для заглубления рабочих органов. Цепь 12 служит ограничением при выглублении рабочих органов, т.е. не дает свободно вращаться арке 2 относительно рамы 1 с помощью шарнира 9.

Работает агрегат следующим образом. Подъехав к ряду малины, тракторист включает в работу гидромоторы и приводит во вращение рабочие органы. Арка 2 с помощью гидроцилиндра 11 седлает ряд растений и заглубляет ножи ротора, благодаря наличию опорных колес 8, на определенную, заранее установленную глубину. Потом включается передача трактора и начинается обработка почвы в прикустовой зоне малины и вырезание побегов вне заданной ширины ряда.

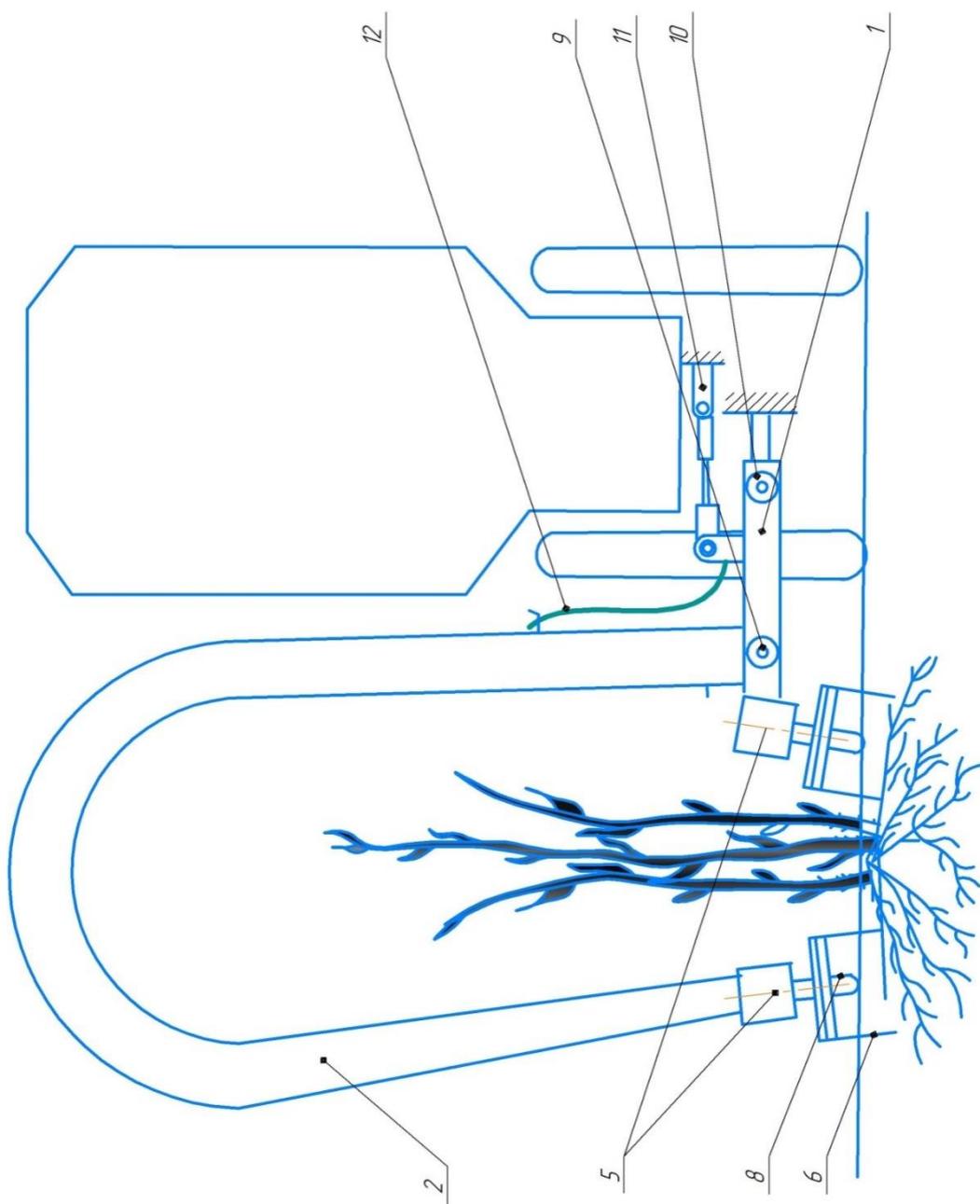


Рисунок 4.8 – Схема (вид спереди) агрегата по уходу за малиной

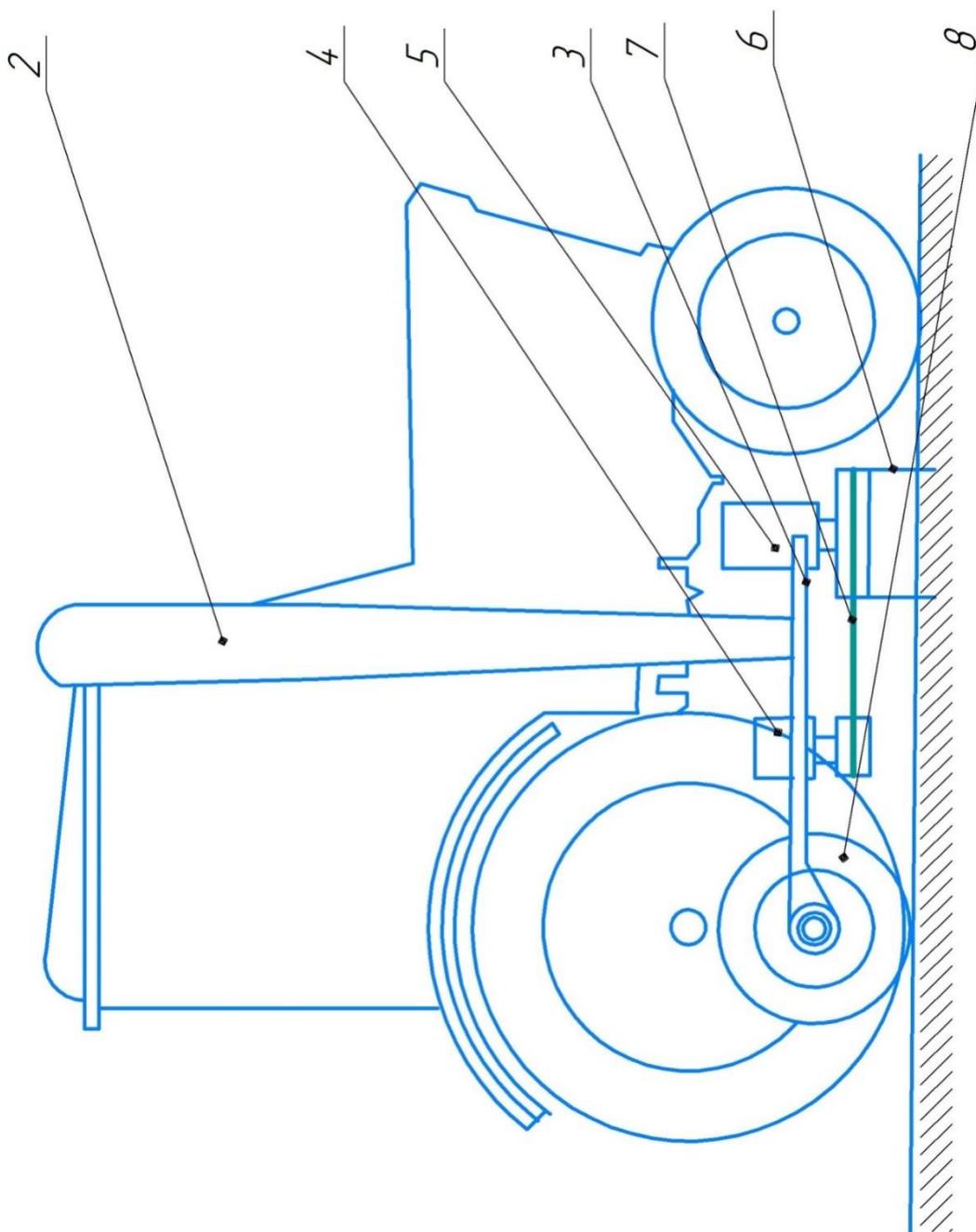


Рисунок 4.9 – Схема (вид сбоку) агрегата

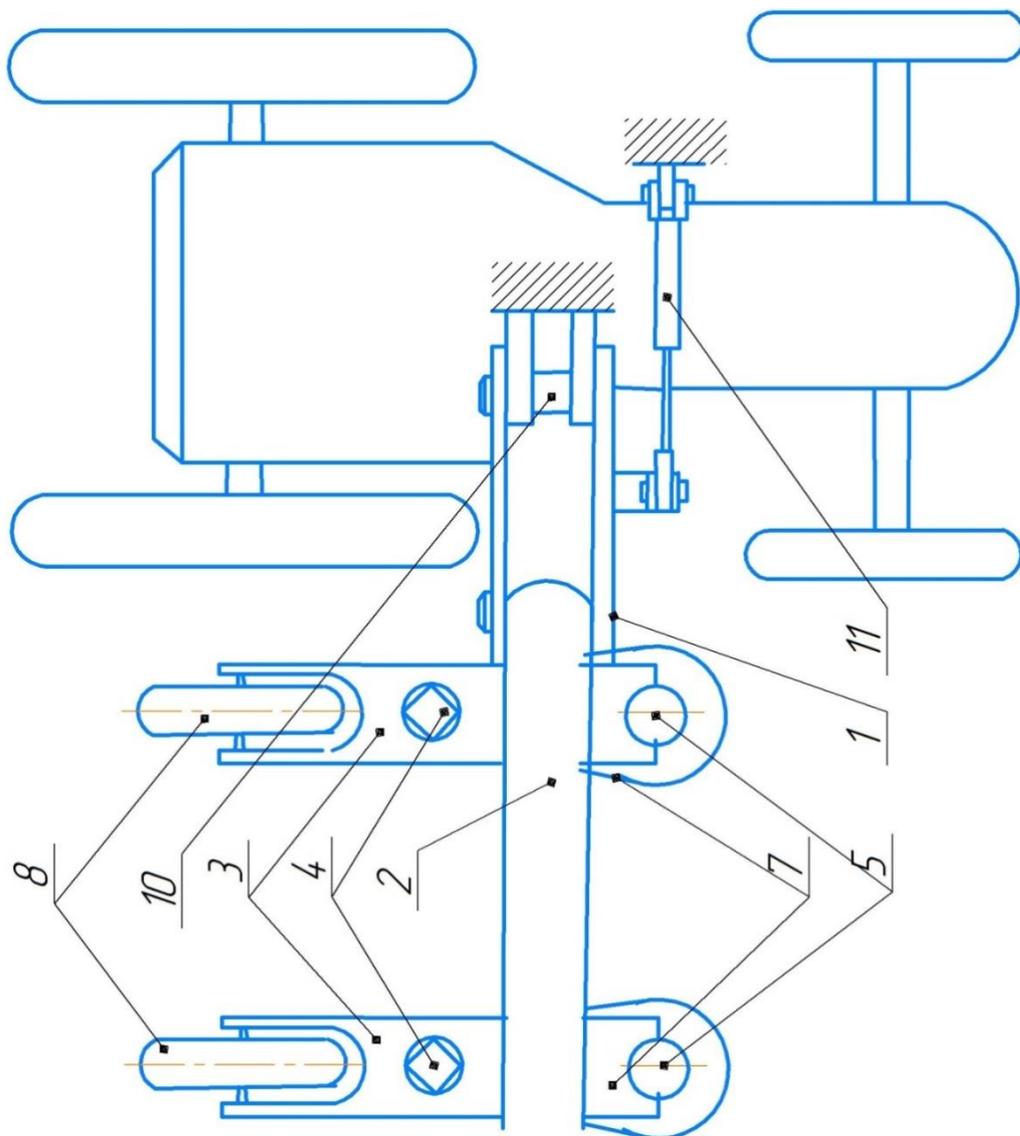


Рисунок 4.10 – Схема (вид сверху) агрегата

