



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
<b>ГЛАВА 1. ОБЗОР КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕЖДУРЯДИЙ ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР</b>	
1.1.Классификация машин для междурядной обработки .....	13
1.2.Обзор конструкций машин для междурядной обработки .....	16
1.3. Недостатки существующих машин для обработки междурядий....	29
1.4. Цель и задачи исследований .....	30
<b>ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ</b>	
2.1 Агротехнические требования к междурядной обработке.....	31
2.2. Устройство и принципы работы пружинной установки для обработки междурядий.....	38
2.3. Обоснование конструктивных и кинематических параметров.....	42
2.3.1. Шаг и длина пружины .....	48
2.3.2. Диаметр пружины .....	49
2.3.3 Жесткость пружины.....	50
2.4. Угловая скорость вращения.....	51
<b>ГЛАВА 3. ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	
3.1 Задачи экспериментальных исследований .....	54
3.2 Методика исследований по обоснованию конструктивных параметров рабочего органа культиватора.....	56
3.3. Цель и программа полевых опытов.....	71
3.3.1. Методика исследования агротехнических показателей работы ..	72

3.3.2. Методика энергетической оценки культиватора с комбинированными рабочими органами.....	77
3.3.3. Методика обработки результатов полевых опытов .....	79
3.3.4. Методика определения погрешности измерений и повторности экспериментов .....	80

#### ГЛАВА 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРАБОТАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

4.1 Определение экономической эффективности.....	85
4.2 Оценка энергетической эффективности .....	95

ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	100
------------------	-----

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	103
--	-----

## ВВЕДЕНИЕ

Главным направлением сельскохозяйственного производства является кардинальное ускорение научно-технического прогресса, внедрение новых технологий, более совершенных средств механизации, обеспечивающих высокое качество выполняемых работ при минимальных затратах труда и средств и требуемой производительности.

Важным направлением технического прогресса является совершенствование системы машин для возделывания пропашных культур, которая должна отвечать следующим основным требованиям:

- своевременное и высококачественное выполнение работ;
- соответствие агротехническим требованиям и биологическим особенностям возделывания пропашных культур с целью обеспечения их максимальной урожайности;
- низкие затраты труда, топливо-смазочных материалов и средств на единицу получаемой продукции;
- высокая производительность труда и его безопасность;
- соответствие экологическим требованиям.

Большое значение в совершенствовании системы машин для возделывания пропашных культур имеет разработка и создание комбинированных и универсальных сельскохозяйственных орудий. Это позволяет при одном проходе агрегата совместить разные операции и одной машиной (или орудием) выполнить несколько видов работ в разные календарные сроки. Например, с помощью навесного культиватора-растениепитателя КРН-4,2А можно выполнять междурядную обработку растений с одновременной их подкормкой, а также сплошную предпосевную

обработку почвы и окучивание пропашных культур. Принципы комбинирования и универсальности реализованы в культиваторах КСУ-5,4, КГС-4,8А, УСМК-5,4, КПШ-8,1Г, КМС-5,4, КМС-2,7 и др.

Однако существующие орудия для междурядной обработки, как правило, позволяют рыхлить почву и уничтожать сорняки за пределами защитных зон культурных растений. Практически невыполнимой до настоящего времени операцией является обработка защитных зон, которые составляют около 30 % площади междурядьев. Поэтому на обработку защитных зон (иногда неоднократную) и уничтожение в них сорняков даже на современном этапе развития сельскохозяйственной техники требуется ручной труд. Затраты ручного труда на прополку защитных зон культурных растений в отдельных случаях достигают 10 чел.-ч/га. Из-за низкого качества работ по уходу за пропашными культурами их урожайность может снизиться до 15 %, производительность труда - до 12 %, а расход топлива увеличиться на 8 - 10 % .

Практические аспекты междурядной обработки пропашных культур исследованы в работах П.М. Василенко, П.Т. Бабий, Ю.К. Киртбая, Н.П. Карастылёва, И.М. Паламаря, Н.С. Бойко, В.И. Эдельштейна, В.Н. Орлова, Д.Д. Брежнева, З.Х. Шауцукова, У.А. Гоулд, Н.Е. Руденко, А.А. Аутко, Б.П. Рыщева, А.М. Батманова, В.М. Нестерова и других авторов. Вопросам теоретического обоснования конструктивных параметров и формы рабочих органов культиваторов посвящены работы В.П. Горячкина, В.А. Желиговского, Г.Н. Синеокова, И.С. Верникова, М.Е. Мацепуро, Д.А. Смиловенко, Ф.Г. Гусинцева, В.Н. Гниломедова, В.И. Курдюмова, Е.И. Карнаухова, С.Г. Мударисова, М.М. Давлетшина, Т.С. Набиева и других ученых.

Многие исследователи, ученые и практики указывают на необходимость уничтожения сорняков, расположенных в непосредственной близости от культурных растений, то есть, в защитных зонах. Эта задача является важной, актуальной и имеющей большое значение для экономики страны.

Способы решения данной задачи могут быть различны, и один из них - использование гербицидов. Однако их применение пока не решило полностью проблему борьбы с сорняками, так как эффективность этих химических средств зависит от многих неуправляемых факторов. Кроме того, при использовании гербицидов нередко отмечаются отрицательные последствия - загрязнение окружающей среды и ухудшение здоровья людей. Одним из факторов, сдерживающих применение химических средств для борьбы с сорняками является высокая стоимость этих средств, что в итоге снижает эффективность производства продукции растениеводства.

Повышение качества междурядной обработки пропашных культур можно обеспечить путем совершенствования предназначенных для этой цели рабочих органов и технологических режимов их работы. При этом улучшаются эксплуатационные и качественные показатели работы машин, а также повышается урожайность возделываемых культур.

**Научные положения и результаты исследования, выносимые на защиту:**

– аналитические выражения для определения конструктивно-режимных параметров предложенного рабочего органа; математические модели процесса междурядной обработки с использованием предлагаемого рабочего органа пропашного культиватора;

- конструкция рабочего органа для междурядной обработки пропашных культур;
- результаты исследований рабочего органа для междурядной обработки пропашных культур в лабораторных и производственных условиях.

Многие исследователи считают, что междурядные механические обработки необходимы как для борьбы с сорняками, так и для улучшения агрофизических свойств почвы. По их мнению, уплотнение почвы в междурядьях ведет к дефициту влаги, снижению аэрации почвы, что приводит к снижению ее микробиологической деятельности и уменьшению содержания в ней основных элементов питания. В посевах сахарной свеклы сорняки уничтожают механическим способом, то есть подрезание их стрелчатыми лапами культиваторов при выполнении междурядной обработки. Однако, независимо от ширины междурядий и от того по какой культуре проводится обработка посевов, всегда есть защитная зона. Защитная зона нужна для того, чтобы, во-первых, не срезать культурные растения во время обработки междурядий, а во-вторых, чтобы частицы почвы, которые будут поднимать, и перемещать лапы культиваторов, не присыпали и не травмировали листья. Учитывая это, по обе стороны от оси ряда создается защитная полоса, которая представляет собой ленту. Ширина этой ленты зависит от культуры и способа ведения агрегата и составляет примерно 18-25 см.

Механическая междурядная обработка является важным агротехническим приемом борьбы с сорняками и рыхления верхнего слоя почвы с целью улучшения аэрации и предотвращения потерь влаги, что обуславливает повышение жизнедеятельности полезной микрофлоры в

почве, а это в свою очередь улучшает питание растений. Рыхление почвы в междурядьях должно проводиться в установленные агротехнические сроки; отклонения от средней заданной глубины рыхлений при заглублении рабочих органов до 7 см не должно превышать  $\pm 1$  см, а при более глубоком рыхлении – не более  $\pm 2$  см. Защитные зоны при междурядной обработке устанавливаются в зависимости от состояния растений и составляют при глубине рыхления до 8 см от 5 до 8 см, при 10 см – от 10 до 12 см и при 16 см – от 14 до 15 см. Первая междурядная обработка проводится для уничтожения сорняков и почвенной корки при помощи культиваторов со специальными бритвами для рыхления междурядий. Ее рекомендуется проводить при появлении первых дружных всходов на глубину около 5 см. Для предотвращения засыпания свеклы пропашные культиваторы должны быть оснащены защитными дисками. Вторая и последующие междурядные обработки проводятся с целью рыхления почвы уничтожения сорняков и внесения подкормок. Глубина рыхления при второй 10-12 см., при третьей обработке 6-8 см. После смыкания листьев в междурядьях в большинстве случаев потребность в рыхлении почвы отпадает. Его проводят только в случае избыточного увлажнения и уплотнения почвы, обязательно оборудовав трактор специальными устройствами. При сильном уплотнении почвы за 14-15 дней до уборки урожая можно проводить предуборочное рыхление почвы в междурядьях.

