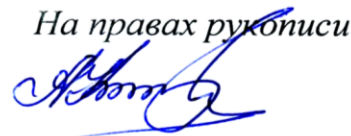


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
Юго-Западный государственный университет

На правах рукописи



Котельников Антон Владимирович

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ
ШТАНГОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ
ПОЧВЫ

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сель-
ского хозяйства

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук
профессор Серебровский В.В.

Курск – 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ	10
1.1 Исторический мониторинг совершенствования рабочих контуров почвообрабатывающих машин и орудий	10
1.2 Конфигурация стоек и лап культиваторов	17
1.3 Работы изобретателей по профилактике забивания лап и стоек почвой и сорняками	19
1.4 Конъюнктура мирового рынка и перспективные направления развития современных почвообрабатывающих машин	23
1.5 Оптимизация циклоидального контура стойки культиватора по экстремуму исходной параметрической функции	29
1.6 Степень разработанности темы	35
2 ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИ- ЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ	37
2.1 Математическая модель процесса формирования активного слоя почвы при работе прутков сепарирующего ротора и штанги цик- лоидального культиватора	37
2.2 Обоснование диаметра штанги в стойке циклоидального культива- тора и прута сепарирующего ротора рыхлителя	41
2.3 Параметры циклоидального рыхлителя-сепаратора	45
2.4 Компоненты энергосбережения и оценка энергозатрат на экологи- чески безопасную обработку почвы	45
2.5 Технологические отрезки обрабатываемого пласта и рабочий процесс циклоидального контура стойки	53
2.5. 1 Обработка верхнего участка в зоне бокового скола почвы циклоидальным контуром стойки	54

2.5.2 Обработка нижнего участка плоским клином наральника циклоидальной стойки	57
2.5.3 Обработка среднего участка циклоидальным контуром и расчёт тягового сопротивления стойки	65
2.6 Выводы по разделу 2	80
3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	82
3.1 Условия экспериментальных исследований	82
3.2 Объекты исследования	84
3.3 Перечень средств измерений и оборудования, применяемых при оценке функциональных показателей согласно СТО АИСТ 4.1 -2010	93
3.4 Электростенд для лабораторных исследований динамики рыхлого слоя почвы, формируемого штангой циклоидальной стойки	94
3.5 Определение толщины активного слоя почвы при движении наклонной рифленной штанги	95
3.6 Математическая обработка экспериментальных данных по ака- демику А.А. Сапегину	97
3.7 Выводы по разделу 3	98
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВНЕДРЕНИЕ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ В ПРОИЗВОДСТВО	99
4.1 Экспериментальная проверка математической модели динамики формирования активного слоя почвы прутотом ротора и штангой рыхлителя	99
4.2 Общая характеристика технологии обработки почвы циклоидаль- ными рабочими органами	103
4.3 Агротехническая оценка четырехконтурных циклоидальных стоек глубокорыхлителя-щелереза Г Щ-4П на раме серийного плуга	107
4.4 Агротехническая оценка двухконтурных циклоидальных стоек	

культиватора тяжелой серии КТ-3,9 МП на раме серийного плуга	110
4.5 Агротехническая оценка ротационного рыхлителя ПАРК-6 с циклоидальными рабочими органами	112
4.6 Компоненты энергосбережения циклоидальными рабочими органами при экологически безопасной обработке почвы	115
4.7 Тяговое сопротивление стоек глубокорыхлителя-щелереза	
Г Щ-4П на раме серийного плуга ПН-4-35	116
4.8 Тяговое сопротивление стоек тяжелого культиватора КТ-3,9 МП на раме серийного плуга ПН-4-35	118
4.9 Зависимость тягового сопротивления прямой, радиальной и циклоидальной стоек от скорости движения	119
4.10 Эксплуатационные затраты мощности циклоидальными рабочими органами агрегата ПАРК-6	120
4.11 Снижение забивания рабочих поверхностей циклоидальных стоек, лап культиваторов и сепарирующих роторов сорняками	122
4.12 Выводы по разделу 4	123
5 МЕТОДИКА ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ И ПОСТРОЕНИЕ ИХ КОНТУРНЫХ СХЕМ	125
5.1 Исходные предпосылки расчета параметров и проектирования циклоидальных рабочих органов	125
5.2 Расчет параметров и построение контурных схем циклоидальной стойки и зуба ротационного рыхлителя	125
5.3 Построение контурной схемы циклоидального рыхлителя	129
5.4 Расчет ротационного циклоидального рыхлителя	129
6 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗРАБОТКИ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ	131
6.1 Техничко-экономические предпосылки для экономии затрат при использовании предлагаемых рабочих органов	131
6.2 Расчет окупаемости плуга для безотвальной обработки, оборуд-	

дованного циклоидальными рабочими органами	132
6.3 Выводы по разделу 6	137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	141
ПРИЛОЖЕНИЕ	160

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В работе предложены новые технические средства и способы механического (без гербицидов) уничтожения сорняков для энергосберегающей технологии выращивания урожая сельскохозяйственных культур. Изыскания и перспективы развития механизации обработки почвы с параметрами энергосбережения охраны окружающей среды и человека основаны на трудах В.П. Горячкина, В.А. Желиговского, И.М. Бартенева, П.У. Бахтина, Бура, В.В. Василенко, П.М. Василенко, В.П. Иванова, И.П. Ксеновича, Я.П. Лобачевского, И.М. Панова, М.В. Сабликова, В.Е.Шевченко, Чайлдса, Гетти и других ученых в нашей стране и за рубежом [3, 4, 9, 10,11,14, 19, 20, 21, и др.].

В мировой практике земледелия интенсивно и широко внедряют экологически чистые, энергосберегающие технологии и машины в фермерских хозяйствах, предусматривающие альтернативное применение безопасных способов борьбы с сорняками, сокращение и полное исключение гербицидов и других химических реагентов из технологического процесса. В.Ф. Федоренко, В.А. Черников [170, 173] указывают на экологические параметры и ресурсосбережение в АПК-экономике, технику, технологии, однако энергоемкость технологических процессов в России при производстве зерна в 4 раза превышает средний мировой уровень, картофеля в 2,5, молока в 6.4 раза. В этой связи проблема совершенствования средств механизации для экологически безопасной энергосберегающей технологии в настоящее время остается весьма актуальной и имеет важное народно-хозяйственное значение. Для механизации энергосберегающей обработки почвы под основные зерновые и пропашные сельскохозяйственные культуры в настоящей работе предложены, обоснованы и рекомендуются промышленному производству и АПК энергосберегающие циклоидальные рабочие органы.

Объектом исследования принят комплекс циклоидальных и роторно-прутковых рабочих органов для энергосберегающей обработки почвы.

Предметом исследования является определение закономерностей процесса функционирования циклоидальных и роторно-прутковых рабочих органов.

Цель работы – снижение затрат энергии и средств на обработку почвы и уничтожение сорняков новыми способами и техническими средствами.

Задачи исследования:

- обосновать параметры и режимы послойного трения и смещения фракций активного слоя почвы боковой поверхностью штанги при её поступательном движении и вращении прутьев ротора по удлинённой троехоиде для извлечения проростков сорняков на поверхность почвы;
- определить рациональные конструктивные параметры роторно-пруткового рабочего органа по борьбе с проростками сорняков;
- выявить рациональную форму циклоидальной лобовой поверхности стоек почвообрабатывающих органов, снижающую их тяговое сопротивление, и обосновать конструктивные параметры;
- разработать методику графо-аналитического расчета исследуемых рабочих органов;
- провести испытания циклоидальных и роторных рабочих органов, определить экономическую эффективность и внедрить их в производство.

Научная новизна исследования:

- обоснованы закономерности процесса послойного трения в активном слое почвы при движении штанги в сыпучей среде, отличающиеся получением зависимостей скоростей и перемещений разноудалённых от штанги слоёв;
- доказано преимущество циклоидальной формы лобовой поверхности стоек почвообрабатывающих органов перед другими типами кривых в снижении тягового сопротивления и определены их конструктивные параметры;
- предложены и конструктивно разработаны принципиально новые ротационные штанговые рабочие органы для поверхностного рыхления почвы

и борьбы с проростками сорняков, а также циклоидальные стойки рабочих органов с уменьшенным тяговым сопротивлением.

Методы исследования

В работе использован механико-математический аппарат детерминистской теории и анализа применительно к оценке и моделированию рабочих процессов обработки почвы

Научные положения, выносимые на защиту:

- теоретическое и экспериментальное обоснование процесса послойного трения и смещения фракций в активном слое почвы при движении штанги в сыпучей среде и эффект выноса на поверхность почвы проростков сорняков;
- доказательство преимуществ циклоидальных стоек в снижении тягового сопротивления при обработке почвы;
- конструктивная реализация результатов исследований в создании и внедрении в производство новых почвообрабатывающих орудий.

Реализация результатов исследования

Результаты исследований внедрены в практику земледелия АПК, а разработанные методика расчета, технические задания и агротехнические требования на циклоидальные рабочие органы для технологии обработки почвы переданы Белгородскому ОАО «Белагромаш-сервис», Грязинскому культиваторному заводу, Орловскому заводу им. Медведева для промышленного освоения и производства новой техники (Приложения).

Апробация

Основные результаты и положения диссертационной работы доложены и одобрены на научно-практических конференциях Юго-Западного государственного университета в 2011-2013г., на кафедре Воронежского аграрного университета в сентябре 2013 г., на Грязинском культиваторном заводе в ноябре, апреле, марте, июле 2012- 2013 г., в ОПХ института рапса в Липецкой области в августе 2013 г., В Белгороде и Орле в марте 2014 го-

да, на ЦЧ МИС в июне 2012 г., мае 2013 г., на кафедре ЮЗГУ в сентябре 2013 г., на семинаре в институте рапса Липецкой области в мае 2014 года.

Личный вклад автора заключается

- в механико-технологическом обосновании циклоидальных рабочих органов;
 - в построении математической модели послойного трения и движения фракций в «активном слое» почвы;
 - в разработке методики графоаналитического расчета и проектирования циклоидальных контуров стоек энергосберегающих культиваторов, зубьев сепарирующих роторов;
 - в разработке конструкций орудий, их рабочих органов и оформлении заявок на изобретения;
 - в разработке агротехнических требований, технических заданий на новую технику для трех заводов сельскохозяйственного машиностроения.
- Опубликовано 14 научных работ и 2 монографии, из них 6 – в рецензируемых изданиях ВАК России, по теме диссертации разработано и получено 4 патента на изобретения.

Из общего объема опубликованных работ 35,7 п.л. вклад автора изложен на 25,4 п.л.

Объем и структура диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа содержит 159 страниц основного текста, 100 рисунков, 31 таблицу и приложения. Библиографический список включает в себя 183 наименования работ отечественных и зарубежных авторов.

1 НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

1.1 Исторический мониторинг совершенствования рабочих контуров почвообрабатывающих машин и орудий

На протяжении многовековой истории обработки почвы для производства урожая земледельцы, стремясь облегчить тяжелый труд, создавали примитивные орудия и устройства с различными формами и рабочими контурами поверхностей, приспособлявая и обрабатывая их имеющимися способами и средствами. В дошедшей до нас обширной агрономической, технической и специальной сельскохозяйственной литературе, начиная с античного рабовладельческого общества, мы напрасно стали бы искать описание конструкции какого-либо почвообрабатывающего и посевного орудия того далекого времени [5, 21, 22, 25, 36, 82, 86, 88, 89, и др.]. Древняя эпоха мотыжного земледелия, когда человек, беря щепотью семена, сыпал их с пальцев в вырытую мотыгой лунку, отошла в прошлое. Рассев семян по полю выполнялся рукой человека, а заделка их – либо, сначала, ногами животных, либо, позднее, бороной. Фрески на стенах пирамид древнего Египта дают наглядное представление о технике предпосевной обработки почвы и посева у египтян: рабы тащили на себе по полю плуг, немедленно, вслед за которым, сеятель брал горстями зерно из лукошка, разбрасывал его по вспаханному полю (рисунок 1.1) [5, 22, 83]. В.П. Горячкин, П.У. Бахтин, В.В. Василенко, В.Р. Вильямс отмечают, что первобытные примитивные орудия имели естественную форму сука дерева, палки, крюка или заостренного камня [5, 14, 22, 24, 26, 82]. В.П. Горячкин и Рау наметили логическую схему семи стадий в усовершенствовании плуга (рисунок 1.1). На первой стадии (рисунок 1.1а) орудием обработки служил заостренный кол криволинейной формы. Изображение такого орудия найдены в Сиракузах (Сицилия) и Этрурии. На второй стадии (рисунок 1.1б) к деревянному суку криво-

линейной формы присоединили рукоятку для управления.

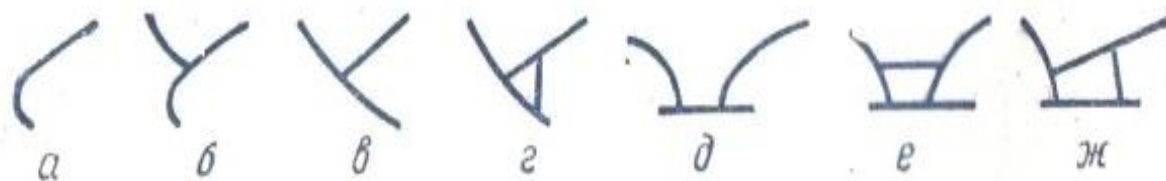


Рисунок 1.1 – Схема развития плуга по Рау-Горячкину

Изображения такого орудия найдены на памятниках и монетах Юлия Цезаря. Найти такой удобный криволинейный сук было достаточно трудно, поэтому орудие начали делать из трех и более кусков (рисунки 1.1 в, г, д). Верхний конец служил ручкой, нижний – рабочим органом. Третий конец использовался для запряжки лошадей. На следующей стадии развития два ствола дерева соединяли с третьим, а на рабочий ствол можно насаживать железный либо медный лемех (рисунки 1.1 е, ж). Первоначально обработка почвы и посев в древнем Египте осуществлялась рабами, тянувшими примитивное орудие с одновременным разбрасыванием зерна щепотью руки (рисунок 1.2.). При этом применялись орудия ручной обработки почвы: копачи, заступы, мотыги (рисунок 1.3). Период античного земледелия характеризуется применением орудий каменного века из заостренных камней, которые найдены в Северном Ираке (рисунок 1.4). Там же в раскопках найден криволинейный рабочий орган из рога по форме близкий к циклоидальному контуру (рисунок 1,5). Преобразами первых орудий были конструкции для упряжки лошадей и быков, приведенные на рисунках 1.6, 1.7, 1.8, 1.9.

Применение новых, усовершенствованных орудий наталкивалось на обычные в то время условия рабовладельческого хозяйства — рабы не только небрежно относились к сельскохозяйственным орудиям, но нередко

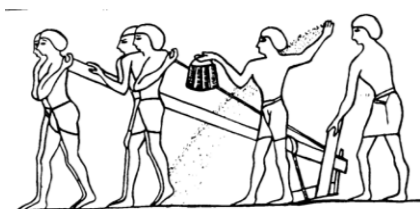


Рисунок 1.2 - Пахота и посев в древнем Египте орудиями с прямолинейными рабочими контурами



Рисунок 1.4 - Каменные рабочие органы мотыг из раскопок в Северном Ираке (6 тысяч лет до н.э.) [22]

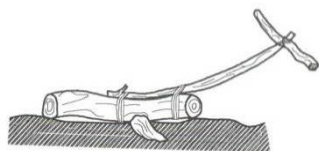


Рисунок 1.6 - Один из первых прототипов плуга [По В.В. Василенко, 22]

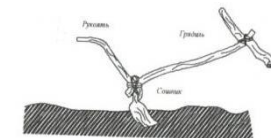


Рисунок 1.7- Прототип первобытной деревянной сохи [По В.В. Василенко, 22]



Рисунок 1.8 - Работа сохой и мотыгой в древнем Египте [22]



Копачи Заступ Мотыга

Рисунок 1.3 - Первобытные орудия труда разной формы в земледелии



Рисунок 1.5 -Рабочие органы мотыг из рога (Северный Ирак, 6 тысяч лет до н.э.) [22]

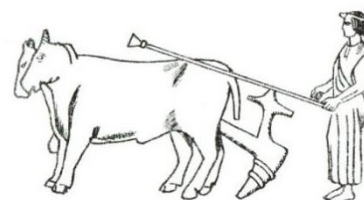


Рисунок 1.9 - Первобытное римское пахатное орудие с криволинейными контурами [22]

сознательно портили их. Хозяйство велось по вековой рутине, в застывших однообразных формах за исключением отдельных новшеств, вносимых кузнецами-умельцами (рисунки 1.10, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.15, 1.16 1.17). Поэтому практически до 17 века почвообрабатывающие орудия сохранили примитивную конфигурацию.

С развитием промышленности в XVIII-XIX вв. на первом месте стояла Англия; английские сельскохозяйственные машины господствовали на рынках Европы. В сельскохозяйственном машиностроении от выпускаемых англичанами в массовом количестве сельскохозяйственных орудий континентальные государства должны были прибегнуть к протекционистской политике; конкурируя на первых порах с английскими образцами, Австро-Венгрия, Дания, Франция и Швеция стали изготавливать новые машины и орудия для сельского хозяйства на своих заводах. Но все эти страны не были в состоянии конкурировать с Англией. Только Германия, где сельскохозяйственное машиностроение родилось в 60-х годах XIX века, к 1913 году догнала Англию по размерам экспорта сельскохозяйственных машин. Если к 1870 г. эта страна стояла по уровню своего промышленного развития на четвертом месте в мире, то в 1913 году она вышла на второе, после США, место. В период средневековья для улучшения качества обработки многие практики пытались оснастить почвообрабатывающие орудия различными приспособлениями. Это улучшало качество крошения, но значительно увеличивало сопротивление и, соответственно, уменьшало скорость обработки почвы. К таким новшествам относятся английский плуг, орудие для отвальной вспашки с отвальчиками (скимкольтерами) (рисунок 1.18, 1.19) и плуг Дира (рисунок 1.20).

Аналогичные приспособления делали на плугах Р. Сакка и других орудиях поверхностного рыхления всего пахотного горизонта. Для поверхностного рыхления почвы применяли также луцильник Розенберга – Липинского (рисунок 1.21) и лапчатую борону – драпач (рисунок 1.22), а для вспашки

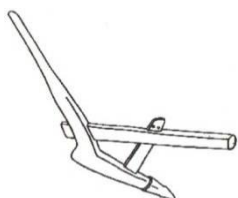


Рисунок 1.10 - Рало с полозком и железным наконечником (Украина, 4-6 века н.э.) [22]

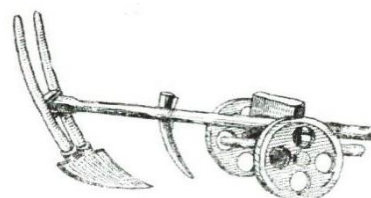


Рисунок 1.11 - Римское пахотное орудие с передком [22]

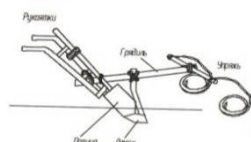


Рисунок 1.12 - Русская соха с криволинейным отвалом и прямолинейным ножом [По В.В. Василенко, 22]

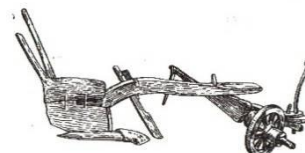


Рисунок 1.13 — Один из первых русский плуг, сложившийся без влияния со стороны (Полтавский музей) [22]

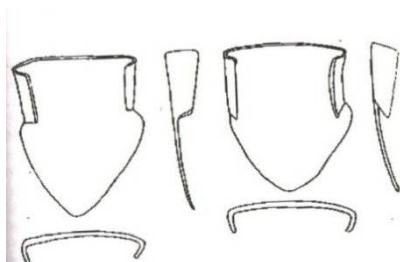


Рисунок 1.14 - Древнерусские лемехи разной формы для сох и плугов [22]

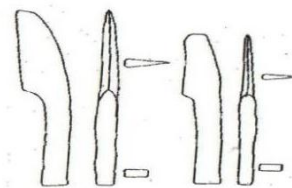


Рисунок 1.15 - Железные черенковые ножи для первых русских плугов (8-9 века) [22]

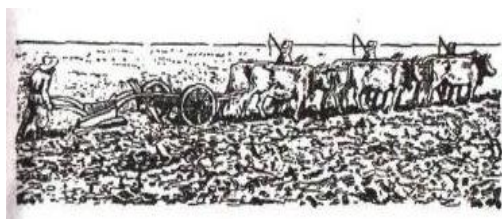


Рисунок 1.16 - Обработка почвы плугом-сабаном (Украина, 11 век) [22]

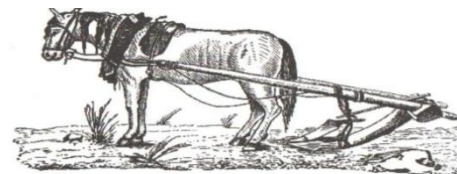


Рисунок 1.17 - Двузубая соха с по'лицей (Новгород, 14 век) [22]



Рисунок 1.18 - Английский стальной колониальный плуг с криволинейным контуром

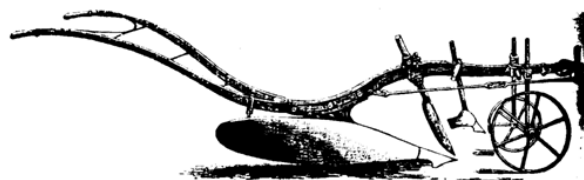


Рисунок 1.19 - Винтовой плуг со скимкольтером Рансома с криволинейным контуром

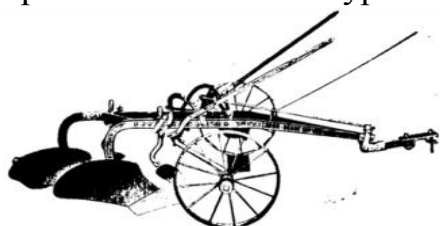


Рисунок 1.20 - Прицепной плуг с джойнтером Дира с криволинейным контуром

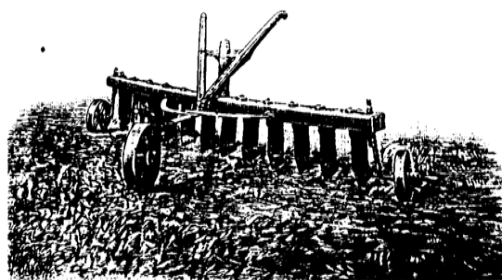


Рисунок 1.21— Луцильник Розенберга—Липинского с прямолинейным контуром [5, 82]



Рисунок 1.22 - Драпач (лапчатая борона)

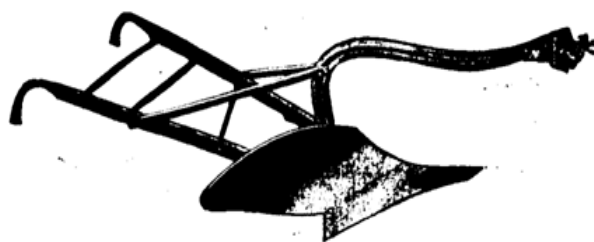


Рисунок 1.23 - Крестьянский плуг Дира [5, 82]

применяли крестьянский плуг Дира (рисунок 1.23). Аналогичные приспособления делали на плугах Р. Сакка и других орудиях поверхностного рыхления всего пахотного горизонта. Машиностроение США развивалось своим путем. Америка была впервые открыта норманнами еще в первой половине X века, но лишь после экспедиции Джона Кабота, итальянца, начался период создания американцами почвообрабатывающих машин. В Северной Европе и Америке пытались соединить в одно комбинированное орудие и рыхлящие свойства рыхающего плуга и оборачивание пласта винтовым отвалом. Это привело к созданию изогнутого отвала среднего типа с неудовлетворительным крошением и отвалом дернины.

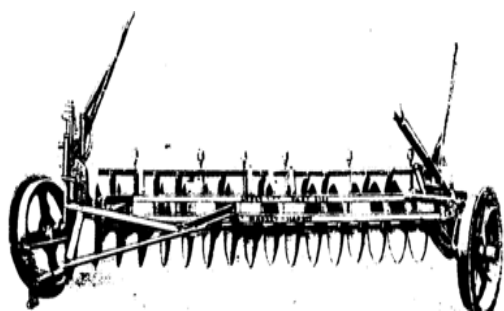


Рисунок 1.24 - Прицепной дисковый культиватор Массей-Гарриса

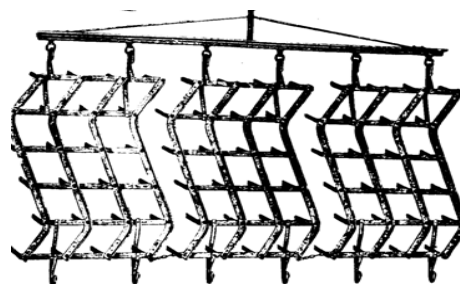


Рисунок 1.25 - Прицепная тяжелая борона Рудольфа Сакка

В хозяйствах фермеров, помещиков и землевладельцев по мере развития энергетики, конная тяга заменялась тракторной. Расширение рынка тракторов было причиной создания специальных комплектов (или гарнитур) орудий тракторной обработки почвы. В историческом аспекте машины для обработки почвы и посева прошли продолжительный путь эволюционного развития, от ручной и конной тяги до высокоскоростных энергонасыщенных высокопроизводительных машинотракторных агрегатов мощностью до 600 л.с. (рисунок 1.26).

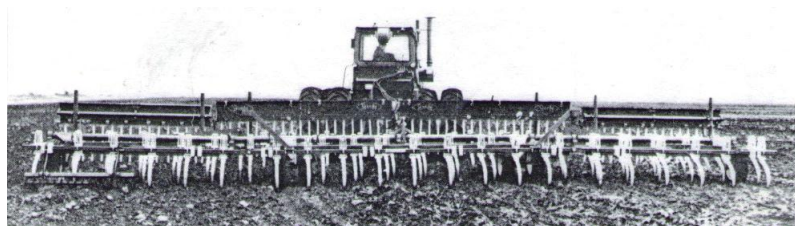


Рисунок 1.26 - Старый маломощный (в 2 л.с.) пахотный агрегат шириной захвата 30 см, глубина обработки 12 см и современный скоростной многофункциональный комбинированный тракторный агрегат мощностью 450 л.с. для обработки почвы и посева: ширина захвата 18 метров глубина рыхления до 24 см.

Мониторинг совершенствования нашими предками земледельческих орудий и их рабочих контуров, представленный рисунками 1.1- 1.26, по-

зволяет обоснованно судить о том, какой трудоемкий и сложный путь прошла механизация обработки почвы от древнего Египта, Рима, Вавилонии и до наших дней.

1.2 Конфигурация стоек и лап культиваторов

По затратам энергии и тяговому сопротивлению конфигурацию рабочих контуров машин и орудий можно классифицировать на прямолинейные, радиальные, логарифмические, комбинированные, циклоидальные и другие. Наиболее целесообразны комбинации рабочих органов, имеющие целью тщательную обработку почвы, экономию эксплуатационных затрат и щадящее воздействие на почву [5], [14], [36], [82], [86], [88], [91], [92]. При сопоставлении отдельных групп культиваторных наборов лап, изготавливаемых отечественными и американскими заводами, обращает внимание отсутствие у большинства отечественных культиваторов специальных рыхлительных лап и окучников (рисунок 1.27). Такое положение, очевидно, является временным, и в дальнейшем по этим видам рабочих органов сортament будет расширен. Из проделанного обзора форм и конфигурации рабочих контуров и критического научного анализа вытекает необходимость

а) нормализации и пополнения наборов лап недостающими типами и формами;

б) проведения поисковых исследований по совершенствованию конфигурации рабочих контуров машин и широкой унификации конструкций.

Набор рабочих органов включает до 120 наименований, выпускаемых по требованию заказчика для различных технологий земледелия и растениеводства.

Сортament рабочих органов американских фирм показан на рисунке 1.28.

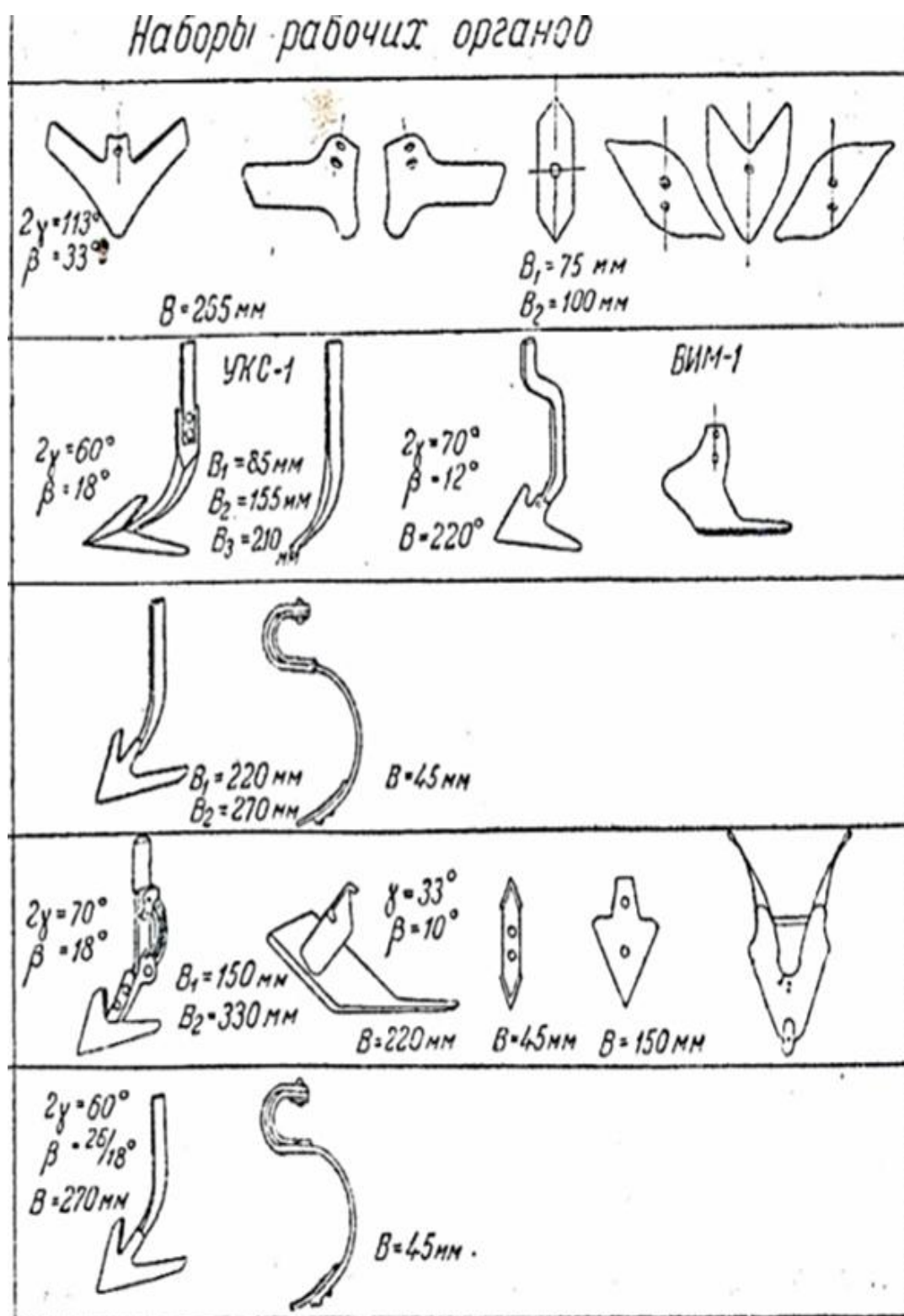


Рисунок 1.27 - Сортамент и конфигурация рабочих органов производства
русских заводов

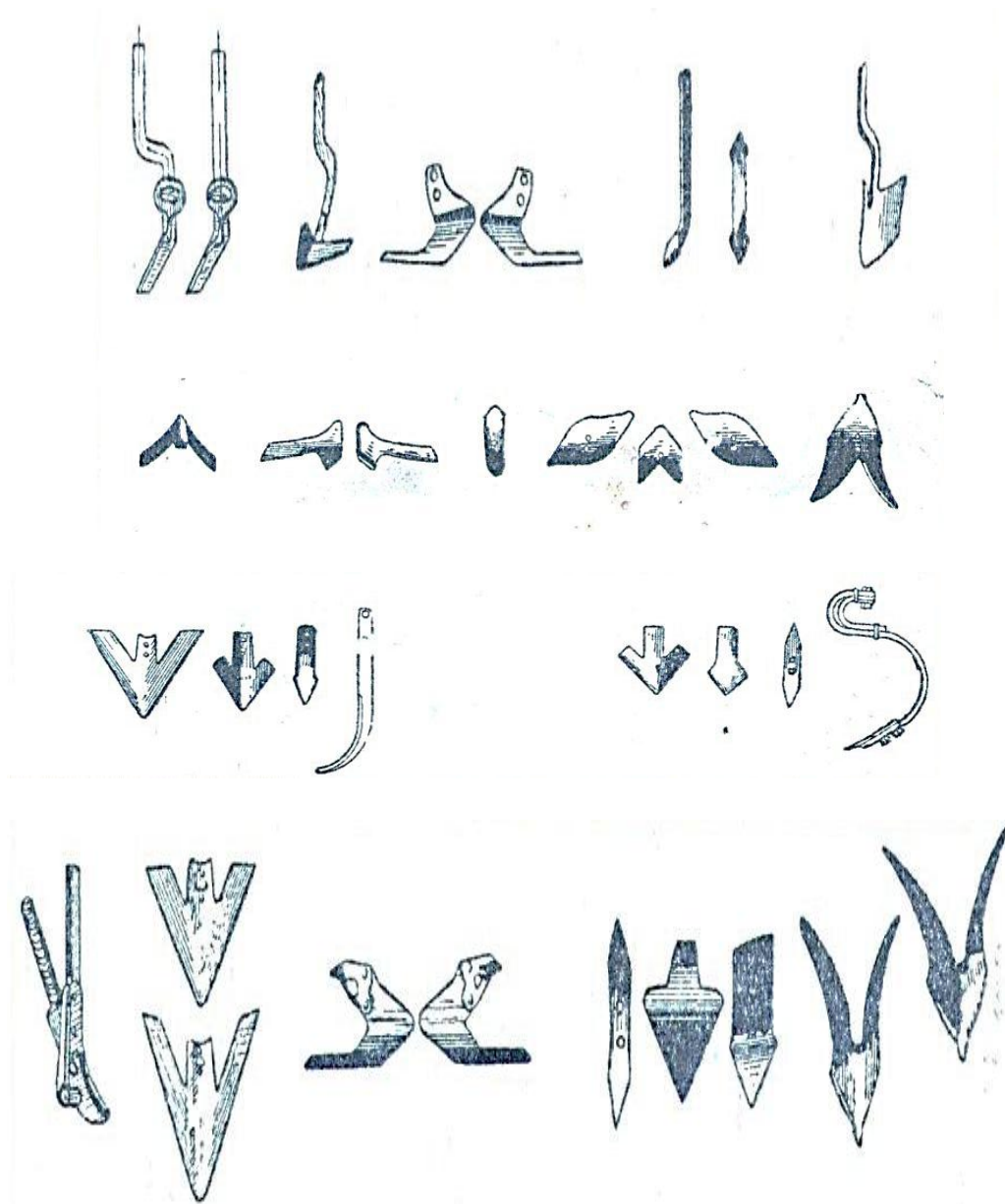


Рисунок 1.28 - Сортамент и конфигурация рабочих органов американских заводов

1.3 Работы изобретателей по профилактике забивания лап и стоек почвой и сорняками

Забивание рабочих органов сорняками снижает качество работы и производительность культиваторов. Источником забивания являются стойки, на которых происходит скопление и сгуживание сорной растительности, встречаемой на пути движения культиватора. У нас и за границей было сделано много попыток создания такой формы стойки, ко-

торая не была бы подвержена забиванию. Общим для всех предлагавшихся видов стоек было стремление активизировать поведение стойки путем превращения ее в вертикальный нож того же очертания. Для борьбы с забиванием лап культиваторов рядом авторов были сделаны предложения об установке вертикальных ножей перед стойками лап [154], [155]. Братья Фаддеевы снабжают лапы серповидными поступательно движущимися ножами, проф. А.Б. Трейвас рекомендует применение плоских дисковых ножей (рисунки 1.29, 1.30). По данным испытаний, установка ножей обоих типов устраняет забивание лап, вместе с тем применение их вызывает усложнение конструкции культиваторов, чем и объясняется их медленное внедрение. В отдельных случаях введение профилактических приспособлений не вызывает затруднений. Большие перспективы в качестве незабивающихся рабочих органов имеют универсальные бритвы [154], [155] (рисунок 1.29), применение которых, не требуя каких-либо дополнительных приспособлений, устраняет забивание культиваторов сорняками. Работа без забивания вертикальных поступательно движущихся ножей (бритвы и ножи Фаддеевых) возможна лишь при определенных значениях угла наклона лезвия к горизонту. Вдавливание в почву стебля, на который наезжает лезвие, происходит при одновременном скольжении стебля вдоль лезвия, т.е. сопряжено с преодолением сил трения на лезвии, в соответствии с чем давление, производимое ножом на стебель, отклоняется от нормали и от горизонтали вверх на угол трения. Значения рационального угла, при которых ножи работают без забивания, определены экспериментально в пределах от 25 до 30,° превышение этих пределов вызывает сгуживание почвы и забивание ножей и бритв. Если для борьбы с забиванием полых лап сейчас уже имеются несколько оправдавших себя способов и дальнейшее зависит лишь от работы конструкторов, то для борьбы с забиванием рыхлительных лап, особенно при вычесывании корневищ многолетних сорняков, еще не имеется ни одного удовлетворительного решения задачи.

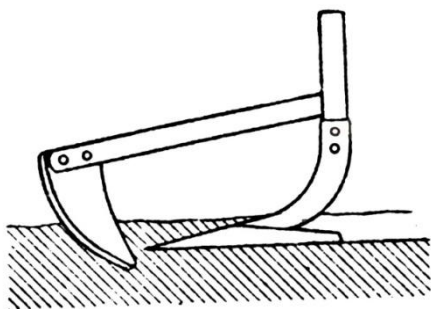
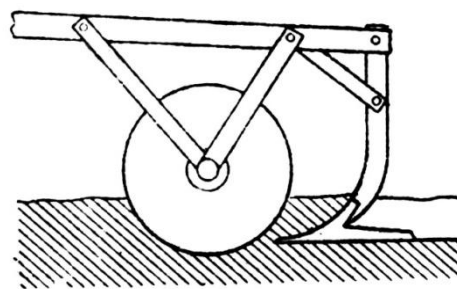


Рисунок 1.29 - Схема серповидного ножа братьев Фаддеевых для снижения забивания лап сорняками



Р

Рисунок 1.30 - Схема дискового ножа проф. А.Б. Трейваса для снижения забивания лап сорняками

При этом снижается производительность работы; кроме того обработка поля получается с огрехами (в местах остановок для очистки), а качество обработки непостоянным, когда в период работы, непосредственно предшествующей очистке, лапы идут мельче, чем при начале работы, и производят свал и развал почвы. При движении лезвие часто не в состоянии перерезать корни сорняков. Известны конструкции стоек, снижающих забивание сорняками. Наиболее интересной формой является стойка с наклоном назад (рисунок 1.31 d).

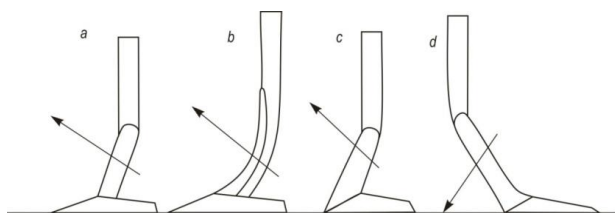


Рисунок 1.31 - Варианты стоек для уменьшения забивания сорняками

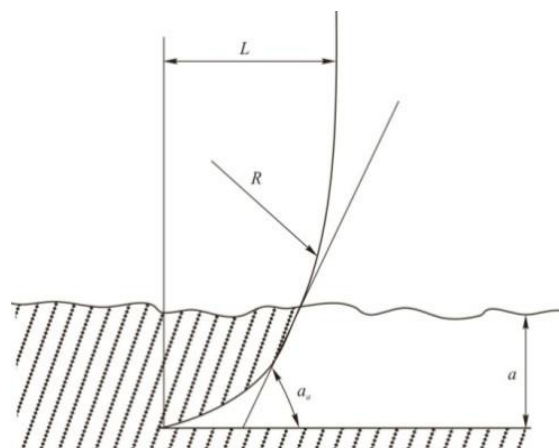


Рисунок 1.32 - Стойка с круглым контуром

Стойки такого типа предлагались российскими изобретателями; кроме того, известна попытка их применения в Америке [154], [155]. Наиболее простой и доступной в эксплуатации оказалась обычная долото-видная форма стойки, нашедшая себе повсеместное применение (рисунок 1.32) [154] [155]. Профиль стойки характеризуется вылетом от носка лапы L и очерчивается кривой, которая может быть задана одним или двумя сопряженными между собой радиусами. Заслуживают внимания стойки с круглым контуром, горизонтального сечения (рисунок 1.33).

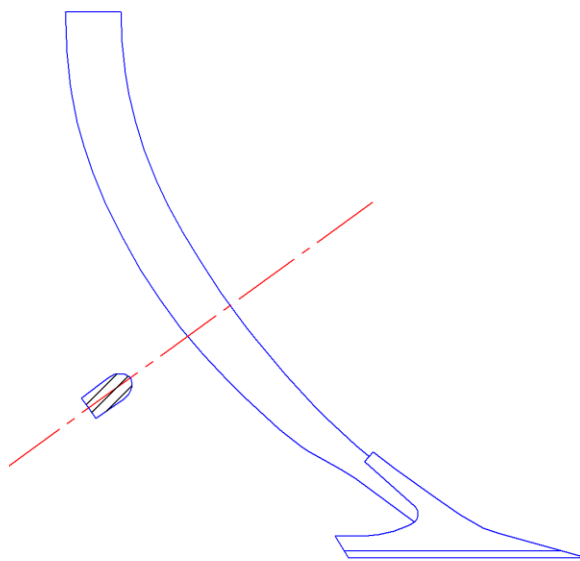


Рисунок 1.33 –Стойка с круглым передним контуром горизонтального сечения

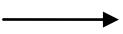
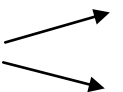
Поскольку заостренная стойка все равно не может перерезать обволакивающие ее сорняки, то надо заставить их не переламываться на острие, а сползать с окружности. Такие стойки накапливают на себе сорняки гораздо реже.

По результатам исследований В.В. Василенко, Д.Н.Афоничева, С. В. Василенко, Д.В. Стурова и нашим данным [5, 21], существенное влияние на очистку машин и снижение тягового сопротивления оказывает вибрация рабочих органов. При частоте колебаний 22-24 Гц и амплитуде около 2...4 мм угол и коэффициент трения почвы снижается с 0,548 до

0,473 рад, тяговое сопротивление на 14,5%, одновременно уменьшается буксование трактора на 10 % [21]. Вибрация снижает износ и повышает долговечность машин. Поэтому весьма актуальным и своевременным является проведение поисковых научных исследований по обоснованию экологически безопасных технологий борьбы с сорняками на посевах сахарной свеклы и других культур, создание и внедрение новых технических средств с более высокими технико-экономическими параметрами.