Особенностью этой конструкции является то, что агрегат содержит роторы с рабочими органами, которые работают независимо друг от друга. Если одно из опорных колес наехало на препятствие и рабочие органы выгнулись на какую-то высоту, то другой ротор в это время независимо от первого работает без выгибания. На разработанную конструкцию получено положительное решение на предполагаемое изобретение.

Выводы

1. Обоснованы некоторые вопросы технологии по уходу за малиной фрезой с вертикальной осью вращения.
2. Показан один из путей снижения энергоемкости за счет комбинации активных и пассивных рабочих органов.
3. Для уменьшения энергозатрат на обработку почвы подача на нож должна равняться 1,5 ширины захвата ножа.
4. Предложен способ установки ножей на роторе, с помощью которого можно уменьшить кратность действия рабочих органов на почву, а значит и снизить энергоемкость фрезы.
5. Оптимизированы кинематические параметры комбинированного рабочего органа для снижения крутящего момента, действующего на его лезвия.
6. В конструкции агрегата по уходу за высокостебельными растениями выбрано рациональное место расположения горизонтального цилиндрического шарнира для улучшения качества процесса копирования рабочими органами поверхности почвы и плодовой стенки растений, а также разработан вариант конструкции с независимым копированием.

Литература

1. Казаков, И. В. Малина / И. В. Казаков, В. В. Кичина. - М.: Россельхозиздат, 1976.
2. Наумова, Г. А. Интенсификация ягодоводства в ПНР / Г. А. Наумова // Обзорная информация. - 1984. - № 9. - С. 34-39.
3. Ярославцев, Е. И. Способ возделывания малины, плодоносящей на однолетних побегах / Е. И. Ярославцев, М. И. Размадзе // Информ. листок. - 1984. - № 121. - 2 с.
4. East – Malling research station report for 1978-1984.
5. Васильченко, Г. В. Снежный покров и сад / Г. В. Васильченко. - Л., 1978. – 109 с.
6. Sobczykiewicz, D. Preliminary note an mass production of raspberry plants through placing rooted plantlets cultures directly in the soil / D. Sobczykiewicz // Fruit scrap. - 1980. - V. 7, № 1.
7. Ярославцев, Е. И. Малина / Е. И. Ярославцев. - М.: «Агропромиздат», 1987.
8. Джамакулов, С. Б. Влияние защитного кожуха почвофрезы на показатели работы фрезерного культиватора / С. Б. Джамакулов // Реферативный научно-технический сборник. – 1977. - № 6 (212). - С. 4-5.
9. Яцук, Е. П. Фрезерные почвообрабатывающие машины / Е. П. Яцук // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1969. - № 8. - С. 27-28.
10. Панов, И. М. Перспективные направления создания почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами / И. М. Панов. - М., 1971. - 66 с.
11. Панов, И. М. Исследование ротационного плужного корпуса / И. М. Панов, В. А. Шмонин // Труды Чувашского СХИ. - 1970. - Т. 8, № 3. - С. 161-169.
12. Порфирюк, В. И. Некоторые преимущества обработки почв активными вращающимися рыхлящими органами / В. И. Порфирюк // Сельское хозяйство Таджикистана. - 1966. - № 6. - С. 54-56.