Междурядные обработки посевов сахарной свеклы – процесс малопроизводительный, так как скорость движения агрегатов составляет не более 6 км/час. Для повышения производительности культивации была внедрена технология с использованием направляющих щелей. Щели формируют при проведении предпосевной культивации. Культивация

осуществляется полосами по 15 см, при этом также вносят, уменьшенные в 3 раза, дозы гербицидов. Щели дают возможность двигаться культиватору на повышенных скоростях не задевая растения, проводить рыхление почвы в междурядьях с небольшими защитными зонами. При этом площадь междурядий, доступная для обработки, достигает 90%. Оставшуюся полоску с рядами до 10 см засыпают почвой при окучивании. Междурядная обработка почвы занимает важное место в регулировании почвенных условий жизни растений. Плотность почвы оказывает непосредственное воздействие на рост и продуктивность сельскохозяйственных культур. При высокой плотности свекловичные растения угнетаются вследствие уменьшения общей пористости, затруднения газообмена между почвой и атмосферой. При выборе того или иного вида междурядных обработок необходимо стремиться к снижению нагрузки на почву и уменьшению расхода топлива при их проведении. В последние годы широкое распространение получили зарубежные технологии возделывания сахарной свёклы, не предусматривающие междурядные обработки почвы, что объясняется их адаптацией к условиям достаточного увлажнения, где систематическое разуплотнение почвы происходит за счет регулярных атмосферных осадков. Однако применение этих технологий в России показало, что без междурядных обработок в большинстве зон свекловодства обойтись нельзя, так как они характеризуются в основном неустойчивым и недостаточным увлажнением. В засушливые периоды без междурядных обработок почва растрескивается, испарение из нее существенно возрастает, что снижает продуктивность сахарной свеклы. Таким образом, по мнению отечественных исследователей, в условиях недостаточного увлажнения неверно ставить вопрос о необходимости или о ненужности междурядных

обработок, а необходимо решить, когда и какое количество их проводить и на какую глубину. Опыты по кратности и глубине междурядных обработок дали противоречивые результаты. Они показали, что выбор лучшего варианта связан со степенью увлажнения года: во влажные годы лучшие результаты обеспечивала система раноглубинных рыхлений, в сухие годы - проведение до 3-4 мелких рыхлений в разные сроки. Для дополнительной борьбы с сорняками предлагалось совмещать междурядные обработки с окучиванием защитных зон рядков.

По данным А.К. Нанаенко в условиях Воронежской области кратность междурядных обработок практически не влияла на влажность почвы, поэтому количество их можно сократить без ущерба для влагообеспеченности поля до одной или двух. Плотность почвы с увеличением кратности обработок посевов от одной до трех изменялась незначительно, лишь после четвертого рыхления она была значительно ниже. По данным зарубежных исследователей поздняя междурядная обработка посевов сахарной свеклы, когда ростки свеклы находятся в стадии 8-10 листьев, может стать причиной снижения урожайности вследствие повреждения корнеплодов. Некоторые исследователи считают, что сокращение междурядных обработок до 1-2 положительно сказывается на росте и развитии сахарной свеклы. Они объясняют это тем, что излишние междурядные обработки почвы повреждают листовой аппарат и корневую систему растений, а также вызывают значительное уплотнение почвы колесами тракторов и сельскохозяйственных машин, особенно в весенний период. Проведение одного-двух рыхлений междурядий за вегетацию или отказ от междурядных обработок в пользу гербицидных приводит к уплотнению почвы в июле-августе до 1,4...1,6 г/см<sup>3</sup> (при оптимальной для

свеклы 0,9-1,2 г/см<sup>3</sup>), что влечет за собой увеличение потерь урожая при уборке до 32% и повреждению корнеплодов рабочими органами уборочных машин. Кратность междурядных обработок является актуальной проблемой на фоне гербицидных технологий.

Результаты исследований показали, что при сочетании междурядных и гербицидных обработок к концу вегетации засоренность посевов значительно снижалась. Оставшиеся сорняки к уборке имели слабую вегетирующую массу и не оказывали отрицательного влияния на продуктивность сахарной свеклы. Благодаря применению гербицидов на свекловичных посевах можно ограничиться одной, максимум двумя междурядными обработками в течение вегетации, что не снижает продуктивности сахарной свеклы, дает при этом значительный экономический эффект и позволяет снизить затраты ручного труда при обработке посевов на 40-45%. В то же время опыты многих ученых, изучающих сочетание различных приемов, показывают, что применение рациональной системы обработки посевов действеннее, чем только химические способы, а максимальный эффект достигается при их совместном использовании.

**Объект исследования:** пружинный рабочий орган для обработки междурядий пропашных культур.

**Предметом исследования:** пружинный элемент, как основная часть рабочих органов установки (агрегата) для междурядной обработки пропашных культур.

**Цель работы:** разработка конструкции и обоснование технологических параметров установки для удаления сорной растительности из междурядий пропашных культур.

Теоретические исследования базировались на законах теоретической механики, сопротивления материалов, строительной механики, использовались теория упругой устойчивости, пространственных колебаний. Экспериментальные исследования проводились согласно общеизвестным и разработанным частным методикам с использованием современных приборов и установок.

**Научная новизна** заключается в разработке конструкции и обосновании технологических параметров установки для удаления сорной растительности из междурядий пропашных культур, обеспечивающий высокую технологическую эффективность и качество междурядной обработки почвы, конструкторскую и эксплуатационную надежность.

**Актуальность работы** определяется необходимостью исследования и решения научно-практической задачи, посвященной расчету и проектированию пружинных элементов сельскохозяйственной техники, в целях разработки конструкции и обосновании технологических параметров установки для удаления сорной растительности из междурядий пропашных культур.

**Практическая ценность** определяется разработкой предлагаемого устройства, который позволяет обеспечить сгребание почвы из междурядий равномерно в правую и левую сторону гряды, удалять сорную растительность, разрушать почвенную корку, крошить почвенные комки и производить окучивание, тем самым обеспечивая повышение эффективности и качества междурядной обработки пропашных культур, за счет применения рабочего органа, выполненного в виде двух пружин, соединенных с помощью муфты.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕЖДУРЯДИЙ ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР

### 1.1. Классификация машин для междурядной обработки

Междурядная обработка пропашных культур предусматривает рыхление почвы в междурядьях, подрезание сорной растительности, внесение минеральных удобрений в корнеобитаемый слой почвы, окучивание растений, нарезку поливных борозд. Междурядную обработку выполняют культиваторами-растениепитателями вдоль рядков, а на квадратно-гнездовых посевах – ещё и поперёк.

Пропашными называют культиваторы, которые предназначены для междурядной обработки посевов с целью рыхления почвы и уничтожения сорной растительности, прореживания растений в рядках, окучивания и нарезания поливных борозд. К пропашным относят также большую группу культиваторов-растениепитателей, предназначенных для подкормки растений минеральными удобрениями в период роста. Пропашные культиваторы, которые приспособлены для выполнения предпосевной обработки почвы, а также для ухода за посевами с междурядьями разной ширины, называют универсальными. Тракторные культиваторы изготовляют навесными и прицепными. К культиваторам предъявляют следующие основные агротехнические требования. При сплошной обработке почвы поверхность поля должна быть ровной, без гребней и борозд. Рыхление почвы должно происходить без выноса влажных слоев на поверхность, без распыления частиц или их уплотнения. Отклонение от заданной глубины обработки почвы допускается не более  $\pm 1$  см. Рабочие органы культиватора должны уничтожать не менее 98 - 99% сорняков и не повреждать растения.

Для ухода за растениями пропашных культур применяют культиваторы для междурядной обработки, которые группируют в зависимости от вида культуры: для обработки посевов кукурузы и подсолнечника, сахарной свеклы, картофеля и др.

Эти машины различаются по числу обрабатываемых рядков (ширине захвата).

Для обработки посевов кукурузы и подсолнечника применяют шести-, восьми- и двенадцатирядные культиваторы.

Картофель обрабатывают двух-, четырёх- и шестирядными культиваторами. Ширину захвата культиватора выбирают в строгом соответствии с захватом сеялки и картофелесажалки. Стыковые междурядья должны обрабатываться только в стыках за два прохода машины.