1.4 Конъюнктура мирового рынка и перспективные направления развития современных почвообрабатывающих машин

В современной практике классификацию рабочих органов и машин можно осуществить по энергосберегающему экологически безопасному принципу. Параметры энергосберегающей, экологически безопасной технологии и машин достигаются за счет оптимизации рабочих контуров циклоидальных стоек и зубьев сепарирующих роторов, применением полосовых отвалов, вибрационных рабочих органов, снижением тягового сопротивления, полосовой (strip till) энергосберегающей безгербицидной технологии, сепарацией и механическим уничтожением сорняков. По способу агрегатирования орудия выполнены навесными и прицепными. Схема технологической классификации сепарирующих рыхлителей такова:

1.Основная обработка почвы		рыхлитель-сепаратор прицепной тяжелый для основной обработки почвы
2.Предпосевная и довсходовая обработка почвы		рыхлитель-сепаратор навесной рыхлитель-сепаратор прицепной
Междурядная обработка почвы		рыхлитель- сепаратор для свеклы рыхлитель- сепаратор для кукурузы и овощей

Классификация машин и рабочих органов по энергосберегающей экологически безопасной технологии обработки почвы приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Классификация машин и рабочих органов по энергосберегающей экологически безопасной технологии обработки почвы

Параметры энергосберегающей, экологически безопасной обработки почвы	Машины и орудия с циклоидальными, вибрационными, полосовыми рабочими органами для энергосберегающей экологически безопасной (безгербицидной) технологии обработки почвы и механического уничтожения сорняков.			
Основная обработка почвы	Плуги полосовые с сепарирующими рабочими органами	Плоскорезы с сепарирующими рабочими органами	Почвоуглубители с циклоидальными сепарирующими приставками	Комбинированные энергосберегающие агрегаты
Предпосевная и довсходовая обработка почвы	Навесные энергосберегающие рыхлители-сепараторы	Прицепные энергосберегающие рыхлители-сепараторы	Штанговые энергосберегающие рыхлители	Комбинированные энергосберегающие агрегаты
Уход за посевами по энергосберегающей экологически чистой технологии	Пропашные энергосберегающие стойки и рыхлители-сепараторы	Циклоидные стойки и рыхлители-сепараторы	Штанговые энергосберегающие рыхлители-сепараторы	агрегаты для междурядной обработки почвы

Однооперационные и комбинированные почвообрабатывающие машины, выпускаемые в России и за рубежом, позволяют сформулировать наиболее актуальные направления их развития и производства. Следует отметить, что известные конструкции зарубежных комбинированных агрегатов обладают высокой стоимостью, большим весом, недостаточной универсальностью и не адаптированы к почвенно-климатическим и технологическим условиям России.

Конъюнктура мирового рынка и современные тенденции развития почвообрабатывающих машин в России и за рубежом подтверждают общую цель – создание более эффективных комбинированных агрегатов с высокой степенью их универсальности, технологической и эксплуатационной надежностью. Это вызывает повышенное внимание конструкторов и ученых к совершенствованию почвообрабатывающих машин и выполняемых ими технологий. Предложения в области создания новой почвообрабатывающей техники можно разделить на две группы. С одной стороны, это универсальные более простые однооперационные, а с другой – более сложные, с приводом от вала отбора мощности, менее маневренные по кинематике и агрегатированию машины с широкими технологическими возможностями. К основным тенденциям в области конструкций машин следует отнести создание плугов переменного захвата, увеличение количества машин с активными рабочими органами, увеличение ширины захвата почвообрабатывающих и посевных машин, создание орудий, выполняющих за один проход агрегата весь комплекс работ предпосевной подготовки почвы. Применяемые оборотные плуги на 8-10 % экономят горючее, производственные издержки на основную обработку и предпосевные технологические операции, создают ровную пахотную поверхность. Характерной особенностью этих машин является большая их стоимость (увеличена на 35-40 %.). Они имеют сменные рабочие органы для углубления пахотного горизонта. Агрегатирование машин производят с тракторами, идущими передним правым или левым колесом по дну борозды (фирмы Ransomes, Джон Дир, Фиатагри, Kverneland, Krone и др.). Характерной особенностью машин является электронное управление рабочими процессами из кабины трактора. Для этого фирма Ядр выпускает аппарат Электродрайв для управления работой цилиндров, расположенных на машине, через распределитель. Электронная коробка управления расположена в кабине трактора, подсоединена к катушкам возбуждения электроventилей, таким образом, что простое нажатие на кнопку позволяет автоматически осуществлять складывание, разворот и возврат машины в рабочее положение.

ние. Конструкции комбинированных машин для основной обработки почвы фирм Kverneland, Lemken предусматривают модульные схемы агрегатирования с тракторами различной мощности. Агрегатная система, расширяемая от 5 до 16 корпусных пар, расстояние между корпусами 100 см, высота рамы - 78 см, профиль рамы — 180 мм из микролегированной мелкозернистой специальной стали. Ширина захвата регулируется набором рабочих органов от 1,5 до 6,4 метра. На машине установлена переменная система регулировки ширины захвата, гидростатическая система предохранения от перегрузок.

В отличие от американских, европейские плуги и комбинированные их модификации снабжены так называемыми заделывателями органических удобрений в виде отвальчиков. Рабочие органы отвального типа фирмы Лосандж характеризуются ромбовидными корпусами, обеспечивающими на 20% снижение силы тяги. На многих агрегатах предусмотрена гидравлическая догрузка рабочих органов массой машины и трактора, что существенно изменяет вес орудия.

Большое внимание уделяется уменьшению общего количества операций по сравнению с традиционными технологиями. Фирма Агрисельф выпускает культиваторы Raz-Mott, специальные приспособления для выравнивания и легкого уплотнения почвы перед трактором. Нож нивелировщика не заглубляется благодаря пружинным амортизаторам и опрокидывается перед препятствием. Фирма Рау выпускает многочисленный набор машин различного назначения.

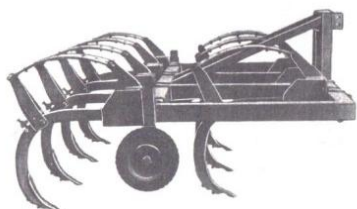


Рисунок 1.34 - Чизельное орудие с радиальным контуром стойки фирмы Kirpi [151]

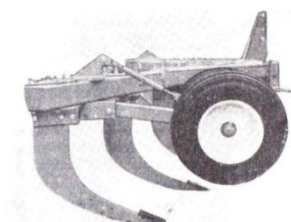


Рисунок 1.35 - Чизельное орудие с параболическим контуром стойки фирмы Kirpi, [151]



Рисунок 1.36 - Чизельное орудие с прямой изогнутой стойкой Paraplow фирмы Howard [151]

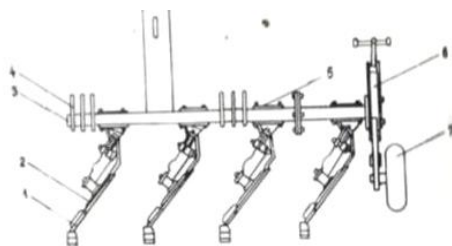


Рисунок 1.37 - Чизельное орудие с прямой изогнутой стойкой Paraplow фирмы Howard [151]

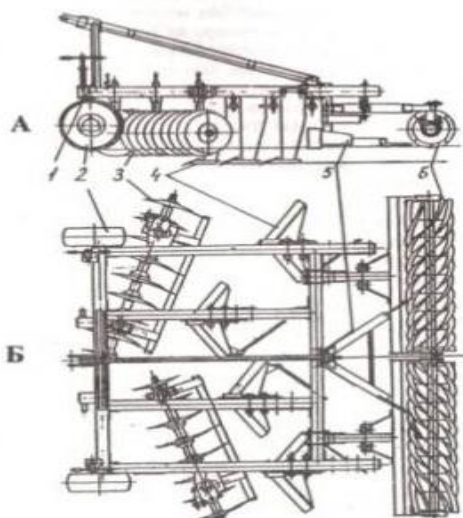


Рисунок 1.38 - Агрегат АПК-3-91 с прямой стойкой ВИМ [126]



Рисунок 1.39 - Агрегат с циклоидальной стойкой и прямой рифленой шарнирной штангой нашей конструкции

Перспективным направлением в развитии механизации обработки почвы является модельный ряд энергосберегающих плугов серий «Фермер», «Богатырь», «Катамаран», разработанных под руководством профессора В.В. Василенко и других ученых Воронежского аграрного университета им. императора Петра 1. Эти плуги (ПН-3-45 ПНС-4-45М, ПНС-4-45МБ, ПНС-5-45М, ПНС-6-45М, ПНС-7-45М, ПНС-7-45, АС ПНУ-8-35, АС ПНУ-10-35М и другие), выполнены из облегченных конструкций без литых узлов с рациональной компоновкой рабочих органов. Они агрегатируются со всеми марками тракторов классов 1,4-6. Схемы воронежских плугов производства ЗАО «АКВА-СВАР» приведены на рисунках.1.40, 1.41, 1.42, 1.43.

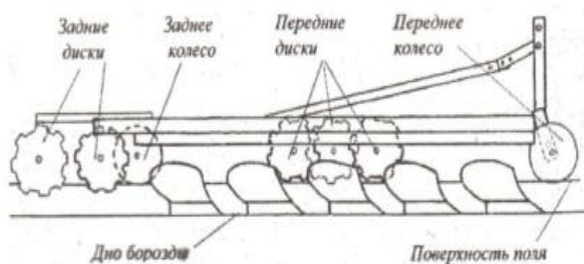


Рисунок 1.40 - Плуг типа «Катамаран» ПНУ-10-35М с боронами, ВГАУ (вид сбоку) [20]

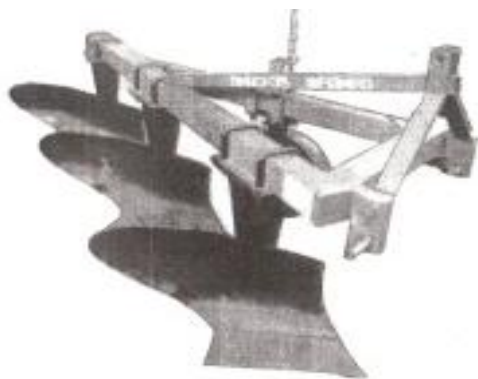


Рисунок 1.42 - Плуг навесной трехкорпусный ПНЗ-45 («Фермер»), ВГАУ, [20]



Рисунок 1.44 – Энергосберегающий полосовой плуг с вибраторами ПН-6-45 Воронежского аграрного университета и предприятия «Аква-Свар» [22]

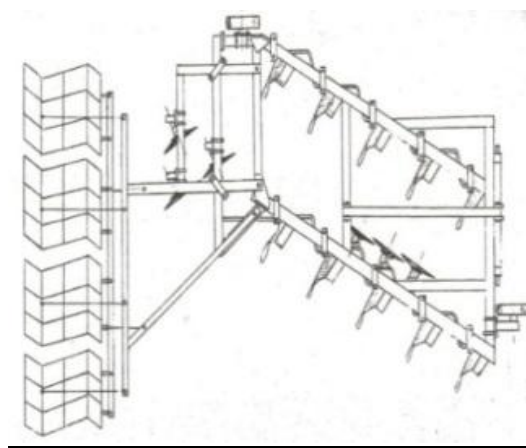


Рисунок 1.41- Плуг типа «Катамаран» ПНУ-10-35М с боронами, ВГАУ, (вид сверху) [20]

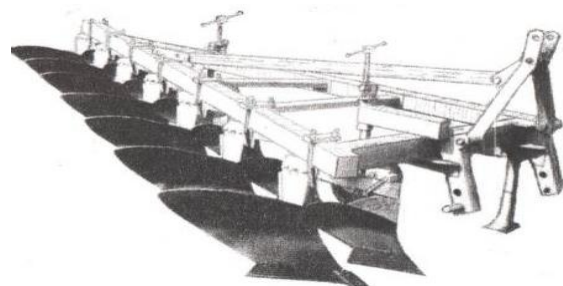


Рисунок 1.43 - Плуг навесной свекловичный ПНС-7-45 («Богатырь») ВГАУ, [20]



Рисунок 1.45.-Навесной оборотный энергосберегающий плуг с полосовыми отвалами ПОН-5-45 Воронежского аграрного университета [22]

Для энергосбережения и экологической безопасности обработки почвы перспективным направлением является применение вибрационных рабочих органов, полосовых отвалов (рисунки 1.44, 1.45) и полосовая (strip til) технология, резко снижающие энергозатраты с механической сепарацией сорняков без применения гербицидов. Эти способы обработки почвы и конструкции машин адаптированы в почвенно-климатических условиях Центрально-Черноземного и других регионах России.

1.5 Оптимизация циклоидального контура стойки культиватора по экстремуму исходной параметрической функции

В историческом контексте общее решение задачи о брахистохроне, то есть о линии минимального времени и быстрой скорости движения интересовало ученых и изобретателей давно, начиная с Галилея, а в дальнейших научных исследованиях братьев Бернулли, Ферма, Х. Гюйгенса, Смирнова, Понтрягина, Г. Лейбница, И. Ньютона, Лопиталя, Л. Эйлера, Ж. Лагранжа и др. она была математически описана и решена вариационным исчислением. Таким образом, была найдена замечательная кривая – циклоида. Научные результаты решения задачи на экстремум о движении точки по траектории с минимальным временем были использованы в циклоидальном маятнике Гюйгенса, циклоидном зацеплении шестерен, а нами – в рабочих контурах новых машин для обработки почвы. Этот контур подтверждает замечательные свойства циклоиды, поскольку известная теория и последующие испытания дают на это убедительные доказательства и основания, поскольку циклоидальные стойки и зубья роторов являются энергосберегающими. Но энергосберегающий контур циклоиды применен нами не в чистом виде, а изменен, переработан и адаптирован для обоснования параметров почвообрабатывающих машин с учетом физико-механических свойств и технологических задач обработки почвы.

Технологические процессы обработки почвы выполняются различными по форме рабочими органами. Известно, что производительность, качество работы мобильных агрегатов в значительной степени зависят от агротехнических требований, характера рельефа, динамики мобильного агрегата, физико-механических свойств почвы. Основные требования к рабочим процессам обработки почвы состоят в том, чтобы они осуществлялись при экстремальных максимальных или минимальных значениях. Согласно нашим исследованиям и патентам, в настоящей работе контур рабочей части стойки выполнен по циклоидальной кривой определенного радиуса образующей окружности, развертка которой при повороте радиуса на угол 180° равна максимальной глубине H_{max} обработки почвы. Причем длина линии контура рабочей поверхности не превышает половины арки циклоиды. Такое технологическое условие и конструктивное решение позволяет снизить затраты на обработку почвы путем оптимизации контуров рабочих поверхностей.

При обработке почвы большое значение влиянию конфигурации рабочих контуров почвообрабатывающих машин на затраты энергии придавал В.П. Горячкин. Размерные и режимные параметры, включая форму контура поверхности рабочего органа, должны обеспечивать минимальные затраты труда, времени и средств и максимальную производительность машин при выполнении рабочего процесса. В этих условиях определим экстремум оптимального лобового контура стойки культиватора, соответствующего исходной аналитической функции технологического процесса обработки почвы.

Как известно [17, 18, 36, 125], в соответствии с методологией, для нахождения экстремума функции скорости необходимо взять первую производную по искомому аргументу времени t , координате x , дуге dS (и т.д.) и приравнять ее нулю:

$$\frac{dy}{dx} = f'(x) = 0.$$

Необходимо решение этого уравнения, при котором функция y будет иметь экстремум при $x = x_0$:

$$y_{\text{экстр}} = f(x_0) = 0.$$

Взяв вторую производную по переменной dx , определим характер экстремума

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = f''(x).$$

Если подставим в последнее равенство $x = x_0$, то при $f''(x_0) > 0$

будет минимум функции, при $f''(x_0) < 0$ будет ее максимум. Однако такое правило не всегда соблюдается, например, когда первой производной не существует, или когда вторая производная равна нулю. В этом случае надо исследовать поведение производных более высоких порядков или ограничиться отысканием экстремума уравнениями Л. Эйлера. Для определения функционалов, т.е. для решения задач вариационного исчисления применяют прямой метод, например, метод коэффициентов Рунге, и второй, косвенный метод отыскания экстремальных значений функционалов Эйлера. Согласно методу Эйлера, экстремум функционала реализуется в том случае, когда искомая функция $y=f(x)$ является решением дифференциального уравнения в виде [18, 125]:

$$\frac{d}{dx} F_{y'} - F_y = 0,$$

где F - подинтегральное выражение функционала;

F_y и $F_{y'}$ - частные производные от F по y и y' .

Когда эта величина определяется одной переменной, а производные по ней не выше первого порядка, подынтегральное выражение имеет вид

$$F = F(x, y, y'),$$

поскольку сама величина определяется уравнением

$$J = \int_{x_0}^{x_1} F(x, y, y') dx$$

Используя метод Эйлера, определим кривую, соединяющую точки А и В (рисунок 1.46), при движении по которой материальная точка пройдет отрезок АВ за кратчайшее время. Согласно Берману Г.Н. [17], Берманту А.Ф. [18], Пискунову Н.С. [125] и нашим исследованиям и разработкам [5, 82, 91, 92], в принятой системе координат определим оптимальные динамические параметры траектории точки и применим ее для построения рабочего контура стойки культиватора. Поместим точку А в начало плоской системы координат XOY . Ось OX направим горизонтально, ось OY вертикально. Силами сопротивления пренебрегаем. Скорость v движения материальной точки $\frac{ds}{dt} = 2gy$. Время движения t между точками $A(0,0)$ и $B(x_1, y_1)$:

$$t = [y(x)] = \frac{1}{2g} \int_0^{x_1} \frac{\sqrt{1 + (y')^2}}{\sqrt{y}} dx ; \quad y(0), \quad y(x_1) = y_1.$$

Эта функция принадлежит к простейшему виду, а подынтегральное значение не содержит явно x . При этом уравнение Эйлера имеет первый интеграл

$$F - y' F_{y'} = C,$$

или в данном случае

$$\frac{\sqrt{1 + (y')^2}}{\sqrt{y}} - \frac{(y')^2}{\sqrt{y[1 + (y')^2]}} = C,$$

которое после упрощения будет иметь вид

$$\frac{1}{\sqrt{y[1+(y')^2]}} = C \quad \text{или} \quad y(1+y'^2) = C_1.$$

Введем параметр α_1 , полагая $y' = \operatorname{ctg} \alpha_1$; тогда получим

$$y = \frac{C}{\sqrt{1+\operatorname{ctg}^2 \alpha_1}} = C_1 \sin^2 \alpha_1 = \frac{C_1}{2} (1 - \cos 2\alpha_1);$$

$$dx = \frac{dy}{y'} = \frac{2C_1 \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 d\alpha_1}{\operatorname{ctg} \alpha_1} = 2C_1 \sin^2 \alpha_1 d\alpha_1 = C_1 (1 - \cos 2\alpha_1) d\alpha_1;$$

$$x = C_1 \left(\alpha_1 - \frac{\sin 2\alpha_1}{2} \right) + C_2 = \frac{C_1}{2} (2\alpha_1 - \sin 2\alpha_1) + C_2.$$

Следовательно, в параметрической форме уравнение искомой линии имеет вид

$$x - C_2 = \frac{C_1}{2} (2\alpha_1 - \sin 2\alpha_1); \quad y = \frac{C_1}{2} (1 - \cos 2\alpha_1).$$

Если преобразовать подстановкой параметр $2\alpha_1 = \alpha$ и принять во внимание, что $C_2 = 0$, так как при $y=0$ $x=0$, то получим уравнение семейства циклоид в параметрической форме:

$$x = \frac{C_1}{2} (\alpha - \sin \alpha); \quad y = \frac{C_1}{2} (1 - \cos \alpha),$$

где $\frac{C_1}{2} = R$ — радиус окружности, производящей циклоиду, а параметрическое уравнение циклоиды примет известный вид:

$$\begin{cases} x = R(\alpha - \sin \alpha) \\ y = R(1 - \cos \alpha) \end{cases}.$$

Исключая α из параметрического уравнения проекций циклоиды на оси координат, получим зависимость x от y .

$$x = R \arccos \left(\frac{R-y}{R} \right) \pm \sqrt{y(2R-y)}.$$

Определяется экстремум этой функции:

$$v[y(x)] = \int_0^{x_1} \frac{\sqrt{1+y'^2}}{\sqrt{y}} dx; \quad y(0)=0 \quad y(x_1)=y_1.$$

Экстремальными являются циклоиды с центром в точке $O(0,0)$ при $x_1 < 2\pi R$.

Пучок циклоид (рисунок 1.46) выполнен разными радиусами образующих кругов, и экстремаль проходит через точку В применительно к разным размерам форм циклоидальных профилей рабочих органов при любых значениях y' .

$$F_{y'} = \frac{y'}{\sqrt{y(1+y'^2)}}; \quad F_{y'} = \frac{1}{\sqrt{y(1+y'^2)^3}} > 0.$$

Следовательно, при $x_1 < 2\pi R$ на циклоиде реализуется сильный минимум, а циклоида является брахистохроной и таутохронной кривой, имеющей экстремум по минимуму времени t движения из точки $A(0, 0)$ в точку $B(x_1, y_1)$. Нами берется для рабочего контура стойки не вся циклоида, а только ее часть, ограниченная нижним и верхним углами в пределах 30° - 60° (см. главы 2 и 5). Нижний угол касательной к циклоиде выбирают 30° с целью активизации заглубления наральника в почву, а верхний угол α наклона касательной к циклоиде относительно горизонта должен быть меньше угла $90^\circ - \varphi$, где φ – угол трения сорняков о сталь лобового контура стойки и находится в пределах угла 60° , что соответствует углу 120° поворота радиуса образующего круга.

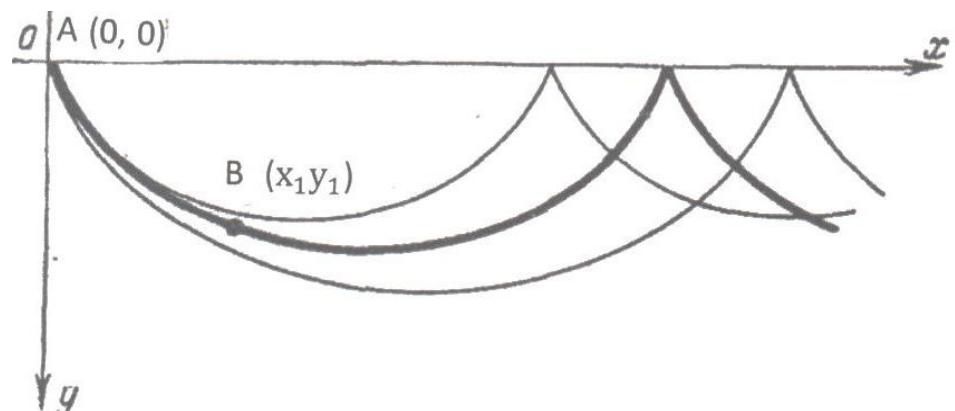


Рисунок 1.46 – Циклоиды с различным радиусом образующих кругов

Оставшаяся часть циклоиды выпадает из расчета стойки. Циклоида обладает замечательным свойством, заключающемся в том, что время t движения по полной циклоиде равно времени t движения по ее любому отрезку с меньшей длиной.

1.6 Степень разработанности темы

Общим вопросам энергосбережения в земледелии посвящены работы П.У.Бахтина, А.И. Тимофеева, Н.В. Краснощекова, А.К. Нанаенко, А.В. Шпилько, П.Н. Бурченко, В.П. Елизарова, И.М. Панова, Г.Н. Синеокова, Ю.И. Кузнецова, Л.С. Орсика, В.П. Иванова, В.Е.Шевченко, А.П. Спирина, А.Ф. Жука, и других ученых в нашей стране и за рубежом. Решены ряд теоретических и прикладных задач в этой области И.К. Макаром, А.В. Котельниковым, В.Ф. Довгалем, М.Н. Жердевым, В.В. Василенко, А.В. Рыжковым, А.Л. Брежневым, Д.В. Мотиным и другими. Анализ приведенных первоисточников и наше предварительное исследование свойств циклоиды позволяют сформулировать выводы по степени разработанности выбранной темы и наметить цель и задачи исследований.

1 Развитие земледелия неразрывно связано с многовековой историей изыскания новых способов и технических средств обработки почвы, начиная от примитивных форм орудий каменного века до современных универсальных машин с оптимальными энергосберегающими рабочими контурами для экологически безопасной технологии выращивания урожая.

2. По своей форме, конструкции и качеству обработки почвы рабочие органы постоянно совершенствовались и развивались в направлении очистки от почвы и сорняков, снижения энергозатрат, повышения производительности и износостойкости рабочих поверхностей, поиску рациональной геометрической формы и технологической универсальности, начиная от прямого и криволинейного сука до современных циклоидальных рабочих контуров стоек, отвальных поверхностей и сепарирующих роторов.

3. Научными исследованиями Галилея, братьев Бернулли, Ферма, Х. Гюйгенса, Смирнова, Понтрягина, Г. Лейбница, И. Ньютона, Лопиталя, Л. Эйлера, Ж. Лагранжа и др. вариационным исчислением оптимизирован циклоидальный контур кривой линии по экстремуму исходной параметрической функции, для которой период прохождения точки по ее контуру одинаков (не зависит от положения точки на циклоиде), а скорость прохождения по циклоиде максимальна по сравнению с другими контурами. Решение задачи на экстремум о движении точки по циклоидальной траектории с минимальным временем было использовано в циклоидальном маятнике Гюйгенса, циклоидном зацеплении шестерен, а нами изменено, переработано и адаптировано для обоснования параметров почвообрабатывающих машин с учетом физико-механических свойств и технологических задач обработки почвы.

4. Вопросы использования энергосберегающей технологии обработки почвы по патентам RU № 2474100, RU № 2475007, 2013 г. «Способ выращивания сельскохозяйственных культур по экологически чистой энергосберегающей технологии» и «Энергосберегающая почвообрабатывающая стойка» с циклоидальными рабочими контурами сдерживаются отсутствием теоретически и экспериментально обоснованных рекомендаций и в настоящей работе ставятся нами на исследование впервые. На этой основе во введении сформулирована основная цель и задачи исследования.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

2.1 Математическая модель процесса формирования активного слоя почвы при работе прутков сепарирующего ротора и штанги циклоидального культиватора

В основу анализа технологического процесса обработки почвы круглыми штангами циклоидальных стоек и круглыми прутами ротационных рыхлителей с торможением от привода (рисунки 2.1 и 2.2) положена научная гипотеза, согласно которой мы предполагали, что процесс взаимодействия штанги стоек и прутков сепарирующих рыхлителей с рыхлой трехфазной почвенной средой сопровождается послойным смещением фракций и формированием активного слоя почвы силами бокового трения.

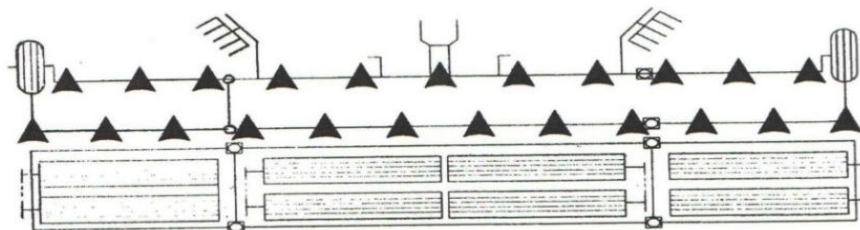


Рисунок 2.1 – Схема агрегата по патенту RU 3 2474100 «Способ выращивания урожая сельскохозяйственных культур по экологически чистой энергосберегающей технологии» (вид сверху)

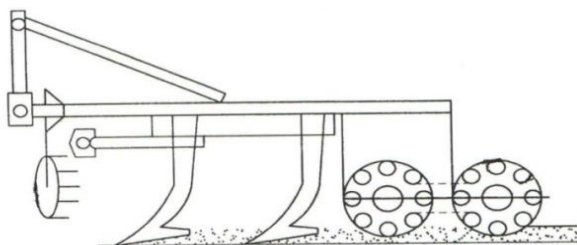


Рисунок 2.2 — Схема агрегата по патенту RU 3 2474100 «Способ выращивания урожая сельскохозяйственных культур по экологически чистой энергосберегающей технологии» (вид сбоку)

Эта гипотеза исследована нами при обосновании и расчете размерных и режимных параметров технологического процесса предлагаемых устройств. В работе предусматривалось установить закономерности смещения частиц в активном слое почвы, снижения затрат энергии, горючесмазочных материалов и гербицидов при обработке почвы в соответствии с литературой [5, 13, 14, 15, 16, 18, 21, 22, 25, 26, 67, 71, 72, 73, 74, 76, 81, 82, 89, 90, 93, 94, 98].

При движении штанги и прута ротора в почве в соответствии с рисунком 2.3 дифференциальное уравнение смещения слоев имеет вид

$$\frac{dv}{dx} = -kv, \quad (2.1)$$

где x – удаление по вертикали слоя почвы от штанги;

v – скорость движения соответствующего слоя вслед за штангой.

Скорость слоя почвы при движении штанги будет равна интегралу (2.2):

$$\int \frac{dv}{v} = \int -k dx. \quad (2.2)$$

После интегрирования получим убывающую логарифмическую функцию, поскольку коэффициент k имеет отрицательный знак:

$$\ln v = -kx + \ln c_1, \quad (2.3)$$

где c_1 – константа, она равна скорости первого слоя почвы, контактирующего со штангой. Эта скорость принимается равной скорости движения

штанги: $c_1 = v_a$;

$(-k)$ – градиент затухания скорости почвенных частиц между слоями со знаком $(-)$, по нашим данным $k = 0,27$;

Последнее логарифмическое уравнение легко трансформируется в показательную функцию с положительным показателем степени k в знаменателе и принимает вид (2.4):

$$\ln \frac{v}{c_1} = -kx,$$

$$\frac{v}{c_1} = e^{-kx},$$

$$v = c_1 e^{-kx},$$

$$v = v_a e^{-kx} = \frac{v_a}{e^{kx}}, \quad (2.4)$$

На рисунке 2.3 показаны эпюры скоростей слоёв почвы сверху и снизу по отношению к движущейся штанге.

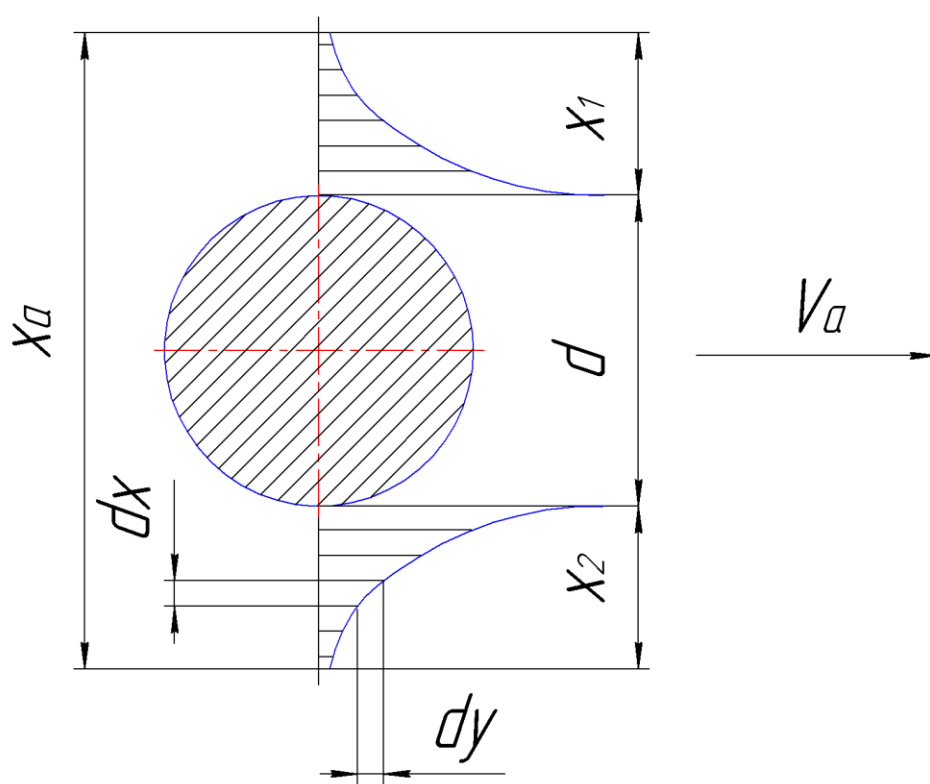


Рисунок 2.3 – К теоретическому обоснованию формирования активного слоя почвы при движении круглой штанги

Экспериментально определена толщина активного слоя почвы для частиц диаметром d от 2 до 10 мм, она аппроксимируется уравнением

$$X_a = 2,25 \cdot (d - 2) + 19.$$

Если скорость v_a штанги (агрегата) принять равную 1, то промежуточные значения скоростей v почвенных частиц в активном слое можно заме-

нить значениями перемещений S в долях единицы, имеющих такую же безразмерную функциональную закономерность смещения почвенных слоев, что и скорость в уравнении 2.4 и таблице 2.1. Тогда

$$v_a = S_a = 1.$$

Поскольку удаление x слоёв почвы от штанги является непрерывной величиной, а номера слоёв носят дискретный характер, для удобства анализа перемещений почвы можно разграничить величину x на отрезки и пронумеровать эти отрезки. В дальнейшем под индексом c будем подразумевать номер слоя, начиная от контактирующего со штангой.

Для расчета промежуточных значений перемещений s применимо показательное уравнение (2.5):

$$s = e^{-kc} = \frac{1}{e^{kc}}. \quad (2.5)$$

Параметры сепарирующего активного слоя необходимо учитывать при обработке почвы и выполнении технологии. Расчетные данные по уравнению (2.4) сведены в таблицу 2.1. Параметры активного слоя почвы для частиц 10 мм максимальны по величине. Активный слой улучшает процесс сепарации, и его необходимо учитывать при выполнении технологии сепарирования почвы и сорняков, анализе засоренности плантаций и настройке машин. Таблица 2.1 — Аналитическая закономерность изменения скорости фракций диаметром 10 мм в активном слое почвы в зависимости от порядкового номера (C) укладки частиц при скорости агрегата v_a .

Параметры	Номер слоя (C) почвы в динамически подвижном активном слое за счет сил трения о штангу							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент $kC = 0,27C$	0,27·0=0	0,27·1=0,27	0,27·2=0,54	0,27·3=0,81	0,27·4=1,08	0,27·5=1,35	0,27·6=1,62	0,27·7=1,89

Окончание таблицы 2.1

$v = v_a e^{-kc}$	Относительная скорость слоев почвы по мере удаления от боковой поверхности круглой движущейся штанги или прута ротора							
	V_a	$0,76V_a$	$0,58V_a$	$0,44V_a$	$0,34V_a$	$0,26V_a$	$0,20V_a$	$0,15V_a$

Таблицу 2.1 можно представить в безразмерных параметрах перемещений s смежных слоев «активного слоя» почвы относительно друг друга, выраженных в долях единицы, (таблица 2.2).

Таблица 2.2 — Закономерность послойного перемещения S фракций диаметром 10 мм в активном слое почвы в безразмерных параметрах при скорости V_a и перемещении S_a агрегата равном 1; ($V_a = S_a = 1$)

Параметры	Номер слоя (C) почвы в динамически подвижном активном слое за счет сил трения о штангу							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент $kC = 0,27C$	$0,27 \cdot 0 = 0$	$0,27 \cdot 1 = 0,27$	$0,27 \cdot 2 = 0,54$	$0,27 \cdot 3 = 0,81$	$0,27 \cdot 4 = 1,08$	$0,27 \cdot 5 = 1,35$	$0,27 \cdot 6 = 1,62$	$0,27 \cdot 7 = 1,89$
$S = e^{-kc}$	1	0,76	0,58	0,44	0,34	0,26	0,20	0,15

Аппроксимация экспериментальной и теоретической закономерности формирования толщины активного слоя почвы под воздействием рифленой штанги приведена в главе 4. Активный слой вместе со штангой повышает сепарацию почвы и сорняков.

2.2 Обоснование диаметра штанги в стойке циклоидального культиватора и прута в сепарирующем роторе рыхлителя

Процесс взаимодействия штанги с почвой и сорняками определяет эффективность технологического процесса, особенно, когда сорняки нахо-

дятся в фазе нитевидных проростков, ослаблены, не укоренились и могут быть подвержены максимальному механическому разрушению, уничтожению и выбрасыванию на поверхность поля. Эффект выбрасывания почвы и сорняков на поверхность поля назван нами сепарацией. Схема взаимодействия штанги с сорняком показана на рисунке 2.4.

Сепарация сорняков зависит от их длины, диаметра прутков, коэффициента трения проростков по рабочей поверхности и угла обхвата. Если давать оценку сепарирующей способностью по объему сепарирования, то увеличение диаметра прута способствует улучшению процесса сепарации и разделения сорняков и фракций. Вместе с тем увеличение диаметра прута ротора ухудшает его заглубление в почву. Поэтому необходимо установить соотношение между трением сорняков по поверхности прутков и штанги, длиной проростков и диаметром сепарирующих элементов. По условиям технологии сорняки целесообразно сепарировать без разрушения и разрыва растений на части, чтобы исключить возможность дальнейшего их вегетативного размножения разорванных частей растений, особенно пырея. Для анализа процесса сепарации и проектирования ротора рассмотрим схему взаимодействия прута и штанги циклоидальной стойки в почве с сорняком, рисунок 2.4. Продольно-вертикальная плоскость проходит через сечение прута радиусом r_n . При движении прута в почве сорняки огибают его профиль и сходят с его поверхности. Проекцию равнодействующей силы R тяги разложим на нормаль N и касательную $R \sin \varphi$ к поверхности прута. Величина силы N переменная. Она изменяется по профилю прута от нуля (на боковых гранях) до $N_{\max}$ в точке, расположенной в центре давления. Пропорционально N изменяется и касательная сила давления почвы на криволинейную поверхность. В некоторой точке e и симметричной с ней точке n имеет место равенство сил трения и касательной силы $R \sin \varphi$. Равнодействующая внешних сил R отклонена от нормали в точке e на угол трения φ . Из соотношения треугольников сил видно, что

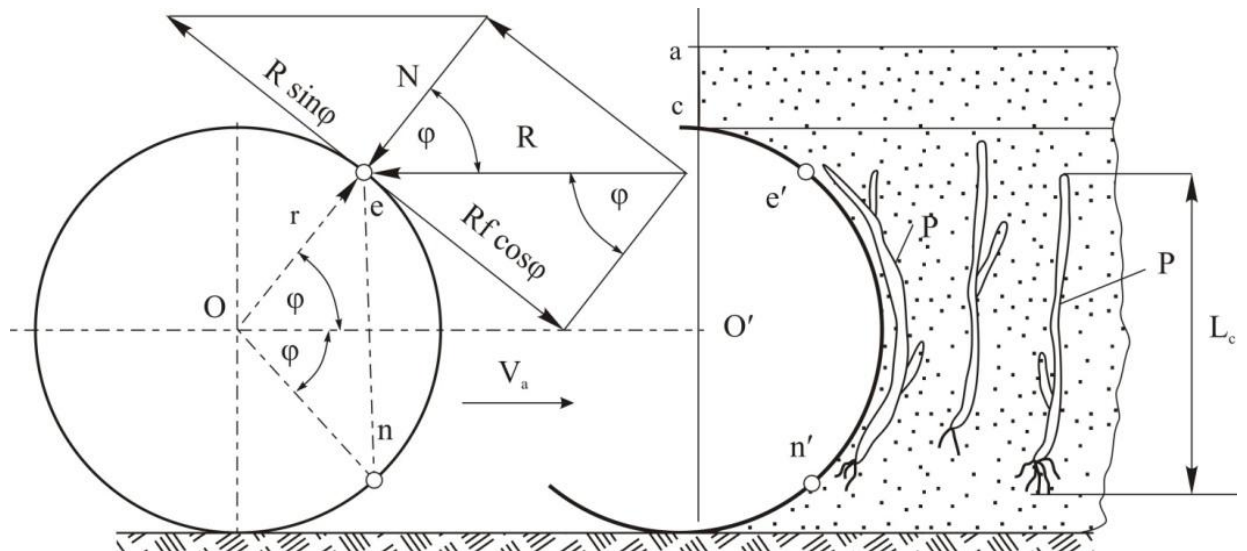


Рисунок 2.4 – Технологические соотношения между длиной проростков сорняков, углами трения и диаметром штанги прута циклоидального ротора.

$$R \sin \varphi = R f \cos \varphi.$$

$$\operatorname{tg} \varphi = f$$

$$\varphi = \arctan f.$$

На такой же угол φ отклонен от горизонтали и радиус On . Частицы почвы в пределах дуги en остаются неподвижными, а угол обхвата равен двойному углу трения φ почвы о прут. Если коэффициенты трения почвы о металл заменить коэффициентами трения сорняков о поверхность прута, то приведенные закономерности также будут сохраняться. Изменяются только величины углов φ . Для сорняков они будут меньше, чем для почвы. При перемещении прута из точки O в точку O' , сорняки будут накапливаться на его поверхности. Длина L_c сорняка, огибающего прут в пределах дуги $e'n' = en$ не должна превышать значения

$$L_c = 2r_n \varphi_o = 2r_n \arctan f_o,$$

где φ_o - угол трения сорняков о поверхность прута;

L_c - длина проростков сорняков.

Тогда радиус прута r_n катка-сепаратора будет равен

$$r_n = \frac{L_c}{2\varphi_0}, \quad (2.6)$$

а его диаметр

$$2r_n = \frac{L_c}{\varphi_0} = \frac{L_c}{\arctg f_0}.$$

Следовательно, перед началом полевых работ с ротационными сепараторами необходимо контролировать фазы развития проростков сорняков и проводить обработку почвы, когда их длина не будет превышать расчетного значения L_c . Для повышения эффективности сепарации сорняков и уменьшения схода их с рабочей поверхности необходимо увеличивать коэффициент трения f_0 .

В таблице 2.3 приведены расчетные значения b_n диаметров прута (мм) в зависимости от длины L_c проростков сорняков и переменных значений углов трения φ_0 .

Таблица 2.3 — Рациональный диаметр прута (мм) в зависимости от длины L_c проростков сорняков и переменных значений углов трения φ_0 о поверхность прута.

Длина L_c проростков, мм	Угол трения φ_0 , град.						
	5	10	20	30	40	50	60
5	57,5	28,7	14,3	9,0	7,1	5,7	4,8
10	115,0	57,4	28,6	18,1	14,3	11,4	9,6
15	172,5	86,1	42,9	27,1	21,4	17,1	14,4
20	230,0	114,8	57,2	36,2	28,6	22,8	19,2
25	288,0	144,0	71,2	45,3	35,8	28,5	24,0
30	304,5	172,5	85,9	54,1	42,8	34,2	28,8

2.3 Параметры циклоидального рыхлителя-сепаратора

В наших исследованиях и публикациях приведены основные размерные и режимные параметры ротационного рыхлителя - сепаратора с циклоидальными рабочими органами.

Размерные параметры:

- диаметр прута ротационной батареи, b_n ;
- радиус ротора циклоидального рыхлителя – сепаратора, R_k ;
- передаточное число тормоза, i ;
- число прутков и циклоидальных зубьев на роторе, n ;
- зазор между нижним обрезом дробителя комков почвы и прутками ротора, h_o .

Режимные параметры:

- предельно допустимая минимальная скорость движения агрегата, $v_{a.min}$;
- модуль абсолютной скорости рыхления и сепарации задним ротором, v ;
- горизонтальная составляющая скорости рыхления и сепарации, v_x ;
- вертикальная составляющая скорости рыхления и сепарации, v_z ;
- окружная скорость сепарирующего ротора, $v_{окр}$;
- коэффициент скольжения сепарирующего ротора в почве, δ' ;
- потребляемая мощность, N .