13. Чудак, С. В. Исследование и разработка вертикальной фрезы для поверхностной обработки почвы в виноградниках: дис. ... канд. техн. наук / С. В. Чудак. - Кишинев: Кишиневский с.-х. ин-т им. М.В. Фрунзе, 1975.
14. Стародинский, Д. В. Снижение энергоемкости работы почвенных фрез / Д. В. Стародинский // Тракторы и сельхозмашины. - 1967. - № 4.
15. Eggenmuller, A. Implement and Machinery Rotoren Grundlagen der Rotoren / A. Eggenmuller // Grundlagen der Landtechnik. - 1957. - № 7.
16. Комбинированная почвообрабатывающая машина: а. с. 1064880 СССР / О. С. Марченко, В. В. Бычков, Л. Э. Попов и др. - № 3502117/30-15; заявл. 30.07.82; опубл. 07.01.84, Бюл. 1.
17. Почвообрабатывающая машина: а. с. 635906 СССР / А. Ф. Жук. - № 2083747/30-15; заявл. 11.12.74; опубл. 05.12.78, Бюл. № 45.
18. Агрегат для работы на высокостебельных культурах: а. с. 344805 СССР / М. И. Закс. - № 1433787/30-15; заявл. 01.05.70; опубл. 14.07.72, Бюл. № 22.
19. Агрегат для ухода за посевами высокостебельных культур: а. с. 820683 СССР / В. И. Малацай, А. В. Малацай. - № 2586418/30-15; заявл. 01.03.78; опубл. 15.04.81, Бюл. 14.
20. Феськов, А. А. Селекционные возможности создания межвидовых ремонтантных форм малины для машинной уборки урожая: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А. А. Феськов. - Брянск, 2006.
21. Далин, А. Д. Ротационные грунтообразующие и землеройные машины / А. Д. Далин, П. В. Павлов. - М.: Машгиз, 1950. - 258 с.
22. Полтавцев, И. С. Фрезерные канавокопатели / И. С. Полтавцев. - Киев: Машгиз. Укр. отд-ние, 1954. - 132 с.
23. Порфирюк, В. И. Некоторые преимущества обработки орошаемых почв активными вращающимися рыхлящими органами / В. И. Порфирюк // Сельское хозяйство Таджикистана. - 1966. - № 6. - С. 54-56.
24. Любимов, Ф. С. Обоснование параметров рабочих органов пропашного фрезерного культиватора – глубокорыхлителя: дис. ... канд. техн. наук / Ф. С. Любимов. - Алма-Ата, 1971.

25. Иганбердиев, У. Н. Исследование и обоснование основных параметров и режимов работы рабочих органов фрезерного культиватора с вертикальной осью вращения для обработки посевов хлопчатника: дис. ... канд. техн. наук / У. Н. Иганбердиев. - Ташкент, 1974.

26. Зангаладзе, Д. Я. Исследование почвообрабатывающих фрезерных рабочих органов с вертикальной осью вращения в междурядьях виноградников в орошаемой зоне Грузии: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д. Я. Зангаладзе. - Тбилиси: Изд-во Грузинского СХИ, 1974.

27. Ожерельев, В. Н. Разработка элементов технологии междурядной обработки ягодных кустарников и обоснование параметров фрезы с вертикальной или крутонаклонной осью вращения: дис. ... канд. техн. наук / В. Н. Ожерельев. - М., 1984.

28. Розум, М. И. К определению угла установки ножей фрезы с вертикальной осью вращения / М. И. Розум // Садоводство. - Киев: Урожай, 1974. - С. 109-118.

29. Мостовский, В. Б. Цифровое моделирование на ЭВМ процесса обработки почвы вертикальной фрезой / В. Б. Мостовский // Механизация работ в виноградарстве и садоводстве. - Кишинев, 1979. - С. 189-204.

30. Sohne, W. Einfluß von Form und Anordnung der Werkzeuge auf die Antriebs – moment Von Askerfrasen / W. Sohne // Grundlagen der Landtechnik. - 1957. - № 9.