Культиваторы для обработки сахарной свеклы различаются по ширине возделываемых междурядий. Для богарного земледелия ширина междурядий принята 0,45м, а для поливного – 0,6м.

Все машины для ухода за растениями по способу агрегатирования с трактором относятся к навесным.

Навесной культиватор-растениепитатель КРК-5,6: предназначен для междурядной обработки, подкормки и окучивания восьмирядных посевов кукурузы, подсолнечника и других культур с междурядьями 0,6 и 0,7м. Культиватором можно выполнять следующие операции: подрезать сорную растительность и рыхлить почву в междурядьях полостьюными лапами; подрезать сорную растительность стрельчатыми лапами и рыхлить почву в междурядьях долотообразными лапами; подрезать сорную растительность и рыхлить почву в междурядьях подкормочными ножами при одновременном

внесении минеральных удобрений; окучивать и обрабатывать защитные зоны ротационными дисками или прополочными боронками.

Культиватор состоит из рамы-бруса с двумя опорно-проводными колёсами, навески, восьми туковысевающих аппаратов, девяти рабочих секций. Секции соединены с рамой через параллелограммную подвеску, снабжены опорными копирующими колёсами с механизмами регулировки глубины и держателями для установки рабочих органов. Культиватор укомплектован набором сменных рабочих органов для выполнения различных видов работ.

Культиватор агрегируют с тракторами класса 1,4. Для обработки шестирядных посевов используют культиваторы КРК-4,2, а двенадцатирядных посевов – КРК-8,4.

Культиватор-окучник навесной КОН-2,8А: предназначен для междурядной обработки и подкормки картофеля, посаженного четырёхрядными сажалками с междурядьями 0,6 и 0,7м.

Устройство культиватора аналогично устройству культиватора КРК-5,6. На секциях культиватора можно устанавливать полольные, универсальные стрелчатые и долотообразные лапы, лапы-отвальщики, рыхлители, подкормочные ножи, ротационные боронки, окучники, а также навешивать сетчатую борону.

Культиватор КМС-5,4: предназначен для обработки сахарной свеклы, посеянной двенадцатирядной сеялкой с междурядьями 0,45м (или восьмирядных посевов с междурядьями 0,6м), а также для сплошной обработки почвы перед посевом на глубину 80-140мм. Машина состоит из рамы с навеской, опорно-приводных колёс, туковысевающих аппаратов, секций с установленными на них рабочими органами 3 и 4, механизмов

привода. Каждая секция соединена с рамой параллелограммной подвеской и опирается на опорное колесо, обеспечивая копирование рельефа поля.

При междурядной обработке посевов сахарной свеклы в зависимости от вида обработки на секциях устанавливают стрелчатые лапы, односторонние лапы-бритвы, лапы-окучники, подкормочные ножи, ротационные мотыги, защитные диски и другие рабочие органы. При сплошной обработке используют стрелчатые лапы для подрезания сорняков по всей ширине захвата, а также ротационные мотыги и роторы (прутковые катки) со шлейфами. Для сплошной предпосевной обработки почвы культиватор может быть оборудован восемью лёгкими посевными боронами.

Культиватор фрезерный КФ-5,4: предназначен для междурядной обработки посевов сахарной свеклы на сильно уплотнённых и засорённых сорняками полях. Он состоит из рамы, на которой закреплены 12 секций с фрезерными барабанами, замка автосцепки, опорных колёс. На валу каждой секции закреплены два диска с Г-образными ножами. Валы секций приводятся во вращение от ВОМ трактора через редуктор, трансмиссированный вал и цепную передачу. Ножи закрыты кожухом с шарнирно закреплённым фартуком. Глубину обработки можно менять от 40 до 80 мм регулировочным винтом опорных колёс, а также центральной тягой навески трактора.

## **1.2. Обзор конструкций машин для междурядной обработки**

Навесной культиватор УСМК - 5,4 предназначен для междурядной обработки и подкормки 12 - рядных посевов сахарной свеклы, посеянных с междурядьем 45 см.

Культиватор (рис. 1.1) состоит из рамы - бруса 3 с замком автосцепки 4, двух опорных колес 14, двенадцати секций рабочих органов, туковысевающих аппаратов 7 с тукопроводами 9 с приводом от опорных колес. В комплект культиватора входят стрельчатые лапы с шириной захвата 220 и 270 мм, односторонние полольные лапы - бритвы, подкормочные ножи.

Культиватор поставляется с комплектами ротационных игольчатых дисков, защитных устройств, прополочных боронок, приспособлением для предпосевной обработки почвы.

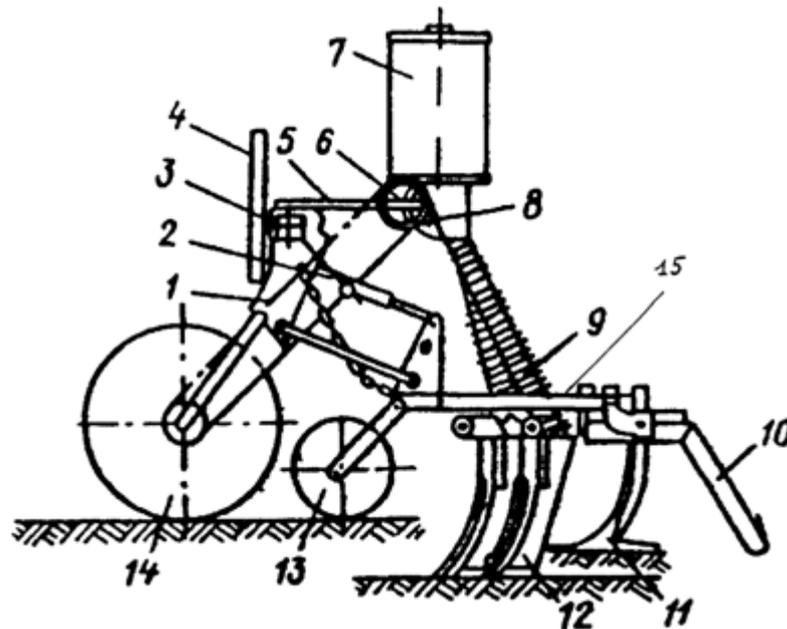


Рисунок 1.1 - Универсальная свекловичная машина - культиватор УСМК - 5,4: 1 - приводная цепь; 2 - натяжной ролик; 3 - брус; 4 - замок автосцепки; 5 - кронштейн туковысевающего аппарата; 6 - соединительный валик; 7 - туковысевающий аппарат; 8 - звездочка; 9 - тукопровод; 10 - подножная площадка; 11 - стрельчатая лапа; 12 - подкормочный нож; 13 - копирующее колесо секции рабочих органов; 14 - опорное колесо бруса; 15 - грядиль.

Рабочие органы, применяемые на культиваторе, подразделяют на полольные, рыхлительные и специальные (окучники, подкормочные ножи, игольчатые диски, щитки и др.).

Полольные лапы. К ним относятся стрелчатые плоскорежущие, стрелчатые универсальные и односторонние плоскорежущие лапы - бритвы.

Стрелчатые плоскорежущие лапы (рис. 1.2) применяют для подрезания сорной растительности и рыхления почвы на глубину 5 - 6 см. Их изготавливают с углом раствора 60 - 70° и шириной захвата 145, 150, 260 и 330 мм. Лапы крепят к стойкам заклепками или болтами. Лезвия лап затачивают снизу под углом 8 - 10°. Толщина кромки лезвия не должна превышать 0,3 мм. Стрелчатые плоскорежущие лапы применяют для первой и второй культивации вместе с односторонними плоскорежущими лапами - бритвами. Стрелчатые универсальные лапы (рис. 1.2) одновременно с подрезанием сорняков рыхлят почву. Их применяют для предпосевной и паровой обработок и междурядной обработки на глубину до 10 - 12 см. Угол между режущими кромками 60 и 65°. Угол установки плоскости лезвия к поверхности поля (угол крошения) 28 - 30°, ширина захвата 220, 250, 270, 330, 385 мм. Затачивают лапы снизу под углом 13 - 17°.

Односторонняя плоскорежущая лапа - бритва (рис. 1.2) имеет плоский горизонтальный нож, расположенный под углом 28 - 32° к направлению движения орудия, и вертикальный щиток. Щиток лапы разрезает стебли сорняков, отделяет обрабатываемый слой почвы от растений и предохраняет при междурядной обработке молодые растения от засыпания почвой. Лапы бывают правые и левые с шириной захвата 85, 120, 150, 165 и 250 мм. Угол крошения лап 15°. Применяют лапы - бритвы при первых междурядных

обработках для подрезания сорной растительности и рыхления на глубину до 6 см, а также для прореживания (букетировки) культурных растений.