2.4 Компоненты энергосбережения и оценка энергозатрат на экологически безопасную обработку почвы

Наличие на роторах сепарирующего рабочего органа привода в виде цепной передачи либо иной, например, зубчатой передачи обеспечивает кинематическую разность между поступательной скоростью трактора и окружными скоростями сепарирующего и приводного роторов. Если привод между роторами разъединить, то окружная скорость роторов будет равна скорости

агрегата. В принятой схеме сепарирующих рабочих органов передний и задний роторы с одной стороны связаны передачей, а с другой – силами трения о почву. Поскольку кинематика привода обеспечивается механической прочностью рамы, цепей, валов, то существует различие линейных скоростей прутьев, находящихся в контакте с почвой в режиме скольжения или буксования роторов относительно друг друга и поверхности поля. По динамической прочности в этой системе почва является наиболее слабым звеном, и она разрушается в заданном режиме технологического процесса скольжения прутьев. На рисунке 2.5 показана схема торможения и снижения скорости вращения сепарирующего ротора через привод цепной передачи.

Скольжение прутьев сопровождается формированием семенного ложа при торможении сепарирующего ротора. Выбрасывание сорняков, стерневых остатков, корней сорных растений осуществляется задним ротором, работающим как подвижное беличье колесо, а сепарирование (всплывание) происходит за счет разности удельного веса почвы и более легких растений по сравнению с почвой. Почва и сорняки захватываются скользящим движением прутьев, перемещаются ими снизу вверх и далее равномерно разбрасываются по поверхности поля в направлении скоростей $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3, \vartheta_4$.

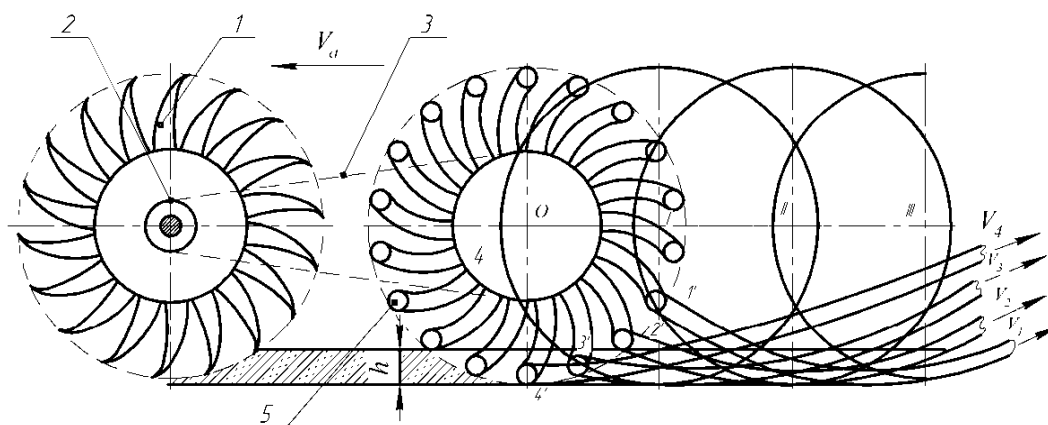


Рисунок 2.5 – Схема выбрасывания почвы и сорняков по направлениям траекторий движения прутьев в почве снизу вверх со скоростью $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3, \vartheta_4$ и т.д..

Следует иметь в виду, что эти скорости не абсолютные, а относительные по отношению к центру подвижного ротора. В силу парусности и разных удельных весов, раньше падают на поверхность более тяжелые крупные фракции почвы, затем мульчирующие более легкие сорняки и стерневые остатки. Каждый прут ротора перемещается по удлиненной трохойде, совершая сложное плоскопараллельное движение. Закон их движения одинаков, рисунок 2.5. Коэффициент δ_{ck} скольжения прутьев определяется уравнением

$$\delta_{ck} = 1 - i^{-1} \quad (2.7)$$

Экспериментально установлено, что наиболее качественное уничтожение и сепарация сорняков, а также выравнивание поверхности поля достигается при передаточном отношении приводных звездочек заднего ротора к переднему от 2 до 4 и скорости движения агрегата не менее 8,1 км/ч, что соответствует коэффициенту скольжения от 0,5 до 0,75 (таблица 2.4) Равенство (2.7) является основным расчетным уравнением для выбора технологического режима торможения, определения рабочих скоростей сепараторов и катков-сепараторов. На рисунке 2.6 приведен график зависимости коэффициента скольжения от передаточного числа i тормоза. Если $i=1$, то коэффициент скольжения $\delta_{ck}=0$; тогда диск свободно перекатывается по почве. При $i=\infty$ коэффициент скольжения $\delta_{ck}=1$; тогда диск полностью заторможен, а прут работает, как зуб бороны или штанга. Следовательно, δ_{ck} изменяется в пределах:

$$0 \leq \delta_{ck} \leq 1.$$

Рациональные значения коэффициента скольжения находятся в пределах

$$0,5 \leq \delta_{cr} \leq 0,75.$$

Если в расчетное уравнение подставить передаточные числа i меньше единицы, то сепаратор будет работать в режиме буксования (на рисунке

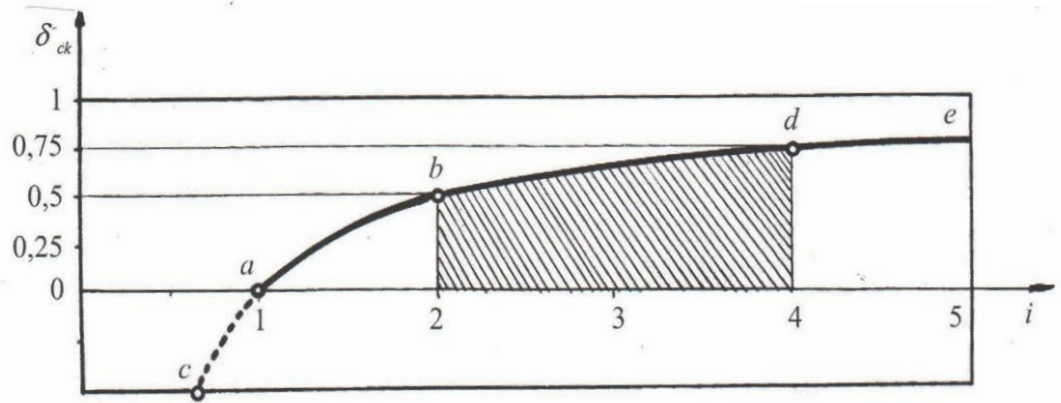


Рисунок 2.6 – К определению рационального технологического режима торможения ротационного сепарирующего рыхлителя

пунктирная линия). Такой режим характерен для работы фрез. Кривая $\alpha b d$ построена для оценки рационального режима торможения сепарирующих рабочих органов. Точка α пересечения кривой с абсциссой соответствует свободному перекачиванию диска. Если в уравнение (2.7) подставить передаточные числа меньше единицы, то коэффициент скольжения $\delta_{ск}$ меняет знак на противоположный. В этом случае скольжение отсутствует, а орудие входит в режим буксования (фрезерования).

Таблица 2.4 – Зависимость коэффициента скольжения от передаточного числа тормоза

Передаточное число тормоза i	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Коэффициент скольжения $\delta_{ск}$	0	0,5	0,66	0,75	0,8	0,83

При работе сепаратора тормозящий ротор имеет окружную скорость несколько большую (на 7-9%), чем поступательная скорость агрегата. В связи с этим, для получения рациональной скорости и обеспечения заданного тормозного режима общее передаточное отношение тормоза необходимо увеличивать на 7-9% по сравнению с расчетным его значением. Рабочий

процесс сепараторов протекает в режиме положительных значений δ_{ck} . Для оценки влияния передаточного числа на коэффициент скольжения

δ_{ck} продифференцируем уравнение (2.7):

$$k = \frac{d\delta_{ck}}{di} = \frac{1}{i^2}. \quad (2.8)$$

Коэффициент k характеризует скорость изменения коэффициента скольжения в зависимости от i . Подставляя в уравнение (2.8) переменные значения i , получаем зависимость $k=f(i)$ (таблица 2.5). На рисунке 2.7 приведен график изменения k в зависимости от передаточного числа i тормоза.

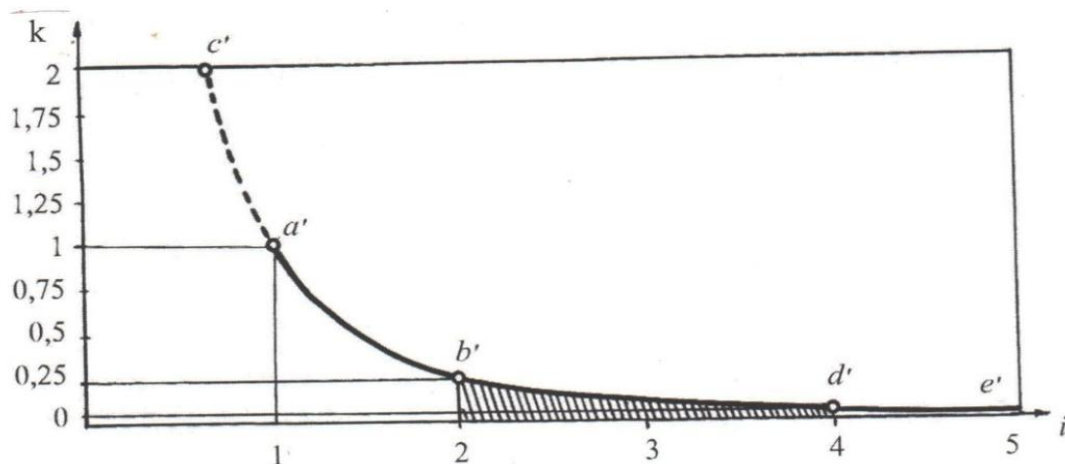


Рисунок 2.7 — Скорость изменений коэффициента скольжения в зависимости от передаточного числа i торможения ротора $k=\frac{1}{i^2}$

Кривая a'_1, b'_1, d'_1, e'_1 соответствует режиму скольжения рабочих органов (ротационные рыхлители-сепараторы), а c', d' (пунктирная линия) характеризует работу орудий в режиме буксования (фрезы). Скорость нарастания $k=f(i)$ скольжения на участке b', d' меньше, чем на участке a', b' . В первом случае передаточное отношение изменяется от 2 до 4, а во втором — от 1 до 2.

Таблица 2.5 — Скорость изменение коэффициента скольжения при вариации передаточным отношением

Передаточное число тормоза, i	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Коэффициент изменения скорости скольжения k	1	0,25	0,11	0,062	0,04	0,027

Соответствующие точкам b, d коэффициенты скольжения δ_{ck} изменяются в пределах от 0,5 до 0,75. Кривая b',d' соответствует более устойчивому процессу работы тормоза, так как изменение передаточных чисел на этом участке незначительно влияет на изменение скольжения рабочих органов в почве. Поэтому передаточные числа в пределах от 2 до 4 и выбраны для проектирования режима торможения сепарирующих рабочих органов. Этот интервал (ограничен штриховкой) используют для расчета приводов.

Угол наклона касательной в точках рационального режима растет медленно, изменяясь в пределах $3^{\circ}30' \leq \arctg \leq 14^{\circ}6'$.

Снижение передаточного числа тормоза менее 2 ухудшает режим работы сепарирования, а увеличение его более чем в четыре раза делает привод громоздким и дорогостоящим. Скорость скольжения всегда меньше поступательной скорости агрегата и определяется по формуле

$$v_{ck} = v_a \cdot \delta_{ck} = v_a \cdot (1 - i^{-1}) \quad (2.9)$$

Влияние передаточного отношения на окружную скорость ротора отражено в таблице 2.6.

Установлено снижение энергоемкости сепарирующего ротора при уменьшении скорости скольжения прутков и скорости движения агрегата.

При уменьшении передаточного отношения тормоза снижается скорость скольжения заднего ротора, которая определяется полученными уравнениями. В этом случае агрегат переходит в режим полного торможения

роторов, их скольжение равно скорости трактора. Обработка верхнего слоя осуществляется без сепарации почвы и сорняков.

Таблица 2.6 – Влияние передаточного отношения i привода на снижение окружной скорости сепарирующего ротора

Параметры		Передаточное отношение i				
		2	3	4	5	6
Коэффициент скольжения δ_{ck}		0,50	0,66	0,75	0,80	0,83
Коэффициент вращения $1 - \delta_{ck}$		0,50	0,34	0,25	0,20	0,17
Снижение окружной скорости ротора, км/ч $V_{CK} = V_a \cdot \delta_{CK}$ при скорости агрегата, км/ч	15	7,50	9,90	11,25	12,00	12,45
	10	5,00	6,60	7,50	8,00	8,30
	8	4,00	5,28	6,00	6,40	6,64
	6	3,00	3,96	4,50	4,80	4,98
	4	2,00	2,64	3,00	3,20	3,32

При нормальной работе сепарирующего ротора он оставляет на глубине обработки нетронутые гребни высотой y (рисунок 2.8). Это отрицательно влияет на равномерность заделки семян при последующей операции посева. Рассмотрим, от каких параметров зависит высота гребней.

В положении I прут и его палец 1 расположены на вертикальном диаметре, а смежный прут и конец его пальца 2 смещены на угол α . Пройдя последовательно положения II III IV, оба прута прочертят в почве траектории, которые пересекутся в точке C на некоторой высоте y .

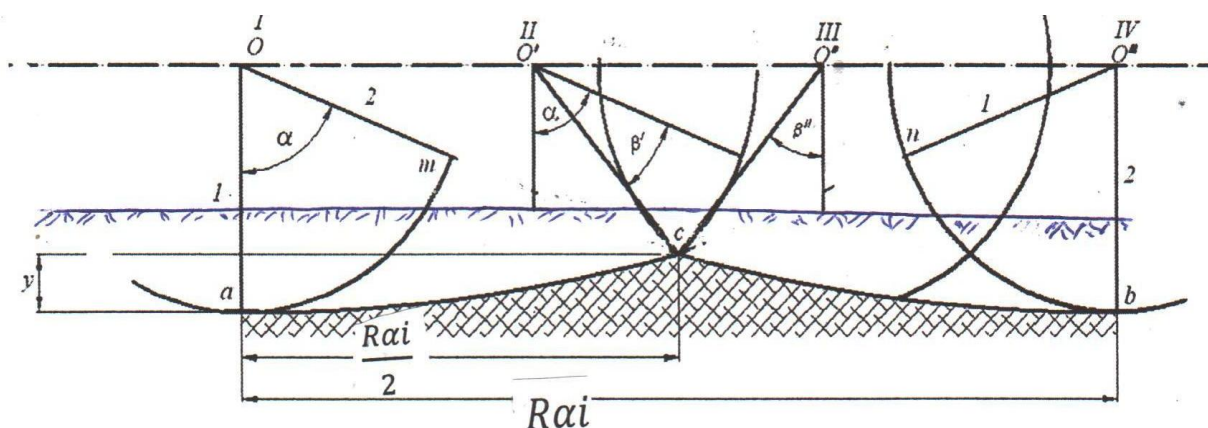


Рисунок 2.8 — К обоснованию параметров равномерной заделки семян и отклонений высоты остаточных гребешков при работе смежных прутьев.

При этом дуга am между смежными прутами при качении со скольжением пройдет путь $ab = aiR$, длина которого больше длины дуги окружности в i раз. Составим уравнения движения со скольжением смежных прутьев катка-сепаратора, лежащих на радиусе ротора в точках a и m . Для прута m :

$$x_1 = R(i\beta'' - \sin \beta''), \quad (2.10)$$

$$y_1 = R(1 - \cos \beta''), \quad (2.11)$$

для прута n :

$$x_2 = R(i\beta' + \sin \beta'), \quad (2.12)$$

$$y_2 = R[1 - \cos(\alpha - \beta')] \quad (2.13)$$

где β'' – угол поворота прута до точки C пересечения двух траекторий;

β' – угол поворота прута m из положения I до точки c ;

α – центральный угол на роторе между смежными прутами;

R – радиус ротора.

В точке C пересечения траекторий смежных прутьев уравнения (2.11) и (2.13) имеют общее решение. Поэтому можно записать:

$$1 - \cos(\alpha - \beta') = 1 - \cos \beta'',$$

откуда получаем равенство:

$$\alpha = \beta'' + \beta' = \text{const}, \quad (2.14)$$

Согласно (2.14), сумма углов поворота смежных прутьев до точки C пересечения их циклоидальных траекторий равна углу α между прутьями. Кинематический режим скольжения определяет качественные параметры ротационных прутковых рыхлителей и приставок с игольчатыми дисками. Этот набор схем исследован нами и применим к пропашным, паровым, тяжелым противозерозионным навесным и прицепным культиваторам.

Высота у остаточных гребешков не должна превышать $\pm \Delta h$ допустимого технологического отклонения от заданной глубины h сева сельскохозяйственных культур.

$$y \leq \Delta h \cong \pm 1 \text{ см.} \quad (2.15)$$

Экспериментально установлено, что рациональные передаточные отношения i привода для сепараторов и прутковых катков-сепараторов выбирают соответственно с условиями обработки почвы от 2 до 4.

2.5 Технологические отрезки обрабатываемого пласта и рабочий процесс циклоидального контура стойки

Всю глубину $H_{max} = \pi R$ (до 60 см) обрабатываемого пласта циклоидальным контуром стойки можно технологически разделить на три зоны: $h_{I \text{ кр}}$, h_{II} , h_{III} рисунок 2.9. Сумма этих технологических отрезков равна максимальной глубине обработки почвы

$$H_{max} = h_{I \text{ кр}} + h_{II} + h_{III}.$$

Верхний участок – это зона бокового скола почвы циклоидальным контуром стойки на глубину 0-15 см. Средний участок – зона работы циклоидального контура стойки (15-50 см). Нижний участок – зона работы плоского клина-наральника (до 50-60 см). Рабочий процесс выполняется на всех участках стойки одновременно, включая круглую поперечную штангу стойки. На рисунке 2.9 кривая $2z$ определяет технологический отрезок циклоиды стойки.

В настоящей работе оптимизируется форма рабочей поверхности среднего участка стойки, поскольку первый и третий участки одинаковы для всех типов стоек. Их суммарная доля от силы сопротивления стойки составляет 65-70%. Полное тяговое сопротивление различных стоек зависит от кривизны и радиуса кривизны средней зоны h_{II} . Поэтому для оценки, сравнения и снижения сил тягового сопротивления выбраны стойки с разными радиусами ρ кривизны (логарифмического, радиального, параболического, циклоидального) рабочих контуров. По снижению сопротивления стоек от

возрастающего радиуса кривизны определялась их энергетическая эффективность относительно друг друга.

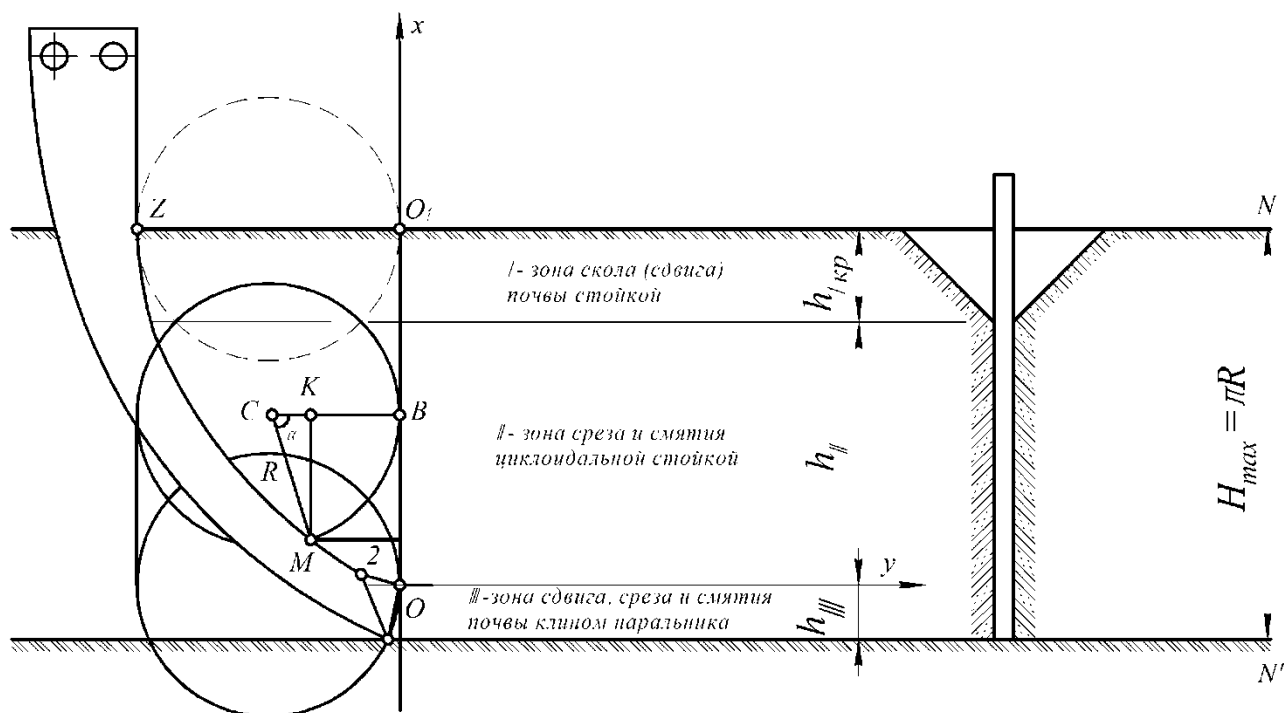


Рисунок 2.9 – Технологическое воздействие циклоидального контура стойки на три зоны пахотного горизонта почвы

Отрезок $O'Z$ (нормаль к циклоиде от оси OX соответствует максимальной высоте циклоиды, равной $h_{max} = 2R$. Возможны варианты раздельного использования циклоидального профиля в энергосберегающих технологиях и экологически безопасных рабочих органах.

2.5.1 Обработка верхнего участка в зоне бокового скола почвы циклоидальным контуром стойки

После прохода циклоидальной стойки в почве формируется поперечное сечение пласта с боковым и продольным сколом почвы, (рисунки 2.9, 2.13, 2.14). Скол происходит на глубину $h_{кр}$ в начале заглубления стойки в почву. По Е.Динглингеру, Ратье, В.П.Горячкину, В.А. Желиговскому,

Ю.А. Ветрову [21, 36, 58, 182, 183] высота бокового скола зависит от толщины b стойки и равна $h_{кр} \cong 2,5 \div 4b$. На рисунке 2.10 показана закономерность минимального сопротивления скола почвы до критической глубины при изменении ширины b и глубины h стойки.

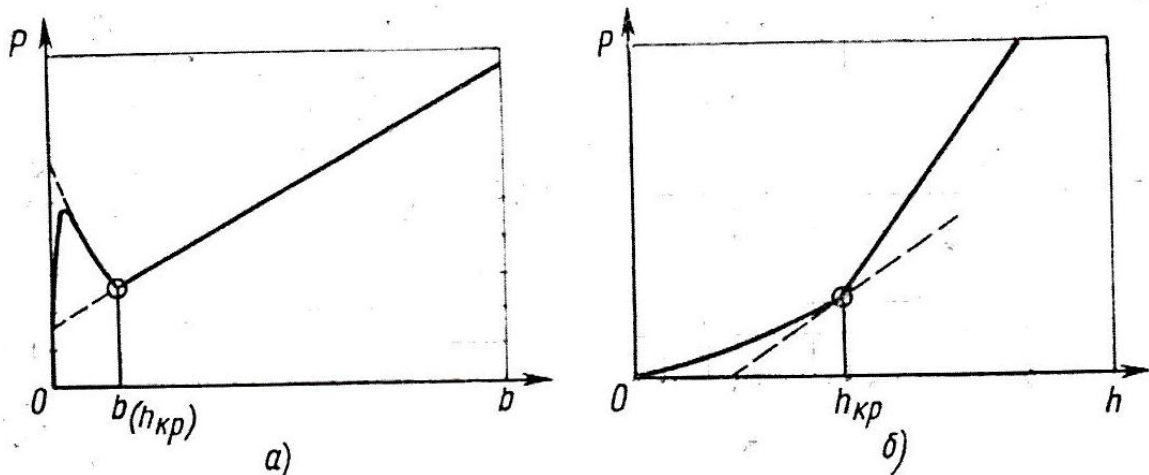


Рисунок 2.10 – Изменение сил сопротивления стойки при переходе через точку критической глубины резания по Динглингеру

а) зависимость силы резания от ширины среза; б) зависимость силы резания от глубины с боковыми углами скалывания, равными примерно 45°

Глубже критической глубины $h_{кр}$ прорезается вертикальная щель h без бокового скола (рисунки 2.9, 2.11). Причина скола объясняется тем, что в силу пористости и сжимаемости почвы с увеличением глубины резания давление возрастает медленнее, чем это необходимо для скола и сдвига грунтового тела. Поэтому на глубине ниже $h_{кр}$ продвижение стойки сопровождается только оттеснением почвы (вдавливанием) в боковые стенки или грунтовым наростом на лобовой контур. Исходя из этих причин существования критической глубины скола почвы, Е. Динглингер установил зависимость критической глубины поперечного скола почвы от ширины стойки, которая используется при расчете зубьев экскаваторов, а нами – в обосновании ширины стоек культиваторов и наральников. Согласно Е.Динглингеру, Ратье, В.А. Желиговскому [58, 182, 183], в верхней части

стойки (рисунок 2.12) образуется призма скола **I** средней части и две боковые призмы **II**, расширяющиеся вперед по плоскости скола и сдвига грунтового тела. Статическая сила резания при постоянной скорости движения, по Е. Динглингеру, равна [182]

$$\begin{cases} P = P + 2T + K \\ E = G \operatorname{tg}(\delta + \rho) \\ T = (E_a + E_n) \operatorname{tg} \rho \\ K = k \sum F = kh \operatorname{ctg} \delta \left(b + 2\pi h \operatorname{ctg} \varphi \frac{\varphi}{2\pi} + h \cos \rho \right). \end{cases}$$

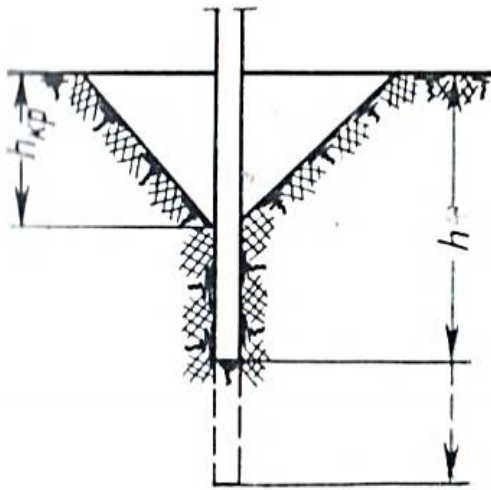
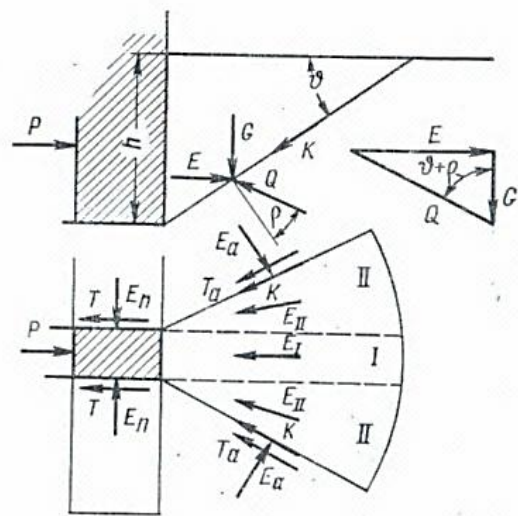


Рисунок 2.11 – Поперечное сечение обрабатываемого пласта после прохода циклоидальной стойки по патентам RU №2474100 и 2475007, 2013 г. (вид сзади)

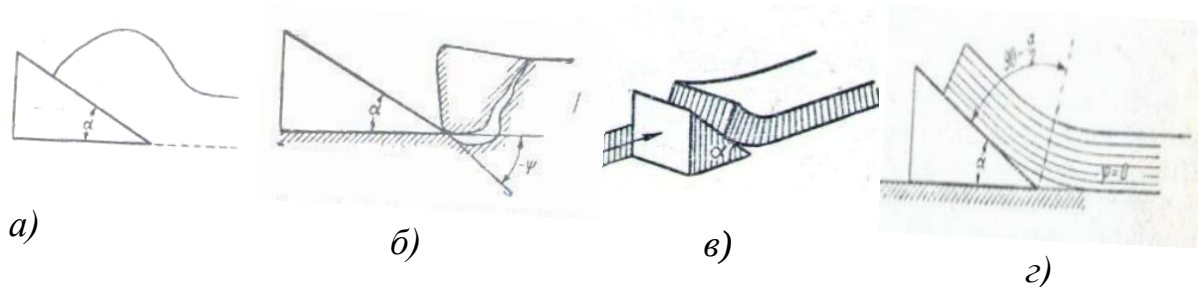


Рисисунок 2.12 – Разрушение и скол почвы впереди стойки по глубине h под действием силы P (вид сбоку)
I – средняя часть скола и выпирания почвы перед движущейся стойкой
II – боковые части сдвига и скола почвы (вид сверху)

Эти формулы не учитывают силу на перемещение массы машины, влияющие скорости и усилие на отбрасывание комьев.

2.5.2 Обработка нижнего участка плоским клином наральника циклоидадальной стойки

В нижней части стойки любого контура (круглого, логарифмического, циклоидадального и т.д.) установлен простой клин, называемый наральником. Воздействие клина на обрабатываемый пласт определяется его геометрической формой и физико-механическими свойствами почвы.



а) сухая несвязная почва; б) сухая связная почва; в), г) влажная задерживающая почва.

Рисунок 2.13 – Деформация различных типов почв простым двухгранным клином

Под воздействием внешних сил, передаваемых на почву клином, возникают упругие и пластические деформации. При этом упругие деформации предшествуют пластическим изменениям формы, имеющим место до начала процесса резания, продолжая существовать за зонами пластических деформаций при установившемся процессе резания. Эти положения выдвинуты В.П. Горячкиным, установившим, что процесс пластической деформации тесно связан с пластическим сжатием почвы [36]. Рассматривая активные и пассивные силы, применительно к работе сельскохозяйственных машин, В.П. Горячкин предполагал, что при течении пластической деформации с некоторой предельной скоростью $v_1 \geq v_0$ почва будет разрушаться аналогично хрупким телам.

На рисунке 2.13 а показана деформация сыпучей несвязной почвы и ее естественное сгуживание при движении клина; на рисунке 2.13 б пока-

зан скол сухого пласта носком клина; на рисунках 2.13 в,г дан пространственный и плоский изгиб отрывающегося пласта от монолита с учетом физико-механических свойствах почвы и углом изгиба $0,5\alpha$. При перемещении клина в твердой почвенной среде помимо нормальных сил N и R (рисунок 2.14), возникающих на рабочей поверхности AB и AC , необходимо учитывать силы трения, возникающие на рабочих поверхностях и препятствующие внедрению клина под действием силы P . С учетом сил трения и рисунка 2.14 запишем:

$$\begin{cases} N' = \frac{N}{\cos\varphi_1} \\ R' = \frac{R}{\cos\varphi_2} \end{cases} . \quad (2.16)$$

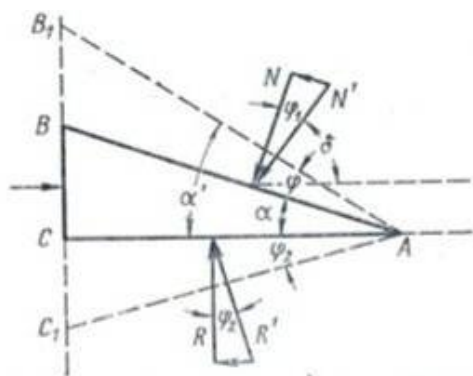


Рисунок 2.14 – Направления сил реакций почвы на нижнем конце наральника стойки при резании ее с учетом сил трения

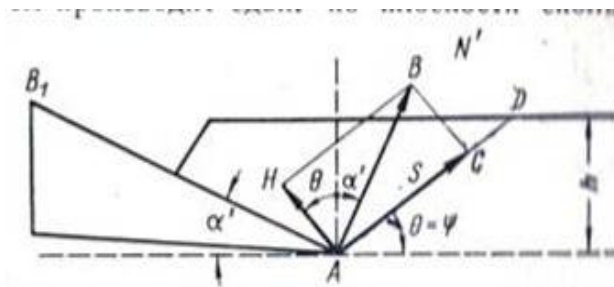


Рисунок 2.15 – Схема распределения сил на плоскости наральника циклоидальной стойки.

Силы N' и R' отклонены от нормалей к поверхностям AB и AC на углы трения φ_1 и φ_2 . В.П. Горячкин предлагает нарастить клин ABC с углом резания α на угол трения φ_1 , то есть представить, что на почву действует клин ACB_1 с углом $\alpha_1 = \alpha + \varphi_1$. Тогда направление силы

$$N' = \frac{N}{\cos\varphi_1}$$

будет нормально к воображаемой рабочей поверхности AB_1 , а при наращивании клина со стороны опорной поверхности на угол φ_2 направление силы

$$R' = \frac{R}{\cos\varphi_2}$$

будет перпендикулярно поверхности AC_1 . Следовательно, сила P , необходимая для преодоления сил N' и R' , определяется так же, как если бы клин имел угол

$$\alpha'' = \alpha + \varphi_1 + \varphi_2,$$

и эти силы были бы направлены нормально к рабочей и опорной поверхностям. Применяя наращивание клина по В.П. Горячкину, мы как бы исключаем трение и получаем только нормальные давления на щеки клина. Такой методический подход, применяемый при расчете сельскохозяйственных машин, облегчает учет сил трения и упрощает расчет. Из силового треугольника следует (см. рисунок 2.15)

$$\frac{P}{\sin(\alpha + \varphi_1 + \varphi_2)} = \frac{N}{\cos\varphi_1 \cos\varphi_2} = \frac{\frac{R}{\cos\varphi_2}}{\cos(\alpha + \varphi_1)}.$$

При равных углах φ_1 и φ_2 сила P будет выражена через N следующим образом:

$$P = \frac{N \sin(\alpha + 2\varphi_1)}{\cos^2 \varphi_1}.$$

Сила $N' = \frac{N}{\cos \varphi_1}$ эквивалентна давлению на срезаемый пласт, она вначале уплотняет его, а затем производит сдвиг по плоскости скольжения. Клинь, имеющий длину режущей кромки l , срезает почву на глубину h , (см. рисунок 2.15). Силу N' , нормальную к плоскости AB_1 , разлагаем на две составляющие: силу S , действующую в плоскости AD , наклоненную к горизонту под произвольным углом θ , и силу H , перпендикулярную плоскости AD . Таким образом, сила S является скалывающей, а сила H – нормальной, сжимающей по отношению к плоскости AD . Если обозначить τ – предельные напряжения скалыванию (сдвигу), а σ – нормальное напряжение сжатия, то

$$\begin{cases} S = \tau F = \frac{lh}{\sin \theta} \tau \\ H = \sigma F = \sigma \frac{lh}{\sin \theta} \end{cases} \quad (2.17)$$

Из рисунка 2.15 следует, что угол $ABC = \sin(\alpha' + \theta)$, откуда

$$\begin{cases} S = N' \sin(\alpha' + \theta) \\ H = N' \cos(\alpha' + \theta) \end{cases} \quad (2.18)$$

Из последних уравнений определим

$$\begin{cases} \sigma = \frac{N'}{lh} \cos(\alpha' + \theta) \sin \theta \\ \tau = \frac{N'}{lh} \sin(\alpha' + \theta) \sin \theta \end{cases} \quad (2.19)$$

По теории Мора и Кулона, разрушение материала происходит по двум плоскостям скольжения, для которых

$$\tau = \pm \sigma \tan \varphi,$$

где τ – предельное напряжение сдвига (скалывания), зависящее от величины $\pm \sigma$ и определяемое по свойствам и бонитету почв;

φ – угол внутреннего трения почвы о почву (угол откоса).

Знак плюс соответствует сжимающей силе N , знак минус учитывает растягивающую силу N по отношению к плоскости сдвига AD . В последнем случае величина τ предельного состояния будет меньше C_0 . Таким образом, если суммарной силой, действующей на площадку $F = \frac{lh}{\sin \theta'}$ является S , то в результате преобразований зависимость между S и N определится формулой

$$S = \frac{N' \sin(\alpha + \varphi + \varphi' + \theta)}{\cos \varphi \cdot \cos \varphi'}, \quad (2.20)$$

где φ' – угол внутреннего трения почвы.

По определению S является суммарной силой, вызывающей сдвиг, следовательно $\frac{S}{F} = \tau$ будет определять величину удельного сопротивления сдвигу. Отсюда

$$\tau = \frac{S}{F} = \frac{S \cdot \sin \theta}{lh} = \frac{N' \sin(\alpha + \varphi + \varphi' + \theta)}{lh \cdot \cos \varphi \cdot \cos \varphi'}.$$

Максимум скалывающей силы S_{max} , а следовательно и $\sin(\alpha + \varphi + \varphi' + \theta) \sin \theta$ будет для угла $\theta = \psi$. Согласно Мору,

$$\psi = 90^\circ - \frac{\alpha + \varphi + \varphi'}{2}.$$

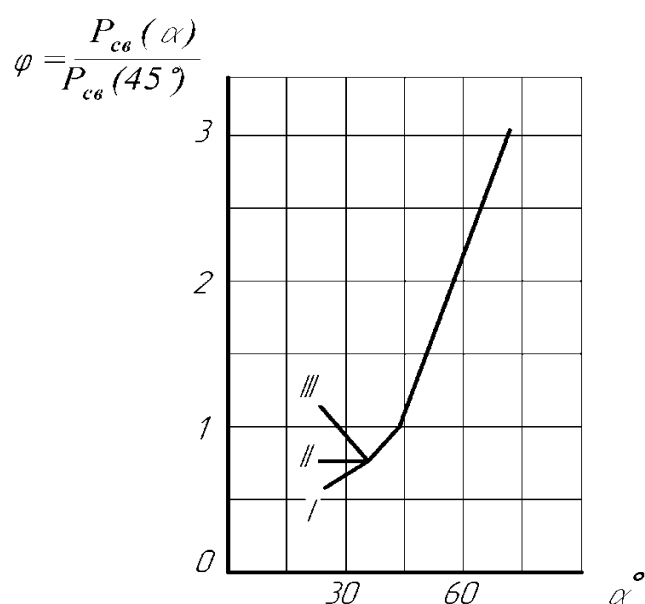
Чтобы определить горизонтальное усилие P , сдвигающее почву клином под углом ψ к горизонту, определим силу N' P из формул

$$\begin{cases} N' = \frac{\tau lh \cos \varphi \cos \varphi'}{\sin(\alpha + \varphi + \varphi' + \psi) \sin \psi} = \tau lh \frac{\cos \varphi \cos \varphi'}{\cos^2\left(\frac{\alpha + \varphi + \varphi'}{2}\right)} \\ P = \frac{N' \sin(\alpha + 2\varphi')}{\cos^2 \varphi'} = \tau lh \frac{\cos \varphi \sin(\alpha + 2\varphi')}{\cos \varphi' \cos^2\left(\frac{\alpha + \varphi + \varphi'}{2}\right)} \end{cases} \quad (2.21)$$

Действие клина выражается в двух последовательных фазах – сжатия и разрушения. По мере продвижения клина сжатие достигает некоторой предельной величины, наступает предел прочности и наступает вторая фаза, при которой происходит отрыв или скол с разрушением пласта. Такая деформация пласта зависит от физико-механических свойств почвы, которая в свою очередь определяется углом α , механическим составом, неоднородностью слоя, влажностью, растительными включениями.

Влияние угла подъема на сопротивление плоского клина

Влияние угла подъема клина на его сопротивление исследовано В.П. Горячкиным, Ю.А. Ветровым, Н.Г. Домбровским, Н.Е. Черкасовым, И.М. Эвентовым, и другими [25, 36]. На рисунке 2.16 показана графическая зависимость силы лобового сопротивления двугранного клина от его угла подъема α .



I –глинистые пластичные; II -слоистые, вдоль слоев; III- песчано-глинистые

Рисунок 2.16 – Зависимость силы лобового сопротивления простого клина от угла α разных почвогрунтов

Оценочным показателем является безразмерный параметр φ , показывающий кратность изменения силы по отношению к варианту $\alpha=45^\circ$. При увеличении угла резания более 45° наблюдается интенсивный рост силы резания в среднем 7% на градус угла резания по отношению к значению при угле 45° . Для некоторых почвогрунтов уменьшение угла резания до $10-15^\circ$ повышает тяговое сопротивление клина.

Влияние влажности на сопротивление клина

На тяговое сопротивление почвы существенно влияет влажность. Это было подтверждено П.У. Бахтиным, С.А. Воробьевым [14, 29, 154]. На рисунках 2.17 и 2.18 минимальное значение коэффициента сопротивления имеет параболическую зависимость с минимумом функции при влажности от 15 до 25 %. У разных почв коэффициент сопротивления меняется в зависимости от влажности. При этом сохраняется закономерность изменения $k = f(W_p)$ для всех ее типов.

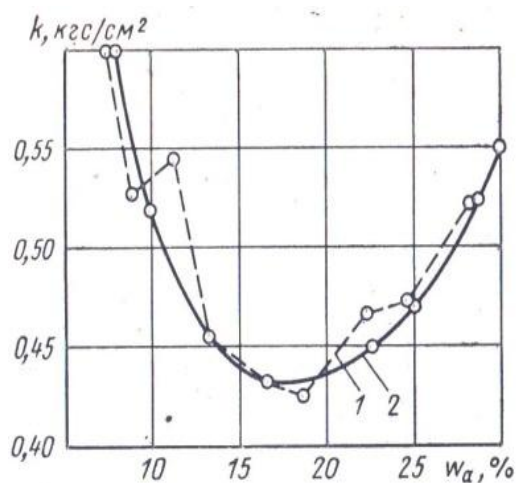


Рисунок 2.17 – Влияние влажности на удельное сопротивление дерново-подзолистых почв (по П.У.Бахтину) [14,152]

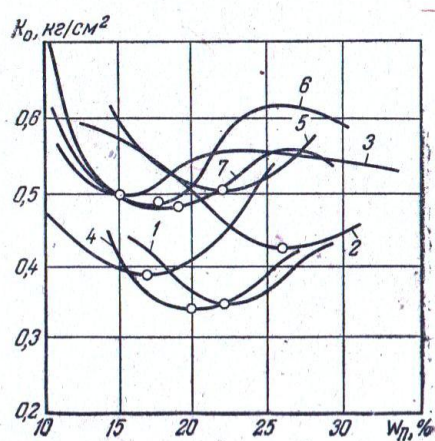


Рисунок 2.18 – Влияние влажности на удельное сопротивление почв:

1-чепнозем среднесуглинистый, клевернице; 2- чернозем среднесуглинистый, овсянице; 3- чернозем среднесуглинистый, пар; 4- чернозем оподзоленный, стерня; 5- южный чернозем, стерня; 6-солонцовая почва; 7-темно-каштановая почва, пар [28]

В большинстве случаев авторы рассматривают клин в качестве рыхлящего органа со свободным выходом почвы на поверхность. Наральник стойки, работающий на глубине 30 см и более, функционирует в других условиях. Если клин работает на большой глубине без выхода почвы на дневную поверхность, то эта почва расталкивается клином в стороны, уплотняя ближайшие слои. В этом случае сила сопротивления возрастает пропорционально деформации (или уплотнению) почвы. Известно, что пуансон твердомера встречает сопротивление, пропорциональное деформации почвы под ним до некоторой точки на диаграмме, когда рост силы прекращается, и почва «течёт». Это объясняется окончанием формирования уплотнённого почвенного конуса под пуансоном, который, играя роль инструмента, расталкивает почву в стороны. [23]. В этой точке диаграммы определяется твёрдость, или несущая способность почвы. Этот показатель гораздо выше удельного сопротивления почвы при её обработке рыхлящими рабочими органами с выходом взрыхленных слоёв на поверхность. Пуансон сжимает почву в продольном направлении, скорость деформации почвы равна скорости движения, поэтому сила сопротивления нарастает быстро, пока не сформируется конус, уменьшающий скорость и степень деформации почвы. У клина скорость деформации почвы направлена по нормали N (рисунок 2.19), она меньше скорости движения клина по направлению P , так как $N = P \cdot \sin \alpha$.