31. Порфирюк, В. И. Исследование технологического процесса работы рыхлящих органов для междурядной обработки виноградников на каменистых почвах средней зоны: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. И. Порфирюк. - Ташкент, 1969.

32. Виноградов, В. И. Взаимодействие ротационных рабочих органов с почвой / В. И. Виноградов, Ю. С. Леонтев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1968. - № 9. – С. 29-31.

33. Попов, Г. Ф. Исследование энергоемкости рабочих органов фрезерных культиваторов / Г. Ф. Попов // Материалы НТС ВНИИ сельскохозяйственного машиностроения. - 1968. - № 25.

34. Sohne, W. Technische Probleme bei Bodenfräzen / W. Sohne, R. Thiele // Grundlagen der Landtechnik. - 1957. - № 9.
35. Горячкин, В. П. Собрание сочинений / В. П. Горячкин. - М., 1940. - Т. III.
36. Пигулевский, М. Х. Основы и методы изучения физико-механических свойств почвы / М. Х. Пигулевский. - Л., 1936. - 147 с.
37. Синеоков, Г. Н. Сопротивление почвы, возникающее при ее обработке / Г. Н. Синеоков. - М., 1955.
38. Желиговский, В. А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов / В. А. Желиговский. - Тбилиси: Изд-во Груз. СХИ, 1960. - 146 с.
39. Исследование рыхления известняков / А. Н. Зеленин и др. // Горный журнал. - 1965. - № 5. - С. 12-15.
40. Кацигин, В. В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин / В. В. Кацигин. - Мн., 1964.
41. Жук, Я. М. Определение сил, действующих на рабочий орган фрез барабана / Я. М. Жук // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1969. - № 4. - С. 47-48.
42. Пахомов, И. Е. Влияние параметров стрельчатой лапы культиватора на подрезание сорняков и тяговое сопротивление на повышенных скоростях / И. Е. Пахомов // ВИСХОМ. - 1965. - № 20.
43. Синеоков, Г. Н. Проектирование почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков. - М.: Машиностроение, 1965. - 311 с.
44. Мостовский, В. В. Исследование кинематики рабочих органов почвенных фрез с вертикальной осью вращения / В. В. Мостовский // Исследование механизации виноградарства. - Кишинев: «Штиинца», 1965. - С. 124-136.
45. Мостовский, В. В. Исследование процессы обработки приствольных полос в интенсивных садах вертикальными фрезами и обоснование типов и параметров их рабочих органов: дис. ... канд. техн. наук / В. В. Мостовский. - Киев, 1980.

46. Инаекян, С. А. Механико-технологическое обоснование параметров вертикально-олтационной почвообрабатывающей машины: дис. ... канд. техн. наук / С. А. Инаекян. - М., 1982. - 195 с.
47. Пигулевский, М. Х. Результаты воздействия на почву сохи, плуга, фрезы / М. Х. Пигулевский. - М.: Сельхозиздат, 1930.
48. Конарев, М. Н. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / М. Н. Конарев. - М.: Машиностроение, 1983. - 142 с.
49. Верняев, О. В. Активные рабочие органы почвообрабатывающих машин / О. В. Верняев. - М.: Машиностроение, 1983. - 80 с.
50. Хайлис, Г. А. К определению глубины линейного смятия почвы // Земледельческая механика / Г. А. Хайлис. - Л.: Ленсельхозгиз, 1961. - Т. VI.
51. Tanert, H. Der Rotorpflug / H. Tanert // Deutsche Agrartechnik. - 1953. - № 2.
52. Малиев, В. Х. Почвофреза с наклонной осью вращения / В. Х. Малиев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1972. - № 1. - С. 34-35.
53. Чудак, С. В. Исследование фрезы с вертикальным валом вращения / С. В. Чудак // Механизация работ в виноградарстве и садоводстве. – Кишинев, 1979. - С. 159-174.
54. Bodenbearbeitungsmaschine, Offenlegungsschrift, № 1782923. Int. с.1. AO1B 33/06, 1976.
55. Lawn renovator: United States Patent; № 3321026. U.S. ст, 172-45, 1967.
56. Почвообрабатывающая фреза: а. с. 473488 СССР; заявл. 30.05.72; опубл. 14.06.75, Бюл. № 22.
57. Фреза с вертикальным валом вращения: а. с. 393968 СССР / П.А. Лукашевич, В.Я. Зельцер, С.В. Чудак; заявл. 23.03.72; опубл. 23.08.73, Бюл. № 34.
58. An experimental powered rotating chisel // Highligti ef agricultural re-search. - 1980. - № 3.