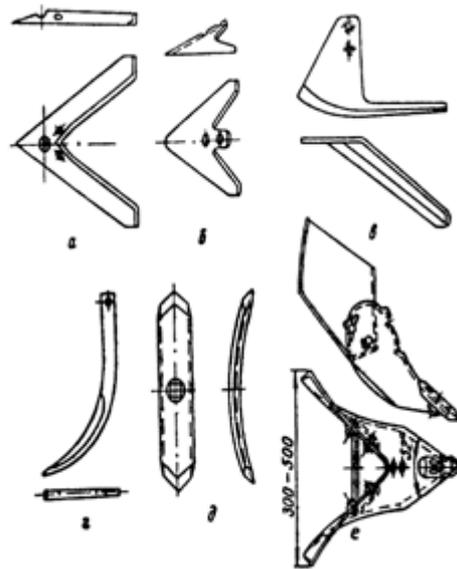


Рисунок 1.2. - Рабочие органы культиваторов: полые лапы: а - стрельчатая плоскорежущая; б - стрельчатая универсальная лапа; в - односторонняя плоскорежущая лапа; г - долотообразная; д - оборотная; е - окучивающие корпуса.

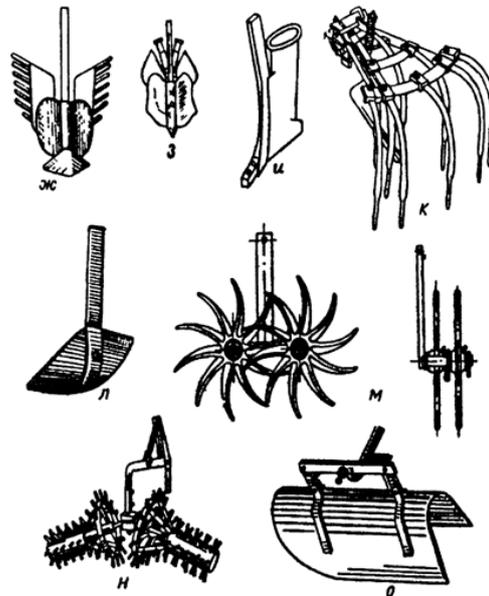


Рис. 1.3 - Рабочие органы культиваторов: ж - окучивающий корпус; з - арычник - бороздорез; и - подкормочный нож; к - звено прополочной бороны; л - лапа - отвальчик; м - секция игольчатых дисков; н - секция универсальной ротационной бороны БРУ - 0,7; о - щиток - домик.

Рыхлительные лапы подразделяют на долотообразные, оборотные и копьевидные.

Долотообразные лапы (рис. 1.3) шириной захвата 20 мм применяют для рыхления почвы на глубину 16 см и более без выворачивания ее на поверхность. Изготавливают их в виде изогнутого заостренного долота. Рыхлительные оборотные лапы (рис. 1.3) имеют заостренную с двух сторон кромку. В случае затупления одного конца их переворачивают. Ширина лап 50 - 60 мм, глубина рыхления в междурядьях до 12 см. Устанавливают их на жестких или пружинных стойках.

К специальным рабочим органам могут быть отнесены: окучивающие корпуса, подкормочные ножи, игольчатые диски, ротационные бороны, щитки - домики и др.

Окучивающие корпуса (рис. 1.3) предназначены для нарезания борозд на поливных полях, окучивания картофеля, капусты и других культурных растений, рыхления и уничтожения сорных растений на откосах борозд.

Окучник состоит из двухстороннего отвала с наставным носком и двух крыльев, шарнирно соединенных с отвалом. Крылья по ширине можно раздвигать на 30 - 50 см.

При работе носок окучника разрезает и рыхлит почву, отвал и крылья поднимают ее и отодвигают в стороны. Нормальная глубина окучивания до 12 см, ширина междурядий до 80 см. Особенностью устройства окучника (рис. 1.3) является то, что его носок имеет вид стрелчатой лапы. Между носком и отвалом, расположенным выше по стойке, образуется щель, через которую рыхлая почва просыпается на дно борозды. Крылья отвала представляют собой пластину с приваренными пальцами. После прохода

такого окучника разрыхленный слой почвы на дне борозды достигает 10 см, а на вершине гребня он на 1,5 - 2,0 см больше.

Подкормочные ножи (рис. 1.2) применяют для рыхления почвы на глубину до 16 см с одновременным внесением минеральных удобрений. Они представляют собой рыхлящие долотообразные лапы с тукопроводами, через которые удобрения поступают на дно борозды и заделываются в почву.

Прополочные боронки (рис. 1.3) предназначены для рыхления почвы и уничтожения сорняков одновременно с культивацией междурядий пропашных культур. Зубья изготовлены в виде стержней длиной 275 мм круглого или прямоугольного сечения. Пружинные зубья прикреплены к рамке. При обработке защитных зон на рамке крепят шесть зубьев, а при обработке междурядий число зубьев на рамке увеличивают до девяти. Рамка с зубьями шарнирно прикреплена к кронштейну, а потому зубья при работе приспособляются к поверхности поля. Глубину рыхления боронкой регулируют пружиной, установленной на рамке.

Ротационные игольчатые диски (рис. 1.3) применяют для разрушения почвенной корки, рыхления почвы в рядах растений и защитных зонах. Над каждым рядком устанавливают две пары дисков: одну - справа, другую - слева. Особенно эффективно применение ротационных игольчатых дисков для обработки защитных полос у рядка на тяжелых и суглинистых почвах после дождей при первой и второй культивациях, так как в это время наличие корки сильно задерживает развитие культурных растений. Диаметр дисков 350, 450 и 520 мм. Глубина рыхления 2 - 5 см.

Щиток - домик (рис. 1.3) защищает рядки растений от засыпания почвой при первой культивации или при работе на повышенной скорости.

Представляет собой изогнутый лист с кронштейном для крепления его на грядиле культиваторной секции над рядком растений.

На пропашных культиваторах применяется четырехзвенная (параллелограмная) система крепления рабочих органов. Секция рабочих органов представляет собой четырехзвенный параллелограмный механизм, состоящий из переднего кронштейна, укрепленного на раме, нижнего П - образного звена, верхнего регулируемого звена и заднего кронштейна. К заднему кронштейну прикреплен грядиль с рабочими органами и с копирующим опорным колесом. Параллелограмный механизм при подъемах и опусканиях колеса секции на неровностях почвы обеспечивает копирование рельефа поля, сохраняя постоянные углы наклона лап и глубину обработки. Транспортная тяга секции удерживает задний кронштейн с грядилем и рабочими органами от провисания при подъеме и транспортировке.

Подготовка к работе.

Подготовка включает проверку технического состояния и устранение неисправностей, расстановку секций на требуемую ширину междурядий с заданной защитной зоной, установку необходимых рабочих органов и регулировку их на требуемую глубину обработки, регулировку туковысевающих аппаратов на норму внесения удобрений. При подготовке культиватор навешивают на трактор и механизмом навески регулируют положение бруса так, чтобы он был параллелен оси задних колес трактора (изменением длины горизонтальных раскосов) и параллелен поверхности площадки (изменением длины вертикальных раскосов).

Расстанавливают секции на бруске культиватора следующим образом:

а) если между колес трактора находится четное количество рядков, то одну секцию устанавливают строго посередине бруса (по оси симметрии), а остальные вправо и влево, на расстоянии равном ширине междурядий;

б) если между колес трактора находится нечетное количество рядков, то устанавливают две секции, на расстоянии равном половине ширины междурядья от оси симметрии бруса, а остальные вправо и влево, на расстоянии равном ширине междурядий.

Для этого применяют разметочную доску, на которой нанесены осевые линии рядков растений и требуемые защитные зоны. Ее устанавливают под грядилыми секций так, чтобы грядили располагались точно посередине - между линиями рядков. Рабочие органы расставляют так, чтобы обрабатывалась вся ширина междурядий между защитными зонами, и обеспечивалось перекрытие режущих кромок на 40 - 50 мм (зона перекрытия). По длине грядила рабочие органы располагаются так, чтобы между концами крыльев соседних лап был промежуток не менее 30 мм, для прохода почвы и растительных остатков.

На крайних секциях культиватора наружные рабочие органы не устанавливают, так как секции идут по стыковому междурядью, которое обрабатывают при двух смежных проходах агрегата.