Почва начинает скольжение по клину, не дожидаясь предельного уплотнения и образования конуса. Степень уплотнения пропорциональна синусу угла α подъёма конуса. У наральника всех типов стоек выбран угол подъёма $\alpha = 30^\circ$ по аналогии с ориентацией плужных лемехов, обоснованной академиком В.П. Горячкиным. Известно, что скольжение почвы по рабочей поверхности возможно при $\alpha \leq 90^\circ - \varphi$, где φ – угол трения почвы по рабочему органу.

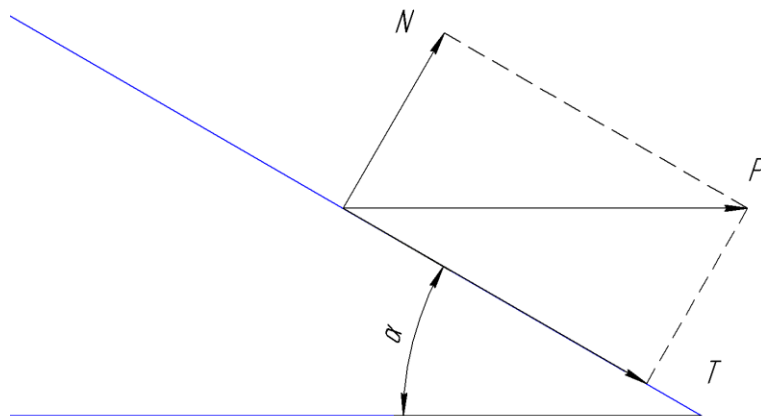


Рисунок 2.19 – Направление деформации почвы при работе клина

Можно принять для сравнительных расчётов наиболее распространённое значение угла $\varphi = 30^\circ$, тогда скольжение почвы будет наблюдаться при углах подъёма рабочей поверхности от нуля до 60° . Сила сопротивления наральника может быть определена по выражению

$$P_{III} = p_{III} \cdot b \cdot h_{III} \sin \alpha_{III}, \quad (2.22)$$

где p_{III} – исходная твёрдость почвы в третьей зоне обработки, Н/см²;

b – ширина наральника, см;

h_{III} – высота наральника, см;

α_{III} – угол подъёма наральника.

2.5.3 Обработка среднего участка циклоидальным контуром и расчёт тягового сопротивления стойки

Под воздействием рабочего контура стойки пласт подвергается сложному пространственному нагружению. Приняв форму сечения пласта (см. рисунок 2.9), процесс обработки почвы разделим условно на три фазы. Первая фаза предусматривает наезд (укладку) отрезка дисперсного пласта, равного длине рабочего контура с его отрывом от массива, последующим изгибом по профилю стойки без разрушения. Максимальное

силовое нагружение на прямой конец наральника имеет место при отрыве пласта от монолита в первой фазе для всех типов стоек одинаково, поэтому его можно исключить из общего усилия и сравнивать только влияние кривизны рабочего контура стойки на ее тяговое сопротивление; в т о р а я фаза — это собственно сам процесс активной деформации и разрушение пласта; т р е т ь я — сход разрушенных фракций данного отрезка пласта с рабочего контура и перемещение на рабочую поверхность нового. В действительности все фазы выполняются одновременно с некоторым смещением по времени, которое определяется скоростью движения агрегата, но принятые ограничения упрощают поэтапный анализ рабочего процесса. Для изучения закономерностей поведения почвенного пласта рассмотрим первую фазу технологического процесса. В первой фазе при полном наезде и размещении пласта на криволинейную поверхность стойки он изгибается по ее профилю. На выпуклой стороне изогнутого упруго-вязкого пласта имеются растянутые волокна, а на вогнутой — сжатые. Очевидно, что между выпуклой и вогнутой сторонами сечения пласта должны лежать такие волокна нейтрального слоя, которые не испытывают ни растяжения, ни сжатия. Пусть рисунок 2.20 представляет сечение пласта плоскостью, параллельной плоскости, в которой находится изгиб, и линия NN представляет пересечение нейтрального слоя с плоскостью изгиба. Длина элементарного участка нейтральной линии равна

$$ds = \rho \cdot d\alpha,$$

где ρ — радиус кривизны дуги mn.

Длина произвольно расположенного волокна

$$m'n' = (\rho + z) d\alpha.$$

Относительное удлинение волокна равно:

$$\varepsilon = \frac{m'n' - mn}{mn} = \frac{(\rho + z) \cdot d\alpha - \rho \cdot d\alpha}{\rho \cdot d\alpha} = \frac{z}{\rho}.$$

Длина элементарного участка нейтральной линии равна

$$ds = \rho d\alpha,$$

где ρ – радиус кривизны дуги mn.

Длина произвольно расположенного волокна

$$m'n' = (\rho + z) \cdot d\alpha.$$

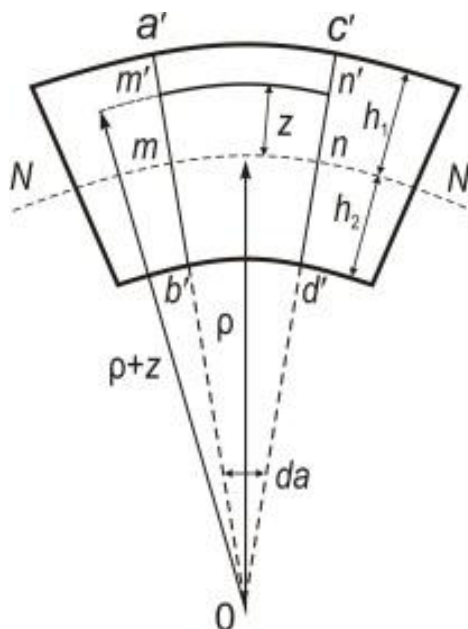


Рисунок 2.20 – К определению радиуса кривизны пласта

Таким образом, оказывается, что относительное удлинение (или укорочение волокон изгибаемого пласта) прямо пропорционально расстоянию их от нейтрального слоя. Обозначим расстояния наиболее удаленных от нейтрального слоя волокон пласта $a'c'$ через h_1 и $b'd'$ через h_2 . Тогда можно написать:

$$\varepsilon_1 = \frac{h_1}{\rho} \quad \text{и} \quad \varepsilon_2 = \frac{h_2}{\rho},$$

откуда

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{h_1}{h_2}. \quad (2.23)$$

Если путем опыта определить ε_1 и ε_2 для какого-нибудь отрезка пласта, то при помощи указанной пропорции можно найти h_1 и h_2 , то есть положение нейтрального слоя. Исходя из этих положений видно, что нейтральный слой совпадает с горизонтальной осью симметрии и, следовательно, проходит через центр тяжести сечения:

$$\varepsilon_1 = \frac{z}{\rho_1}.$$

С другой стороны, удлинение какого-нибудь продольного волокна, взятого тоже на расстоянии z от нейтрального слоя, равно

$$\varepsilon = \frac{z}{\rho}.$$

Напряжение растяжения и сжатия при изгибе по закону Гука определится как

$$\sigma = \varepsilon \cdot E,$$

где E – модуль Юнга.

Это напряжение можно сопоставить с напряжением от преодоления силы сопротивления почвы на втором участке стойки. По аналогии с выражением (2.22) силу сопротивления можно выразить равенством

$$P_{II} = p_{II} \cdot b \cdot h_{II} \sin \alpha_{II} = p_{II} \cdot S_{II} \cdot \sin \alpha_{II}, \quad (2.24)$$

где P_{II} – сила сопротивления рабочей поверхности на втором участке стойки;

S_{II} – площадь лобовой проекции второго участка;

p_{II} – твёрдость почвы на втором участке;

b_{II} – ширина стойки на втором участке;

h_{II} – размер по вертикали второго участка стойки

α_{II} – средний угол подъёма стойки на втором участке.

Напряжение от преодоления силы сопротивления почвы на втором участке стойки можно определить как

$$\sigma = \frac{P_{II}}{S_{II}}.$$

Тогда
$$\sigma = E \cdot \varepsilon = \frac{P_{II}}{S_{II}} = p_{II} \cdot \sin \alpha, \quad (2.25)$$

откуда вытекает зависимость силы сопротивления второго участка стойки от его радиуса кривизны:

$$P_{II} = E \cdot \frac{S \cdot z}{\rho}. \quad (2.26)$$

Эти уравнения показывают, что напряжения и действующие силы обратно пропорциональны радиусам кривизны, то есть сила сопротивления циклоидальной поверхности стойки $P_{цик}$ со средним радиусом кривизны $\rho_{цик}$ и те же параметры y , допустим, параболической стойки соотносятся как

$$\frac{\rho_{цик}}{\rho_{пар}} = \frac{P_{пар}}{P_{цик}} = \frac{\rho_{пар}}{\rho_{цик}}. \quad (2.27)$$

Определим радиус кривизны для циклоидальной, логарифмической, радиальной и параболической стоек, а также расчётные тяговые сопротивления. Уравнение циклоидальной стойки в параметрической форме имеет вид [18]

$$\begin{cases} x = \frac{H_{max}}{\pi} (\alpha - \sin \alpha) \\ y = \frac{H_{max}}{\pi} (1 - \cos \alpha) \end{cases} \text{ при } \frac{1}{3}\pi \leq \alpha \leq \frac{2}{3}\pi, \quad (2.28)$$

в аналитическом виде

$$X = \frac{H_{max}}{\pi} \arccos \left(1 - \frac{\pi y}{H_{max}} \right) \mp \sqrt{y \left(2 \frac{H_{max}}{\pi} - y \right)} \quad (2.29)$$

и её текущий радиус кривизны

$$\rho = 4R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (2.30)$$

где α – угол поворота радиуса образующей окружности;

ρ – радиус кривизны отрезка циклоиды на участке с углом поворота радиуса образующей окружности на угол α ;

R – радиус образующей окружности, выбираемый в зависимости от глубины обработки.

При выборе параметров циклоиды исходим из того, что желаемая глубина обработки определяет радиус образующей окружности

$$H_{\max} = \pi \cdot R, \quad (2.31)$$

начальный угол подъёма рабочей поверхности должен быть равен углу подъёма наральника, то есть 30° , а конечный угол подъёма должен тоже обеспечивать скольжение почвы по стойке, то есть не превышать 60° . Для максимальной глубины обработки 30-35 см радиус образующей окружности равен $R = 11$ см. Для обеспечения нужных углов наклона касательных к кривой в начальной и конечной точках выбирается из полной циклоиды лишь тот участок, где угол поворота радиуса образующей окружности изменяется от 60 до 120° . Эти параметры определяют радиус кривизны в верхней точке циклоидального участка стойки $\rho = 38$ см.

Как и в случае работы простого двугранного клина, выполняющего роль наральника, напряжение сжатия почвы при воздействии под углом $(90^\circ - \alpha)$ к направлению движения не достигает её твёрдости, измеренной твердомером (см. рисунки 2.16 и 2.19), поэтому формулы (2.24) и (2.25) содержат $\sin \alpha$. Поскольку у циклоиды углы подъёма рабочей поверхности выбраны от 30 до 60° , можно принять допущение о среднем угле подъёма, равном 45° .

Что касается первого (верхнего) участка стойки, то у него угол подъёма больше 60° , скольжение почвы отсутствует, деформация и уплотнение почвы перед стойкой доходят до своего предельного значения, поэтому сопротивление этого участка выражается зависимостью

$$P_I = p_I \cdot b \cdot h_I, \quad (2.32)$$

где p_I – исходная твёрдость почвы в первой зоне обработки, Н/см²;

b – ширина стойки, см;

h_I – высота первой зоны, см;

Складывая силу сопротивления всех трёх участков, получаем общее сопротивление стойки:

$$P = P_I + P_{II} + P_{III} = b(p_I \cdot h_I + p_{II} \cdot h_{II} \cdot \sin \alpha_{II} + p_{III} \cdot h_{III} \cdot \sin \alpha_{III}) . \quad (2.33)$$

Исходные данные для равенства (2.33) приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Исходные данные для расчёта силы сопротивления циклоидальной стойки

Параметры		Обозначение	Значения
Твёрдость почвы по горизонтам, Н/см ²	0-10 см	p_I	35
	10-20 см	p_{II}	85
	20-30 см	p_{III}	94
Длины рабочих зон участков стойки, см		h_I	8
		h_{II}	18
		h_{III}	4
Ширина стойки, см		b	4
Средние углы подъёма рабочей поверхности, град.		α_I	> 60
		α_{II}	45
		α_{III}	30

В результате расчёта оказалось, что теоретически предполагаемая сила сопротивления циклоидальной стойки равна 6199 Н. Для стоек с другими конфигурациями рабочей поверхности сила сопротивления рассчитывалась по соотношению средних радиусов кривизны на втором участке в соответствии с выражением (2.27). Радиусы кривизны вычислялись для четырёх видов кривых, приведенных в таблице 2.8. Зависимость силы сопротивления стоек от радиуса кривизны представлена графически на рисунке 2.21.

Как отмечалось выше, каждый тип рабочей поверхности деформирует почву под своими углами по отношению к направлению движения. Чем больше деформация и уплотнение, тем полнее реализуется твёрдость, измеренная твердомером перед постановкой опыта. У всех стоек наральники

Таблица 2.8 – Расчёт силы сопротивления стоек различной конфигурации

Параметры		Профиль стойки			
		Логарифмический	Радиальный	Параболический	Циклоидальный
Радиус кривизны, ρ , см		29,6	31	34	38
Кривизна $K = \rho^{-1}$, см ⁻¹		0,0338	0,0322	0,0294	0,0263
Относительное изменение кривизны, %		28,9	22,4	11,7	0
Средняя твёрдость почвы по горизонталам глубины, Н/см ²	I	35,0	35,0	35,0	35,0
	II	77,2	73,7	67,2	60,1
	III	47,0	47,0	47,0	47,0
Сила сопротивления стойки P , Н		7427	7176	6708	6199
Увеличение силы сопротивления, %		19,8	15,8	8,2	0

одинаковы и стоят под углом 30° к горизонту, поэтому в третьей зоне напряжение в почве проявляет себя наполовину по отношению к измеренной твердомером твёрдости. В первой зоне твёрдость реализуется полностью, так как там угол наклона рабочей поверхности больше 60° , и скольжение отсутствует. Вся разница сил сопротивления относится ко второй зоне, где углы подъёма разные: чем меньше радиус кривизны, тем круче поднимается рабочая поверхность, и раньше кончается скольжение почвы по лобовому контуру. А без скольжения измеренная твёрдость почвы реализует себя полностью. Что касается прямолинейной стойки, то в соответствии с равенством (2.22), чем меньше угол подъёма, тем меньше она сопротивляется движению, и максимальное сопротивление будет при отсутствии скольжения, когда $\alpha > 60^\circ$.

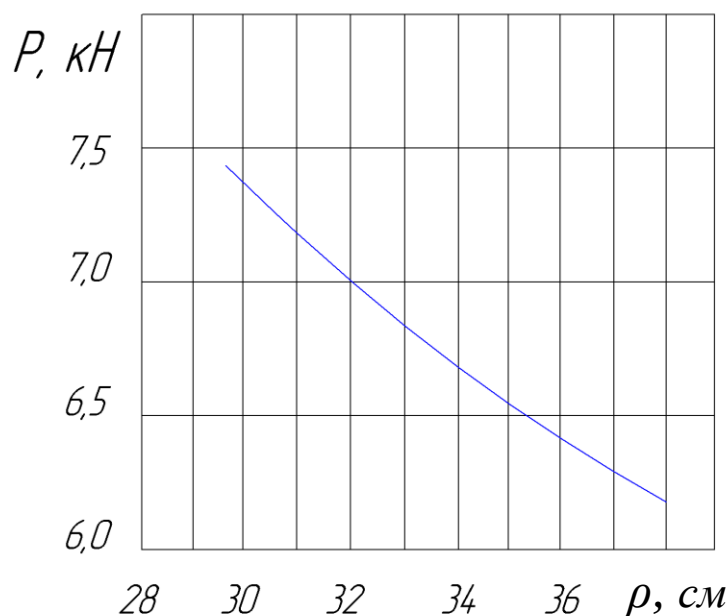


Рисунок 2.21 – Зависимость силы сопротивления стойки от радиуса кривизны

Расчёт по зонам измеренной твёрдости почвы показывает, что в этом случае сила сопротивления будет равна 8744 Н. Для значительного уменьшения сопротивления прямолинейную стойку надо наклонить до угла 35-40°, но это увеличивает продольный габарит, металлоёмкость и снижает прочность изделия.

У циклоидального контура, имеющего радиус кривизны больше по сравнению с остальными контурами, почва сжимается меньше; отсюда меньше потенциальные силы растяжения и сжатия почвы воздуха и воды. Согласно В.П.Горячкину, В.А. Желиговскому, И.А.. Попову, В.И. Буромскому криволинейную поверхность лобового контура делают не для того, чтобы ломать пласт посредством его изгибания. Главный смысл вогнутой поверхности в том, чтобы сконцентрировать давление в ограниченном объеме почвы (рисунок 2.22) и разрушить его потенциальными силами растяжения и сжатия. Контур с плоской поверхностью не может сконцентрировать давления на почву, действуя не сходящимися параллель-

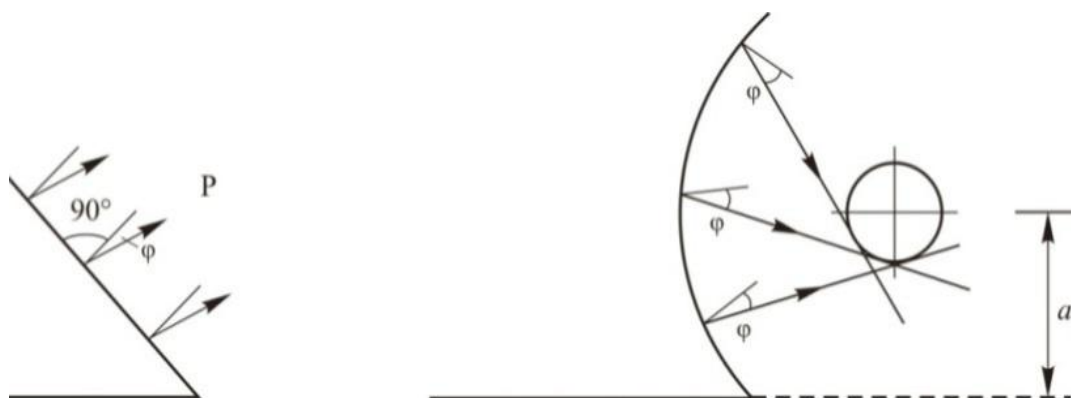


Рисунок 2.22 — Схема концентрации давлений криволинейного контура на почву

ными силами на трехфазную дисперсную среду, особенно у «спелых почв», когда на твердую, жидкую и газообразную фазу действуют боковые сжимающие силы, которые участвуют в крошении пласта. Поскольку у циклоиды радиус кривизны больше, чем у остальных трех контуров, то сжатие почвы и кривизна будет относительно меньше. На этой основе тяговое сопротивление циклоидальных профилей снижается по сравнению с другими контурами. У прямых стоек процесс образования щели совершается преимущественно силами сжатия, что вызывает большее сопротивление по сравнению со стойками, имеющими кривизну, что непосредственно подтверждают и результаты испытаний циклоидальных стоек. По исследованиям В.А. Желиговского, концентрация давлений в малой области перекрывает ходы и пустоты, защемляет воздух, который находится в пустотах между комочками почвы. При деформации пласта защемленный воздух сжимается, потенциальная энергия его растет, возникают нормальные растягивающие напряжения внутри почвы, которые разрывают пласт после снятия давлений, она в основном, и производит работу крошения почвы усилиями на разрыв. Наилучшее крошение почвы имеет место при ее оптимальной влажности (спелая почва) когда, по П.У. Бахтину, она находится в пределах 18-22 % от полной полевой влагоемкости [14].

Для построения циклоидальной стойки по выбранным параметрам определена высота h , а следовательно, и координата точки циклоиды, образованная углом α поворота радиуса R окружности, катящейся по направляющей оси ОХ. Нами применён аналитический, графический и табличный методы расчета и проектирования культиваторов для мел-кой и глубокой обработки почвы и почвоуглубителей с циклоидальными лобовыми контурами.

Высота циклоиды рассчитывается по выражению

$$h = 2R \sin^2 \frac{\alpha}{2}. \quad (2.34)$$

В таблице 2.9 приведены результаты аналитического расчета по выражению (2.34) координат высоты точек циклоиды над линией качения образующего круга.

Таблица 2.9 – Аналитический расчет координат высоты h точек циклоиды

Номера точек циклоиды	Параметры расчетного уравнения					
	α , град.	$\frac{\alpha}{2}$, град.	αR , см	$\sin \frac{\alpha}{2}$	$\sin^2 \frac{\alpha}{2}$	h , см
12	180	90	34,56	1,00	1,00	22,00
11	165	82.50	31,67	0,99	0,98	21,61
10	150	75,00	28,79	0,97	0,93	20,15
9	135	67.50	25,92	0,92	0,85	18,77
8	120	60,00	23,03	0,87	0,75	16,49
7	105	52.50	20,76	0,79	0,63	13,84
6	90°	45,00	17,27	0,71	0,50	11,00
5	75	37.50	14,39	0,61	0,37	8,15
4	60	30,00	11,52	0,50	0,25	5,50
3	45	22.50	8,64	0,38	0,15	3,22
2	30	15,00	5,79	0,26	0,07	1,47
1	15	7.50	2,88	0,13	0,01	0,37
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Исходными предпосылками для графического проектирования переднего контура стойки являются условия, необходимые для улучшения работы циклоидальных культиваторов и заключающиеся в следующем.

1). ГОСТ 5798-51 на высоту рамы, которая включает 36 см (в том числе расчетную глубину 25 см на рыхление и 11 см на «магазин» для сбора сорняков).

2). Максимальная глубина обработки почвы стойкой по вертикали H_{max} должна быть равна половине длины окружности радиусом

$R = \frac{H_{max}}{\pi}$, очерчивающим половину арки циклоиды при повороте на угол 180° . Длину полуокружности $\pi R = H_{max} = 36$ см, развернутую на 180° , делим на 12 равных частей и, таким образом, получаем 12 точек (через 3 см) по ординате и (через 15°) 12 углов поворота радиуса R по окружности, катящейся снизу вверх без скольжения. При этом циклоида поставлена вертикально. Начало циклоиды совпадает с декартовыми координатами и находится на максимальной глубине обработки почвы. Центр оси окружности, производящей циклоиду, совпадает с началом вертикальной циклоиды и центром системы координат XOY .

3). Нижний короткий конец рабочего контура стойки выбирается по технологическим параметрам заглубления, и уменьшения рабочего сопротивления, для чего его угол α подъёма должен быть меньше $90^\circ - \varphi$, где φ – угол трения почвы о металл.

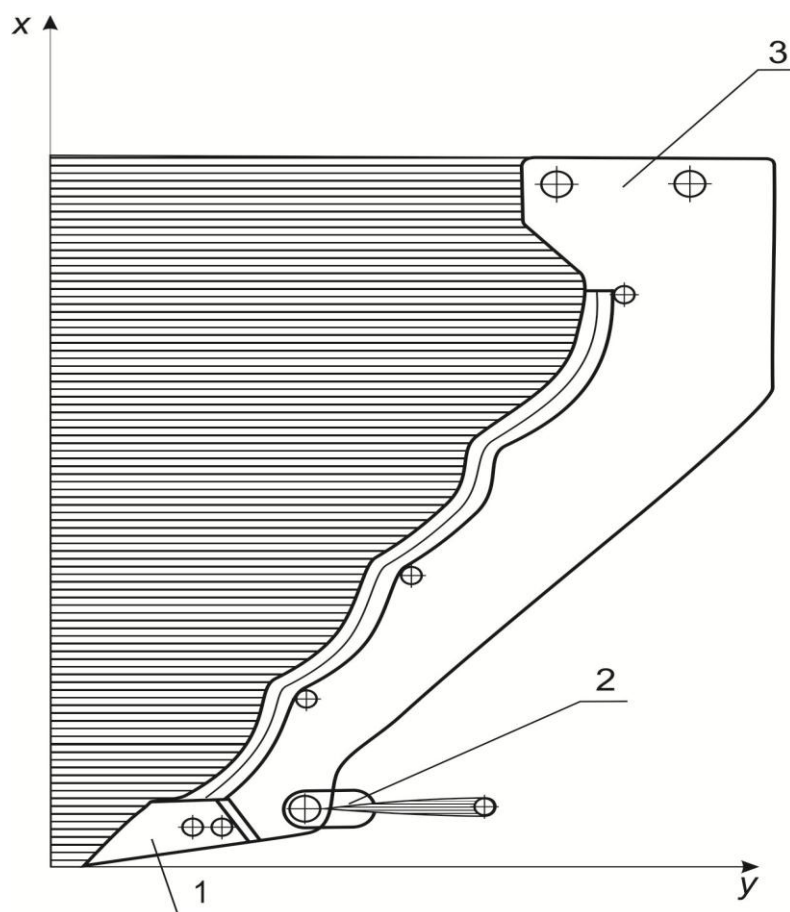
4). Циклоидальный контур стойки должен иметь круглую износостойкую копирующую накладку диаметром на $1 \div 1,5$ мм больше толщины стойки.

5). Крепление стойки должно быть универсальным и соответствовать ГОСТам, отраслевым нормативам (ОН) к требованиям выпускаемых рам по унификации крепления рабочих органов. Для графического метода построения рабочего циклоидального контура стойки культиватора

достаточно иметь 6 углов поворота окружности через 30° за половину ее оборота на 180° .

Для проектирования конструкторской документации нами разработаны два метода построения рабочего контура циклоидальной стойки.

Первый метод. Построение по координатам вычерченного шаблона (рисунок 2.23). Для этого строится любым методом контур стойки, допустим, на миллиметровой бумаге; затем контур заключают в систему координат и через 10 мм параллельно абсциссе проводят горизонтальные линии от ординаты до пересечения с лобовым циклоидальным контуром стойки. Расстояния (координаты) лобового контура стойки заносят в таблицу, а по таблице координат шаблона конструкторы воспроизводят контур циклоидального профиля стойки в КБ.



1 – наральник; 2 – шарнир с прутом; 3 – отверстия для крепления стойки к раме

Рисунок 2.23 – К построению контура циклоиды

Второй метод показан на рисунке 2.24.

1. Выбираем точку А начала циклоиды и системы координат ХАУ. Направляем ось АХ вверх, АУ по горизонтали, а полуарку циклоиды направляем вверх от точки А по оси АХ.

2. Задаем максимальную технологическую глубину обработки почвы (в нашем случае $H_{\max} = 36$ см по ГОСТ 5798-51). Эта высота равна длине полуокружности πR , образующей полуарку циклоиды высотой

$$\pi R = H_{\max} = 36 \text{ см},$$

равной глубине обработки почвы. Из этих трех кинематических равенств и условий найден радиус окружности, образующей циклоиду, который равен $R \cong 11$ см. Координаты деления отрезков АВ и ОО_х по оси АХ в указанных точках совпадают по ординате по построению. В очерченном контуре циклоиды отброшены ее начало до точки 2 и конец – выше точки 4.

Для проектирования рабочего контура стойки взят отрезок циклоиды с точками 2, 3, 4, с углами Д2М = ε и Т4К = α . Это углы между касательными к циклоиде и горизонталью. Каждый из них должен быть меньше $90^\circ - \varphi$, где φ – угол трения сорняков о стойку. Согласно известной теореме (по Берману [17]), нижний угол ε между касательной к циклоиде и направляющей линии качения равен дополнению до 90° угла поворота производящей окружности, который в данном случае равен углу 30° и соответствует углу поворота радиуса на 60° . Угол ε наклона наральника для глубокихлителя выбирается по В.П. Горячкину, Г.Н. Синеокову от 30 до 60° с целью активизации крошения нижних слоев почвы. Таким образом, рабочий контур стойки можно сформировать из нескольких отрезков циклоиды, очерченных точками 2, 3, 4 с нижним углом крошения Д2М = $\varepsilon = 30^\circ$ и верхним углом Т4К между касательной к циклоиде и горизонталью в точке 4, равным или меньшим угла $90^\circ - \varphi$. Угол Т4К = 60° , что соответствует углу поворота радиуса на 120° от точки А.

2.6 Выводы по разделу 2

1. При движении штанги активный слой почвы с обеих ее сторон перемещается в попутном направлении со скоростью, затухающей по мере удаления от штанги по закону показательной функции с градиентом затухания $k=0,27$.

2. Рациональный диаметр прутьев у цилиндрического сепарирующего ротора зависит от длины проростков сорняков и их коэффициента трения о прутки; в большинстве случаев он должен быть равным 15-25 мм.

3. Для повышения эффективности процесса вычесывания проростков сорняков и выбрасывания их на поверхность почвы сепарирующий прутковый ротор должен иметь коэффициент скольжения $\delta_{ck} = 0,5 \div 0,75$, что соответствует передаточному числу его привода от тормозящего ротора $i = 2 \div 4$.

4. Высота остаточных гребешков при обработке почвы сепарирующим ротором является основным аргументом при выборе диаметра ротора и числа прутьев, так как остаточные гребешки ухудшают равномерность глубины заделки семян при предстоящем посеве.

5. Технологическое воздействие циклоидального контура стойки на вертикальный слой почвы включает три зоны:

- первая зона, или верхний участок на глубину от 0 до 15 см, где происходит боковой скол почвы;

- вторая зона, или средний участок на глубину от 15 до 4550 см, где происходит скольжение пласта с изгибом по контуру стойки;

- третья зона, или нижний участок на глубину 45-55 или 55-69 см, где работает наральник в виде плоского двугранного клина.

6. В соответствии с глубиной обработки почвы на втором участке стойки (30...35 см) радиус окружности, образующей циклоиду, равен 11 см; при угле вхождения в почву 30° угол поворота радиуса образующей окружности равен 60° и усреднённый радиус кривизны равен 38 см.

7. У всех типов стоек в первой и третьей зонах рабочий процесс и сопротивления одинаковы и составляют до 30% от суммарного значения. Полное тяговое сопротивление уменьшается с увеличением радиуса кривизны, поэтому оно минимально у циклоидальной стойки.

8. На прямолинейной стойке пласт не изгибается, а подвергается только силам сжатия без скольжения по контуру, поэтому почва противодействует значительно сильнее, чем при скольжении по стойке с изгибом. .

9. Метод графоаналитического построения контура циклоидальной стойки основан на использовании участка циклоиды с углами поворота радиуса образующей окружности от 60° до 120° .

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Условия экспериментальных исследований

Методика экспериментальных исследований предусматривала два направления проверки теоретических результатов:

1. Экспериментальные исследования формирования активного слоя почвы штангой циклоидальной стойки.

Эти исследования проводились с калиброванными на решётах фракциями почвы разного диаметра от 2 до 10 мм по специальной методике в подвесном почвенном канале. Лабораторные опыты на электрическом стенде предусматривали установить влияние диаметра фракций почвы на высоту активного слоя, возникающего от сил трения между боковой поверхностью штанги при движении в почвенном слое. Процесс формирования выполнялся на разных скоростях движения штанги и тележки экспериментальной установки.

Второе направление методики предусматривало экспериментальную проверку теоретических параметров циклоидальных рабочих органов в опытных промышленных конструкциях и макетных образцах.

2. Экспериментальная проверка серийных циклоидальных стоек глубокорыхлителей-щелерезов ГЩ-4П, тяжелых культиваторов КТ-3,9 МП и макетов ротационных рыхлителей на ЦЧ МИС и в институте рапса Липецкой области.

Испытания разработанных в диссертации машин на ЦЧ МИС выполняли по отраслевым методикам СТО АИСТ 4.1-2010 Машины и орудия для глубокой обработки почвы (Методы оценки функциональных показателей), М.-2011, СТО АИСТ 4.2-2010 Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы. При испытаниях на МИС проводили экспертизу машины, определяли технологические и агротехнические показатели, расход энергии, давали общую технико-экономическую и эргономическую оценку технологии и циклоидальным рабочим органам.

Оценочными показателями экспериментальных исследований при испытаниях циклоидальных стоек и ротационных рыхлителей были глубина обработки почвы, качество крошения пласта, выровненность микрорельефа, уничтожение сорняков механическим способом, скорость выполнения технологического процесса, снижение энергозатрат и ГСМ, урожайность и другие сопутствующие технологические и технические параметры, предусмотренные методикой оценки функциональных показателей СТО АИСТ 4.1-201 по испытаниям на МИС. При оценке условий исследования применительно к накоплению влаги и почвенно-климатическим параметрам Центрально-Черноземной полосы важно знать величину колебания месячных температур, приведенных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Колебания температуры по месяцам в ЦЧО

Месяц	$t_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$	Месяц	$t_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$
1	5,6	21,5	7	10,4	18,2
2	6,0	18,3	8	10,4	17,6
3	6,3	18,6	9	9,6	19,0
4	8,5	17,2	10	7,1	18,0
5	10,6	19,0	11	5,0	15,8
6	10,9	18,6	12	4,7	19,3

Таблица 3.2 – Средняя температура ($^\circ\text{C}$) наружного воздуха в ЦЧО

Месяц	Касторное-Новое	Курск	Месяц	Касторное-Новое	Курск
1	–9,3	–8,6	7	19,6	19,3
2	–9,3	–8,4	8	18,2	18,2
3	–4,5	–3,4	9	12,2	12,6
4	5,4	5,8	10	5,2	5,6
5	13,5	13,7	11	–1,2	–0,9
6	17,7	17,4	12	–6,3	–6,2

Накопление влаги для выращивания сельскохозяйственных культур во многом определяется углублением пахотного горизонта и высотой снежного покрова, который не превышает 40–50 см. По бонитету почвы региона и ЦЧ МИС относятся к слабо выщелоченным среднесуглинистым черноземам. По механическому составу это тяжелые суглинки. Их обработка серийными машинами сопровождается образованием глыбистой пашни. В весенний период они быстро зарастают сорняками, которые используют влагу и удобр-

ния и резко снижают урожай. Повышение качества обработки почвы и механическое уничтожение сорняков остается одной из важнейших проблемных научно-производственных и технико-экономических задач в этой зоне. В ходе подготовки разработанных нами агрегатов и испытаний на МИС использовалась специальная, отраслевая и нормативная литература [5, 30, 31, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 64, 82, 103, 104, 105, 164-174, 177] и др.

Таблица 3.3 – Условия испытаний циклоидальных штанговых и ротационных рыхлителей

Наименование показателей	Значения показателей	
	по ТЗ	по условия испытаний
Влажность почвы, % в слоях, см: 0–10 10–20 20–30	До 30	26,39 28,40 28,16
Твердость почвы, МПа, в слоях, см: 0–10 10–20 20–30		0,78 0,99 1,30
Рельеф поля	Ровный	
Микрорельеф	Волнистый	

3.2 Объекты исследования

Объектами исследования были промышленные образцы циклоидальных рабочих органов, изготовленные на Грязинском культиваторном заводе. Макетные образцы комбинированных агрегатов изготавливали в ОАО «Аграрник», лаборатории сварки ЮЗГУ и на заводе «Элеватормельмаш» г. Курска. Конструкции циклоидальных машин являются составной частью ОКР и НИР региональных научно-технических программ сельскохозяйственного машиностроения Грязинского культиваторного завода, Орловского завода им. Медведева, Белгородского завода ОАО «Белагромаш-сервис им.

В.М. Рязанова» Центрально-Черноземного региона. Циклоидальные рабочие органы выполняли в различных вариантах. Промышленный образец тяжелого модернизированного культиватора КТ-3,9 МП/МН оборудован циклоидальными стойками со штанговыми рыхлителями и лапами. В таблицах 3.4, 3.5 и на рисунке 3.1 представлены объекты исследования и их характеристики.

Таблица 3.4 — Объекты исследования

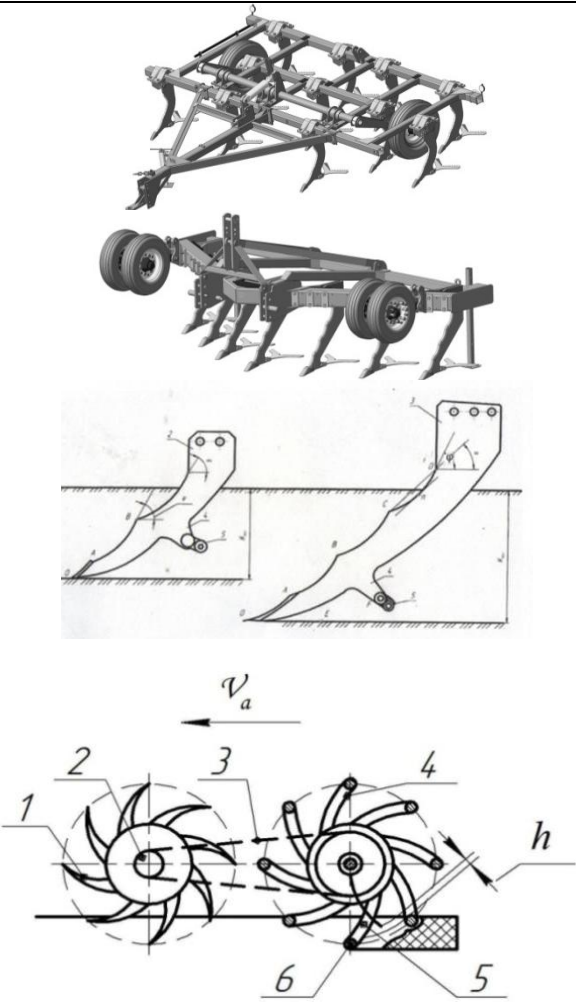
Название орудия, марка	Схема	Исследуемый параметр
Культиваторы Циклоидальный рыхлитель-сепаратор	 1- циклоидальный зуб ротора, 2-3 привод цепной передачи между передним и задним роторами, 4- передний циклоидальный кронштейн крепления сепарирующих прутков, 5- кронштейн крепления прутков сепарирующего ротора, 6- сепарирующие прутки, h – зазор между циклоидальным дробителем глыб и прутком ротора.	1. Толщина активного слоя почвы при движении штанги циклоидной стойки и прута сепарирующего ротора. 2. Диаметр круглой штанги и прута ротора. 3. Координаты рабочего контура стойки. 4. Радиус циклоидального контура сепарирующего рыхлителя - сепаратора. 5. Передаточное число тормоза. 6. Число прутков на ротационной батарее. 7. Зазор между ножом и прутьями ротора. 8. Ширина захвата секции ротора. 9. Окружная скорость сепарирующего ротора. 10. Коэффициент скольжения при заглублении прута. 11. Скорость скольжения агрегата. 12. Время движения по циклоиде. 13. Межцентровое расстояние роторов. 14. Расход мощности и др.



Рисунок 3.1 – Культиватор тяжелый модернизированный КТ- 3,9 МП/МН
с циклоидальными стойками (промышленный образец)

Таблица 3.5 – Техническая характеристика циклоидального культиватора
КТ - 3,9 МП/МН

Наименование	Единицы измерения	Значение	
		КТ-3,9 МП	КТ-3,9 МН
1	2	3	4
1. Производительность за 1 час основного времени	га/ч	2,35 – 3,52	
2. Производительность за 1 час эксплуатационного времени	га/ч	1,76 – 2,64	
3. Рабочая скорость	км/ч	6 – 9	
4. Конструктивная ширина захвата	м	3, 91	
5. Количество обслуживающего персонала	чел.	1 (тракторист)	
6. Конструктивная масса машины в состоянии поставки	кг	1226,1± 37	935,4± 28
7. Габаритные размеры машины			
Длина	мм	4610	2340
Ширина		3940	
Высота		1400	1425
9. Дорожный просвет, не менее	мм	300	
10. Способ агрегатирования		навесной прицепной	
11. Расстояние между рядами лап по ходу культиватора, не менее	мм	800	

Окончание таблицы 3.5

1	2	3	4
12. Расстояние от опорной плоскости лап до нижней кромки рамы, не менее	мм	620	
13. Основные показатели качества выполнения технологического процесса			
Глубина обработки			
	см	8 –16	
Подрезание сорных растений	%	100	
Сохранение стерни, не менее	%	70	
14. Коэффициент надежности технологического процесса	%	0,98	
15. Срок службы	год	7	

На рисунке 3.2 представлен промышленный образец циклоидального глубокорыхлителя - щелереза ГЩ- 4П Грязинского культиваторного завода, а в таблице 3.6 дана его техническая характеристика.