- 59 Kreiselegge und Linkenrotor im Praxisvergleich // Top agrar. - 1982. - № 9. - S. 62-65.
60. Reich, R. Rotierende Werkzeugesum Saatbettbereitung / R. Reich, A. Stoppel // Praktische Landtechnik. - 1982. - № 9. - S. 7 (275-8(276)).
61. Reich, R. Wergleich suchungen an Geraten sum Saatbettbereitung mit Zapfwallengetrieberottern den Werkzeugen / R. Reich, A. Stoppel // Grundl Landtechnik. -1982. - № 3. - S. 86-95.
62. Трубилин, Е. И. Расчет геометрической формы лезвия ножа фрезы с вертикальным ротором / Е. И. Трубилин, Ф. Н. Конарев // Тр. Кубан. с.-х. ин-та. – 1980. - Вып. 188/216. - С. 32-41.
63. Ткаченко, А. И К обоснованию геометрической формы лезвия ножа почвенной фрезы / А. И. Ткаченко, Ю. Г. Елкин // Тр. Кубан. с.-х. ин-та. - 1973. - Вып. 66/94. - С. 140-147.
64. Конарев, Ф. Л. Исследование геометрической формы ножа почвенной фрезы / Ф. Л. Конарев А. И. Ткаченко // Тр. Кубан. с.-х. ин-та. - 1973. - Вып. 66/94. - С. 140-147.
65. Нож фрезерной почвообрабатывающей машины: а. с. 279219 СССР / И. М. Гринчук и др. - № 1269388/30-15; заявл. 26.08.68; опубл. 21.08.70, Бюл. № 26.
66. Далин, А. Д. Обоснование форм рабочих органов ротационных почвообрабатывающих машин: дис. ... техн. д-ра / А. Д. Далин. - М., 1941.
67. Механизация обработки почвы / Н. А. Венчиков и др. - М.: Колос, 1972. -272 с.
68. Зеленин, А. Н. Резание грунтов / А. Н. Зеленин. - М.: Изд-во АН СССР, 1959.
69. Зеленин, А. Н. Основы разрушения грунтов механическим способом / А. Н. Зеленин. - М.: Изд-во Машиностроение, 1968.
70. Блохин, В. Н. Исследование процесса и рабочего органа для ухода за межкустовой зоны на ягодниках: дис. ... канд. техн. наук / В. Н. Блохин. - М.: 1993. - 185 с.

71. Рабочий орган почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью вращения: пат. 150776 Рос. Федерация / Блохин В.Н., Никитин В.В.; заявитель и патентообладатель Брянская государственная сельскохозяйственная академия - № 2014127939/13; заявл. 08.07.2014; опубл. 27.2.2015, Бюл. № 6.

72. Рабочий орган почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью вращения: пат. 166354 Рос. Федерация / Блохин В.Н., Белоус Н.М., Никитин В.В., Сазонов Ф.Ф.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный аграрный университет - № 2016113439/1325; заявл. 7.04.2016; опубл. 20.11.2016, Бюл. № 32.