При установке рабочих органов на заданную глубину обработки под опорные колеса культиватора и опорные катки секций кладут подкладки толщиной на 2 - 4 см меньше заданной глубины обработки. Затем изменением длины верхней тяги параллелограмного механизма секции устанавливают грядили в горизонтальное положение, проверив замером расстояние от площадки до переднего и заднего концов грядила.

Опускают рабочие органы в держателях на площадку и фиксируют их в этом положении. Лезвия лап должны прилегать к опорной плоскости, а стойки располагаться вертикально.

Если глубина обработки различная (используются подрезающие лапы и рыхлительные долота), то рабочие органы, идущее на большую глубину (рыхлительные долота) опускают на площадку, а идущие на меньшую глубину (стрельчатые и полольные лапы) - на подкладку, толщина которой равна разности между большей и меньшей глубиной.

При первой междурядной обработке - шаровке сахарной свеклы, для уменьшения защитной зоны и предотвращения засыпания всходов культурных растений, перед основными рабочими органами (односторонние бритвы идущие по границе защитной зоны) устанавливаются сферические защитные диски или щитки - домики. Уменьшить защитную зону позволяют пропалочные роторы, зубья которых рыхлят почву и вычесывают сорняки.

Для внесения удобрений в почву на культиватор устанавливают подкормочные ножи и туковысевающие аппараты. Первые регулируют на требуемую глубину внесения удобрений, вторые - на норму внесения удобрений. На заданную норму аппараты устанавливают и изменением положения поворотом регулятора высева и его фиксации, а также сменой ведущей звездочки на опорном колесе.

Контроль качества работы.

Первое рыхление междурядий производят на глубину 4 - 7 см, а при последующих культивациях глубину обработки увеличивают до 12 - 16 см.

Для лучшего подрезания сорняков при установке на каждое междурядье двух и более лап их расставляют так, чтобы одна лапа перекрывала другую на 4 - 6 см.

Ширину защитной зоны при первой культивации принимают равной 8 - 12 см, а при последующих увеличивают до 14 - 15 см.

Удобрения вносят в почву на глубину 10 - 15 см с двух сторон ряда на расстоянии 10 - 25 см от него.

Поверхностный слой почвы в междурядьях после обработки должен быть рыхлым, без гребней, крупных комков и глыб. При обработке нужно не повреждать культурные растения, соблюдать заданную глубину, не выносить влажный слой почвы на поверхность, полностью подрезать сорняки в междурядьях, в процессе окучивания нагрести почву к растениям ровным слоем высотой 5 - 8 см.

#### Проверка качества работы

Качество выполняемых работ проверяют во время первого прохода. Для этого на нормальной скорости проезжают 40 - 50 м, останавливают агрегат и замеряют глубину обработки каждой секцией и ширину защитных зон.

1. Отклонение от заданной глубины обработки не более  $\pm 1,0$  см. Вынос влажных слоев почвы на поверхность не допускается.

2. Сорняки в междурядьях должны быть полностью подрезаны (95...99%).

3. Подрезание культурных растений не допускается.

4. При подкормке отклонение фактической дозы от заданной  $\pm 15\%$ , неравномерность по рядкам  $\pm 5\%$ .

5. При окучивании нагрести почву к растениям ровным слоем высотой 5...8 см, дно и стенки борозды должны быть рыхлыми.

Если поверхность междурядий после прохода культиватора очень волнистая, то уменьшают угол вхождения рабочих органов в почву, удлиняя стяжной гайкой верхнее звено подвески секций.

Если рабочие органы плохо входят в почву (особенно по следу колес трактора), то увеличивают угол их вхождения в почву уменьшением длины верхнего звена.

Прореживатели.

Вдольрядные прореживатели бывают двух типов: механические УСМП - 5,4 и УСМП - 2,8 и автоматические ПСА - 2,7.

Прореживатель УСМП - 5,4 предназначен для вдольрядного прореживания всходов сахарной свеклы, посеянной с междурядьями 45 и 60 см. В первом случае на раме прореживателя закрепляют двенадцать, во втором - восемь прореживающих секций, снабженных вращающимися режущими головками с ножами. Головка смонтирована на ведомом валу редуктора, на ведущем валу которого закреплено опорно - приводное колесо. Редуктор прикреплен к планкам грядила так, что плоскость вращения головки находится под углом  $40^\circ$  к направлению движения агрегата.

При движении прореживателя режущие головки, расположенные над рядками свеклы, вращаются и ножами вырезают часть растений в рядке, образуют букеты. Интервалы между букетами зависят от числа и расстановки ножей.

На каждой головке закрепляют 6 - 18 ножей, что позволяет получать длину букетов 50 - 150 мм. Ножи располагают на головке одиночно, попарно или по три. Перед настройкой прореживателя определяют густоту насаждения: подсчитывают в двадцати местах по диагонали поля число растений на двухметровых отрезках и находят среднее число их на 1 м.

Число и схему расстановки ножей выбирают по таблицам в соответствии с фактической густотой растений.

Глубину хода ножей в пределах 3 - 4 см регулируют поворотом корпуса редуктора на оси опорного колеса.

Брус - рама прореживателя имеет автоматическое устройство для навешивания на трактор «Беларусь». Ширина захвата 5,4 или 2,8 м, рабочая скорость 6 - 8 км/ч.

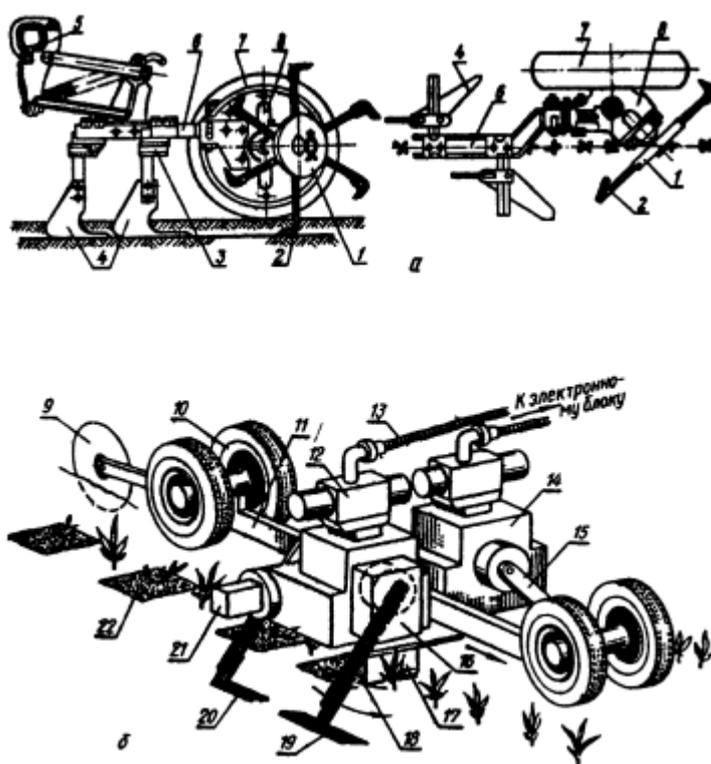


Рисунок 1.4 - Прореживатели: а - секция прореживателя УСМП - 5,4; б - секция прореживателя ПСА - 2,7; 1 - режущая головка; 2,19 и 20 - ножи; 3 - держатель; 4 - односторонние лапы; 5 - брус - рама; 6 - грядиль; 7 и 10 - колеса; 8 - корпус редуктора; 9 - диск - заземлитель; 11 - рамка; 12 - гидрораспределитель; 13 - кабель; 14 - привод; 15 и 18 - рычаги; 16 и 17 - датчики; 21 - брус; 22 - вырез

Культиватор плуг борона фреза.

Автоматический прореживатель ПСА - 2,7 предназначен для формирования заданной густоты растений сахарной свеклы без затрат ручного труда.

К брус - раме прореживателя на параллелограмной подвеске присоединены четыре прореживающие секции. Секция (Рис. 1.4) состоит из рамки 11, опорных колес 10, заземляющего диска 9 и двух прореживающих блоков, включающих золотниковые гидрораспределители 12, гидроприводы 14 с рычагами 15 и 18, ножи 19 и 20, датчик 17 обнаружения растений и датчик 16 контроля за работой ножей. На раме прореживателя смонтирован электронный блок, к которому подключены кабелями 13 прореживающие блоки.

Прореживатель снабжен автономной гидросистемой с отдельным гидронасосом, работающим от вала отбора мощности трактора. Электронная система управления и контроля питается от электрооборудования трактора.