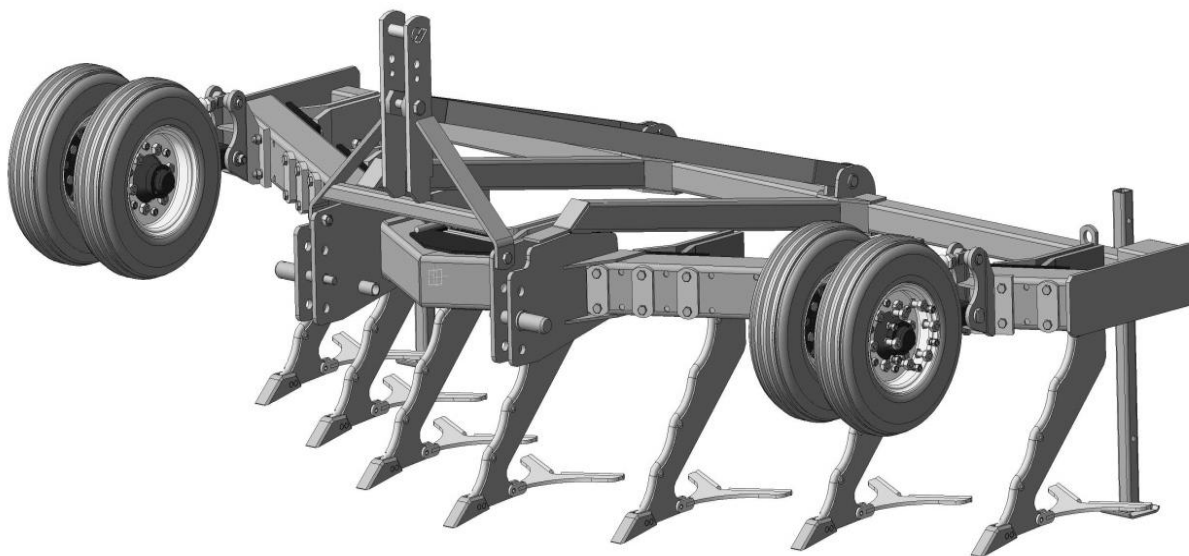


Рисунок 3.2 – Глубокорыхлитель-щелерез ГЩ-4П с циклоидальными тойками (промышленный образец ГКЗ)

Таблица 3.6 – Техническая характеристика глубокорыхлителя-щелереза
ГЩ-4П с циклоидальными стойками

Наименование показателя	Числовое значение показателя
1. Производительность за 1ч основного времени, га/ч	0,97-2,73
2. Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч	2,5-8,0
3. Транспортная скорость, км/ч	до 15
4. Дорожный просвет, мм	300
5. Рабочая ширина захвата (конструктивная), м	3,9
6. Расстояние между стойками рабочих органов, см:	
с комплектом КЩГП 70.000	70,90
с комплектом КЩГП 80.000	40
7. Глубина обработки, см	до 50
с комплектом КЩГП 70.000	50
с комплектом КЩГП 80.000	45
8. Число персонала по профессиям, необходимого для обслуживания операций, непосредственно связанных с работой машины, чел.	1 тракторист
9. Масса машины, кг, сухая (конструктивная):	
базовая комплектация, кг	950
10. Трудоемкость составления агрегата, чел.-ч	0,1
11. Коэффициент надежности выполнения технологического процесса	0,9
12. Габариты глубокорыхлителя, мм, не более	
ширина	4415
длина	2206
высота	1800
13 Срок службы, лет	7



Рисунок 3.3 – Циклоидальные штанговые стойки на раме серийного отвального плуга ПН-4-35

Таблица 3.7 Технические характеристики серийного плуга ПН-4-35 с циклоидальными штанговыми стойками

Наименование показателей	Циклоидальный плуг со штангой
1	2
Тип изделия	Навесной
Агрегатируется	Тракторы кл. 3
Ширина захвата конструктивная, м	1,4
Рабочая скорость, км/ч	6-8
Глубина обработки, см	До 35
Транспортная скорость, км/ч	до 20
Количество персонала, обслуживающего агрегат, чел.	1
Габаритные размеры агрегата в транспортном положении, мм	
длина	3500
ширина	1800
высота	1580

Окончание таблицы 3.7

1	2
Дорожный просвет, мм	300
Масса машины, кг	650
Размеры штанги, мм: длина диаметр	360 26



Рисунок 3.4 — Экспериментальный почвообрабатывающий агрегат, ротационный комбинированный ПАРК-6

Таблица 3.8 — Техническая характеристика экспериментального почвообрабатывающего агрегата ротационного комбинированного ПАРК-6

Наименование показателей	Макет почвообрабатывающего агрегата ротационного комбинированного ПАРК-6
1	2
Тип изделия	Полунавесной
Агрегатируется	Тракторы кл. 3
Ширина захвата конструктивная, м	6,72
Глубина обработки, см	до 7-9
Производительность га/ч	5,5-7

Окончание таблицы 3.8

1	2
Рабочая я скорость, км/ч	8-12
Транспортная скорость, км/ч	до 20
Количество персонала, обслужи- вающего агрегат, чел.	1
Габаритные размеры агрегата – в рабочем положении длина ширина высота в транспортном положении, мм: длина ширина высота	 4630 6850 815 4630 3250 3300
Дорожный просвет, мм	350
Масса машин, кг	2720



Рисунок 3.5. — Циклоида́льный глубоко́рыхлитель с циклоида́льным ротором (промышленный образец)



Рисунок 3.6 — Циклоидальный глубокорыхлитель, вид сзади
(промышленный образец)

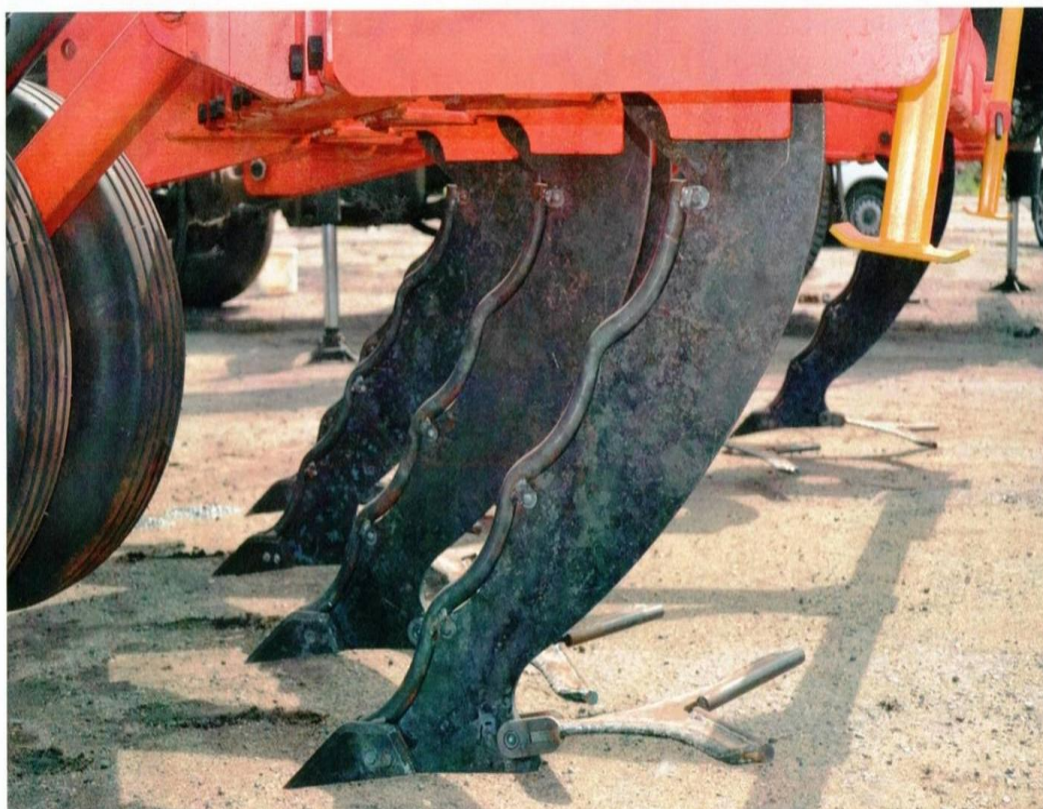


Рисунок 3.7 — Циклоидальные контуры стоек глубокорыхлителя
с плоской циклоидальной лапой (промышленный образец)

3.3 Перечень средств измерений и оборудования, применяемых при оценке функциональных показателей согласно СТО АИСТ 4.1 -2010

Научные эксперименты, заводские и государственные испытания проводились на полях института рапса Липецкой области и на ЦЧ МИС с применением мобильной электронной малогабаритной измерительно-регистрирующей аппаратуры. Для автоматического измерения динамических и эксплуатационно-технических параметров качества тракторов и сельскохозяйственных машин с цифровым накопителем информации использовалась передвижная установка ЭМА–ПМ (ИП-170 ПС) производства КубНИИ-ТИМ. Показатели работы снимались оборудованием лаборатории агротехнической оценки машин МИС.

Оценка качества функционирования машин проводилась с применением полного набора рекомендуемого оборудования лаборатории агротехнической оценки машин на ЦЧ МИС, в том числе:

- 1.Эксикатор по ГОСТ 25336.
- 2.Весы с погрешностью измерений ± 10 мг, ± 20 мг по ГОСТ Р 53228.
- 3.Почвенный бур.
- 4.Сушильный шкаф с погрешностью измерений $\pm 1^\circ$.
- 5.Твердомер почвы с погрешностью измерений $\pm 5\%$.
- 6.Координатная линейка с погрешностью измерений ± 1 см.
- 7.Линейка с погрешностью измерений ± 1 см по ГОСТ 427
- 8.Рамка деревянная размером 100x100 см.
- 9.Пробоотборник почвы.
- 10.Секундомер с погрешностью измерений $\pm 0,2$ с.
- 11.Бороздомер с погрешностью измерений ± 1 см.
- 12.Щуп-линейка с погрешностью измерений ± 1 см.
- 13.Рулетка с погрешностью измерений ± 1 мм по ГОСТ 7592.
- 14.Комплект почвенных решет с погрешностью измерений ± 1 мм.

15. Угломер с погрешностью измерений $\pm 1^\circ$.

Полевые и лабораторные испытания технологии проводились в ОПХ. Для регистрации опытных данных использовалась цифровая камера, фотоаппарат. Тарировка приборов и аппаратуры проводилась в соответствии с паспортными данными. Торможение двигателей осуществлялось на стенде в лаборатории тракторов МИС.

3.4 Электростенд для лабораторных исследований динамики рыхлого слоя почвы, формируемого штангой циклоидальной стойки

На специальном электрическом стенде с коробкой передач, обеспечивающей изменение скорости тележки от 4 до 11 км/ч, проведены лабораторные опыты по определению толщины и смещения фракций в активном слое почвы (рисунок 3.8). На тележке монтировали штангу циклоидального рыхлителя под углом к горизонтальной плоскости до 45° .



Рисунок 3. 8 — Электростенд с переменной скоростью (4-11 км/ч) движения тележки

Стенд снабжен подвесным ящиком с почвой длиной 35 метров, шириной 2 метра, глубиной 45 см, электродвигателем 7 кВт и коробкой передач для изменения скоростей движения экспериментальной тележки и штанги. Для крепления штанговой арматуры нижний обрез ножа устанавливался под углом около 45° к горизонту. Для каждой из шести фракций диаметром 2, 3, 4, 6, 8, 10 мм проводился опыт в трехкратной повторности. В результате получено 6 размеров толщины активного слоя почвы, которые приведены в главе 4.

3.5 Определение толщины активного слоя почвы при движении наклонной рифленой штанги

Экспериментальное исследование толщины активного слоя почвы, сдвигаемого наклонной рифленой штангой по органическому стеклу на стенде выполнялось по специальной методике. Для определения толщины активного слоя почвы в дощатом дне подвесного ящика электростенда вырезалось квадратное окно размером 80x80 см. По размеру окна изготавливали ящик с прозрачной горизонтальной крышкой из оргстекла. Ящик устанавливали крышкой из оргстекла вверх, а боковые стенки ящика засыпали почвой до уровня прозрачной крышки.

Зазор между полом ящика и боковыми опорами стоек стенда на земле составлял 90 см, что обеспечивало наблюдение за послойным смещением частиц на крышке ящика снизу над прозрачным дном ящика через вырезанное окно в дне пола.

С нижней стороны прозрачного оргстекла наносилась координатная сетка с шагом 1 см. Наклонный обрез ножа со штангой устанавливали под регулируемым углом 45° к поверхности оргстекла. На координатную сетку через 1 см поперек движения штанги укладывали сеяные фракции, окрашенные в белый цвет. Снизу при просмотре через отверстие в дне на стекле хорошо видны крашенные частицы, положенные поперек движения тележки на крышке прозрачного ящика. Сверху ящик засыпали сеяными фракциями почвы,

которые выбирали отдельно для каждого опыта и составляли 2, 3, 4, 6, 8, 10 мм. Наклонный нож со штангой при перемещении над прозрачной крышкой с крашеными частицами почвы сдвигал те фракции, которые находились ближе к штанге, и попадали в зону толщины (смещения) активного слоя почвы, а те крашеные частицы, которые были дальше от штанги и не попадали в зону послойного трения, оставались неподвижными (не сдвигались) на линии укладки на поверхности прозрачной крышки ящика (рисунок 3.9).

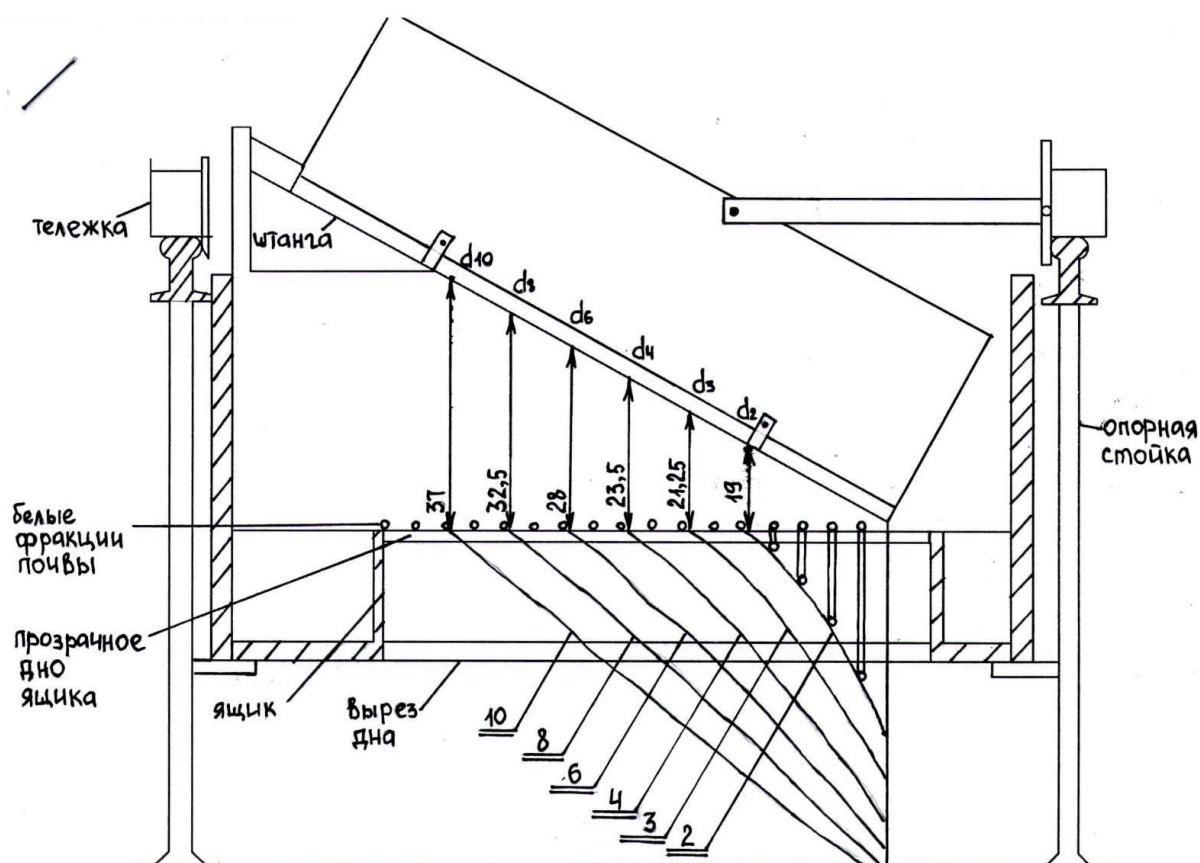


Рисунок 3.9 — К определению толщины активного слоя почвы

Таким образом, та первая крашеная частица под наклонным обреза штанги, которая оставалась неподвижной на линии укладки, свидетельствовала о максимальной толщине активного слоя почвы. Толщина слоя определялась по нормали, восстановленной от первой неподвижной фракции у прозрачной крышке ящика до штанги. По мере уменьшения зазора между обрезом штанги и дном горизонтального ящика величина сдвига крашенных

частиц возрастала, а за неподвижной частицей в сторону увеличения зазора они оставались на линии укладки неподвижными.

Опыт повторялся для каждого размера сеяных фракций в десятикратной повторности. При изменении скорости движения тележки в пределах 4-11 км/ч функционального влияния скорости на толщину активного слоя почвы не установлено, поскольку для каждого диаметра частиц при переменной скорости толщина подвижного слоя и вариационные показатели оставались относительно постоянными.

3.6 Математическая обработка экспериментальных данных по академику А.А. Сапегину

Опытные данные обрабатывались методом вариационной статистики, при этом определялись 6 вариационных показателей.

1. Среднее арифметическое $M = \frac{\sum M_i}{n}$,

где $\sum M_i$ - число вариантов;

2. Дисперсия $D_x = \frac{\sum (M - M_i)^2}{n-1}$,

где $\sum (M - M_i)^2$ - сумма вариаций ряда, их квадратического отклонения толщины активного слоя частиц почвы диаметром 10 мм от среднего арифметического значения;

3. Основное (среднее квадратическое) отклонение $\sigma = \pm \sqrt{D_x}$;

4. Вариационный коэффициент (V в %), равный

$$V = \frac{100\sigma}{M} \%,$$

5. Средняя ошибка m опыта $m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$;

6. Показатель точности P опыта в %

$$P = \frac{100m}{M} \%.$$

3.7 Выводы по разделу 3

1. Предложена оригинальная методика проверки на стенде математической модели, описывающей поведение калиброванных почвенных фракций в активном слое почвы, сформированном боковой поверхностью подвижной штанги циклоидальной стойки и прута циклоидального ротора-рыхлителя в почве.

2. Агротехническая и энергетическая оценка циклоидальным рабочим органам, разработанным в диссертации, определялась на ЦЧ МИС по отраслевым методикам, СТО АИСТ 4.1-2010 Машины и орудия для глубокой обработки почвы (Методы оценки функциональных показателей) М.-2011, СТО АИСТ 4.2-2010 Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы и ГОСТам.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВНЕДРЕНИЕ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ В ПРОИЗВОДСТВО

4.1 Экспериментальная проверка математической модели динамики формирования активного слоя почвы прутом ротора и штангой рыхлителя

Для экспериментального определения закономерностей формирования активного слоя почвы при работе прута сепарирующего ротора и штанги рыхлителя и оценки согласованности теоретических и экспериментальных исследований проводились специальные опыты на лабораторном электро-стенде. Формирование активного слоя почвы боковой поверхностью штанги является углублением знаний о физических процессах и закономерностях послойного трения, изложенных в работах А.Н. Семенова, И.М. Панова, Б.И. Чайковского, А.Н. Карпенко и других [5, 76, 82, 153, 154]. Штанга и прут сепарирующего ротора формирует верхней и нижней фрикционными поверхностями подвижные слои частиц. Сумма обоих подвижных слоёв нами названа активным слоем почвы. Этот слой имеет определенную толщину x_1 по вертикали и образуется с двух сторон подвижного прута ротора сепаратора и штанги культиватора. Полная толщина x_a активного слоя по вертикали (сверху и снизу штанги) составляет

$$x_a = 2x_1 .$$

Результаты определения толщины активного слоя почвы для фракций от 2 до 10 мм приведены таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Экспериментальная толщина активного слоя

Диаметр сеяных фракций, мм	2	3	4	6	8	10
Толщина активного слоя почвы x_a , мм	19,00	21,25	23,50	28,00	32,50	37,00

Толщина активного слоя для частиц диаметром (d) от 2 до 10 мм аппроксимирована уравнением

$$x_a = 2,25 \cdot (d - 2) + 19.$$

Результаты опытов (таблица 4.1) обрабатывали известным методом вариационной статистики. Определяли 6 вариационных показателей. Опыты по определению толщины активного слоя проводили в 10-кратной повторности при движении наклонной штанги под углом 45° .

Таблица 4.2 – Толщина активного слоя почвы фракции 10 мм по повторностям опыта, мм

Повторности	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Результат	39	35,0	46	32	30	45	38	32	31	47

1) Среднее арифметическое толщины активного слоя:

$$M = \frac{\sum M_i}{n} = \frac{39+35+46+32+30+45+38+32+31+47}{10} = 37 \text{ мм.}$$

2). Дисперсия отклонений от среднего арифметического:

$$D_x = \frac{\sum (M - M_i)^2}{n-1} = \frac{4+4+81+25+49+64+1+25+36+100}{9} = 42 \text{ мм}^2.$$

3). Среднее квадратическое σ отклонение от среднего арифметического:

$$\sigma = \pm \sqrt{D_x} = \sqrt{42} \cong 6,5 \text{ мм.}$$

4). Вариационный коэффициент отклонений:

$$V = \frac{100\sigma}{M} \% = \frac{100\sigma}{m} \% = \frac{100 \times 6,5}{37} \% = 18\%.$$

5). Средняя ошибка опыта

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{6,5}{\sqrt{10}} = 2,05 \text{ мм.}$$

6). Показатель точности опыта

$$P = \frac{100m}{M} \% = \frac{100 \times 2,05}{37} = 5,5\%.$$

По методике ВИСХОМа, эти данные (4, 5, 6) соответствуют допустимым отклонениям закономерности вариационной статистики от нормативной. В таблице 4.3 с точностью до 0,05 приведены теоретические безразмерные параметры перемещений фракций активного слоя почвы.

Таблица 4.3 – Теоретические значения перемещений фракций в активном слое почвы при скорости V_a и перемещении S_a тележки (агрегата), равном 1; ($V_a = S_a = 1$)

Толщина активного слоя почвы, мм		37,0	32,5	28,	23,5	21,2	19,0
Диаметр сеяных фракций, мм		10	8	6	4	3	2
Число слоев, с		3,7	4,1	3,6	5,8	7,1	9,5
Градиент перемещения слоев k		0,27	0,24	0,22	0,17	0,14	0,11
Перемещения фракций по слоям в долях единицы длины	0	1	1	1	1	1	1
	1	0,76	0,78	0,8	0,84	0,87	0,90
	2	0,58	0,61	0,64	0,68	0,75	0,80
	3	0,44	0,48	0,51	0,62	0,65	0,72
	4	0,34	0,38	0,41	0,50	0,56	0,64
	5	0,26	0,32	0,33	0,43	0,49	0,57
	6	0,20	0,23	0,27	0,36	0,43	0,52
	7	0,15	0,18	0,21	0,32	0,37	0,46
	8	0,11	0,14	0,17	0,25	0,27	0,41
	9	0,09	0,11	0,14	0,23	0,28	0,36
	10	0,07	0,09	0,10	0,18	0,24	0,33
	11	0,05	0,07	0,09	0,15	0,21	0,29
	12		0,05	0,07	0,12	0,19	0,26
	13			0,05	0,10	0,16	0,23
	14				0,09	0,14	0,21
	15				0,08	0,12	0,19
	16				0,06	0,10	0,17
	17				0,05	0,09	0,15
	18					0,08	0,14
	19					0,07	0,12
	20					0,05	0,10
	21						0,09
	22						0,08
	23						0,07

Расчетное число подвижных слоев (C) почвы принимали от 0 до 23. Безразмерные теоретические закономерности поведения частиц активного слоя почвы для числа слоев от нуля до 7 приведены в таблице 4.3. В ней определены коэффициенты скоростей и смещений частиц для начальной скорости активного слоя почвы, принятой за единицу.

Графическое построение теоретических и экспериментальных перемещений в безразмерных параметрах, определяющих закономерности формирования активного слоя при движении рифленой штанги в почве, приведены на рисунке 4.1.

Закономерность перемещений и скоростей почвенных фракций в безразмерных параметрах по расчетному уравнению при S и v , принятых за единицу, имеет вид:

$$S = e^{-kc} = \frac{1}{e^{kc}}.$$

Сравнительный анализ теоретических и экспериментальных перемещений фракций диаметром 10 мм, приведенный в таблице 4.4, показывает, что дробь $\frac{1}{e^{kc}}$ при числе слоев почвы C , стремящемся к бесконечности, будет стремиться к нулю.

Таблица 4.4 — Относительные (безразмерные) закономерности теоретических и экспериментальных перемещений фракций диаметром 10 мм в активном слое почвы при скорости v_a и перемещении S_a штанги равными единице: ($v_a = S_a = 1$)

Параметры	Номер слоя (C) фракций в подвижном активном слое почвы за счет сил трения частиц о штангу							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент $k \cdot C = 0,27C$	0	0,27	0,54	0,81	1,08	1,35	1,62	1,89
Теория $\vartheta = S = e^{-kc}$	1	0,76	0,58	0,44	0,34	0,26	0,20	0,15

Окончание таблицы 4.4

Эксперимент $1 - k \cdot C$	1	0,73	0,46	0,19	0	-	-	-
Отклонения теории от эксперимента	0	0,03	0,12	0,25	0,34	-	-	-

Максимальная толщина активного слоя (37 мм) в большей степени оказывает влияние на технологический процесс обработки почвы штанговыми рабочими органами и прутами роторов. Закономерность смещения $S = e^{-kc} = \frac{1}{e^{kc}}$ является экспонентой и при $C \rightarrow \infty$ она приближается к оси ОУ. Экспериментальная толщина активного слоя для частиц диаметром d от 2 до 10 мм аппроксимирована уравнением (рисунки 4.1, 4.2)

$$C_a = 2,25 \cdot (d - 2) + 19.$$

Активный слой почвы вместе со штангой и прутком сепарирующего ротора за счет удвоенной толщины подвижных слоев ($C=37$ мм) повышает сепарирующую способность прутковых роторов и штанги культиваторов. Послойное смещение почвенных фракций штанговыми и другими рабочими органами в технологическом процессе необходимо учитывать при изготовлении и настройке машин.

4.2 Общая характеристика технологии обработки почвы циклоидальными рабочими органами

Экспериментальные исследования и испытания позволили определить параметры функционирования циклоидального штангового рабочего органа на операциях обработки почвы и механического уничтожения сорняков в условиях Центрально-Черноземной полосы, (рисунки 4.3; 4.4; 4.5; 4.6; 4.7; 4.8). При испытаниях и лабораторно-полевых

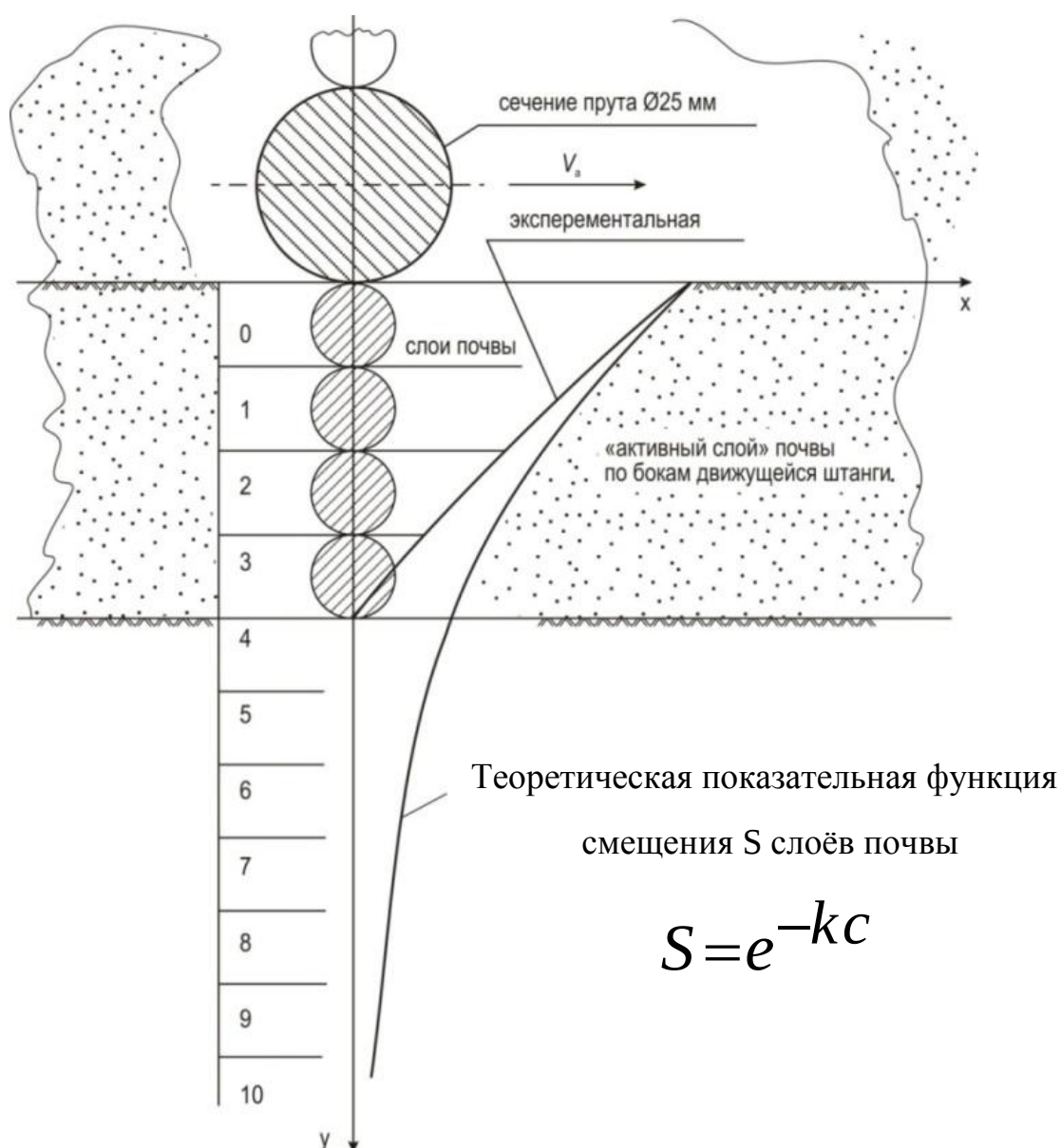


Рисунок 4.1 — Динамика формирования активного слоя боковыми сторонами штанги и прутами сепарирующего ротора при движении в почве;

исследованиях получены затраты энергии и основные агротехнические показатели циклоидальных рабочих органов.

Достигнуто высокое качество крошения всего пласта (92-99 %). Установлено устойчивое крошение нижних слоев почвы и оставление более крупных фракций почвы в верхнем горизонте обрабатываемого пласта, снижение энергоёмкости на обработку почвы.

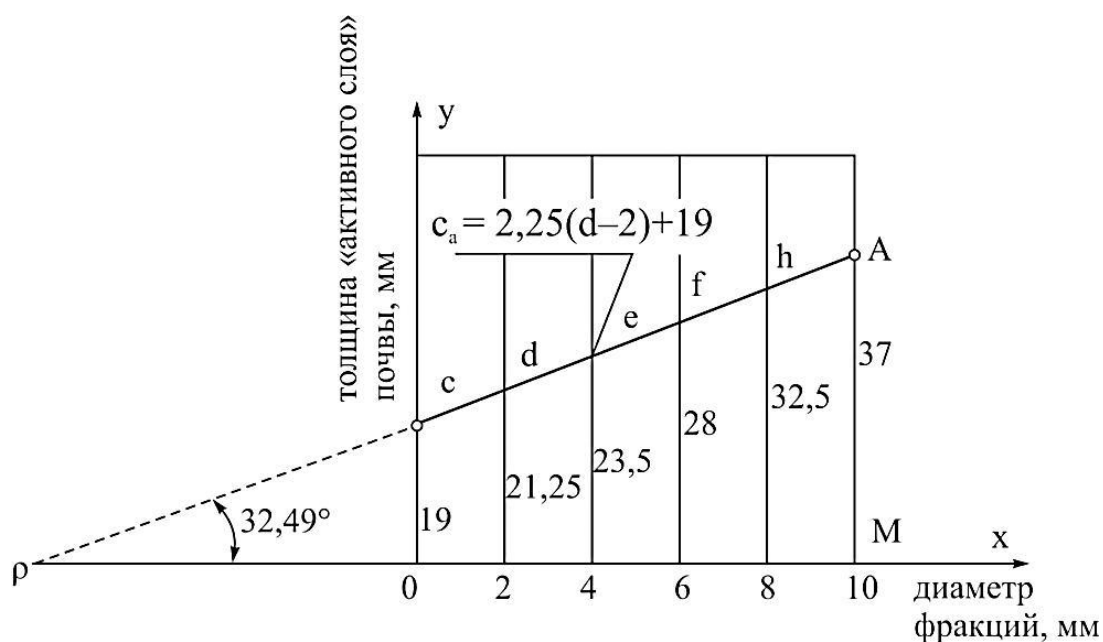


Рисунок 4.2 — Аппроксимация зависимости толщины активного слоя почвы от диаметра фракций уравнением $C_a = 2,25 \cdot (d - 2) + 19$

Сравнение полученных в процессе испытаний показателей качества работы штанговых плугов проводилось в соответствии с ГОСТ 26244-84 «Обработка почвы предпосевная. Требования к качеству и методы определения».

Исследования, производственная проверка и внедрение подтверждают, что разработанные циклоидальные рабочие органы и машины для обработки почвы являются энергосберегающими и экологически безопасными для урожая, окружающей среды и человека.

Это предусматривалось целями и задачами исследования и об этом свидетельствуют полученные практические результаты.

На рисунках 4.3 и 4.4 показаны агрегаты, оборудованные циклоидальными стойками для глубокой обработки почвы. Стойки выполняют роль рабочих органов для работы по типу чизелевания. В эти стойки вставлены консольные штанги для расширения зоны обработки на заданной глубине.



Рисунок 4.3 — Хозяйственные испытания энергосберегающего безотвального штангового культиватора с циклоидальными стойками по дискованному полю бороной БДМ-6 в фермерском хозяйстве «Прогресс» Коньшевского района Курской области.



Рисунок 4.4 — Испытания циклоидального штангового культиватора в хозяйстве «Прогресс» Коньшевского района Курской области

В этих испытаниях была принята глубина обработки до 40 см. Скорость обработки почвы составляла 10–12 км/ч. Обработана циклоидальными стойками площадь 540 гектаров.

Для эффективного уничтожения сорной растительности необходимо выполнять технологический процесс, когда сорняки по высоте не превышают 15–20 см. Испытания проводились в ОПХ МИС на площади 400 га, в хозяйствах «Прогресс» Коньшевского района на площади 540 га, «Русь» Советского района Курской области на площади 280 га. Конструкторам и технологам трех заводов Липецка, Орла и Белгорода передана методика расчета рабочих органов и конструктивные схемы для производства циклоидальных рабочих органов по патентам, разработанным в диссертации.

4.3 Агротехническая оценка четырехконтурных циклоидальных стоек глубокорыхлителя-щелереза ГЩ-4П на раме серийного плуга

Для агротехнической оценки циклоидальные четырехконтурные стойки глубокорыхлителя щелереза ЩГ-4П и двухконтурные стойки культиватора тяжелого КТ-3,9 МП устанавливали на раме серийного плуга ПН-4-35. Эта подготовка выполнялась лабораторией агротехнической оценки в ОПХ ЦЧ МИС для получения экспериментальных результатов испытаний циклоидальных рабочих органов в методически равных условиях. Экспериментальную проверку серийных циклоидальных стоек глубокорыхлителей-щелерезов ГЩ-4П, тяжелых культиваторов КТ-3,9 МП проводили на ЦЧ МИС. Результаты агрооценки глубокорыхлителя-щелереза ЩГ с четырехконтурными циклоидальными стойками приведены в таблице 4.5.

Испытуемые в полевых условиях агрегаты и их рабочие органы показаны на рисунках 4.5, 4.6, 4.7 и 4.8.

Таблица 4.5 — Агротехническая оценка циклоидальных стоек глубококорых-
лителя-щелереза ЦГ, установленных на раме серийного плуга

Наименование показате- лей	Показа- тели по ТЗ	Фон	
		Стерня	Вспаханное поле
Условия испытаний			
Влажность почвы, %, в слоях, см: 0–10 10–20 20–30	до 30	26,39 28,40 28,16	24,86 24,12 24,86
Твердость почвы, МПа, в слоях, см: 0–10 10-20 20-30		0,65 0,86 1,05	
Скорость движения агре- гата, м/с		1,66	1,70
Глубина обработки почвы, см: – средняя	35-40	43,2	42,9
Среднее квадратическое отклонение, см		1,65	0,76
Коэффициент вариации, %		4,71	2,18
Гребнистость поверхно- сти, см	выровнен- ность	3,86	3,84
Крошение почвы, %, с размером фракций: – до 50 мм – свыше 50 мм	не менее 50%	86,90 13,10	84,85 15,15
Сохранение стерни, %,	не менее 85	88	



Рисунок 4.5 — Комбинированный агрегат с циклоидальными стойками Грязинского культиваторного завода на испытаниях по определению максимальной глубины обработки почвы по стерневому фону в ОПХ института рапса Липецкого района Липецкой области (промышленный образец)



Рисунок 4.6 — Комбинированный агрегат с циклоидальными стойками на испытаниях по определению минимальной и средней глубины обработки почвы по стерневому фону в ОПХ института рапса Липецкого района Липецкой области (промышленный образец)

4.4 Агротехническая оценка двухконтурных циклоидальных стоек культиватора тяжелой серии КТ-3,9 МП на раме серийного плуга

Таблица 4.6 — Агротехническая оценка циклоидальных стоек тяжёлого культиватора КТ-3,9 МП, установленных на раме плуга

Наименование показателей	Показатели по ТЗ	Фон	
		Стерня	Вспаханное поле
Влажность почвы, %, в слоях, см: 0-10 10-20 20-30	до 30	26,39 28,40 28,16	24,86 24,12 24,86
Твердость почвы, МПа, в слоях, см: 0-10 10-20 20-30		0,65 0,86 1,05	
Скорость движения агрегата, м/с		1,78	1,82
Глубина обработки почвы, см: – средняя	24-26	25,1	27,3
Среднее квадратическое отклонение, см		1,51	1,58
Коэффициент вариации, %		6,0	5,8
Гребнистость поверхности, см	выровненность	3,16	2,07
Крошение почвы, %, с размером фракций: – до 50 мм – свыше 50 мм	не менее 50	91,4 8,6	93,5 6,5
Сохранение стерни, %	не менее 85	83	



Рисунок 4.7— Комбинированный агрегат с циклоидальными стойками Грязинского культиваторного завода при испытаниях на проходимость по стерневому фону в ОПХ института рапса Липецкого района Липецкой области (промышленный образец)

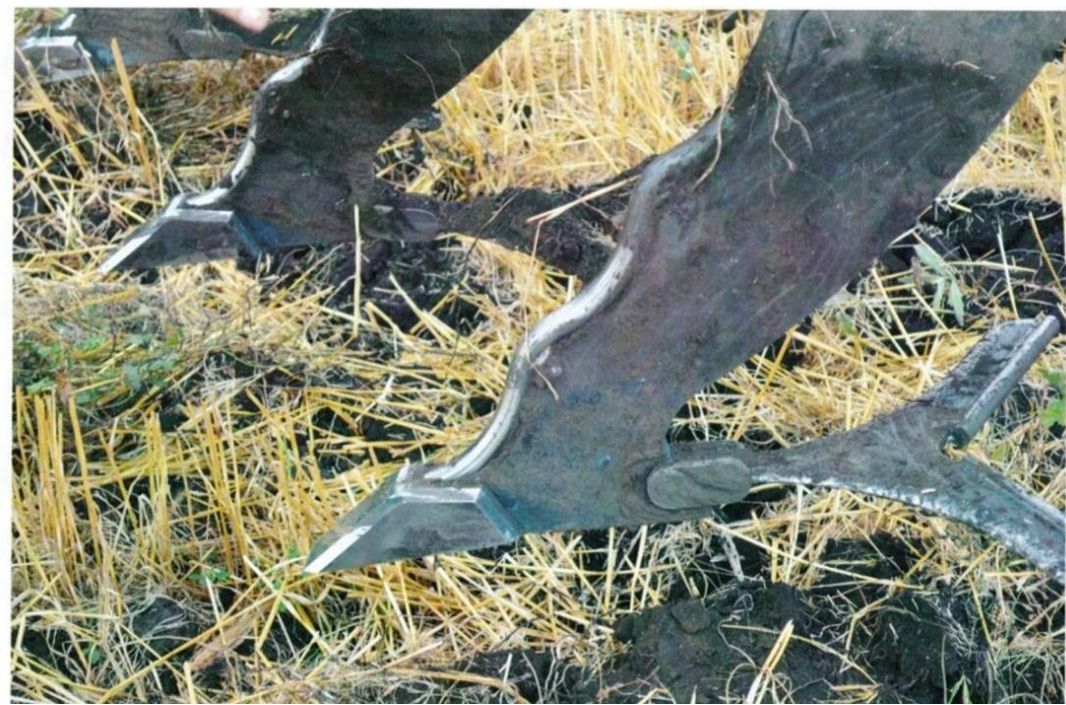


Рисунок 4.8 — Самоочистка многоконтурной циклоидальной стойки и лапы глубокорыхлителя - щелереза в работе (промышленный образец)

Для озимых культур достаточно проводить лемешное лушение с последующей сепарацией рыхлителями-сепараторами, посев и довсходовую сепарацию. На рисунке 4.9а показаны всходы после обработки циклоидальными рабочими органами без гербицидов. На рисунке 4.9б - поле яровой пшеницы перед уборкой.



Рисунок 4.9а — Всходы яровой пшеницы по экологически чистой энерго-сберегающей технологии сепарации почвы и сорняков



Рисунок 4.9б — Яровая пшеница, выращенная по экологически чистой технологии сепарации почвы и сорняков перед уборкой

Ротационные рыхлители полностью подрезали сорняки, а крошение почвы достигало 97-99 %. Производительность агрегата захватом 6 м за 10 часов рабочего времени составляет 60-70 га.

4.5 Агротехническая оценка ротационного рыхлителя ПАРК-6 с циклоидальными рабочими органами

В условиях сильной засорённости почвы и недостатка влаги, когда обработка сухой августовской пашни сопровождается образованием глыб, особенно под озимые культуры, применение ротационных рыхлителей - сепараторов с приводом от почвы более предпочтительно, поскольку оно удовлетворяет требованиям к предпосевной подготовке почвы. В таблице 4.6 приведена агротехническая оценка почвообрабатывающего агрегата ротационного комбинированного шириной захвата 6 м (ПАРК-6).

Таблица.4.7 —Агротехническая оценка почвообрабатывающего ротационного агрегата ПАРК-6 с циклоидальными рабочими органами на предпосевной подготовке почвы под озимые культуры ,на зяби и парах

Показатели	Значение показателей	
Культура	Озимая пшеница	
Тип почвы	Чернозем выщелоченный	
Рельеф	Ровный	
Микрорельеф	Выровненный	
Структура	Мелкокомковатая	
Влажность почвы в % по слоям, см	До прохода	После прохода
0-5	11,1	11,9
5-10	13,04	13,42
10-15	14,18	14,27
Твердость почвы по слоям, Мпа		
0-5 см	0,53	
5-10 см	0,62	
10-15 см	0,73	
Крошение взрыхленного слоя: массовая доля комков размером до 10 мм,%		
10-20 мм	96,04	
более 20 мм	3,94	
	—	
Глубина обработки		
- без культиваторных лап, см	7,47	
- с культиваторными лапами на зяби	12-15	
Среднеквадратическое отклонение, см	0,78	
Коэффициент вариации, %	17,49	

Толщина взрыхленного слоя составляет от 7,4 до 12 см и применима под основные культуры с образованием уплотненного ложа для семян.

На рисунках 4.10 *а, б*, показано поле без сорняков, а на рисунках 4.10 *в, г* сепарированные сорняки на поверхности поля после обработки циклоидальными рыхлителями-сепараторами.



Рисунок 4.10*а* — Борозды на поверхности поля после обработки культиваторами КПС-4 с тяжелыми боронами. Справа обработано ротационными рыхлителями



Рисунок 4.10*б* — Поверхность поля после скоростной обработки почвы ротационными рыхлителями



Рисунок 4.10*в* — Сорняки осота на поверхности поля после обработки циклоидальными ротационными рыхлителями



Рисунок 4.10*г* — Засохшие сорняки на поверхности поля после сепарации циклоидальными рыхлителями-сепараторами

Комплекс циклоидальных рабочих органов исключает применение отдельных марок культиваторов, катков, волокуш зубовых ротационных бо-

рон. Таблица 4.7 подтверждает высокое качество крошения почвы, которое составляет до 99% при влажности сухой почвы 11-14%.

4.6 Компоненты энергосбережения циклоидальными рабочими органами при экологически безопасной обработке почвы

Привод ротационного рыхлителя от почвы уменьшает угловую скорость вращения сепарирующего ротора, его тяговое сопротивление и потребляемую мощность по известной формуле:

$$N = \frac{A}{t} = F \cdot V = M\omega.$$

Регулируемая кинематическая связь между роторами обеспечивает распределение сил, моментов сил и потока мощности на приводных валах и звездочках цепной передачи от контакта роторов с почвой. Возникает циркуляция потока мощности $N_{\text{ц}}$ между валами сепарирующих рабочих органов, приводом, рамой машины, почвой (показано стрелками на рисунке 4.11). Она равна произведению скорости скольжения роторов на силу сопротивления технологического процесса при обработке почвы. Реакция сил сопротивления определяется технологическим процессом скольжения роторов, рыхления, сепарации обрабатываемого пласта.