73. Рабочий орган почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью вращения: пат. 171854 Рос. Федерация / Блохин В.Н., Романеев Н.А., Случевский А.М., Лаптева Н.А., Лямзин А.А.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный аграрный университет - № 2016149636; заявл. 16.12.2016; опубл. 19.06.2017, Бюл. № 17.

74. Рабочий орган почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью вращения: пат. 179946 Рос. Федерация / Блохин В.Н., Случевский А.М., Кубышкин А.В., Бердышева О.Н., Лаптева Н.А.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный аграрный университет - № 2018106395; заявл. 20.02.2018; опубл. 29.05.2018, Бюл. № 16.

75. Рабочий орган почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью вращения: пат. 186142 Рос. Федерация / Блохин В.Н., Кувшинов Н.М., Случевский А.М., Кубышкин А.В., Лаптева Н.А.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный аграрный университет - № 2018132627; заявл. 12.09.2018; опубл. 10.1.2019, Бюл. № 1.

76. Рабочий орган почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью вращения: пат. 186271 Рос. Федерация / Блохин В.Н., Кувшинов Н.М., Случевский А.М., Кубышкин А.В., Лаптева Н.А., Орехова Г.В.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный аграрный университет - № 2018129565; заявл. 13.08.2018; опубл. 15.1.2019, Бюл. № 2.

77. Рабочий орган почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью

вращения: пат. 190906 Рос. Федерация / Кувшинов Н.М., Блохин В.Н., Орехова Г.В., Кузнецов В.В., Случевский А.М., Кубышкин А.В.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный аграрный университет - № 2019109288; заявл. 29.03.2019; опубл. 16.07.2019, Бюл. № 20.

78. Рабочий орган почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью вращения: пат. 196472 Рос. Федерация / Блохин В.Н., Случевский А.М., Кузнецов В.В., Исаев Х.М., Исаев С.Х., Лаптева Н.А.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный аграрный университет - № 2019128625; заявл. 11.09.2019; опубл. 02.03.2020, Бюл. № 7.

79. Рабочий орган почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью вращения: пат. 202877 Рос. Федерация: МПК А01В 33/02 / Блохин В.Н., Случевский А.М., Гринь А.М., Кубышкин А.В., Орехова Г.В.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный аграрный университет - № 2020137032; заявл. 10.11.20; опубл. 11.03.21, Бюл. № 8.

80. Плоскорежущая полольная стрельчатая лапа: пат. 190298 Рос. Федерация / Блохин В.Н., Кувшинов Н.М., Случевский А.М., Дьяченко А.В., Лямзин А.А., Лаптева Н.А.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный аграрный университет - № 2019109343; заявл. 29.03.2019; опубл. 25.06.2019, Бюл. № 18.

81. Полольная стрельчатая лапа: пат. 194605 Рос. Федерация / Блохин В.Н., Случевский А.М., Кузнецов В.В., Роганков С.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный аграрный университет - № 2019128623; заявл. 11.09.2019; опубл. 17.12.2019, Бюл. № 35.

82. Плоскорежущий рабочий орган для обработки почвы: пат. 2743798 Рос. Федерация: МПК А01В 35/22, А01В 35/32, А01В 1/10, А01В 1/12 / Блохин В.Н., Кузнецов В.В., Лаптева Н.А., Роганков С.И., Галкин А.А., Молчанов В.П.; заявитель и патентообладатель Брянский государственный аграрный университет - № 2020113864; заявл. 03.04.20; опубл. 26.02.2021, Бюл. № 6.

Учебное издание

Блохин Валерий Николаевич, Гринь Александр Михайлович,
Орехова Галина Владимировна, Случевский Александр Михайлович

**АНАЛИЗ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ФРЕЗ
С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ
ДЛЯ УХОДА ЗА ВЫСОКОСТЕБЕЛЬНЫМИ КУЛЬТУРАМИ**

Монография

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 17.11.2022 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 10,05. Тираж 550 экз. Изд. № 7417.

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