Датчик 17 располагают над рядком свеклы. При движении он касается растений и замыкает электрическую цепь: датчик - растение - почва - заземлитель 9. В цепи возникает импульс, который в электронном блоке усиливается и поступает по кабелю 13 в электромагнитный гидрораспределитель 12. Золотник смещается и направляет поток масла в гидроцилиндр привода 14. Ножи 19 и 20 движутся поперек рядка, заглубляются в почву на 1 - 2 см и срезают все растения, находящиеся в зоне действия ножей. Передний нож 19 вырезает сорняки и лишние растения перед контрольным растением, обнаруженным датчиком 17. Задний нож рыхлит почву и удаляет оставшиеся сорняки и лишние растения позади контрольного. Когда датчик касается следующего растения, ножи в обратном направлении перемещает второй цилиндр гидропривода 14. Датчик 16

контролирует работу ножей, и при отсутствии их движения на пульте загорается сигнальная лампа.

К прореживателю прилагается комплект сменных ножей для получения вырезов длиной 80, 100, 120 и 140 мм, а букетов длиной 35, 55, 75 и 95 мм. Ширина захвата прореживателя 2,7 м, рабочая скорость 3,2 - 5,4 км/ч, производительность до 1,35 га/ч. Агрегатируют его с трактором МТЗ - 80.

### **1.3. Недостатки существующих машин для обработки междурядий**

Существующие машины имеют ряд недостатков: необходимость применения дорогостоящих материалов для изготовления лап (высоколегированная сталь), подверженность интенсивному износу рабочих органов, недостаточная эффективность удаления сорняков, недостаточное измельчение комков почвы до требуемого размера, энергоемкость процесса.

Основные недостатки работы агрегатов на междурядной обработке почвы:

1. Плохое качество подрезания сорняков.
2. Присыпание растений в рядках почвой.
3. Образование гребнистой поверхности.
4. Рабочие органы плохо заглубляются, опорные колеса не вращаются.
5. Затупление рабочих органов.
6. Малое перекрытие рабочих органов.
7. Забивание рабочих органов сорняками.
8. Залипание рабочих органов.
9. Сложность регулировки положения лап.
10. Поломка кронштейнов и держателей секций. Поломка бокового держателя.

#### **1.4. Цель и задачи исследований**

Задача, заключается в повышении эффективности и качества междурядной обработки почвы при возделывании пропашных сельскохозяйственных культур с минимальными энергозатратами.

Технический результат – разрушение почвенной корки и удаление сорняков, увеличение степени крошения поверхностного слоя почвы и сгребание почвы из междурядий равномерно в правую и левую сторону гряды, тем самым производя окучивание.

Исполнение пружины из двух частей: правой и левой навивки, позволит обеспечить сгребание почвы из междурядий равномерно в правую и левую сторону гряды (окучивание растений).

Таким образом, разработанное устройство при проходе по междурядью пропашных культур позволяет эффективно удалять сорную растительность, разрушать почвенную корку, крошить почвенные комки и производить окучивание, тем самым обеспечивая повышение эффективности и качества междурядной обработки пропашных культур.

## **ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ**

### **2.1 Агротехнические требования к междурядной обработке**

Характерная особенность обработки пропашных культур состоит в проведении разнообразных работ в период вегетации растений с целью создания наилучших условий для их роста и развития. К механизированным работам по уходу за пропашными культурами относятся: разрушение почвенной корки; рыхление почвы; уничтожение сорняков; прореживание, или букетировка, растений в рядах; окучивание; внесение удобрений в период роста, или подкормка растений; орошение; борьба с вредителями и болезнями пропашных культур.

В зависимости от вида и состояния пропашных культур, почвенных и метеорологических условий указанные виды работ выполняются в определенной последовательности и в разных сочетаниях. Среди работ по уходу за растениями особое значение имеют разные виды обработки почвы в междурядьях: рыхление, прополка, прореживание, окучивание, подкормка.

С целью резкого сокращения затрат труда в последние годы коренным образом пересмотрены агротехнические приемы и соответственно изменена технология возделывания пропашных культур. Решающее значение для почти полного исключения затрат ручного труда имеет возделывание пропашных культур квадратно-гнездовым и квадратным способами, обеспечивающими перекрестную обработку в двух направлениях, а также применение гербицидов.

Общие требования к междурядной обработке всех пропашных культур сводятся к следующему:

1. Обработка проводится своевременно, в сжатые, агротехнически обоснованные сроки.

2. Глубина обработки устанавливается с учетом ее назначения, состояния растений, условий погоды. Например, в ряде случаев, сообразуясь с развитием корневой системы, применяют различные рабочие органы и устанавливают их на разную глубину; в засушливых условиях обработку нужно вести без выворачивания нижних влажных слоев почвы; в условиях избыточного увлажнения, наоборот, рыхления имеют целью облегчить доступ воздуха к корням растений. Средняя глубина обработки не должна отклоняться от установленной больше чем на 15%.

3. Уничтожение всех сорняков в обработанной части междурядий.

4. Между растениями в рядах и обработанной частью междурядий оставляют защитную зону, чтобы культурные растения во время обработки не повреждались и не засыпались землей.

5. Удобрения при подкормке вносятся в почву в соответствии с принятой нормой на определенную глубину, на установленном расстоянии от рядков растений или гнезд и с учетом фаз развития; отклонения в высевах удобрений отдельными высевающими аппаратами не должны превышать  $\pm 8\%$ .

Передовые механизаторы при уходе за пропашными культурами придерживаются следующих основных правил.

Во-первых, все работы они выполняют своевременно, с учетом фаз развития сорняков и культурных растений.

Во-вторых, они правильно пользуются набором рабочих органов и приспособлений, применяя их в различных сочетаниях; они их устанавливают так, чтобы наиболее эффективно уничтожались сорняки, а

также чтобы наименее повреждались культурные растения и создавались наилучшие условия для их развития. Сорняки уничтожают на первых стадиях прорастания, пока они еще не окрепли, когда применение средств механической обработки наиболее эффективно.

Поскольку многие сорняки прорастают раньше, чем семена пропашных культур, уход обычно начинают до всходов культурных растений. Уход за различными культурами имеет свои особенности, которые рассматриваются ниже.

Пропашные агрегаты: система ухода за пропашными культурами имеет свои особенности, в связи с чем к средствам механизации предъявляются разнообразные требования.

Колея ходовой части пропашного трактора или самоходного шасси должна соответствовать ширине междурядья, а его полевой (дорожный) просвет — обеспечивать проход над растениями без их повреждения. При прохождении агрегата над растениями стебли их могут пригибаться, не повреждаясь. Для низкорослых культур (сахарная свекла, овощные) просвет должен составлять не менее 30 см; для средних по росту культур (картофель, неполивной хлопчатник) — до 45 см; для высокорослых культур (кукуруза, подсолнечник, поливной хлопчатник, клещевина) — до 70 см.

Колеса и гусеницы пропашных тракторов должны быть достаточно узкими, чтобы проходить по междурядьям, не повреждая растений. При сомкнутых междурядьях ходовую часть пропашных тракторов оборудуют специальными ботвоотводителями или обтекателями. Ходовая часть должна создавать незначительное удельное давление (не выше 0,4 кг/см<sup>2</sup>), чем предотвращается образование глубокой колеи и повреждение корневой системы культурных растений.

На междурядной обработке, кроме универсально-пропашных тракторов и шасси классов 0,6; 0,9; 1,4 и 2,0 т, могут быть частично использованы и тракторы общего назначения.

Культиваторы, предназначенные для междурядной обработки, должны отвечать условиям работы на тех пропашных культурах, для которых они предназначены. Ширину захвата пропашного культиватора принимают равной или кратной ширине захвата соответствующих посевных или посадочных машин. Пропашной культиватор должен вписываться в междурядья пропашных культур и проходить над растениями, не повреждая их. Он должен иметь набор сменных рабочих органов и приспособлений, необходимых для выполнения технологических процессов, связанных с уходом за растениями.

На уходе за пропашными культурами применяют 4-, 6-, 8-, 12- или 18-рядные культиваторы навесного или прицепного типов, в зависимости от вида культуры, способа обработки, допустимой скорости движения, размеров и рельефа полей.

Установка пропашных агрегатов.

У пропашного агрегата устанавливают:

- 1) колею ходового устройства трактора и культиватора (прицепного) по ширине междурядий;
- 2) рабочие органы по ширине междурядий;
- 3) лапы по глубине и углу вхождения в почву.