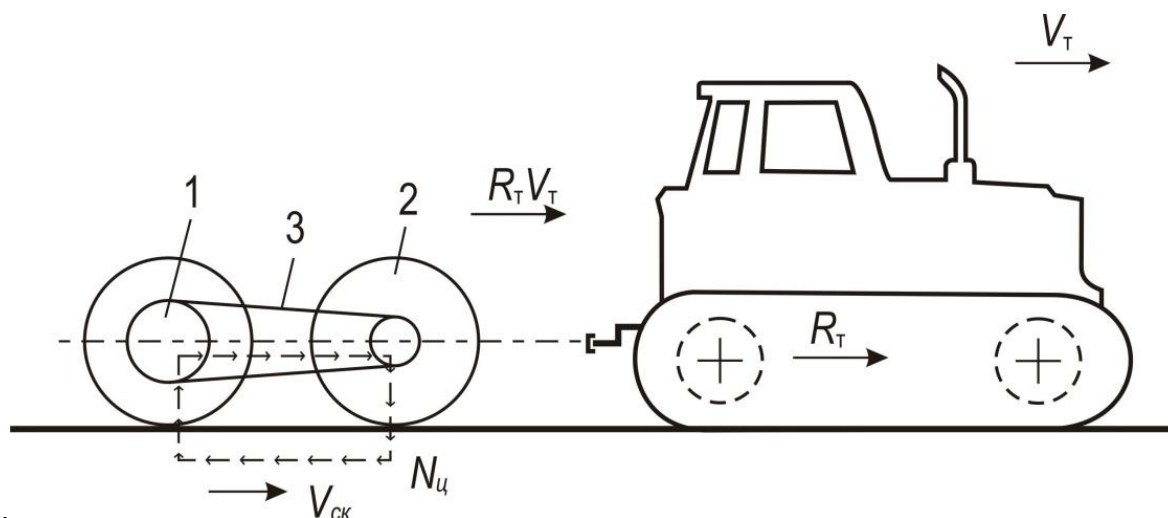
Мощность трактора разделяется в ротационном рыхлителе на два потока

$$N_T = N_{\text{ц}} + N_n,$$

где $N_{\text{ц}}$ – расход мощности при выполнении технологического процесса;

N_n – расход мощности на передвижение агрегата.

Циркуляция мощности определяется разностью скоростей скольжения переднего и заднего роторов от соединяющего их цепного привода, обеспечивающего разрушение почвенного пласта.



1 – звездочка сепарирующего ротора, понижающая обороты,
2 – звездочка переднего ротора, притормаживающая задний ротор, 3 – цепь

Рисунок 4.11 — Циркуляция потока мощности в системе трактор – машина – почва при движении роторов с торможением от почвы и скольжением

Скорость скольжения V_{ck} заднего сепарирующего ротора равна

$$V_{ck} = V_a \delta_{ck} = V_a \left(1 - \frac{1}{i}\right),$$

где δ_{ck} – коэффициент скольжения ротора, $\delta_{ck} = 1 - \frac{1}{i}$.

$$N = \frac{A}{t} = F \cdot V = F V_a \left(1 - \frac{1}{i}\right).$$

За счет передачи (при $i=2$) скорость вращения циклоидального сепарирующего ротора меньше в два раза по сравнению с поступательной скоростью трактора, отсюда и кинематическое снижение мощности на сепарирующем роторе.

4.7 Тяговое сопротивление стоек глубокорыхлителя - щелереза ГЩ- 4П на раме серийного плуга ПН-4-35

В ходе испытаний на МИС установлено, что тяговое сопротивление и потребляемая мощность циклоидальными рабочими органами стоек щелереза-глубокорыхлителя ЩГ с трактором Т-150К соответствовало выполне-

нию технологического процесса на скоростях 1,6-1,9 м/с. Из приведенных цифр видно, что у тракторов имеется резерв номинальной мощности для повышения скоростей почвообрабатывающих агрегатов до 8-9 км/ч.

Результаты энергетической оценки циклоидальных стоек щелереза-глубококорыхлителя ЩГ на раме серийного плуга ПН-4-35 приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 — Энергетическая оценка результатов испытаний на МИС циклоидальных стоек щелереза-глубококорыхлителя ЩГ на раме серийного плуга ПН-4-35

Наименование показателей	Фон	
	Стерня	Пахота
Ширина захвата, м	1,4	1,4
Глубина обработки, см	37,6	42,9
Рабочая скорость, м/с	1,6	1,9
Тяговое сопротивление, Кн	27,48	23,20
Потребляемая мощность, кВт	43,98	44,05
Удельное тяговое сопротивление, кН/м	19,6	16,6
Удельный расход топлива за время основной работы, кг/га	23,40	22,60
Коэффициент использования номинальной мощности двигателя	0,62	0,56

При испытаниях на стерневом фоне четырехкорпусного плуга шириной захвата 1,4 м при глубине обработки 37,6 см, скорости хода 5,76 км/ч с штанговыми циклоидальными стойками тяговое сопротивление составило 27,48 кН. Среднее тяговое сопротивление на одну стойку составило 6,87 кН.

Приводим силу сопротивления к глубине обработки почвы 30 см согласно пропорции

6,87 кН соответствуют 37,6 см

X кН соответствуют 30 см.

Приведенное полное тяговое сопротивление на циклоидальную стойку составляет

$$P = \frac{6,87 \cdot 30}{37,6} = 5,48 \text{ кН.}$$

Тяговое сопротивление и потребляемая мощность циклоидальными рабочими органами стоек щелереза-глубококорыхлителя ЩГ с трактором Т-150К соответствует выполнению технологического процесса на скоростях 1,6-1,9 м/с. Из приведенного расчета и цифр видно, что у тракторов имеется резерв для повышения скоростей почвообрабатывающих агрегатов до 8-10 км/ч.

4.8 Тяговое сопротивление стоек тяжелого культиватора КТ-3,9 МП на раме серийного плуга ПН-4-35

Результаты энергетической оценки циклоидальных стоек тяжелого культиватора КТ-3,9 МП на раме серийного плуга ПН-4-35 приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Энергетическая оценка испытаний на МИС циклоидальных стоек тяжелого культиватора КТ-3,9 МП на раме серийного плуга ПН-4-35

Наименование показателей	Стерня	Пахота
1	2	3
Ширина захвата, м	1,4	1,4
Глубина обработки, см	25,1	24,8
Рабочая скорость, м/с	1,85	1,96
Тяговое сопротивление, кН	19,75	17,0
Потребляемая мощность, кВт	36,58	33,3
Удельное тяговое сопротивление, кН/м	14,09	12,14

Окончание таблицы 4.9

1	2	3
Удельный расход топлива за время основной работы, кг/га	21,22	21,5
Коэффициент использования номинальной мощности двигателя	0,49	0,47

4.9 Зависимость тягового сопротивления прямой, радиальной и циклоидальной стоек от скорости движения

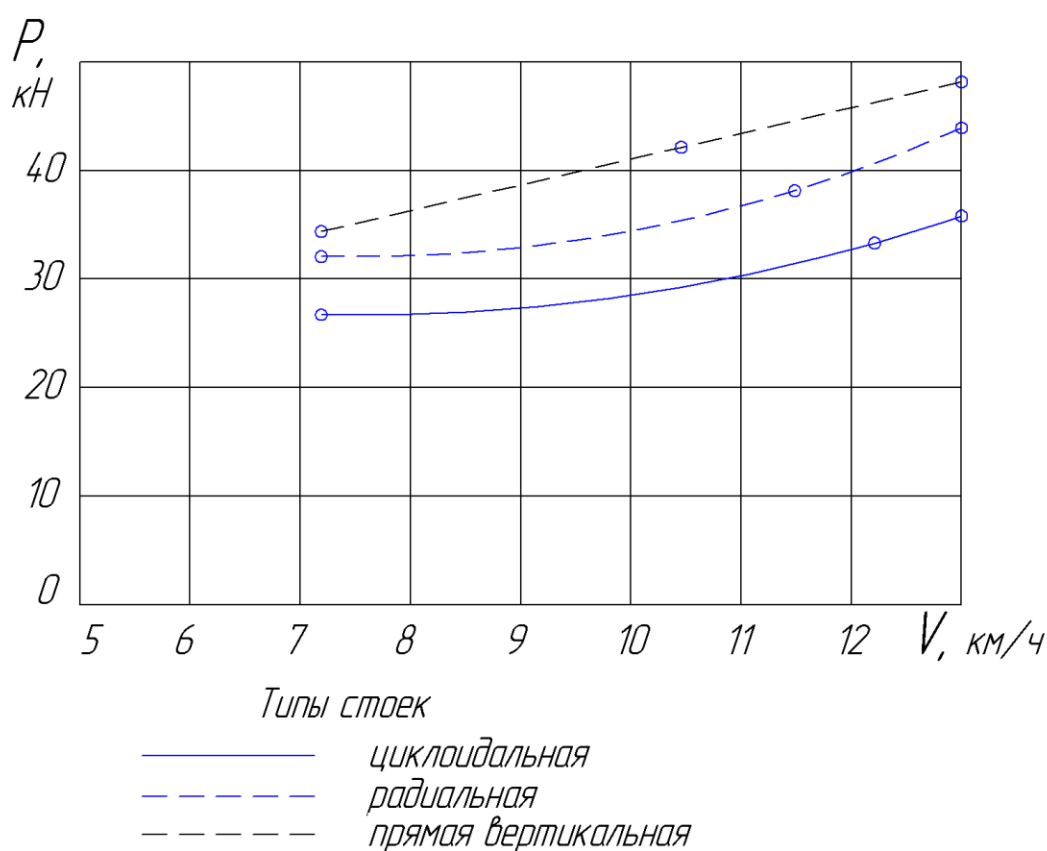


Рисунок 4.12 — Экспериментальная зависимость тягового сопротивления от скорости агрегата со стойками прямого, радиального и циклоидального контуров

Уменьшение силы сопротивления циклоидальной стойки по сравнению с радиальной составило $\frac{31,2-27}{27} 100\% = 15,5\%$

И по сравнению с прямолинейной

$$\frac{33,5-27}{27} 100\% = 24\%.$$

Применение рабочих органов с циклоидальными стойками обеспечивает уменьшение тягового сопротивления и снижение затрат энергии и средств на обработку почвы по экологически безопасной технологии.

4.10 Эксплуатационные затраты мощности циклоидальными рабочими органами ротационного агрегата ПАРК-6

Экспериментальная графическая зависимость потребляемой мощности ПАРК-6 возрастает пропорционально скорости и подтверждает аналитический расчет (рисунок 4.13). Экспериментальные данные и теоретические расчёты практически совпадают, что даёт возможность рас-

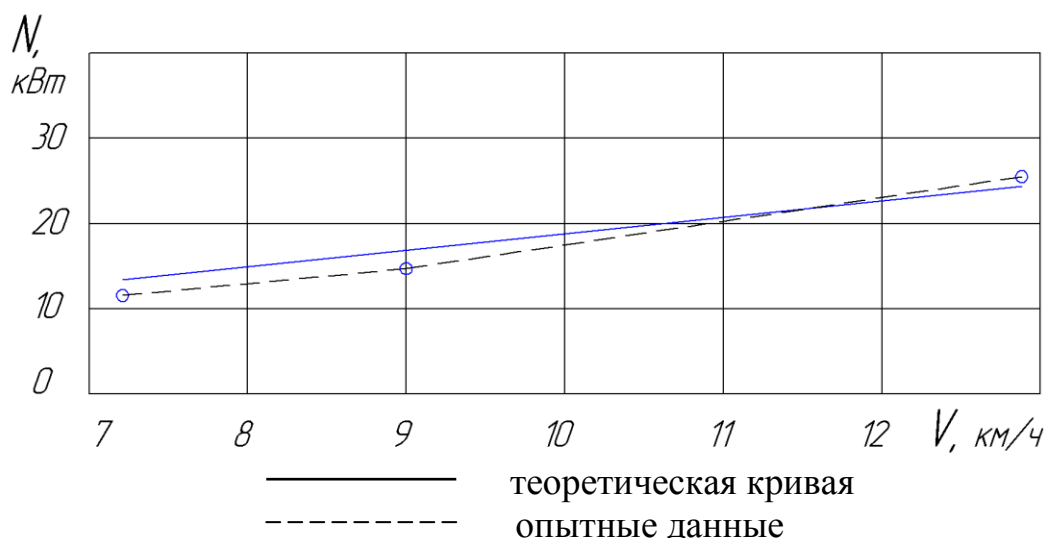
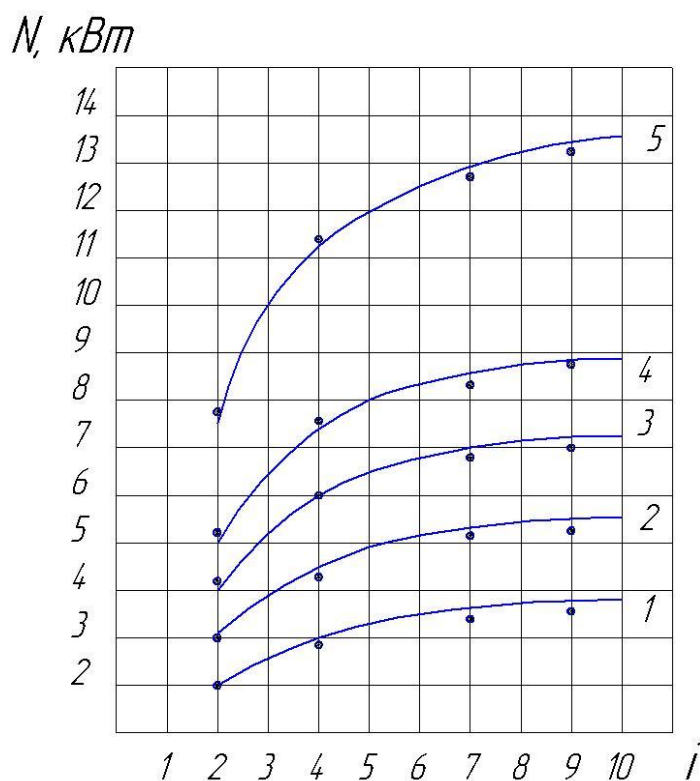


Рисунок 4.13 —Потребляемая мощность ротационного циклоидального рыхлителя ПАРК-6 при скорости движения от 7,2 до 12,9 км/ч

считать влияние не только скорости движения агрегата, но и передаточного отношения привода на цепной передаче рыхлителя-сепаратора на потребляемую мощность (таблица 4.10 и рисунок 4.14). Экспериментальные затраты энергии агрегата ПАРК-6 составляли от 10,1 до 24,5 кВт, теоретические – от 10,4 до 21 кВт на тех же скоростях. Опыты проводились на четырёх передаточных отношениях привода: $i = 2$; $i = 4$; $i = 7$; $i = 9$.

Таблица 4.10 — Влияние передаточного отношения i привода на потребляемую мощность (N) на одну секцию шириной захвата 1,4 метра и коэффициент скольжения заднего сепарирующего ротора

i	2	3	4	5	6	7	8	9	10
δ	0,50	0,66	0,75	0,80	0,83	0,85	0,87	0,89	0,90
Скорость	Потребляемая мощность, кВт								
15 км/ч	7,50	9,90	11,25	12,00	12,45	12,75	13,12	13,35	13,50
10 км/ч	5,00	6,60	7,50	8,00	8,30	8,50	8,75	8,90	9,00
8 км/ч	4,00	4,28	6,00	6,60	6,64	6,80	7,00	7,12	7,20
6 км/ч	3,00	3,96	4,50	4,80	4,98	5,10	5,25	5,34	5,40
4 км/ч	2,00	2,64	3,00	3,20	3,32	3,40	3,50	3,56	3,60



Скорости движения: 1 – 4 км/ч; 2 – 6 км/ч; 3 – 8 км/ч; 4 – 10 км/ч; 5 – 15 км/ч

Рисунок 4.14 — Зависимость потребляемой мощности боковой секцией ротационного рыхлителя шириной захвата 1,4 м от передаточного числа привода тормоза и скоростей агрегата от 4 до 15 км/ч

Подтверждено, что тяговое сопротивление ротационного рыхлителя растет с увеличением передаточного числа привода ротора и скорости движения агрегата. Качество обработки почвы и механическое уничтожение сорняков можно регулировать скоростью движения агрегата, передаточным отношением привода сепарирующего ротора, своевременными обработками почвы, контролируя при этом фенологию роста и развития сорной растительности.

4.11 Снижение забивания рабочих поверхностей циклоидальных стоек, лап культиваторов и сепарирующих роторов сорняками

Известно, что существующие стойки имеют низкий свод и подвержены большому забиванию из-за прогрессирующего накопления виснувших на стойках сорняков (рисунок 4.15). Забивание рабочих органов сорняками снижает качество работы и производительность культиваторов, увеличивает их тяговое сопротивление. Виной тому являются стойки, на которых происходит скопление и нависание сорной растительности, встречаемой на пути движения культиватора.

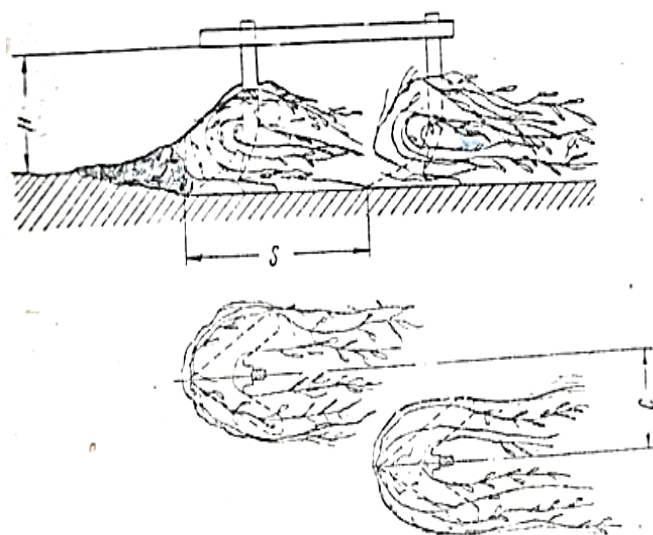


Рисунок 4.15 — Нависание сорняков на стойки

Для снижения забивания сорняками и повышения проходимости и производительности культиваторов лапы размещены сзади стойки, а её лобовой контур выполнен круглым для улучшения самоочистки от виснувших сорных растений и стерни и схода их с круглого прута за счет разницы сил натяжения концов сорняка (рисунок 4. 16).



Рисунок 4.16 — Самоочищающиеся лапы, установленные за энергосберегающими стойками

Для снижения забивания сорняками на сепарирующих роторах вместо сплошных ограничительных дисков установлены циклоидальные зубья и консоли для крепления прутков, между которыми имеются боковые прозоры для самоочистки и выхода сорняков за пределы полости ротора.

4.12 Выводы по разделу 4

1. Толщина активного слоя почвы по обе стороны от движущейся штанги или прута диаметром 25 мм изменяется от 19 до 37 мм соответственно для частиц от 2 до 10 мм с градиентом перемещения слоев соответственно от 0,11 до 0,27, что не противоречит теоретическим представлениям.

2. Одноконтурные и многоконтурные циклоидальные стойки на полевых испытаниях обеспечили гребнистость 3,84...3,86 см, крошение почвы 84...87 %, сохранение стерни до 88 %..

3. Ротационные рыхлители ПАРК-6 работают на глубину от 7 до 15 см, обеспечивают крошение частиц взрыхленного слоя до 20 мм в количестве 99 %, выравнивают поверхность почвы без всяких борозд и выбрасывают на поверхность подавляющее число сорняков.

4. Одна циклоидальная стойка со штангой при работе на глубину 37,6 см показала тяговое сопротивление 6,87 кН, что на 15,5% меньше, чем у радиальной и на 24 % меньше чем у прямолинейной вертикальной стойки.

5. С увеличением скорости движения агрегата от 7,2 до 13,0 км/ч сопротивление циклоидальной стойки увеличивается на 33%, радиальной- на 41% и прямолинейной –на 46 %.

6. Потребляемая мощность ротационного циклоидального рыхлителя линейно повышается с ростом скорости движения агрегата, расхождения с расчетными значениями не превышают 3.6 %.

7. С увеличением передаточного отношения цепной передачи между роторами пруткового рыхлителя энергоемкость операции увеличивается.

5 МЕТОДИКА ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ И ПОСТРОЕНИЯ ИХ КОНТУРНЫХ СХЕМ

5.1 Исходные предпосылки расчета параметров и проектирования циклоидальных рабочих органов

Цель методики расчета и проектирования сводится к созданию технологически обоснованных конструкций культиваторов с циклоидальными штанговыми стойками и ротационными циклоидальными рыхлителями.

Порядок расчета и проектирования размерных и режимных параметров разработан в такой последовательности, при которой каждый новый параметр определяется с учетом известного.

Задачами расчета и проектирования предусматривалось определение рациональных размерных и режимных параметров рабочих органов машин и построение их конструктивных схем.

5.2 Расчет параметров и построение контурных схем циклоидальной стойки и зуба ротационного рыхлителя

1) По заданной максимальной глубине обработки почвы H_{max} определяется радиус R производящего циклоиду круга:

$$R = \frac{H_{max}}{\pi}.$$

2) Определяются координаты (x, y) трех точек 2,3,4 циклоиды (см.рисунок 2.24) по параметрическим уравнениям подвижных координат:

$$\begin{cases} x = R(\alpha - \sin\alpha) \\ y = R(1 - \cos\alpha) \end{cases} \quad (5.1)$$

и координаты (x,y) трех точек 2,3,4 рабочего отрезка циклоиды.

$$Ax(2) = R \frac{2}{6}\pi - R \sin 60^\circ = 12 - 11 \cdot 0,866 = 2,5 \text{ см};$$

$$A(y)^2 = R(1 - \cos 60^\circ) = 11 - 5,5 = 5,5 \text{ см};$$

$$A_x(3) = R \frac{3\pi}{6} - R \sin 90^\circ = 18 - 11 = 7 \text{ см};$$

$$A_y(3) = R(1 - \cos 90^\circ) = 11 \text{ см};$$

$$A_x(4) = R \frac{4\pi}{6} - R \sin 120^\circ = 24 - 9,5 = 14,5 \text{ см};$$

$$A_y(4) = R(1 - \cos 120^\circ) = 16,5 \text{ см}.$$

Переносят параллельно своим положениям оси координат из точки 1 (0, 0) в точку $A_2(x=0, y=0)$. Таким образом, получается новое начало координат для точек 2, 3, 4 рабочего отрезка циклоиды в точке 2(0,0):

$$\begin{cases} A_x(2) = 0 \text{ см} \\ A(y)^2 = 0 \text{ см}; \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_x(3) = 4,5 \text{ см} \\ A_y(3) = 5,5 \text{ см}; \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_x(4) = 12 \text{ см} \\ A_y(4) = 11 \text{ см}. \end{cases}$$

3) Максимальное число циклоид z , очерчивающих лобовой контур стойки, определяется по глубине $H_{\max}$ обработки почвы, деленной на высоту ординаты h_4 отрезка одной циклоиды, ограниченной координатами точки 4 (рисунок 5.1), по уравнению:

$$z = \frac{H_{\max}}{h_4} = \frac{\pi R}{12}. \quad (5.2.)$$

На рисунке 5.1 приведена схема отрезка циклоиды с новыми координатами. Многоконтурные стойки имеют одинаковые координаты циклоид и углы касательных в точках их соединения по высоте согласно рисунку 5.1, где h_4 – высота ординаты циклоиды в точке 4, равная 12 см.

Для обработки почвы на глубину до 10-12 см требуется стойка с одной циклоидой высотой 12 см (одноконтурная стойка). Для глубины об-

работки до 24 см необходимо два отрезка циклоиды на стойке (двух-контурная стойка), для обработки на глубину 60 см требуется установить 5 циклоид (пятиконтурная циклоидальная стойка).

Отрезок циклоиды с координатами точек 2, 3, 4, показанный на рисунке 5.1, применяют для построения контурных схем всех типов циклоидальных рабочих органов для обработки почвы на глубину от 10 до 60 см для стоек культиваторов, глубоких рыхлителей-щелерезов, зубьев и кронштейнов ротационных рыхлителей и других почвообрабатывающих машин.

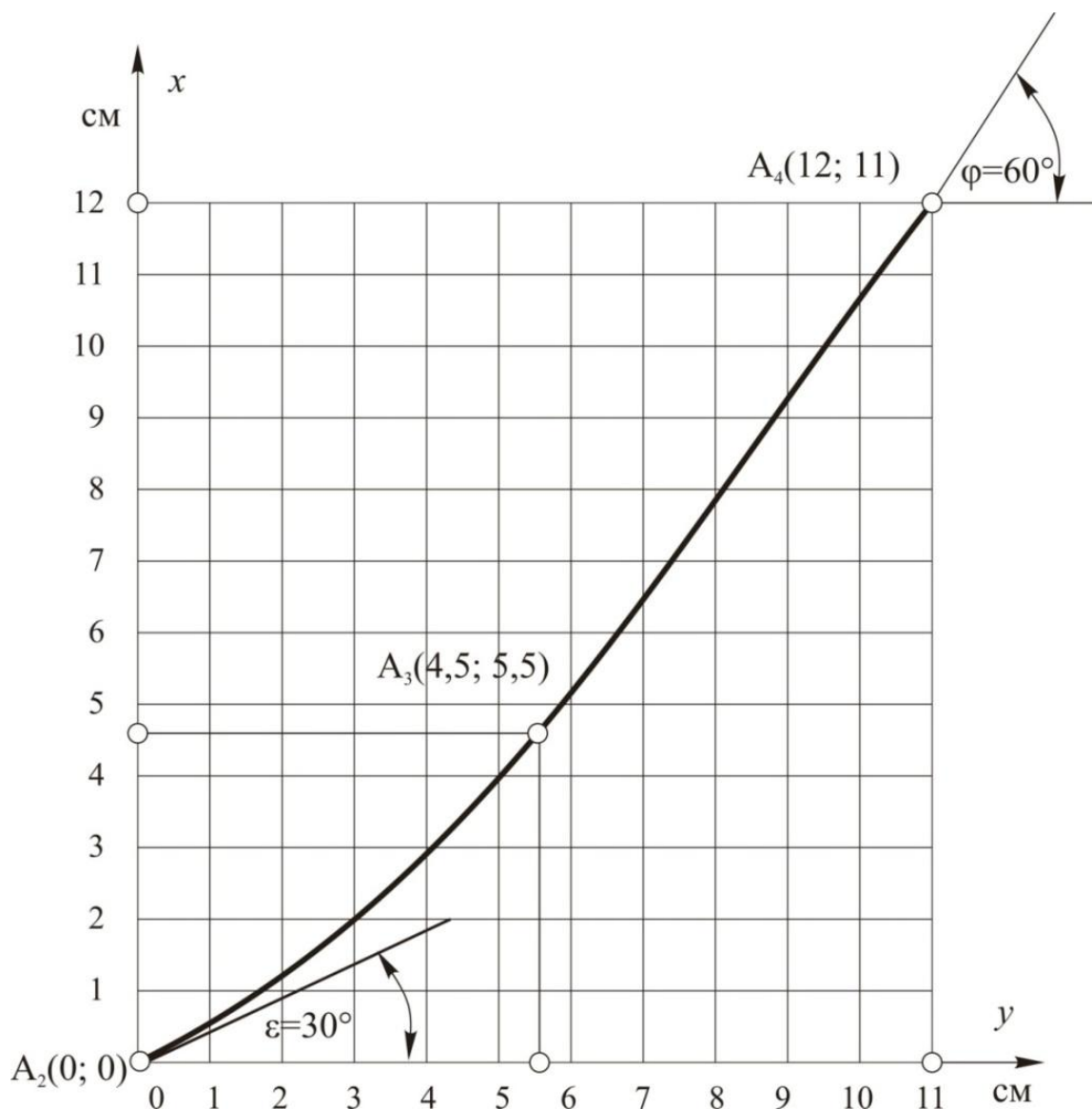


Рисунок 5.1 – Отрезок циклоиды с указанием расчетных координат точек 2, 3, 4 для построения рациональных контуров стоек для обработки почвы на разную глубину

На рисунках 5.2; 5.3; 5.4; 5.5 приведены схемы многоконтурных циклоидальных стоек.

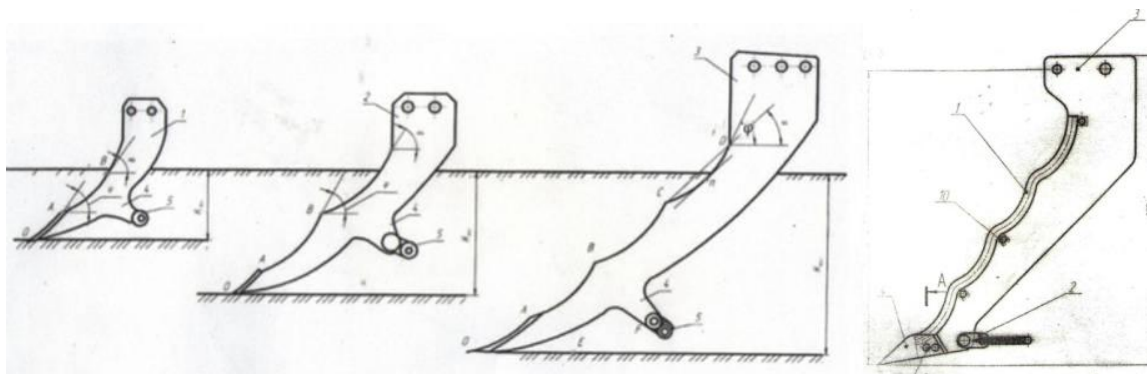


Рисунок 5.2 – Варианты конструктивных схем многоконтурных циклоидальных стоек для разной глубины обработки почвы

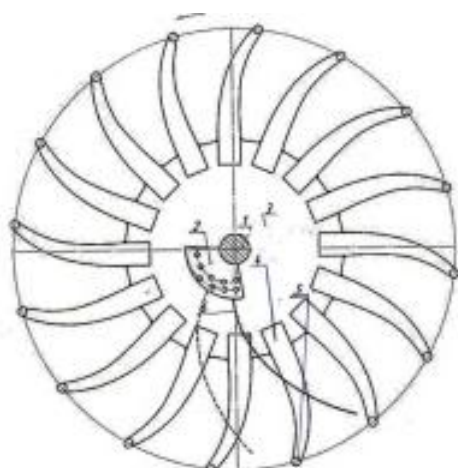
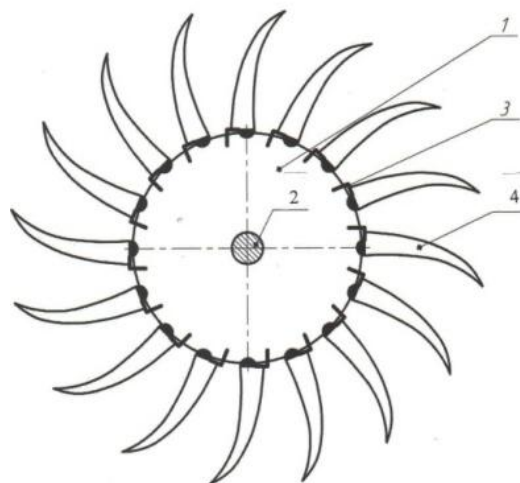


Рисунок 5.3 — Контурная схема сепарирующего диска с циклоидальным кронштейном



1 – диск; 2 – вал; 3 – уголок; 4 – зуб

Рисунок 5.4 – Контурная схема сепарирующего диска с циклоидальными зубьями

4) Развертку линии L (спрямление) циклоидального контура для четырех типов рабочих органов (рисунки 5.1; 5.2; 5.3; 5.4) с углом поворота круга $60 - 120^\circ$ определяют по уравнению

$$L_{\max} = 4R \left(\cos \frac{\alpha_1}{2} - \cos \frac{\alpha_2}{2} \right); \quad (5.3)$$

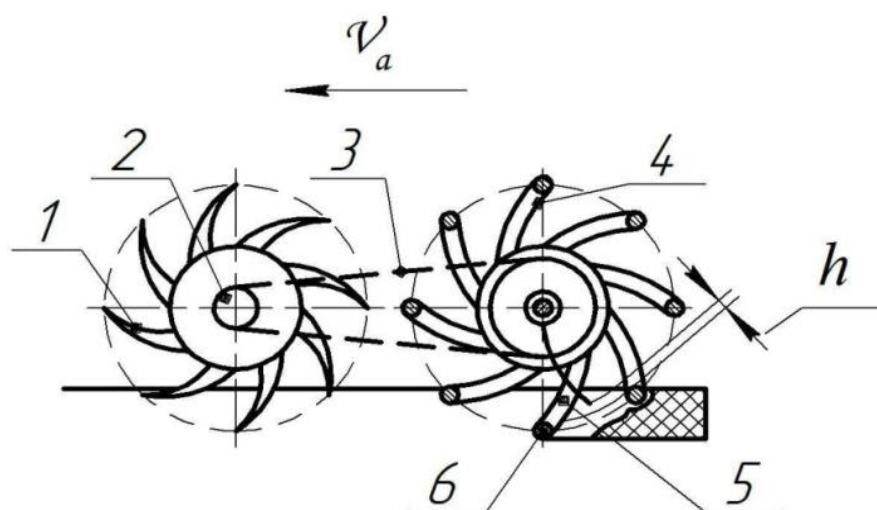
$$60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ, \quad R=11 \text{ см}$$

$$L_{\max} = 4R \left(\cos \frac{\alpha_1}{2} - \cos \frac{\alpha_2}{2} \right) = 4 \times 11 \left(\cos \frac{120^\circ}{2} - \cos \frac{60^\circ}{2} \right) = 16,5 \text{ см.}$$

5.3 Построение контурной схемы циклоидального рыхлителя

Контурная схема рыхлителя-сепаратора приведена на рисунке 5.5.

Она содержит передний и задний роторы с циклоидальными контурами, соединенные цепной передачей. Задний ротор оборудован циклоидальным дробителем глыб. Остальные параметры циклоидальных рабочих органов определяются по формулам таблицы 5.1.



1 – циклоидальный зуб ротора; 2-3 – привод цепной передачи между передним и задним роторами; 4 – передний циклоидальный кронштейн крепления сепарирующих прутов; 5 – кронштейн крепления пруты сепарирующего ротора; 6 – сепарирующие пруты; h – зазор между циклоидальным дробителем глыб и прутым ротора

Рисунок 5.5 — Схема циклоидального рыхлителя-сепаратора (вид сбоку)

5.4 Расчет ротационного циклоидального рыхлителя

Расчету подлежат параметры, приведенные в таблице 5.1.

Порядок расчета и проектирования размерных и режимных параметров разработан в такой последовательности, при которой каждый предыдущий параметр используется для определения последующего, таблица 5.1.

Таблица 5.1—Методика расчета циклоидального рыхлителя-сепаратора

Параметры	Расчётные формулы	Значения элементов формул
1. Диаметр прута	$b_n = L_c / \varphi_0$	L_c – длина проростков сорняков;
2. Радиус сепарирующего ротора	$R_k = \frac{h_{\max}}{1 - \cos[0,25(\pi - L_c / \pi)]}$	φ_0 – угол трения сорняка о металл;
3. Передаточное число тормоза	$i = (\sin \Theta)^{-1}$	i – передаточное число привода;
4. Число прутьев на роторе	$n = \frac{2\pi}{0,5\pi - (2\Theta + \varphi_0)}$	b_n – диаметр прута;
5. Зазор между дробителем глыб и прутьями ротора	$h = D_\phi$	h – зазор между комкодробителем и прутьями;
6. Ширина захвата секции ротора	$B_k = h_{\max} / (0,020 \dots 0,025)$	Θ – угол скалывания почвы;
7. Окружная скорость сепарирующего ротора	$v_{окр} = v_a / i$	f_0 – коэффициент трения сорняков о прут;
8. Коэффициент скольжения ротора	$\delta' = 1 - i^{-1}$	D_ϕ – размер комочков почвы;
9. Скорость скольжения ротора	$v_{ск} = v_a \cdot (1 - i^{-1})$	δ' – коэффициент скольжения ротора;
10. Абсолютная скорость прута	$V = \frac{v_a \cdot (i - \cos \alpha_1)}{i \cdot \cos \arctg \frac{\sin \alpha}{i - \cos \alpha_1}}$	V – модуль абсолютной скорости прута;
11. Контур рабочей части циклоидальной стойки	$x = R \arccos \left(\frac{R - y}{R} \right) \pm \sqrt{y(2R - Y)}$	$h_{\max}$ – допустимая глубина обработки;
12. Время движения по циклоиде	$t = \frac{H_{\max}}{2} \arccos \left(1 - \frac{2Y}{H_{\max}} \right)$	n – число прутьев на роторе;
13. Межцентровое расстояние роторов	$A = 0,5D_k + 0,5D_n + h$	N – потребляемая мощность;
14. Зазор h_1 между роторами	40-50 мм	G – сила веса орудия;
15. Расход мощности	$N = v_a \left[fG + khB \left(1 - \frac{1}{i} \right) \right]$	k – приведенный коэффициент сопротивления почвы;
		D_k, D_n – диаметры тормозящего и сепарирующего роторов.

6 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗРАБОТКИ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

6.1 Техничко-экономические предпосылки для экономии затрат при использовании предлагаемых рабочих органов

При внедрении в сельскохозяйственное производство предложенных ротационно-прутковых сепараторов с циклоидальными стойками для каждого прута, предназначенных для поверхностного рыхления почвы и уничтожения сорняков, а также новых стоек с циклоидальной рабочей поверхностью, предназначенных для более глубокого рыхления почвы и устанавливаемых на культиваторы, щелерезы, чизели, плуги для безотвальной обработки и прочие орудия, создаётся очень много положительных экономических эффектов. Учесть их все в точном экономическом расчёте суммарной выгоды сельскохозяйственному производству не представляется возможным. Можно их оценить лишь в общих чертах прогнозных предположений, а наиболее очевидный эффект рассчитать с более точным обоснованием затрат и объёма выполняемых работ.

В настоящее время в хозяйствах более 50% всех затрат приходится на борьбу с сорняками, а недобор урожая от засоренности полей и низкого качества обработки почвы превышает 1/4 часть его валового сбора.

Засоренность полей приводит к нерациональному использованию основных доз удобрений в земледелии, так как их внесение содействует, прежде всего, росту сорняков, поскольку их вегетация начинается раньше культурных растений [82, 85]. Попытки очистить поля от сорняков при помощи гербицидов не дают желаемого результата, так как сорняки в почве находятся в различных фазах развития, всходы их появляются неравномерно, а ботанический состав сорной растительности не перекрывается спектром действия гербицидов. Цена гербицидов на мало засоренных свекловичных полях европейских зарубежных стран составляет 3900 руб. на гектар или 16,5 % в год при общих затратах выращивания свеклы 25 тысяч рублей на

гектар; на ТСМ расходуется около $4,96 \div 5,0 \%$. Применительно к нашим условиям свекловодства и засоренным полям, затраты на гербициды вместе с амортизационными издержками, затраты на технику и технологию их приготовления и внесения составляют около 3770 руб. на гектар. Обработка почвы циклоидальными рабочими органами и ротационными рыхлителями-сепараторами сорняков при выращивании сахарной свеклы и зерновых культур уменьшает расход гербицидов и ТСМ, повышает урожай зерновых озимых и яровых культур на 1,9-4.0 ц/га, сахарной свеклы на 15-18 ц/га за счет углубления обработки почвы и дополнительного запаса продуктивной влаги.

6.2 Расчет окупаемости плуга для безотвальной обработки, оборудованного циклоидальными рабочими органами

Рассчитаем экономию затрат и срок окупаемости дополнительных капиталовложений в производство и эксплуатацию навесного четырёхкорпусного плуга ПН-4-35, оборудованного циклоидальными стойками и выполняющего глубокую безотвальную обработку почвы с трактором Т-150К. Этот агрегат назовём проектным, а для сравнения примем базовый агрегат с таким же трактором и плугом, но оборудованным стойками с прямыми вертикальными рабочими поверхностями. За доминирующий положительный фактор в экономическом расчёте примем уменьшение силы сопротивления орудия, рассчитанное теоретически и экспериментально подтверждённое в рамках настоящей диссертационной работы. Уменьшение силы сопротивления орудия даёт возможность работать с большей скоростью и производительностью.

Для определения размера дополнительных капиталовложений на производство проектного плуга примем отпускную цену на плуг ПН-4-35 по данным прайс-листов ООО ПФК «Воронежский станкозавод-Холдинг» за 2014 год (67 650 руб.) и отпускную цену четырёх циклоидальных стоек, изготовленных на Грязинском культиваторном заводе (26 000 руб.).

Расчёт производительности сравниваемых агрегатов

По нашим опытным данным, сила сопротивления плуга с циклоидальными стойками при работе по стерневому фону на глубине 37-38 см составила 27,0 кН, а с прямыми стойками – 33,5 кН. По тяговой характеристике трактора Т-150К, он может работать с проектным плугом на третьей передаче с крюковым усилием 32,0 кН и рабочей скоростью 9,01 км/ч, а с базовым – на второй с крюковым усилием 37,4 кН и рабочей скоростью 7,36 км/ч.

Производительность агрегатов определяем по формуле

$$W=0,1BV\tau, \quad (6.1)$$

где W – часовая производительность агрегата, га/ч;

B – рабочая ширина захвата, $B = 1,4$ м;

V – рабочая скорость движения, км/ч;

τ – коэффициент использования рабочего времени, на пахоте принимается $\tau = 0,9$.

У проектного агрегата производительность равна 1,14 га/ч, а у базового – 0,93 га/ч. Часовой расход топлива принимаем одинаковым для обоих агрегатов $G_T = 30,0$ кг/ч.

Исходная информация для экономической оценки проектного агрегата

Исходная информация для экономической оценки проектного агрегата помещена в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Сведения для экономического расчёта

Показатели	Базовый вариант	Проектный вариант
1	2	3
Трактор	Т-150К	Т-150К
Марка рабочей машины	ПН-4-35	ПН-4-35*
Стоимость трактора, руб.	1 650 000	1 650 000
	67 650	93 650
Стоимость 1 рабочей машины, руб.		

Окончание таблицы 6.1

Показатели	Базовый вариант	Проектный вариант
1	2	3
Норма амортизации, %		
для трактора	9,1	9,1
для рабочей машины	11	11
Норма отчислений на ремонт, ТО, замену шин и хранение техники, %		
для трактора	12,5	12,5
для плуга	9	9
Годовая загрузка, ч		
для трактора	1600	1600
для плуга	500	500
Норма выработки, га/ч	0,93	1,14
Часовой расход топлива, кг/ч	30	30
Комплексная цена топлива, руб./кг	31,4	31,4
Часовая оплата труда с начислениями	176	176

*) – плуг оборудован экспериментальными рабочими органами

Расчёт экономии производственных затрат

В расчёте допускается, что агрегат эксплуатируется в течение 9 лет, и каждый год продолжительность эксплуатации плуга составляет 500 часов, а трактора – 1600 часов.

Таблица 6.2 – Сравнение затрат на 500 часов работы плуга

Базовый агрегат	Проектный агрегат
Амортизационные отчисления по агрегату	
Трактор $\frac{1650 \cdot 0,091 \cdot 500}{1600} = 46,92$ тыс. руб.	Трактор $\frac{1650 \cdot 0,091 \cdot 500}{1600} = 46,92$ тыс. руб.
Плуг $67,65 \cdot 0,11 = 7,44$ тыс. руб.	Плуг $93,65 \cdot 0,11 = 10,30$ тыс. руб.