Установка производится на ровной, очищенной, твердой (лучше бетонной) площадке. Перед этим на культиваторе по указанию агронома монтируют набор лап соответственно принятой технологии обработки.

Для правильной установки колес и рабочих органов по ширине междурядий пользуются установочными досками. Проходимость пропашного трактора в междурядьях зависит от соотношения величин: ширины колеи  $K$ , ширины обода или гусеницы  $B_0$ , ширины междурядий  $m$ , ширины защитной зоны  $З$ , числа рядков пропашных культур  $n$ , проходящих под трактором, и определяется зависимостями:

$$K=(n+1)m - b_0 - 2Зн;$$

$$K = (n-1)m + B_0 + 2Зв.$$

На эту величину и устанавливают раздвижную колею пропашных тракторов. Как правило, захват пропашного агрегата равен захвату посевного агрегата или в целое число раз меньше его. На широкорядных посевах (60, 70, 80, 90, 100 см) под трактором обычно проходят два рядка, а на узкорядных (45, 50 см) — три рядка. В первом случае культиватор устанавливают симметрично относительно продольной оси трактора; он обрабатывает нечетное число междурядий и две половинки. Во втором случае могут быть два варианта установки. Если ширина стыковых междурядий больше, чем основных (например, на сахарной свекле 50—55 см), обрабатывают 12 полных междурядий, устанавливая на культиваторе 12 секций с полным набором лап.

Культиватор в этом случае присоединяют по оси симметрии трактора. Если ширина основных и стыковых междурядий одинакова, приходится обрабатывать 11 полных междурядий и две половинки.

Для ориентировки при установке рабочих органов в междурядьях служат натянутые шнуры или окрашенные линии, нанесенные на установочной площадке, определяющие положение рядков. Стойки рабочих

органов устанавливают согласно технологической схеме, придерживаясь определенной величины защитной зоны.

Величина защитной зоны зависит от вида культур, развития растений, состояния почвы и прямолинейности рядков. Она изменяется в пределах от 4 до 18 см. Излишнее увеличение защитной зоны

Работа пропашных агрегатов: перед началом работы необходимо найти посевные стыковые междурядья; они должны быть стыковыми и при междурядной культивации. На междурядной обработке обычно применяют челночный способ движения. В некоторых случаях целесообразно применение способа движения «односторонний челнок». Весьма эффективен способ движения «пропашка», но он требует высокой квалификации водителей и применяется преимущественно при обработке плодово-ягодных насаждений.

Наилучшие результаты по качеству работы получаются в том случае, если пропашной агрегат движется в том же направлении, в каком шел посевной или посадочный агрегат. Если на концах гонов нет свободных полос, то поворот делают в пределах поля. Поворот сопровождается некоторым повреждением растений, однако это выгоднее, чем оставлять поворотные полосы незасеянными.

При работе с навесными культиваторами применяют челночный способ движения, делая повороты срезанной петлей. Хотя этот способ требует при каждом повороте двукратного переключения передачи, однако он позволяет уменьшить ширину поворотной полосы примерно на 40% и соответственно сократить повреждаемость культурных растений. При поперечной обработке квадратно-гнездовых посевов благодаря отсутствию стыковых междурядий наиболее целесообразно применять способ движения перекрытием.

Во время поворотов и остановок агрегата очищают рабочие узлы от растительных остатков, сорняков и налипающей почвы. Особое значение для требует при каждом повороте двукратного переключения передачи, однако он позволяет уменьшить ширину поворотной полосы примерно на 40% и соответственно сократить повреждаемость культурных растений. При поперечной обработке квадратно-гнездовых посевов благодаря отсутствию стыковых междурядий наиболее целесообразно применять способ движения перекрытием.

Во время поворотов и остановок агрегата очищают рабочие узлы от растительных остатков, сорняков и налипающей почвы. Особое значение для качества работы имеет острота режущих кромок полольных лап. Чтобы уменьшить затупление лап, целесообразно применять самозатачивающиеся лапы, наплавленные сормайтом. Опыт одесских механизаторов-скоростников показал, что такие лапы лучше подрезают сорняки и позволяют в 8—10 раз увеличить обработанную площадь между переточками, доведя ее до 400—450 га (в расчете на один след).

При первом проходе, а также 3—4 раза на протяжении смены проверяют качество работы: величину защитных зон, полноту уничтожения сорняков, степень повреждаемости культурных растений, глубину обработки, правильность установки туковысевающего аппарата на норму высева. В случае необходимости устраняют выявленные неполадки и вносят необходимые изменения в установку культиватора.

На ровных, хорошо обработанных площадях и особенно при большой длине гонов целесообразно применять повышенные скорости при условии полной исправности механизмов управления и ходовой части. На разных технологических процессах применяют различные скорости движения.

## 2.2. Устройство и принципы работы пружинной установки для обработки междурядий

Устройство для обработки междурядий пропашных культур - представлено на:

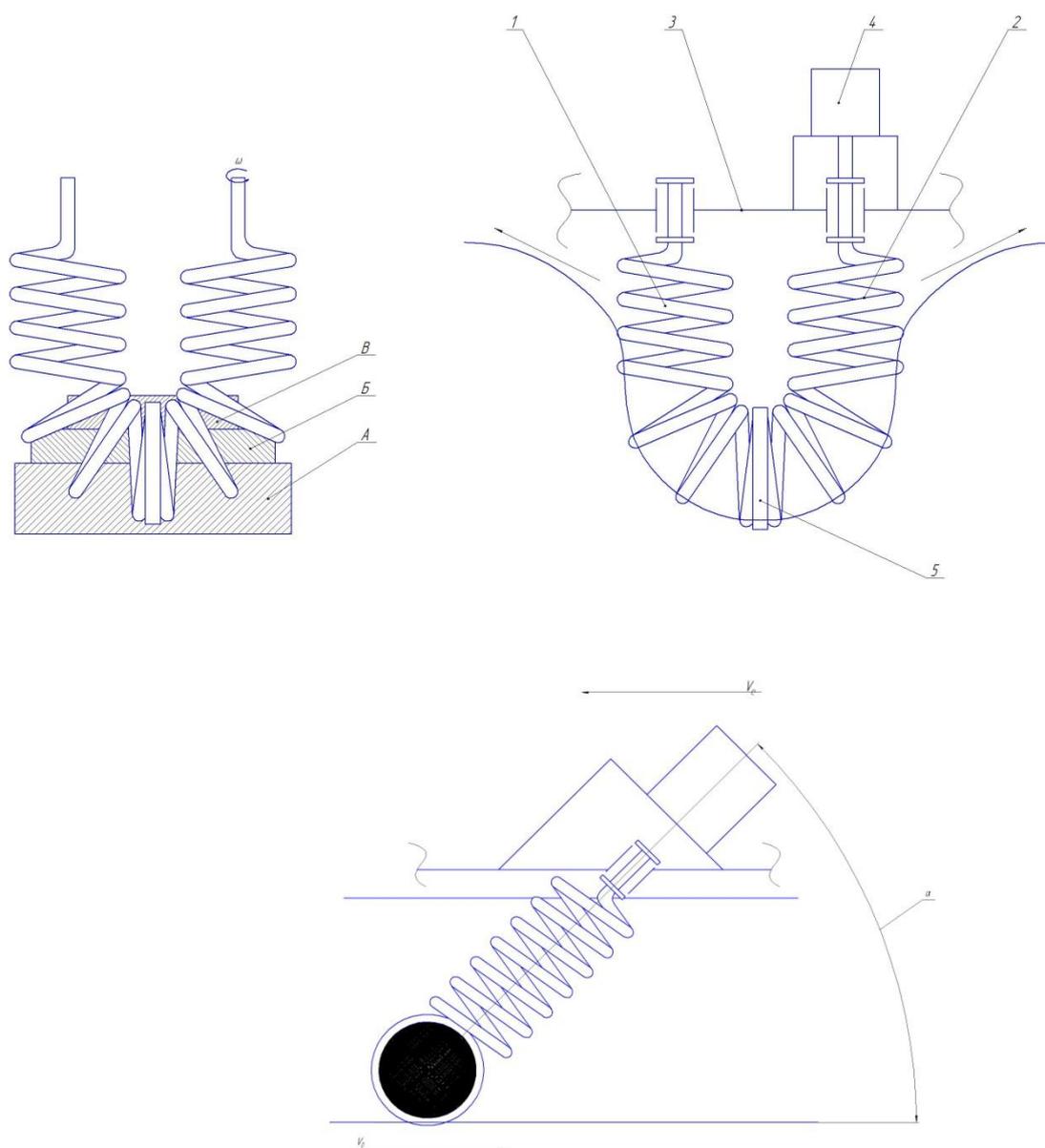


Рисунок 2.1. – Общий вид устройства для обработки междурядий пропашных культур;