Окончание таблицы 6.2

Базовый агрегат	Проектный агрегат
Отчисления на ремонт и техобслуживание	
Трактор $\frac{1650 \cdot 0,125 \cdot 500}{1600} = 64,45$ тыс. руб.	Трактор $\frac{1650 \cdot 0,125 \cdot 500}{1600} = 64,45$ тыс. руб.
Плуг $67,65 \cdot 0,09 = 6,09$ тыс. руб.	Плуг $93,65 \cdot 0,09 = 8,43$ тыс. руб.
Стоимость израсходованных ТСМ	
$30 \cdot 31,4 \cdot 500 = 471,00$ тыс. руб.	$30 \cdot 31,4 \cdot 500 = 471,00$ тыс. руб.
Оплата труда механизатора	
$500 \cdot 176 = 88,00$ тыс. руб.	$500 \cdot 176 = 88,00$ тыс. руб.
Итого 683,90 тыс. руб.	Итого 689,10 тыс. руб.
Наработка за 500 часов работы агрегата	
$500 \cdot 0,93 = 465$ га	$500 \cdot 1,14 = 570$ га
Себестоимость обработки 1га	
$683,90 : 465 = 1,47$ тыс. руб.	$689,1 : 570 = 1,21$ тыс. руб.
Суммарные затраты на обработку 570 га	
$570 \cdot 1,47 = 837,90$ тыс. руб.	$570 \cdot 1,21 = 689,10$ тыс. руб.

Из таблицы 6.2 вытекает, что размер инвестиционного эффекта за год работы проектируемого плуга составит

$$\mathcal{E}_T = 837,90 - 689,10 = 148,80 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем экономический эффект за срок эксплуатации проектного агрегата при ставке банковского процента 12%. Для этого применяем формулу

$$K_m = \mathcal{E}_T \cdot \frac{(1 + NS)^T - 1}{NS}, \quad (6.2)$$

где $\mathcal{E}_T$ – экономия в издержках производства, тыс. руб.;

NS – ставка банковского процента, $NS = 0,12$;

T – срок эксплуатации агрегата, $T = 9$ лет.

$$K_m = 148,8 \cdot \frac{(1 + 0,12)^9 - 1}{0,12} = 2\,199 \text{ тыс. руб.}$$

Определяем цену спроса на комплекс ресурсов для реализации проекта:

$$D_p = \frac{K_m}{(1+NS)^T} . \quad (6.3)$$

$$D_p = \frac{2199}{1,12^9} = 792,98 \text{ тыс. руб.}$$

Цена спроса говорит о том, какую сумму надо положить в банк, чтобы за 9 лет получить в качестве процентов тот же экономический эффект, что и от внедрения проектного варианта почвообрабатывающего агрегата.

Коэффициент эффективности капитальных вложений определяется по формуле:

$$E_T = T \sqrt[T]{\frac{K_m}{K_0}} - 1, \quad (6.4)$$

где K_0 – капитальные вложения.

$$E_T = \left(9 \sqrt[9]{\frac{2199}{93,65}} \right) - 1 = 0,42.$$

Коэффициент эффективности капитальных вложений должен быть выше ставки банковского процента, то есть $E_T > NS$. $0,42 > 0,12$.

Определим срок окупаемости проекта:

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{K_0 \cdot NS}{\mathcal{E}_T}\right)}{\ln(1+NS)} . \quad (6.5)$$

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{93,65 \cdot 0,12}{148,8}\right)}{\ln(1+0,12)} = 0,7 \text{ года.}$$

По сравнению с нормативным сроком эксплуатации сельскохозяйственной техники срок окупаемости предложенных почвообрабатывающих орудий оказался довольно коротким.

Результаты расчёта сведены в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Показатели экономической эффективности циклоидальных стоек при безотвальной обработке почвы агрегатом Т-150К+ПН-4-35

Показатели	Значение показателей
Срок эксплуатации проекта, год	9
Инвестиционные вложения, тыс. руб.	93,65
в т.ч.: в основные средства, тыс. руб.	93,65
Годовой экономический эффект, тыс. руб.	148,80
Экономический эффект за срок реализации проекта, тыс. руб.	2 199,00
Цена спроса на комплекс ресурсов для реализации проекта, тыс. руб.	792,98
Коэффициент эффективности вложений	0,42
Срок окупаемости, год	0,7

6.3 Выводы по разделу 6

1. Внедрение в производство роторно-пруткового рыхлителя для поверхностной обработки почвы и безгербицидной борьбы с сорняками не поддаётся точному расчёту экономического эффекта, так как орудие не имеет аналогов в технических средствах для растениеводства, а составляющие его положительной эффективности слишком разнообразны в плане энергетики, экологии, продуктивности растений, стоимости гербицидов и т.д. Можно лишь с уверенностью утверждать бесспорную целесообразность внедрения этих несложных орудий для полевых операций по уходу за парами, предпосевной обработке и довсходовому рыхлению.

2. По результатам расчёта экономической эффективности внедрения в производство циклоидальных стоек при глубокой безотвальной обработке почвы на примере использования плуга ПН-4-35 оказалось, что окупаемость дополнительных капиталовложений на изготовление стоек реализуется гораздо раньше срока эксплуатации агрегата и составляет 0,7 года по сравнению с девятью годами эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общие выводы

1. Новый способ борьбы с сорняками и предпосевной обработки почвы заключается в применении заторможенного пруткового цилиндрического ротора, прутки которого движутся по удлинённой трохоиде, рыхлят почву на глубину 7 ... 15 см, полностью выравнивают поверхность поля и извлекают проростки сорняков на дневную поверхность.

2. Основной характеристикой технологического процесса ротационных циклоидальных рыхлителей является режим скольжения прутьев, который характеризуется коэффициентом скольжения, зависящим от передаточного отношения тормозящей цепной передачи, его рациональное значение— 0,5 ... 0,75.

3. При движении горизонтальной штанги или прутка в рыхлом горизонте силами трения формируется активный слой почвы, в котором скорость послойного смещения почвенных фракций убывает по закону показательной функции $v=v_a \cdot e^{-k \cdot c}$ с градиентом затухания скорости $k = 0,27$. Максимальная толщина активного слоя для частиц диаметром от 2 до 10 мм изменяется соответственно от 19 до 37 мм.

4. Рациональный диаметр прутьев у цилиндрического сепарирующего ротора зависит от длины проростков сорняков и их коэффициента трения о прутки; в большинстве случаев он должен быть равен 15 ... 25 мм.

5. Высота остаточных гребешков при обработке почвы сепарирующим ротором является основным аргументом при выборе диаметра ротора и числа прутьев, так как остаточные гребешки ухудшают равномерность глубины заделки семян при предстоящем посеве.

6. При сравнительно низких окружных скоростях приторможенных рабочих органов (1,5 ... 2 м/с) высокое качество предпосевной обработки почвы достигается увеличением поступательной скорости агрегата; предельно

низкая скорость должна быть не менее 8 км/ч. Верхний предел скорости движения агрегата качественными показателями технологического процесса не ограничен.

7. Технологическое воздействие циклоидального контура стойки на вертикальный слой почвы включает три зоны:

- первая зона, или верхний участок на глубину от нуля до 15 см, где происходит боковой скол почвы;
- вторая зона, или средний участок на глубину от 15 до 45 ... 50 см, где происходит скольжение пласта с изгибом по контуру стойки;
- третья зона, или нижний участок на глубину от 45 до 50 или от 50 до 55 см, где работает наральник в виде плоского двугранного клина.

8. В соответствии с глубиной обработки почвы на втором участке стойки (30 ... 35 см) радиус окружности, образующей циклоиду, равен 11 см; при угле вхождения в почву 30° угол поворота радиуса образующей окружности равен 60° и средний радиус кривизны в циклоидальной зоне стойки равен 38 см.

9. Одна циклоидальная стойка со штангой при работе на глубину 38 ... 43 см показала тяговое сопротивление в среднем 6,87 кН, что на 15,5% меньше, чем у радиальной, и на 24% меньше, чем у прямолинейной вертикальной стойки. С увеличением скорости движения агрегата от 7,2 до 13,0 км/ч сопротивление циклоидальной стойки увеличивается на 33%, радиальной – на 41% и прямолинейной – на 46%.

10. Метод графоаналитического построения контура циклоидальной стойки основан на использовании участка циклоиды с углами поворота радиуса образующей окружности от 60° до 120° .

11. Расчёт экономической эффективности производства и применения почвообрабатывающих орудий с вновь созданными рабочими органами подтверждает целесообразность их промышленного производства и использования в растениеводстве. Срок окупаемости дополнительных капиталовложе-

ний на изготовление и внедрение циклоидальных почвообрабатывающих стоек не превышает одного года.

Рекомендации производству

Выполненные исследования позволяют рекомендовать сельскохозяйственному производству новую энергосберегающую технологию обработки почвы, а заводам сельскохозяйственного машиностроения – конструктивные схемы машин и орудий, методы их расчета и проектирования.

Для построения оптимальной формы энергосберегающей стойки и зуба ротационного рыхлителя конструкторам заводов сельскохозяйственного машиностроения предложена методика графоаналитического расчета и проектирования контура циклоиды и комбинирования различного числа контуров на одной стойке в соответствии с предполагаемой глубиной обработки почвы проектируемым орудием.

Результаты исследований защищены патентами РФ, и производству предложены новые способы обработки почвы и технические решения энергосберегающих рабочих органов циклоидального типа (патенты на изобретения №№ RU 2474100, RU2475007, 2013 г. «Способ выращивания сельскохозяйственных культур по экологически чистой энергосберегающей технологии», «Энергосберегающая почвообрабатывающая стойка». Грязинский культиваторный завод (Липецк), Белгородагромаш-сервис(Белгород), завод им Медведева (Орел) приступили к оснащению выпускаемых орудий разработанными нами рабочими органами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аксентьева Л.И. Влияние плоскорезной обработки на эффективность удобрений и свойства почвы [Текст] / Л.И. Аксентьева - под ред. В.А. Джамалы //.- Киев: 1981. - С. 71-73.
2. Алиев С.А. Экология и энергетика биохимических процессов почв. [Текст] / С.А. Алиев //.- Баку: ЭЛМ- 1976. - 253 с.
3. Анилович В.Я. Основы статистической теории линейных колебаний скоростных машинотракторных агрегатов [Текст] / В.Я. Анилович // Труды ВИМ, т. 37, М. - 1963. - С. 75-83.
4. Анилович В.Я. и др. Эксплуатационная надежность сельскохозяйственных машин [Текст] / В.Я. Анилович // Минск: «Ураджай», 1974. - С. 95-97.
5. Анутов Р.М. Динамика и расчет комбинированных машин. Теория, расчет, проектирование и внедрение основных и вспомогательных энергооборудующих рабочих органов (Монография) [Текст] / Р.М.Анутов, А.В. Котельников // Курск, 2013. - 128 с.
6. Артемьев Ю.Н. Основы надежности сельскохозяйственной техники [Текст] / Ю.Н. Артемьев // М.: МИИСП, 1973. - С. 32-34.
7. Аронов Э.И. Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин) [Текст] / Э.И. Аронов // М.: ЦНИИТЭИ, 1970. - С. 64-67.
8. Бабаков И.М. Теория колебаний [Текст] / И.М Бабаков // М.: «Наука», 1965. - С. 15-18.
9. Бартенев И.М. Изнашивающая способность почв и ее влияние на долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] /

И.М. Бартенев, Поздняков // Лесотехнический журнал, 2013, №3(11).- С. 114-123.

10. Бартенев И.М. Оптимизация параметров комбинированного рабочего органа лесного культиватора [Текст] / И.М. Бартенев, М.Н. Лысыг // Лесной журнал. - 2010, №6.- С.89-94.

11. Бартенев И.М. Аналитические исследования рыхлительно-подрезающих лап культиватора для питомников [Текст] / И.М. Бартенев, В.И. Казаков, О.В. Казаков // Лесотехнический журнал, 2011, вып.1(1).- С.17-21.

12. Жданов Ю.М. Технологии и средства механизации агролесомелиоративных работ [Текст] / Ю.М. Жданов, И.М. Бартенев.- Волгоград: ВНИАЛМИ, 2011. - С. 131-132.

13. Басин В.С.Определение рациональной ширины расстановки колес однобрусной сеялки. Исследования и изыскания новых рабочих органов сельскохозяйственных машин [Текст] / В.С. Басин, В.А. Краевой // Совместные труды УкрНИИСХОМ. Вып.5. М.- 1968. - С. 232.

14. Бахтин П.У. Проблемы обработки почвы. [Текст] / П.У. Бахтин / М.-Л. «Знание», 1976. - С. 27-30.

15. Бей А.А. Эффективность противоэрозионных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. [Текст] / А.А.Бей, Н.Ф. Дзюбинский // Киев.- 1981. - С.27-30.

16. Белолипский В.А. Эрозионные процессы и почвоохранная организация пашни агроландшафта [Текст] // В.А. Белолипский // Аграрная наука. - 2001. - №7. - С. 9-11.

17. Берман Г.Н. Циклоида [Текст] / Г.Н. Берман// М.: Наука.- Физматгиз, 1980.- С.- 20-26.

18. Бермант А.Ф. Краткий курс математического анализа [Текст] / А.Ф. Бермант, И.Г. Араманович / М.: Наука, 1969. - С. 218-22.
19. Бурченко П.Н. Машинная низкзатратная и энергосберегающая технология производства зерна с ограниченным применением средств химизации в Центральных районах Нечерноземной полосы [Текст] // П.Н. Бурченко, В.И. Анискин / М.: РАСХН, ВИМ, 1999 .-С. 64-69.
20. Василенко В.В. Воронежские плуги производства ЗАО «АКВА-СВАР» [Текст] / В.В.Василенко, Г.А. Халфин // Воронеж: «Истоки», 2003.- 37 с.
21. Василенко В.В. Влияние вибраций на угол трения почвы по рабочему органу [Текст] / В.В. Василенко, Д.Н. Афоничев, С.В. Василенко, Д.В Стуров // Лесотехнический журнал. - 2013, №3 (11).- С. 123-126.
22. Василенко В.В. История механизации земледелия / [Текст] / В.В. Василенко / Воронеж: ВГАУ, 2010. - С. 14-19.
23. Василенко В.В. Теория и расчёт рабочих органов сельскохозяйственных машин: Курс лекций / В.В.Василенко. – Воронеж: Изд-во ВГАУ, 2007. – 196 с.
24. Василенко П.М. Культиваторы [Текст] / П.М Василенко, П.Т. Бабий // Киев: Издательство академии сельскохозяйственных наук, 1961. - С. 238.
25. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами [Текст] / Ю.А. Ветров // М.: Машиностроение, 1971.- С.- 20-26.
26. Вершинин П. В. Основы агрофизики [Текст] / П. В. Вершинин, М.К. Мельников, А.Ф. Чудновский [и др.] // М.: Физматгиз, 1959. - С. 362-368.

27. Вильямс В.Р. Общее земледелие с основами почвоведения [Текст] / В.Р. Вильямс // М.: Изд. «Новый агроном», 1931. - С. 240-259.
28. Володин В.М. Конструирование экологически устойчивых агро-экосистем [Текст] / / В.М. Володин, И.П.Здоровцев // Земледелие. - 1999. - №1. - С. 18-20.
29. Воробьев С.А. Земледелие [Текст] / С.А. Воробьев, Д.И. Буров, А.М. Тыликов // М.: Колос, 1977. - С. 259-230.
30. Воробьев С.В. Цепные передачи [Текст] Н.В. Воробьев // М.: Машгиз, 1962. - С. 153-164.
31. Гаркуша В.Ф. Энергетические затраты при возделывании озимой пшеницы [Текст] / / В.Ф.Гаркуша, В.А. Грязев // Аграрная наука. - 1999. - №1. - С. 23-24.
32. Гаюпов Х.Э. Технологическое обоснование параметров и исследование устойчивости плоскореза–щелевателя [Текст] / Э.Х.Гаюпов. - Автореферат дис. канд. техн. наук. 05.20.01. - Челябинск / .-1978. – 20 с.
33. Гербициды. Рекламный проспект. [Текст] / L.D. Fruer, D.F. Evans Oxf., Edinburg.- 2001. – 4 с.
34. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности [Текст] // Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев // М., 1965.
35. Голобородько А.А. Влияние гидронавесной системы на колебания колесного трактора [Текст] / А.А. Голобородько // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства / №2, 1967.-С.- 34-35.
36. Горячкин В. П. Собрание сочинений, том 1-3, [Текст] / В. П. Горячкин / М.: Колос, 1965. – С.- 283.
37. Гульяев А. Имитационное моделирование в среде Windows. [Текст] / А. Гульяев // Корона принт. -2000.-432 с.

38. ГОСТ 16468-70. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Основные положения. - 6 с.

39. ГОСТ 17509-72. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Методы определения точечных оценок показателей надежности по результатам наблюдений. - 6 с.

40. ГОСТ 17510-72. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений. - 6 с.

41. ГОСТ 11001-73. Прикладная статистика. Ряды предпочтительных численных значений статистических характеристик. - 6 с.

42. ГОСТ 11002-73. Прикладная статистика. Правила оценки аномальности результатов наблюдений. - 6 с.

43. ГОСТ 11003-73. Прикладная статистика. Равномерно распределенные случайные числа. - 6 с.

44. ГОСТ 11004-74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения. - 4 с.

45. ГОСТ 11006-74. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения и теоретического. - 4 с.

46. ГОСТ 11007-74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров распределения Вейбулла. - 6 с.

47. ГОСТ 13377-75. Надежность в технике. Термины и определения. - 10 с.

48. ГОСТ 11008-75. Прикладная статистика. Правила построения и применения вероятностных сеток. - 8 с.

49. ГОСТ 19460-74. Надежность в технике. Расчет комплексных показателей надежности невосстанавливаемых объектов (без резервирования). - 12 с.

50. ГОСТ 20738-75. Надежность в технике. Расчет комплексных показателей надежности восстанавливаемых объектов (без резервирования). - 12 с.

51. ГОСТ 20831-75. Система технического обслуживания и ремонта техники. Порядок проведения работ по оценке качества отремонтированных изделий. - 16 с.

52. Деревенко В. В. Методика опытного дела [Текст] / В. В. Деревенко // Краснодар: Труды Куб. СХИ вып. 15.- 1967.- С. 27-29.

53. Длин А. М. Математическая статистика в технике. [Текст] / А. М. Длин // М.: «Советская наука», 1958. – С.- 89-93.

54. Довгаль В.Ф. Безгербицидная технология возделывания сахарной свеклы [Текст] / В.Ф. Довгаль // Курск, 1997. - 29 с.

55. Егиазарян Е.В. О некоторых статистических характеристиках профилей полей, засоренных камнями [Текст] / Е.В. Егиазарян // Труды АриНИИМЭСХ, вып.7, Ереван, 1969. – С. 67-71.

56. Ермолов Л.С. Основы надежности сельскохозяйственной техники [Текст] / Л.С. Ермолов, В.М. Кряжков, В.Е. Чеkun // М.: «Колос», 1973. – С. 123-126.

57. Единые требования к конструкции тракторов и сельскохозяйственных машин по безопасности и гигиене труда [Текст] / М., 1987. – С. 12-15.

58. Желиговский В.А. Элементы теории сельскохозяйственных машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов [Текст] / В.А. Желиговский // Тбилиси, 1960. – С. 123-125.

59. Жердев М.Н. Безгербицидная технология возделывания сахарной свеклы. Методическое пособие по применению серийных машин [Текст] / М.Н. Жердев [и др.] // Курск.- 2003.- С.83.
60. Жданов Ю.М. Технологии и средства механизации агро- лесомелиоративных работ [Текст] / Ю.М. Жданов, И.М. Бартенев // Волгоград: ВНИАЛМИ, 2011. – С. 131.
61. Золоторевский В.С. Механические испытания и свойства металлов [Текст] / В.С. Золоторевский // М: Металлургия, 1974.- 303 с.
62. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами [Текст] / А.Н. Зеленин // М: «Машиностроение», 1968. – С. 231-234.
63. Зельцерман И.М. Влияние вибраций сельхозмашин на организм обслуживающего персонала [Текст] / И.М. Зельцерман, А.М. Контонер // Тракторы и сельхозмашины, 1971. - №7.- с. 41-42.
64. Иванов В.П. Популяционно-демографические и экологические аспекты репродуктивного здоровья в Центральном Черноземье [Текст] / В.П. Иванов, М.И. Чурносков, М.А. Кожухов, С.П. Пахомов, В.А. Королев // Курск: КГМУ, 2003. – 203 с.
65. Интенсивная технология производства озимой пшеницы [Текст] / М., Россельхозиздат, 1988. - С. 110-112.
66. Иофинов С. А. Эксплуатация машинотракторного парка [Текст] / С. А. Иофинов // М.: Колос, 1974. – С. 198-202.
67. Иоффе Г. С. Элементы теории операционного исчисления [Текст] / Г. С. Иоффе // М.: «Машиностроение», 1967.- 108 с.

68. Иофинов А.П. Методика статистической оценки траектории движения машинотракторных агрегатов [Текст] / А.П. Иофинов, Н.И. Рыбаков // Уфа: Труды Башкирского СХИ, т.13. ч.4, 1968.- с. 125-127.

69. Испытание сельскохозяйственных машин. [Текст] / ОСТ 70.2.15-73, М.- 1973. - 8 с.

70. Каплун Г.П. Исследование влияния изнашивающих свойств почвы на долговечность деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин. [Текст] / Г.П. Каплун. - Диссертация. Минск.- 1960. – С. 47-52.

71. Карасев А.И. Основы математической статистики [Текст] / А.И. Карасев // Росвузиздат, 1962.- 12 с.

72. Кардашевский С.В. Модели для оценки качественных показателей работы копирующих органов [Текст] / С.В. Кардашевский // М.: Сборник ЦНИИТЭТИ, вып.1, 1968.- с. 27.

73. Кардашевский С.В. Моделирование процессов копирования рельефов рабочими органами сельхозмашин [Текст] / С.В. Кардашевский, А.И. Лесниковский // Конференция по методам испытания сельскохозяйственной техники. ЦНИИТЭИ, М., 1969.- С. 145.

74. Касандрова О.Н. Обработка результатов наблюдений [Текст] / О.Н. Касандрова, В.В. Лебедев //М.: «Наука», 1970. – С. 21-25.

75. Канарев Ф.М. Обработка почвы рисовых полей ротационными машинами и орудиями в зоне рисосеяния Краснодарского края. Автореферат докт. дисс. [Текст] / Канарев Ф.М. // Волгоград. 1974. - С. 7.

76. Карпенко А.Н. Сельскохозяйственные машины [Текст] / А.Н. Карпенко, А. А. Зеленев / М.: Колос, 1965. – 523 с.

77. Качинский Н.А. Физика почв. Часть 2 [Текст] / Н.А. Качинский //М.: Высшая школа, 1970. – С. 196-199.

78. Квасников В. В. Влияние структуры почвы на ее физические и биологические свойства [Текст] / В. В. Квасников // Труды Самарского СХИ 1927. - Гостехиздат. - 1933. - С. 232-234.

79. Кузнецов Ю.И. Почвообрабатывающие орудия зарубежных стран [Текст] / Ю.И. Кузнецов // Земледелие. - 1978, №6. - С. 72-77.

80. Кук Дж. Регулирование плодородия почвы. [Текст] // Дж. Кук//. – М.: Колос, 1970. - С. 501-503.

81. Крикунова Н.И. Исследование динамики частоты врожденных пороков в связи с экологической ситуацией [Текст] / Н.И. Крикунова, Л.П. Назаренко // Материалы 2 итоговой конференции НИИ медицинской генетики под редакцией Пузырева В.П. Томск, 1992. - С. 15-19.

82. Котельников А.В. Механико-технологические основы многофункциональных экологически безопасных комбинированных машин [Текст] / А.В. Котельников // Монография, Курск, 2013.- 198 с.

83. Котельников В.Я. Культиватор для влажных почв [Текст] / В.Я Котельников, А.В. Котельников [и др.] // Сельский механизатор. – 2007. – №7. – С. 13–14.

84. Котельников В.Я.. Безгербицидная технология спорит с гербицидами / [Текст] / В.Я. Котельников, А.В. Котельников // Сельский механизатор. –2008. – №5. – С. 18–23.

85. Котельников В.Я. Мониторинг и оценка технико-экономических показателей сепарирующих машин [Текст] /. В.Я. Котельников, А.В Котельников, [и др] // Вестник ОрелГАУ. – 2010. – № 6(27). – С. 134–136.

86. Котельников В.Я. История развития почвообрабатывающих машин на этапе средневековья [Текст] // В.Я. Котельников, А.В. Котельников [и др.] // Известия Курск. гос. техн. ун-та. – 2007. – № 2(19). – С. -20–24.

87. Корниенко А.В., Национальная научная концепция устойчивого свекловодства для Российской Федерации [Текст] / А.В. Корниенко, А.К. Нанаенко, И.В. Апасов, В.И. Анискин [и др.] // Рамонь, ВНИИС. - 2000. - С. 11-13.

88. Котельников В.Я. Исторический генезис рабочих органов комбинированных машин в земледельческой практике [Текст] / В.Я. Котельников, А.В. Котельников [и др.] // Известия Курск. гос. техн. ун-та. – 2007. – № 4(16). – С. 18– 19.

89. Котельников В.Я.. Исторические аспекты и мониторинг зарубежной сельскохозяйственной техники [Текст] / В.Я. Котельников, А.В. Котельников [и др.] // Известия Курск. гос. техн. ун-та. – 2007. – № 3(20). – С. 19–21.

90. Котельников В.Я. «Автоколебания жестких рабочих органов культиватора». [Текст] / В.Я. Котельников, А.В. Котельников [и др.] // Современные наукоемкие технологии –М.: Изд. РАЕ, 2012.– № 12. – С. 11-13.

91. Котельников А.В. Энергосберегающая почвообрабатывающая стойка [Текст] / А.В. Котельников [и др.] // патент 2475007- «от 20 февраля 2013.

92. Котельников А.В. - «Способ выращивания урожая сельскохозяйственных культур по экологически чистой энергосберегающей технологии» [Текст] / Котельников А.В. [и др.] // патент 2474100/ от 10. 02 2013.

93. Кормановский Л.П. Машинная низкзатратная и энергосберегающая технология производства зерна с ограниченным применением средств химизации в центральных районах нечерноземной полосы [Текст] Л.П. Кормановский [и др.] / М.: РАСХН, ВИМ.- 1999. - С. 64-69.

94. Котельников В.Я.. «Конструкции сепарирующих рабочих органов ». //– Современные наукоемкие технологии [Текст] / В.Я. Котельников, А.В. Котельников [и др.] // М.: Изд. РАЕ, 2013. – № 3. – С. 14-18.

95. Крагельский И.В. Трение и износ [Текст] / И.В. Крагельский // М.: Машгиз, 1962.
96. Кряжков В.М. Энергосберегающие технологии в земледелии [Текст] / В.М. Кряжков [и др.] // М.: МСХ РФ, 1998. - С. 53-59.
97. Кушнарев А.С. Новые рабочие органы для безотвальной обработки почвы. [Текст] / А.С. Кушнарев // Земледелие. - 1982. - №6. - С. 56-57.
98. Ландсман М.И. Статистические характеристики микропрофиля хлопкового поля [Текст] / М.И. Ландсман, А.И. Корсун // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - №3, 1968.- с.23.
99. Лобачевский Я.П. Современное состояние и тенденции развития почвообрабатывающих машин [Текст] / Я.П. Лобачевский, Л.М. Колчина // М. –ФГНУ «Росинформагротех». - 2005. –116 с.
100. Лоренц В.Ф. Износ деталей сельскохозяйственных машин [Текст] / В.Ф. Лоренц / М.: Машгиз, 1948. – С. 123-126.
101. Лурье А.Б. Некоторые вопросы статистической динамики машинотракторных агрегатов [Текст] / А.Б. Лурье // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, №8, 1969.-с.43.
102. Лурье А.Б. Динамика регулирования навесных сельскохозяйственных агрегатов [Текст] / А.Б. Лурье // Л.: «Машино-строение», 1970.- 174 с.
103. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов [Текст] / А.Б. Лурье // Л.: Изд. «Колос», 1970. – 226 с.
104. Лурье А.Б. Развитие статистических методов исследования агрегатов и их систем управления. [Текст] / А.Б. Лурье // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства №3, 1971.- С. 21.

105. Любимов И.А. Статистическая оценка процессов работы противоэрозионных почвообрабатывающих машин. [Текст] / И.А. Любимов, В.К. Бакулин // Механизация и электрификация соци- алистического сель- ского хозяйства. - №4, 1971.

106. Любин В.М. Эффективность выполнения технологических опе- раций универсальными и комбинированными машинами [Текст] / В.М.Любин, С.В. Сабельникова // Информлисток, № 28-3, Ворошилов- град, 1976. – 3 с.

107. Мазитов Н.К. Совершенствование технологии и технических средств поверхностной обработки почвы [Текст] / Н.К. Мазитов // Дисс. в форме доклада д. с-х наук, Казань, 1988. – С. 47.

108. Макарец И. К. Условия образования прочных комков в сугли- нистых почвах [Текст] / И. К. Макарец // М., ВИСХОМ вып. 54. 1969. - С. 123-127.

109. Макарец И. К. Изменение влагоемкости почвы в зависимости от плотности и агрегатного состояния [Текст] / И. К. Макарец // М., ТСХА, вып. 28, 1957. - С. 56-59.

110. Машинная низкзатратная энергосберегающая технология производства зерна с ограниченным применением средств механизации в центральных районах нечерноземной зоны [Текст]/ Информагротэк.-М.- с.- 96.

111. Механизация сельского хозяйства за рубежом [Текст] /. М, 1957. - 112 с.

112. Мероприятия по внедрению операционной технологии ком- плексной механизации возделывания сахарной свеклы [Текст] //, Курск, 1978. – 87 с.

113. Михайлин В.М. Пособие для определения числа объектов наблюдением [Текст] / В.М. Михайлин ГОСНИТИ, 1966. – 16 с.
114. Мичурин Б. Н. Доступность влаги для растений в зависимости от структуры и плотности сложения почв и футов [Текст] / Б. Н. Мичурин // ВАСХНИЛ, Л., 1957. – С. 253-257.
115. Методика определения показателей долговечности и оценки их достоверности по результатам незавершенных испытаний или эксплуатационных наблюдений [Текст] / М., ОНТИ-НАТИ, 1973. - 89 с..
116. Николаенко Н.А. Вероятностные методы динамического расчета машиностроительных конструкций [Текст] / Н.А Николаенко // Изд. «Машиностроение».- М. 1967.
117. Надежность и долговечность машин и оборудования [Текст] / Под ред. А.С. Проникова / Изд. стандартов, 1972.
118. Назаров И.А. эффективность влагонакопительных мероприятий [Текст] / И.А. Назаров // Земледелие. - 1978. - №8. - С. 44-45.
119. Нерпин С.В. Физика почв [Текст] / С.В. Нерпин, А.Ф. Чудновский // Л.: Наука, 1967. - 478 с.
120. Нанаенко А.К. Возделывание сахарной свеклы без гербицидов [Текст] / А.К. Нанаенко, Г.Я. Сергеев [и др.] // «Сахарная свекла», № 4, 2002. - С. 27-32.
121. Обработка почвы комбинированным агрегатом АПК-2,5. [Текст] / Информлисток - Зерноград: ВНИИПТИМЭСХ, 1983. – 16 с.
122. Орнатский Н В. Механика грунтов [Текст] / Н. В. Орнатский // М.: МГУ, 1962.- 253 с.
123. Орсик Л.С. Экономическая эффективность технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур [Текст] / Л.С. Орсик, Е.Л. Ревякин [и др.] // М., 2001. - С. 39-42.

124. Отчет № 32-12-84 Центрально-Черноземной МИС ведомственных испытаний механической технологии сепарации почвы и сорняков и скоростных ротационных машин (сепараторов, катков-сепараторов и прореживателей...). [Текст] / В.Ф. Довгаль [и др.] // 1984 г. – С. 45-49.

125. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления т.1[Текст] / Н.С. Пискунов // М.: Изд. «Наука», 1972. – С. 201-203.

126. Почвовлагодсберегающие технологии и комбинированные машины. [Текст] / А.Ф. Жук, А.П. Спирин, В.В. Покровский // М.: ВИМ, 2001. - С.10.

127. Прахбау Н. Методы теории массового обслуживания и управления запасами [Текст] /Н.Прахбау// .-М.: Машиностроение.-1949.- С.-153.

128. Пугачев В.С. Теория случайных функций [Текст] / В.С. Пугачев // М.: Физматгиз, 1960. - С. 135.

129. Ревут И Б. Физика почв [Текст] / И. Б. Ревут //Л.: Колос, 1966.

130. Ревут И. Б. Как правильно обрабатывать почву [Текст] / И. Б. Ревут // М.: Знание, 1966. - С. 42-45.

131. Рекомендации по энергосберегающему использованию техники в малозатратных технологиях растениеводства [Текст] / Коллектив авторов / М.: РАСХН, ВИМ, Информагротех, 1999. - С. 56-61.

132. Рекомендации по безгербицидной технологии выращивания сельскохозяйственных культур с применением катков-сепараторов [Текст] / Коллектив авторов.- Курск, 1990 . - 45 с.

133. Рабинович И.П. Износ деталей сельскохозяйственных машин и пути повышения их износостойкости. [Текст] / И.П. Рабинович // Сб. «Повышение долговечности машин». - М.: Машгиз, 1956.- С.85.

134. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге [Текст] / А. А. Роде / Л.: Гидрометиздат, 1965. – С. 59-63.
135. Росляков В.П. Аппроксимация корреляционных функций случайных процессов в задачах динамики сельскохозяйственных машин [Текст] / В.П. Росляков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - № 8. - 1969. -С. 47.
136. Росляков В.П. Случайные колебания колесного трактора под влиянием микрорельефа поля [Текст] / В.П. Росляков, В.П. Сверчков / Труды Курского СХИ, т. 5, вып. 3, Воронеж, 1969.
137. Росляков В.П. Определение числа отрывов колес при движении агрегата по случайной поверхности. [Текст] / В.П. Росляков / Труды Курского СХИ, т. 6, Воронеж, 1970.
138. Росляков В.П. Статистические характеристики рельефов обрабатываемых полей [Текст] / В.П. Росляков, В.П. Сверчков, Н.Г. Нахтигаль / Труды Курского СХИ, вып.3, Воронеж.- 1969.-С. 129.
139. Росляков В.П. Случайные колебания колесных тракторов под воздействием рельефа [Текст] / В.П. Росляков, В.П. Сверчков / Труды Курского СХИ, том 5, вып. 3, Воронеж, 1969.
140. Росляков В.П. Аналитическое описание микрорельефа поля. [Текст] / В.П. Росляков, В.П. Сверчков, Н.Ф. Бобрышев // М. - Доклады МИИСП, т. 2, вып.1. - 1965.
141. Росляков В.П. Исследование вертикальных колебаний колесного трактора [Текст] / В.П. Росляков, В.П. Сверчков / Труды Курского СХИ, том.4, Курск, 1967.
142. Рудаков П.И. Обработка сигналов и изображений [Текст] / П.И. Рудаков, В. И. Сафонов / Matlab 5.x. Диалог-МИФИ. -2000.- 416 с.

143. Рыжов С.Н. Влияние строения пахотного слоя на водопроницаемость почвы [Текст] / С.Н. Рыжов // Союз НИХИ, №7, 1935. - С. 38-42.
144. Сальников В.К. Пути повышения корнеобитаемой зоны. [Текст] / В.К. Сальников // Сельское хозяйство за рубежом, №5, М., «Колос», 1977. - С. 34-39.
145. Сапунков А.П. О влиянии вибрации сельскохозяйственных машин на организм человека [Текст] /. Труды ЧИМЭСХ, вып. 21, 1966.
146. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций [Текст] / А.А. Свешников //М.: Изд. «Наука», 1968.
147. Севернев М.М. Долговечность и работоспособность сельскохозяйственных машин [Текст] / М.М. Севернев // В кн. «Вопросы сельскохозяйственной механики», том X, Минск.: Сельхозгиз БССР, 1963.
148. Севернев М.М. Износ деталей сельскохозяйственных машин [Текст] / М.М. Севернев [и др.] / - Л.: Колос, 1972. – 36-45.
149. Селиванов А.И. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники [Текст] / А.И. Селиванов, Ю.Н. Артемьев // М., «Колос», 1978. – С. 124-135.
150. Селиванов А.И. Основы теории старения машин [Текст] / А.И. Селиванов // М.: «Машиностроение», 1971.
151. Сельскохозяйственные машины и орудия (Обзорная информация) Вып.8 [Текст] / под ред. Т.А. Шляминой // М.: ЦНИИТЭИ, 1987.- С.41.
152. Свирщевский Б. С. Эксплуатация машинотракторного парка. [Текст] / Б.С. Свирщевский. - М.: Сельхозгиз., 1958. – 358 с.
153. Семенов А.Н. Зерновые сеялки. [Текст] / А.Н. Семенов // М.: Машгиз, 1959. - С. 18-24.

154. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин [Текст] / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Колос, 1977. - С. 29,45-53.
155. Синеоков Г.Н., Рабочие органы культиваторов, теория конструкция и производство сельскохозяйственных машин, т.4 [Текст] / Г.Н. Синеоков. – М.: Колос, 1977.
156. Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений [Текст] / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин – Барковский. - М.: Изд. «Наука», 1965.- 258 с.
157. Современные тенденции развития сельскохозяйственной техники за рубежом. Сборник рекламных материалов [Текст] / М 1995 .- С. 27-36.
158. Спичак В.В. Технологические качества сахарной свеклы при интенсивном применении гербицидов [Текст] / В.В. Спичак, Н.М. Сапронов [и др.] // Вестник РАСХН, 1997. - N 5.- С.19-22.
159. Спичак В.В. Миграция экологически вредных веществ в продуктах переработки сахарной свеклы. [Текст] / В.В. Спичак, Н.М. Сапронов [и др.]// Сахарная промышленность, 1996. - № 5. – С. 34-37.
160. Соколовский А.В. Исследование износа втулочно-роликовых цепей и влияние неточности монтажа цепной передачи на коэффициент полезного действия. [Текст] / А.В. Соколовский // Диссертация, БПИ, Минск, 1962. С.- 98.
161. Сотсков Б.С., Основы теории и расчета элементов и устройств автоматики и вычислительной техники. Вопросы теории и практики надежности [Текст] / Б.С. Сотсков. - М., 1970.- С. 112-113.
162. Сельскохозяйственные машины. Сборник трудов [Текст] / под ред. А.Н Семенова // М., 1987. – С. 37-45.

163. Тенденции развития чизельных орудий. Сборник переводов ЦНИИТЭИ [Текст] / Д.А. Тряпицин, Л.М. Майорова // М.- 39 с.
164. Туев Н.А. Влияние различных способов обработки почв на интенсивность микробиологических процессов гумусообразования. [Текст] / Н.А. Туев. - Алма-Ата: 1982. - С. 14-16.
165. Тишлер В. Сельскохозяйственная экология. Пер. с немецкого, 2 изд. [Текст] / В. Тишлер. - М., 1994. – С.- 203 с.
166. Труфанов В.В. Рекомендации по применению чизельных орудий. [Текст] / В.В. Труфанов, П.Н. Бурченко, Л.С. Орсик, [и др.]. - М., 1988. - С. 12-19.
167. Тутанцев Л.Л. Почвообрабатывающие и посевные комбинированные агрегаты. [Текст] / Л.Л. Тутанцев // Земледелие. - 1983. - №3. - С. 50-53.
168. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] / В.Н. Ткачев. - М.: «Машиностроение».- 1964.- С. 214.
169. Фисюнов А.В. Справочник по борьбе с сорняками. [Текст] / А.В. Фисюнов. - М., 1976. – 253 с.
170. Федоренко В.Ф. Ресурсосбережение в АПК [Текст] / В.Ф Федоренко. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех». - 2012.- С. 28.
171. Хан Г. Статистические модели в инженерных задачах. Пер. с англ. [Текст] / Хан Г., Шапиро С. - М.: «Мир», 1969.- С.14.
172. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание [Текст] / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. - М.: «Наука», 1970.

173. Черников В.А. Экология и устойчивое сельское хозяйство [Текст] / В.А. Черников, А.И. Чекерес, О.А. Соколов [и др.]. - М.: Изд-во МСХА.- 2000.- 359 с.

174. Чесняк Г.Я. Русский чернозем - 100 лет после Докучаева [Текст] / Г.Я. Чесняк, И.Я. Гаврилюк. - М.: Наука, 1983. - С. 186-198.

175. Чижевский М.Г. Определение глубины и частоты обработки по показателям сложения и строения почвы [Текст] / М.Г. Чижевский, И.К. Макарец. - Земледелие, вып. 8, - 1958. - С. 27-29.

176. Шевырев В.С. Колебания трактора при движении с плугом. Работа тракторов и сельхозмашин на повышенных скоростях [Текст] / В.С. Шевырев // Волгоград, 1965.

177. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности [Текст] / Я.Б. Шор. - М., 1962.- 553 с.

178. Энергетическая эффективность возделывания сельскохозяйственных культур [Текст] / В.В. Коринец, А.Ф. Козловцев, З.Н. Козенко [и др.] // - Волгоград: Волгоградский СХИ, 1985. - 32 с.

179. Яцук Е.П. Ротационные почвообрабатывающие машины [Текст] / Е.П. Яцук [и др.]. – М.: Машиностроение, 1971. – 254 с.

180. "Aus der Industrie", Neue Geratekombination für Bestdlungs und Pflegearbeiter, Technik und Landwirtschaft, Heft 8, April 1956. - p. 67-69.

181. Buhr AG., Mounted Grain Drill development, "Agrikultural engineering", vol. 36, №10 Oktober, 1955. – С.- 15-19.

182. Dinglinger E. Über dem Grabewiderstand «Fördertechnik», Bd. 22, 1929.

183. Rath J. Der Schnittvorgang im Sande «Forschungsarbeter auf dem Gebiete des Ingenieurwesens» 1931, H.-с.-350.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Закономерность изменения ускорений и силовых нагрузок от скорости на разных контурах стоек

Точка почвенного пласта движется по рабочему контуру с ускорением. На рисунке 1 расчетное ускорение на рабочих контурах возрастает по криволинейному закону пропорционально скорости. Максимальное ускорение у стойки с логарифмическим контуром, минимальное у стойки с циклоидальным контуром при изменении скорости от 1 до 1,72 м/с.

Силовые инерционные нагрузки на рабочие контуры стоек пропорциональны ускорениям. Для единичной массы силовые нагрузки определяют графики 1,2,3,4 рисунка 1.

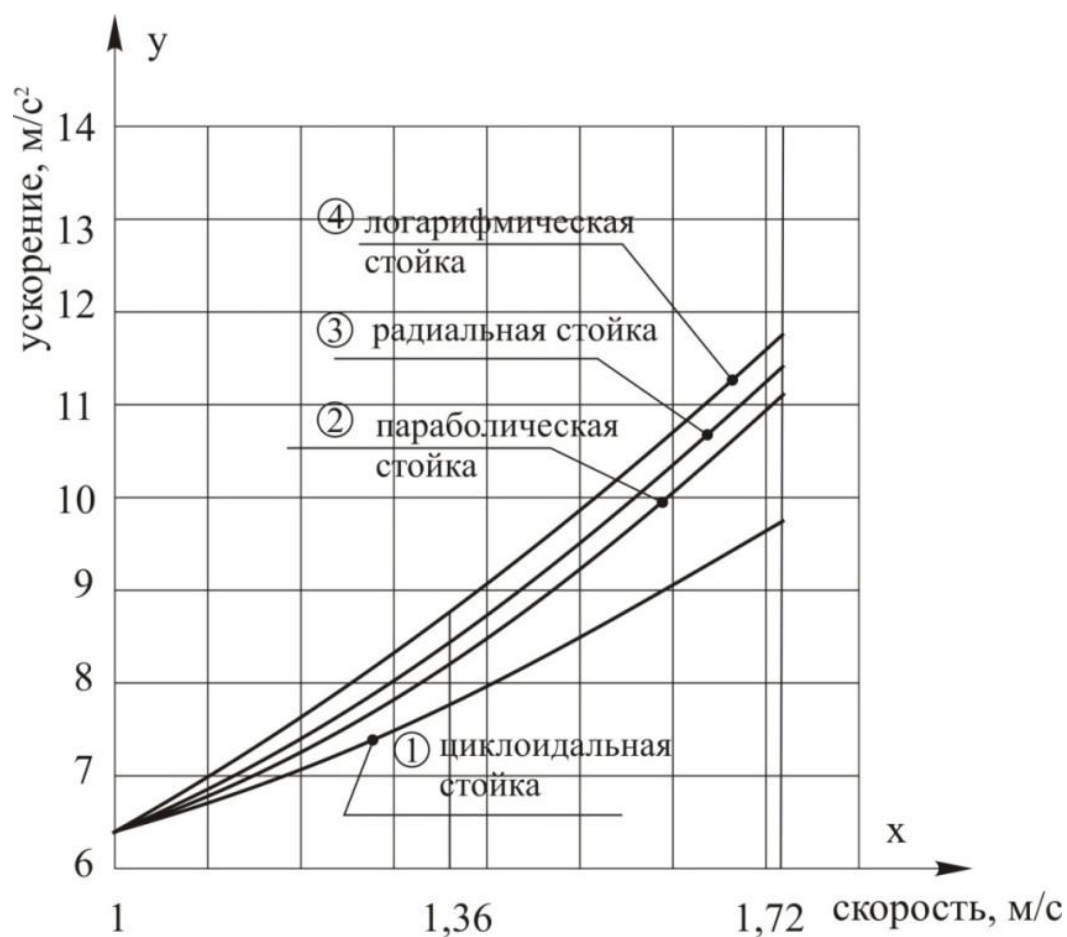


Рис.1. Зависимость ускорений почвы от скорости движения агрегата на логарифмическом, радиальном, параболическом и циклоидальном контуре стоек разной кривизны.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) RU (11) 2 474 100 (13) C2

(51) МПК
A01B 79/02 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011120206/13, 19.05.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.05.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.05.2011

(45) Опубликовано: 10.02.2013 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2197801 C2, 10.02.2003. RU 2218688
C2, 20.12.2003. RU 2362288 C2, 27.07.2009.
SU1136755 A1, 30.01.1985. FR 2400314 A,
16.03.1979.

Адрес для переписки:

305004, г.Курск, ул. Челюскинцев, 23, кв.140,
А.В.Котельникову

(72) Автор(ы):

Котельников Антон Владимирович (RU),
Котельников Владимир Яковлевич (RU),
Котельникова Валентина Ивановна (RU)

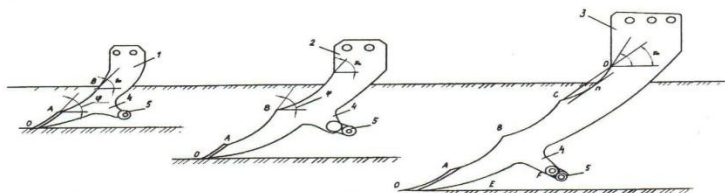
(73) Патентообладатель(и):

Котельников Антон Владимирович (RU),
Котельников Владимир Яковлевич (RU),
Котельникова Валентина Ивановна (RU)(54) СПОСОБ ВЫРАЩИВАНИЯ УРОЖАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

(57) Реферат:

Способ включает послойное рыхление обрабатываемого слоя почвы, внесение удобрений в почву и посев семян. Послойное рыхление осуществляют путем разделения обрабатываемого слоя на три горизонта. Рыхление каждого горизонта производят циклоидальной стойкой. Для накопления в почве влаги, сепарации сорняков и крупных частиц почвы в каждом горизонте формируют мелкокомковатый активный слой почвы. Активный слой почвы формируют путем сдвига и трения слоев почвы под воздействием

боковой поверхности рифленной штанги, закрепленной на кронштейне. После формирования активного слоя почвы проводят посев семян и дождевую сепарацию почвы на посевной площади. Сепарацию почвы производят катками-сепараторами и/или штангами с формированием толщины мелкокомковатого активного слоя почвы составляющей 3,5-4 диаметра прута штанги или катка-сепаратора. Такая технология позволит снизить затраты энергии и повысить экологическую безопасность и качество урожая. 4 ил.



Фиг. 1

Стр.: 1

RU 2 474 100 C2

RU 2 474 100 C2

RU 2 474 100 C2

Изобретение относится к области сельскохозяйственного производства, а именно к экологически безопасным энергосберегающим технологиям, которые выполняются специальными почвообрабатывающими машинами, созданными для этих целей. Способ применим для подготовки почвы под посев сахарной свеклы, зерновых, овощных и кормовых культур.

Известен способ обработки почвы и посева по патенту RU 2197801 от 10 февраля 2003 года, который является наиболее близким аналогом предлагаемому решению. Он включает послойное рыхление пахотного горизонта, внесение удобрений и высев в почву семян основных культур. Формирование борозд производят путем скола почвы на глубину пахотного горизонта с внесением в них удобрений и с образованием между ними плотных перегородок трапецеидальной формы. Последующий сдвиг плотных перегородок осуществляется на глубину заделки семян и производят внесение удобрений в плоскость сдвига. Повторный сдвиг производят на глубину пахотного горизонта с образованием мелкокомковатого слоя в зоне основной массы корневой системы культурных растений и формированием уплотненной прослойки. Высев семян осуществляют на уплотненную прослойку. Верхний слой почвы и сорняки, расположенные выше глубины сева, сепарируют и формируют мульчирующий слой. Такая технология обеспечивает рыхление почвы на глубину основной массы корневой системы, снижает затраты на гербициды и горюче-смазочные материалы. Недостатком известного способа является то, что, во-первых, он не предусматривает полного поглощения влаги путем глубокого рыхления и уничтожения плужной подошвы и создания мелкокомковатой структуры частиц почвы, размером 1-2 мм, в нижнем горизонте за счет послойного трения прутковыми рабочими органами круглого сечения штанговых рыхлителей и катков-сепараторов, а во-вторых, известный способ не обеспечивает поверхностную обработку почвы на мелкую глубину без среднего и глубокого рыхления, когда в этом нет необходимости, при наличии влаги, которой уже достаточно накоплено глубокими обработками ранее.

Кроме того, по сравнению с прототипом, предлагаемый способ универсален, поскольку его можно использовать как одновременно, обрабатывая три почвенных слоя на всю глубину сразу, либо раздельно, например, глубокую обработку раз в 3-4 года, а мелкую предпосевную обработку проводят каждый год, либо со вторым, либо с третьим слоями отдельно. При этом накапливается влага и сохраняется энергия на глубокую обработку почвы через 3-4 года. При этом мелкокомковатое рыхление штангами или катками-сепараторами проводится при обработке каждого слоя.

Задачей изобретения предусмотрено накопление влаги, предпосевное и довсходовое механическое уничтожение путем сепарации сорняков в верхнем слое почвы и на глубине сепарирующими рабочими органами без применения гербицидов, создание мелкокомковатого слоя в каждом горизонте.

Эта задача достигается тем, что почвенный слой толщиной до 60 см условно, а затем настройкой работающих машин, делится по глубине на три горизонта. Первый горизонт глубиной до 10 см (горизонт укладки семян); второй горизонт глубиной от 10 до 20-25 см для выращивания пропашных культур; третий горизонт глубиной 25-60 см обрабатывают с целью накопления влаги и уничтожения водонепроницаемой подошвы. Сорняки и их проростки уничтожают катками-сепараторами и рифлеными штанговыми прутковыми рабочими органами. Мелкокомковатое крошение почвы в первом верхнем, втором среднем и третьем нижнем горизонтах выполняют круглые рифленые штанги катков-сепараторов и циклоидальных рыхлителей.

Перечень чертежей

RU 2 474 100 C2

На фиг.1 показаны 3 рабочих органа для обработки почвы пахотного слоя общей глубиной до 60 см, который разделен на три горизонта. Рыхление каждого горизонта выполняет культиватор, оборудованный стойками и штангами 5. Верхний горизонт глубиной до 10 см можно обрабатывать раздельно: катками сепараторами, либо штанговыми культиваторами, совместно с катками сепараторами, в зависимости от задач технологии.

Каждый горизонт обрабатывают циклоидальной энергосберегающей стойкой и рифленой штангой 5, укрепленной на кронштейне 4 (фиг.1).

На фиг.2 показан комбинированный со стойками, каток-сепаратор (вид сверху), для сепарации почвы и сорняков по предлагаемому способу.

На фиг.3 показан комбинированный каток-сепаратор для сепарации почвы и сорняков по предлагаемому способу (вид сбоку).

На фиг.4 показано формирование сепарированного «активного слоя» почвы (C_a , C_1 , C_2) при движении агрегата в направлении V_a для последующей укладки семян при посеве без гербицидов.

Движение прута ротора и прута штангового культиватора равнозначно создает в почвенном горизонте послойное трение и перемещение почвенных частиц с некоторой скоростью, которая, по мере удаления от поверхности прута, уменьшается.

Общее расчетное уравнение скоростей слоев почвы от послойного трения имеет вид (фиг.4) (доказательство не приводится):

$$v = v_a e^{-kx} = v_a \frac{1}{e^{kx}}$$

с положительным показателем степени при e , но в знаменателе.

Поскольку у первого подвижного слоя толщина активного почвы в точке контакта между частицей и штангой равна нулю, то скорость v_1 у частиц первого слоя от послойного трения будет равна скорости агрегата v_a или

$$v_1 = v_a.$$

У последнего подвижного слоя скорость частиц примерно равна нулю, а по толщине активного слоя x изменяется в пределах:

$$0 < x < x_a,$$

где x - скорость движения любого почвенного активного слоя от послойного трения, вызываемого силами трения, движущейся штангой культиватора и прута катка-сепаратора;

v_a - скорость агрегата с культиватором или катком-сепаратором (м/с);

e - основание натурального логарифма ($e=2,7$);

k - градиент уменьшения (снижения) скорости между смежными подвижными почвенными частицами по толщине подвижного слоя;

x_a - толщина активного слоя почвы C_1 и C_2 (фиг.4), создаваемого по обе стороны движущейся штанги.

Активный подвижный слой по глубине равен 4-5 слоям средних диаметров почвенных частиц, сдвигаемых штангой.

Нашими опытами установлено, что для сеяных фракций почвы диаметром от 2 до 10 мм суммарная толщина активных слоев (C_a , C_1 , C_2), расположенных по двум сторонам прута и штанги, определяется уравнением:

$$C_a = (3,5-4)d_{\text{прута}},$$

где $d_{\text{прута}}$ - диаметр прута рифленой штанги.

Так, для прута сепарирующего ротора, диаметром 25-30 мм, толщина «активного слоя» составляет около 100 мм. Аналогичная толщина «активного слоя» имеет место и

RU 2 474 100 C2

при работе рифленого прута штанговой циклоидальной стойки культиватора.

Приведенная математическая оценка скоростей частиц послужила основанием для установки рифленой штанги на циклоидальной стойке и роторах катков-сепараторов.

5 Эти параметры сепарирующего «активного слоя» необходимо учитывать при описании заявки и при обработке почвы и выполнении технологии, что обеспечивает капиллярный подъем и накопление влаги в каждом слое и в зоне «активного слоя» при укладке семян после посева.

Сепарацию плантаций производят до появления всходов.

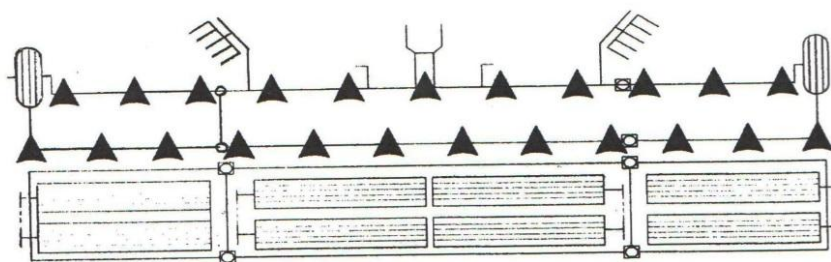
10 Сепарация верхнего слоя почвы, выбрасывание на поверхность сорняков и создание уплотненного ложа под высеваемые семена обеспечивает получение дружных всходов культурных растений. Операцию выполняют катком-сепаратором в комбинации с циклоидальной стойкой (фиг.2 и 3) либо штангой 5, установленной на кронштейне 4 (фиг1), а также однофункциональными отдельными машинами.

15 Перечисленные компоненты, раскрытые в описании заявочного материала, дают основания для изложения формулы изобретения с учетом высказанных экспертом замечаний и предложений.

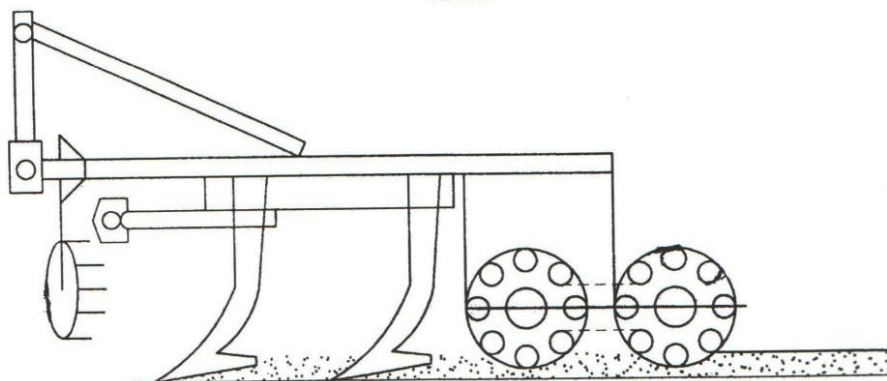
20 Формула изобретения

Способ выращивания сельскохозяйственных культур по экологически чистой энергосберегающей технологии, включающий послойное рыхление обрабатываемого слоя почвы, внесение удобрений в почву и посев семян, отличающийся тем, что послойное рыхление осуществляют путем разделения обрабатываемого слоя на три 25 горизонта с рыхлением каждого горизонта циклоидальной стойкой, причем для накопления в почве влаги, сепарации сорняков и крупных частиц почвы в каждом горизонте формируют мелкокомковатый активный слой почвы путем сдвига и трения слоев почвы под воздействием боковой поверхности рифленой штанги, закрепленной на кронштейне, после чего проводят посев семян и довсходовую сепарацию почвы на посевной площади, причем сепарацию почвы производят катками-сепараторами и/или 30 штангами с формированием толщины мелкокомковатого активного слоя почвы, составляющей 3,5-4 диаметра прута штанги или катка-сепаратора.

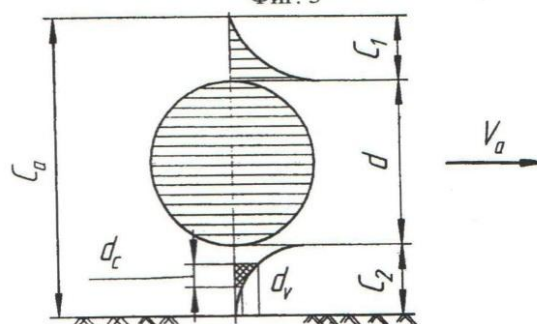
RU 2 474 100 C2



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11) 2 475 007 (13) C2

(51) МПК
A01B 35/20 (2006.01)
A01B 39/20 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011113261/13, 06.04.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.04.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.04.2011

(43) Дата публикации заявки: 20.10.2012 Бюл. № 29

(45) Опубликовано: 20.02.2013 Бюл. № 5

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2329628 C2, 27.07.2008. RU 2161389 C1,
10.01.2001. SU 1466668 A1, 23.03.1989. RU
2197073 C1, 27.01.2003.

Адрес для переписки:

305004, г.Курск, ул. Челюскинцев, 23, кв.140,
А.В. Котельникову

(72) Автор(ы):

Котельников Антон Владимирович (RU),
Котельников Владимир Яковлевич (RU),
Котельникова Валентина Ивановна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Котельников Антон Владимирович (RU),
Котельников Владимир Яковлевич (RU),
Котельникова Валентина Ивановна (RU)

(54) ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ СТОЙКА

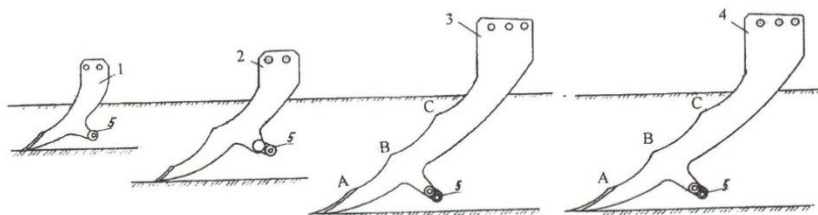
(57) Реферат:

Стойка содержит задний и передний контуры. Передний контур стойки образован двумя или более пересекающимися отрезками циклоид. Максимальные углы наклона касательных к траекторий каждой пары отрезков циклоид в точках их пересечения не превышают угла ϕ трения почвы о металл. При выполнении переднего контура стойки, образованного более чем двумя отрезками циклоид, передний контур стойки по высоте имеет пилообразный профиль. Угол α между прямой линией, соединяющей точки пересечения смежных отрезков циклоид

меньше угла ϕ трения почвы о металл на величину, равную половине углов наклона, касательных к отрезку каждой циклоиды, охватывающих половину ее отрезка. Высота стойки пропорциональна глубине обработки почвы. Количество отрезков циклоид увеличивается с увеличением глубины обработки почвы. Стойка на заднем контуре имеет кронштейны, шарниры и штангу. Такое конструктивное выполнение позволит снизить затраты энергии и повысить экологическую безопасность и качество обработки почвы и, как следствие, урожая сельскохозяйственных культур. 1 ил.

RU 2 475 007 C2

RU 2 475 007 C2



Энергосберегающая почвообрабатывающая стойка, (вид сбоку).

1,2,3- Последняя глубина обработки почвы пропорционально количеству парных отрезков циклоид.

4 -округленные парные отрезки циклоид в точках A,B,C, на пилообразном переднем контуре стойки.

Фиг.1

RU 2475007 C2

RU 2475007 C2

RU 2 475 007 C2

Изобретение относится к области сельскохозяйственного машиностроения, а именно для обработки почвы, и может быть эффективно использовано в системе энергосберегающих экологически безопасных обработок почвы при разных технологиях выращивания экологически чистого урожая сельскохозяйственных культур и разных глубин обработки почвы, $H_{\max}$.

Известно устройство для обработки рыхлых гетерогенных полидисперсных материалов, например почв, рабочая поверхность которых выполнена по параболическому закону, предложенному проф. Н.В.Щучкиным, см. книгу Турбин Б.Г., Лурье А.Б. Сельскохозяйственные машины, и др. - М.: Машиностроение, 1967 г., стр.22-23. Недостатком этого устройства является то, что оно не оптимизировано по сопротивлению, режимам и затратам энергии на обработку при переменной глубине хода рабочих органов.

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому изобретению является устройство, авт.св. 2161389, имеющее циклоидальную форму переднего контура профиля стойки и задний контур стойки, выполненный огибающей линией произвольной конструктивной формы. Оно пригодно только для обработки полидисперсных сред.

Это изобретение обладает недостатком, поскольку его невозможно использовать для обработки почв одной стойкой при различных максимальных глубинах обработки $H_{\max}$, поскольку величина $H_{\max}$, в технологиях меняется от 4 до 60 см, например при подготовке почвы под посев свеклы, требуется максимальная глубина $H_{\max}=4$ см, и обработка почвы с углублением пласта, когда глубина должна составлять максимальную глубину $H_{\max}=60$ см. Поскольку каждая стойка применяется и настраивается на определенную технологическими задачами глубину обработки почвы, которая варьирует от 4 до 60 см.

Задача изобретения - снижение затрат энергии, повышение качества обработки и экологической безопасности урожая.

Поставленная задача решается тем, что для обработки почв на различную глубину обработки $H_{\max}$ предлагается применять энергосберегающую почвообрабатывающую стойку, у которой передний контур по мере возрастания глубин обработки $H_{\max}$ образован отрезками 2, 3, 4, 5 и более пересекающихся под острым углом либо округленных парных отрезков циклоид. Для неокругленных циклоид переднего контура переход одной циклоиды в другую осуществляют в виде пилообразного профиля, с максимальными углами наклона касательных к отрезкам каждой парной циклоиды, не превышающими угол φ трения почвы по металлу, а угол α - между горизонталью (абсциссой) и прямой линией, соединяющей точки пилообразного пересечения отрезков парных циклоид и касательной к округленным отрезкам парных циклоид рабочего контура стойки, меньше угла φ трения, на величину половины угла наклона касательных, проведенных к парным отрезкам каждой циклоиды. Для округленных отрезков парных циклоид луч угла наклона касательных к вершинам округления парных отрезков циклоид параллелен лучу угла наклона линии, проходящего через точки А, В, С, пересечения отрезков парных циклоид, находящихся несколько выше дуги окружности округления. То есть углы α наклона линий остаются равными друг другу. Высота стойки возрастает пропорционально возрастанию максимальной глубины $H_{\max}$, обработки почвы от 4 до 60 и более см. Экологическая безопасность урожая при работе стойки достигается механическим выталкиванием вверх на поверхность поля крупных сорняков по обтекаемому профилю стойки и сепарацией штангой нитевидных и вегетирующих

сорняков без применения гербицидов.

На фиг.1 показана энергосберегающая почвообрабатывающая экологически безопасная стойка. На фиг.1 - позиции 1, 2, 3, показаны точки А, В, С, в которых пересекаются парные отрезки циклоид, образуя острый угол α . На Фиг1, позиция 4, показан фрагмент сопряженного округления парных отрезков циклоид в тех же точках А, В, С.

Энергосберегающая стойка, в зависимости от количества парных отрезков циклоид, образующих ее передний контур, настраивается на заданную технологию и обрабатывает почву на оптимальную глубину: с двумя парными циклоидами переднего контура до $H_{\max} = 20$ см, с тремя парными отрезками циклоид обрабатывает почву на глубину до $H_{\max} = 40$ см, с четырьмя пересекающимися парными циклоидами - до $H_{\max} = 60$ см.

Для получения оптимизированного профиля стойки, обеспечивающего свободное скольжение почвы и сорняков вверх по стойке при обработке окультуренных, мало засоренных почв, угол α между горизонтальной линией (абсциссой) и линией, проходящей через точки А, В, С пересекающихся парных отрезков циклоид, не должен превышать угол φ трения почвы и сорняков о металл стойки. Для обработки почв, засоренных особо переросшими и сцепляющимися друг с другом сорняками, острые углы вершин пересекающихся парных отрезков циклоид плавно (сопряженного)округляют, фиг.1 (4).

Отличительной частью энергосберегающей стойки является то, что ее передний контур образован двумя и более пересекающимися отрезками циклоид, а максимальные углы наклона касательных к траекторий каждой пары отрезков, циклоид в точках их пересечения и/или округления, φ не превышают угла трения почвы о металл, причем при выполнении переднего контура стойки, образованного более чем двумя отрезками циклоид, передний контур стойки имеет пилообразный профиль с острыми и/или скругленными зубьями, при этом высота стойки пропорциональна глубине обработки почвы, а количество отрезков циклоид увеличивается с увеличением глубины обработки почвы, причем стойка на заднем контуре имеет кронштейн, шарниры и установленную на шарнире сменную, с рыхлящим и режущим контуром прямую и изогнутую, штагу.

Устройство работает следующим образом. Задается глубина обработки почвы и, если почва сухая, предварительно не обработана, тогда стойка комплектуется штангой с режущим изогнутым энергосберегающим профилем, если почва влажная и не засоренная, тогда стойка комплектуется рыхлящей (круглой) прямой или изогнутой под острым углом к линии тяги штангой. Если предварительно обработанный пахотный слой почвы по технологии требуется углубить без поперечного рыхления, тогда сменную прямую и изогнутую штангу снимают и проводят глубокое осеннее щелевание почвы, для накопления влаги при весеннем снеготаянии.

Применение энергосберегающей стойки штанг и циклоидальных стоек не требует применения гербицидов, со сменными штангами уменьшает затраты труда, времени и средств на обработку почвы и уничтожение сорняков механическим путем без гербицидов за счет их сепарирования профилем штанги. Это повышает экологическую безопасность выращивания урожая

Каждое хозяйство и аграрный парк почвообрабатывающих машин, должны комплектоваться энергосберегающими экологически безопасными штанговыми стойками, которые обеспечат обработку всех почв на различную глубину, по агротехническим требованиям, в технологиях выращивания экологически чистого

RU 2 475 007 C2

урожая.

Формула изобретения

5 Энергосберегающая почвообрабатывающая стойка, содержащая задний и передний контуры, отличающаяся тем, что, с целью снижения затрат энергии, повышения
качества обработки почвы для получения экологически безопасного урожая, передний
контур стойки образован двумя или более пересекающимися отрезками циклоид, а
максимальные углы наклона касательных к траектории каждой пары отрезков
10 циклоид в точках их пересечения не превышают угла φ трения почвы о металл, причем
при выполнении переднего контура стойки, образованного более чем двумя
отрезками циклоид, передний контур стойки по высоте имеет пилообразного профиля,
а угол α между прямой линией, соединяющей точки пересечения смежных отрезков
циклоид, меньше угла φ трения почвы о металл на величину, равную половине углов
15 наклона касательных к отрезку каждой циклоиды, охватывающих половину ее
отрезка, при этом высота стойки пропорциональна глубине обработки почвы, а
количество отрезков циклоид увеличивается с увеличением глубины обработки почвы,
причем стойка на заднем контуре имеет кронштейны, шарниры и штангу.

20

25

30

35

40

45

50

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

1

«Утверждаю»

Генеральный директор ОАО «ГКЗ»,

кандидат технических наук

Анутов Р.М. 5 февраля 2013 г.



АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ
на разработку опытного образца
комбинированного агрегата тяжелой серии
КАТ-3, КАТ-5 КАТ-7, КАТ-9; КАТ-11 шириной захвата
4,5; 7,5; 10,5 ; 13,5; 16,5 метра
с сепарирующими рабочими органами
для обработки влажных и сухих почв

Разработчик: Котельников

A handwritten signature in black ink, likely belonging to A.V. Kotelnikov, is written over a horizontal line.

А.В.

Грязи, 2013

1. НАЗНАЧЕНИЕ МАШИНЫ

1.1. Комбинированный агрегат сепарирующих рабочих органов тяжелой серии КАТ-3, КАТ-5 КАТ-7, КАТ-9; КАТ-11 с шириной захвата секции 1,5 м и шириной агрегата 4,5; 7,5; 10,5 ; 13,5; 16,5 метра с сепарирующими рабочими органами

для предпосевной обработки влажных и сухих почв на глубину до 10см по паро-пропашному фону и после предварительной обработки лемешными лушпильниками и плугами под сахарную свеклу, и основные зерновые культуры, с удельным сопротивлением до $0,8 \text{ кг/см}^2$,

1.2. Индекс конструкторской документации ГКЗ- 1-13 – КАТ и назначение устанавливается с утверждением настоящего ТЗ.

1.3. Агрегат ГКЗ-1-13- КАТ сепараторов и катков-сепараторов устанавливаются фронтально на рамы АК Ш—6Г- ГКЗ, «Евгopak», или «Ехакта» см прилагаемые схемы

Они комплектуются двумя типами сепарирующих рыхлителей с игольчатыми и прутковыми рабочими роторами., изготовленными из круглой арматуры, см прилагаемую схему.

Они комплектуются двумя типами сепарирующих рыхлителей с игольчатыми и прутковыми рабочими роторами., изготовленными круглой арматурной

1.4. Цель разработки: совершенствование экологически чистой технологии выращивания урожая на основе создания новых почвообрабатывающих рабочих органов для комбинированных и одно операционных машин, совмещающих крошение почвы, накопление влаги, энергосбережение, на малогумусных и черноземных почв в условиях недостаточного и высокого увлажнения, сокращение затрат труда, времени и средств по сравнению с типовыми агротехнологиями, выполняемыми на основе серийными машин.

1.5.. Рыхлители ГКЗ-1-13КАТ разрабатываются для замены серийных культиваторов, борон, катков, выполняющих традиционные технологии возделывания сельскохозяйственных культур при дефиците и избытке влаги.

2. ЗОНЫ ПРИМЕНЕНИЯ

2.1. Рекомендуется для зон возделывания зерновых и технических культур по паровым фонам и отвальной обработке почвы в условиях недостаточного и высокого увлажнения.

3. УСЛОВИЯ РАБОТЫ.

3.1. По комплектации агрегаты имеют несколько модульных модификаций по 3,5,7,9 и 11 секций катков - сепараторов и сепараторов..

3.2. Агрегаты работают на очищенных от соломы полях при влажности 12-26 % и удельном сопротивлении 0,35-0,8 кг/см²

4. КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

4.1. Ротационные и прутковые рыхлители при торможении ГКЗ-1-13 КАТ предназначен для ресурсосберегающей обработки почвы и должны обеспечивать рыхление при весновспашке в осенний период и весной, на операциях предпосевной подготовки почвы. Они эффективны при возделывании сахарной свеклы, зерновых культур, подсолнечника сои, картофеля, трав.

4.2.. Использование агрегатов с сепарирующими рабочими органами обеспечивает механическое уничтожение сорняков без применения пестицидов и получение экологически чистой обработки почвы, урожая и продуктов питания для населения.

4.3.. Сухие глыбистые почвы различного физико-механического состава на ровных участках и склонах до 8° обрабатывают на глубину до 10 см при плотности твердой фазы почвы 1,4 - 2,4 г/см³.

При осенней обработке почвы в пахотном слое допускаются комки диаметром не более 50-80 мм., и стерновые минерализованные остатки 100-150 мм., вегетирующие и нитевидные сорняки.

На операциях предпосевной обработки с сепарирующими рабочими органами, комки более 25-40 оставляют не более 3-5 %.

В слое до 8 см качество крошения частиц размером 1-20 мм составляет 95-97 %. При обработке почвы с сепараторами и катками - сепараторами уничтожается 100 % вегетирующих и 85 - 90% нитевидных проростков всех типов сорняков.

5. ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИЕ НАДЕЖНОСТЬ АГРЕГАТА.

5.1. Почвообрабатывающие машины с ротационными рыхлителями ГКЗ-1-13 КАТ могут быть навесными, прицепными или полунавесными и агрегируются с тракторами Т-150 и К-701А и других модификаций. Выбор комплектации и

оптимальной модификации агрегата с рыхлителями производится с учетом агроландшафтных условий, севооборота.

5.2. Агрегат должен иметь устройств для регулировки глубины хода рабочих органов : для в пределах 0- 10 см. Крайние секции должны быть оборудованы словоуказателями для ориентации вождения трактора в ночное время или недостаточной видимости поля. На раме должны быть установлены рыхлящие лапы , разуплотняющие почву и выравнивающие ее последу трактора.

5.3. Точки смазки и регулировки технологического процесса должны быть доступными для ухода за машиной .

Агрегат обслуживает тракторист.

5.4. Повышенная скорость технологического процесса улучшает качество сепарирования почвы и сорняков и выравниваемость поверхности подготовленного к посеву поля.

5.5. Рациональная скорость технологического процесса от 8,5 до 12 км/ч.

Агрегат должен иметь устройство для регулировки глубины хода роторов на перегонах и сворачиваться для транспортных переездов

5.6. Коэффициент надежности технологического процесса не ниже 0,98.

5.7. Коэффициент готовности по оперативному времени 0,98.

5.8. Коэффициент технического использования не ниже 0,96.

5.9. Удельная металлоемкость 600 кг на метр захвата.

5.10. Производительность при скорости 10 км/ч. 4,5-15 гектаров за час рабочего времени.

5.11. Гарантийный срок работы машины 2 года.

6. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ.

* Годовой экономический эффект от энергосбережения, экономии ГСМ, гербицидов и повышения урожайности 100 \$ США на гектар.

7. СРОК ДЕЙСТВИЯ АГРОТРЕБОВАНИЙ 6 ЛЕТ

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

5



«Утверждаю»

Генеральный директор ОАО «ГКЗ»,
кандидат технических наук

Ануров Р.М. февраля 2013 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на модернизацию и комплектование комбинированного широкозахватного
агрегата тяжелой серии АК Ш—6Г сепарирующими рабочими органами
для обработки влажных и сухих почв



РАЗРАБОТЧИК:

Котельников А.В.

Грязи, 2013

1. НАЗНАЧЕНИЕ МАШИНЫ

1.1. Комбинированный агрегат сепарирующих рабочих органов тяжелой серии АК Ш—6Г.. индекс конструкторской документации ГКЗ-2-13 АКТ шириной 6,0; 9 метров предназначен для предпосевной и обработки почв. с удельным сопротивлением до $0,8 \text{ кг/см}^2$, предварительно обработанных лемешными лушпильниками и плугами на глубину 15-30 см. под зерновые культуры и пропашные культуры,

1.23. Агрегат ГКЗ-2-13- АКТ сепараторов и катков-сепараторов устанавливается фронтально на рамы типа АК Ш—6Г ГКЗ, «Европак», или «Ехакта

1.3. Почвообрабатывающие машины с ротационными рыхлителями ГКЗ-2-13 КАТ могут быть навесными, прицепными или полунавесными и агрегируются с тракторами Т-150 К-701А. Выбор комплектации и оптимальной модификации агрегата с рыхлителями производится с учетом агроландшафтных условий, севооборота, почвенного бонитета, влажности почв, имеющихся в хозяйстве машин и специальных требований.

1.4. Агрегат сепарирующими рабочими органами предназначен для ресурсосберегающей обработки почвы и должен обеспечивать высококачественное рыхление в осенний период и при весенней предпосевной обработке плантаций для возделывания сахарной свеклы, зерновых культур, подсолнечника сои, картофеля, трав

1.5. Использование сепарирующих рабочих органов обеспечивает механическое уничтожение сорняков без применения пестицидов и получение экологически чистой обработки почвы и урожая и продуктов питания для населения.

2. ОСНОВАНИЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ

2.1...Литературные источники, результаты предварительных испытаний на МИС.

2.2. Научно-техническое поручение генерального директора ОАО «ГКЗ»

2.3. Многолетние научные исследования, теоретические обоснования конструкции

2.4. Патентные разработки.

3. ЦЕЛЬ И НАЗНАЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ

3.1. Цель разработки : создание новых рабочих органов и комбинированных и одно операционных машин игольчатого и пруткового типа , совмещающих крошение почвы, влагонакопление ,энергосбережение, малогумусных и черноземных почв в условиях недостаточного и повышенного увлажнения, сокращение затрат труда, времени и средств по сравнению с типовыми агротехнологиями ,выполняемыми на основе серийных машин.

3.2. Рыхлители ГКЗ-2-13 АКТ разрабатываются по тяговому классу тракторов 1,5-6 для замены серийных культиваторов, борон, катков, , выполняющих традиционные технологии возделывания сельскохозяйственных культур при дефиците и избытке влаги.

4. ИСТОЧНИКИ РАЗРАБОТКИ

4.1. Экспериментально-технические изыскания ОАО ГКЗ, патенты и изобретения РФ, рекламные проспекты, протоколы ЦЧ МИС на рабочие органы с нашим участием

5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

5.1. Ротационные рыхлители ГКЗ-2-13А КТ устанавливаются на универсальной раме ГКЗ в прицепном и полунавесном исполнении.

5.2. Основные параметры и размеры агрегата при установке на раме:

длина 7,2 м; ширина модулей от 6 до 9 метров

5.3. Конструкции роторов рыхлителя должны быть унифицированы по способу установки на модульные рамы

5.3.1. Количество секций катков-сепараторов и сепараторов на машине ГКЗ-1-13 предусматривает 3,5,7,9 штук.

5.3.2. Ширина захвата секции игольчатого сепаратора при обработке влажных почв 1,5 м.

5.3.3. Ширина захвата секции пруткового катка сепаратора на влажных и сухих почвах 1,5 м.

5.4. Геометрия сепарирующих рабочих органов катков-сепараторов и сепараторов должна соответствовать данным методики расчета и обоснования технологии и конструктивной схемы разработанной нами.

передаточное число привода 2,8-3. Звездочки устанавливаются с двух сторон каждого ротора. Шаг цепи 25,4 или 38 мм. Диаметр диска для приварки уголков и пальцев 300 мм из мягкой стали СТ-3, толщиной 8-10 мм. Расстояние между дисками на валу 500 мм. Сепарирующий палец ротора из стали СТ-30 диаметром 22-25 мм приварен к радиальной консольной пластине сечением 20x40 мм, либо двум круглякам по 20 мм, под прямым углом с длиной продольного прута 1510 мм. Количество прутков на роторе 14 через 25,7°. Длина пальца по радиусу игольчатого диска 150 мм. Диаметр сварного барабана по концам изогнутых пальцев и консолей с прутами 600 мм

5.5. Радиальная консоль для крепления прутьев 150 мм. Внутри прутковых роторов установлены дробители глыб, выполненные в виде сварных полых емкостей на круглых кольцах увеличенного диаметра 150-180 мм для догрузки почвой или металлическими отходами. Передний и нижний контуры дробителя выполнены по профилю двух сопряженных циклоид и на задней части внизу дробителя установлены гибкие чистики.

5.6. Рабочие поверхности пальцевого сепаратора должны иметь упрочняющие покрытия и повышенную твердость и стойкость на абразивный износ

5.7. Конструкции узлов и деталей должны обеспечивать удобство и простоту обслуживания, и технологичность изготовления.

6. ПОКАЗАТЕЛИ НАЗНАЧЕНИЯ

6.1. Сухие глыбистые почвы различного физико-механического состава на ровных участках и склонах до 8° обрабатываются на глубину до 8 см. при плотности твердой фазы почвы 1,4 - 2,4 г/см³.

6.2. На операциях предпосевной обработки с сепарирующими рабочими органами, комки более 25-40 оставляют не более 3-5 %.

6.3. При осенней обработке почвы в пахотном слое допускаются комки диаметром не более 50-80 мм., и стерневые минерализованные остатки 100-150 мм., вегетирующие и нитевидные сорняки.

6.4. В слое до 8 см качество крошения частиц размером 1-20 мм составляет 95-97 %. При обработке почвы с сепараторами и катками – сепараторами

уничтожается 100 % вегетирующих и 85 -90% нитевидных проростков всех типов сорняков .

7.ТРЕБОВАНИЯ К МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ И ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

7.1. Конструкция сепарирующего рыхлителя ГКЗ-1-13 АКТ должна исключать применение дорогостоящей оснастки, сборочные единицы должны быть легкосъемными ,обеспечивать сборку и разборку узлов ,замену изношенных деталей комплектующими запасными частями в условиях простейших ремонтных мастерских.

7.2. В конструкции должны быть максимально использованы стандартные ,унифицированные и нормализованные детали, коэффициент унификации не менее 70%.

7.3.Рабочие поверхности стоек и сепарирующих приставок должны быть выполнены из качественных сталей с термообработкой Н РС 48-56 ед. не менее.

8.ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ.

8.1.Агрегаты,включающие в состав рабочих органов рыхлители ГКЗ-1-12 АКТ ,по нормативам должны соответствовать «Единым требованиям к производству тракторов и сельскохозяйственных машин» и ГОСТ 12.2.П-85.

6.2.Катки-сепараторы и и сепараторы, установленные на культиваторах должны выполнять обработку почвы, снижающую опасность водной и ветровой дефляции почв, способствовать накоплению и сохранению влаги, максимальному сокращению гербицидов и потребляемой энергии.

9.ТРЕБОВАНИЯ К ПАТЕНТНОЙ ЧИСТОТЕ

9.1.Конструкция рыхлителя должна быть патентночистой к разработкам США, Германии, Франции, Болгарии, Венгрии ,Украины, Казахстана, Польши.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

СПРАВКА

**о испытаниях и внедрении циклоидальных плугов ,
культиваторов и ротационных сепарирующих рабочих органов .**

Настоящим подтверждаю, что на производственных площадях в хозяйстве «Прогресс» Коньшевского района Курской области проводились испытания и использовались для внедрения культиватор, плуг с циклоидальными рабочими органами и ротационный каток-сепаратор в технологии по фону, обработанному дисковой бороной БДМ-6 .Испытания проводились на мало гумусных серых лесных почвах. Культиватор агрегатировался с трактором К-701А, плуг с трактором Т-150К, катки сепаратора с трактором МТЗ-82. Технология предусматривала: 1).Поверхностную обработку БДМ-6; 2). Глубокое безотвальное рыхление циклоидальными стойками; 3). Поверхностное рыхление и сепарацию сорняков катками-сепараторами после дискования и почвоуглубления.

Получены следующие результаты:

- а) дискатор рыхлил почву на 15-17 см;
- б) циклоидальный штанговый культиватор и плуг выполняли безотвальное рыхление на глубину 36-38 см ;
- в) каток сепаратор без гербицидов обрабатывал почву на 6-8 см с полным подрезанием сорняков. Техничко-экономические показатели энергосберегающей экологически безопасной обработки почвы новыми машинами под посев высокие, полностью исключают затраты на гербициды (до 17 % от стоимости технологии), на 20 % сокращают расход ГСМ ,повышают урожай на 4 ц/га и рекомендуются производству .

Целесообразно разработать комбинированный агрегат с циклоидальными и ротационными катками-сепараторами. Технология по научным разработкам диссертации и патентам Котельникова А.В. внедрена на площади 540 гектаров; он, принимал участие в испытаниях и внедрении энергосберегающих машин по экологически безопасной технологии в хозяйстве.

Руководитель хозяйства «Прогресс»
Коньшевского района Курской области
Роговской Е.В. 

20.8.2013 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
"ЦЕНТРАЛЬНО – ЧЕРНОЗЁМНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ЗОНАЛЬНАЯ МАШИНОИСПЫТАТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ"

305512, п. Камыши Курского района
Курской области
Телефон: Курск 52-14-46
Факс: 55-43-17
E-mail: chmis1@yandex.ru

№ 467/01-22 от 30.10.2013г.

СПРАВКА О ИСПЫТАНИЯХ И ВНЕДРЕНИИ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ И СЕПАРИРУЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

На Центрально-Черноземной МИС проводятся исследования по разработке энергосберегающей экологически безопасной технологии обработки почвы с применением циклоидальных культиваторов и плугов и сепарирующих ротационных рабочих органов. По результатам технологических экспериментов и испытаний углубление почвенного горизонта циклоидальными культиваторами, плугами и ротационными сепарирующими рабочими органами обеспечивает в течение 3-4 лет стабильную прибавку урожая на 22-25 % по сравнению с полями без углубления почвы, и снижает энергозатраты на 18-22%, а применение сепарирующих ротационных рабочих органов для сепарации сорняков позволяет обрабатывать почву без гербицидов. ЦЧМИС в своих выводах по результатам проверки, испытаниям и внедрению рекомендует циклоидальные и ротационные рабочие органы предприятиям сельскохозяйственного машиностроения для разработки документации и промышленного производства циклоидальных комбинированных машин и внедрения экологически безопасной технологии в агропромышленный комплекс региона. По диссертации Котельникова А.В. получены положительные результаты испытаний, принимавший участие в разработке циклоидальных стоек, сепарирующих машин и лабораторно- полевых экспериментах. Энергосберегающая экологическая технология внедрена в ОПХ МИС на площади 400 га.

Директор Центрально-Черноземной МИС,
кандидат сельскохозяйственных наук



30.09.2013

Жердев М.Н.