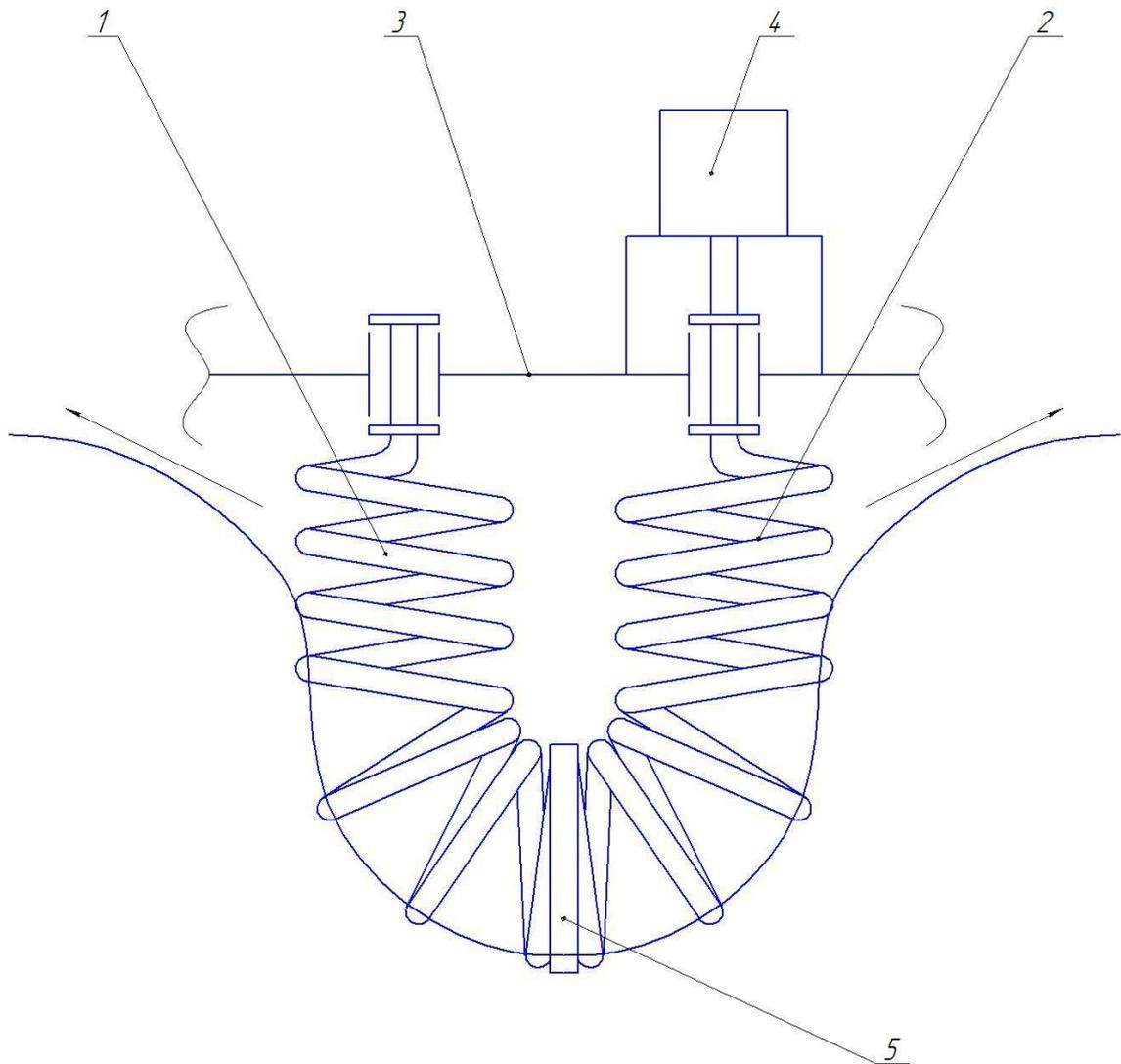


Рисунок 2.2 – Схема технологического процесса при измельчении почвенных комков;

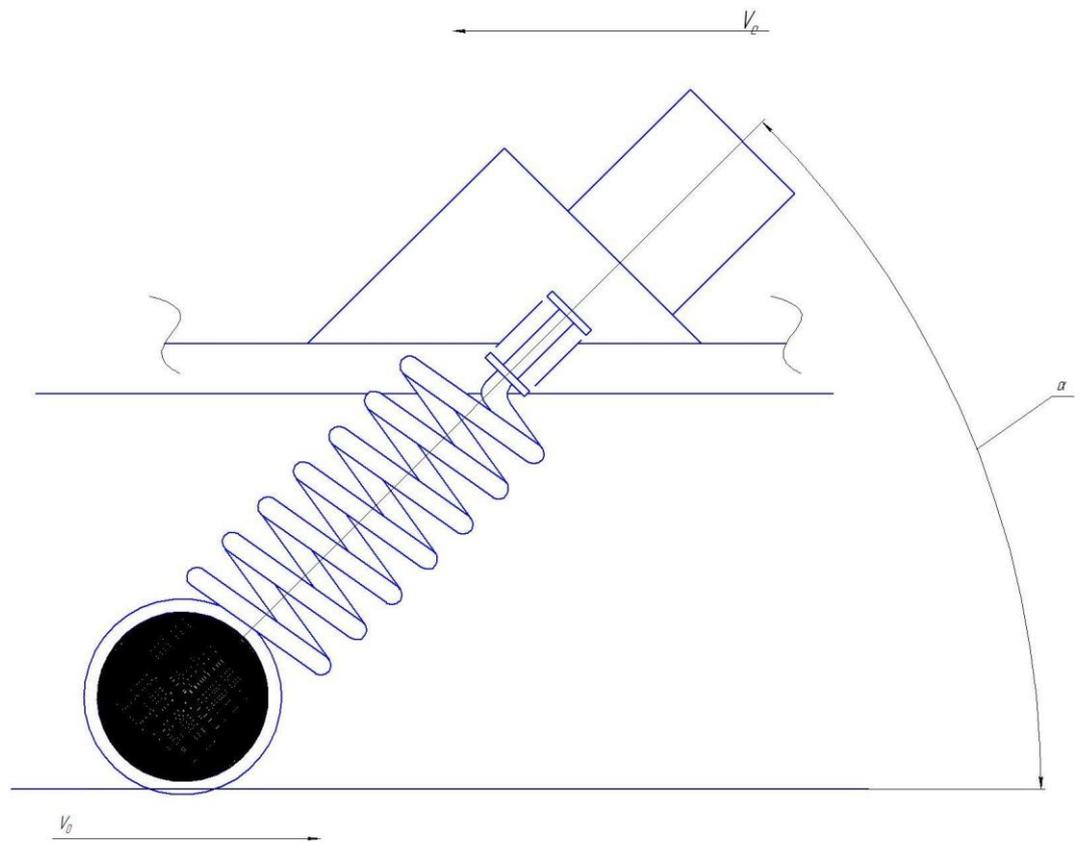


Рисунок 2.3 – Принцип работы устройства для обработки междурядий пропашных культур при удалении сорняков.

Технический результат достигается тем, что предлагаемое устройство (рис. - 2.1), содержит раму, привод и рабочий орган, выполненный в виде двух пружин, соединенных с помощью муфты, общая ось пружин изогнута на  $180^0$  по дуге окружности и расположена в плоскости наклоненной под углом  $\alpha$  к горизонтали в сторону противоположную поступательного движения агрегата, левый конец пружины 1 соединен на раме 3 с возможностью свободного вращения вокруг своей оси. При этом правый торец пружинного элемента 2 соединен с приводом 4, обеспечивающим его вращение в направлении противоположном поступательному движению

агрегата в зоне контакта с поверхностью почвы, причем выдерживается соотношение:

$$v_{\text{окр}} > v_{\text{пост}}$$

где  $v_{\text{окр}}$  - окружная скорость витков пружины в зоне контакта с почвой;

$v_{\text{пост}}$  - поступательная скорость движения агрегата.

Принцип работы устройства заключается в следующем. При движении устройства по полю с поступательной скоростью  $v_{\text{пост}}$ , рабочие органы 1 и 2, выполненные в виде пружины, находясь в междурядье, получают вращение вокруг своей оси от привода 4, при этом он вращается в направлении противоположном поступательному движению агрегата в зоне контакта с поверхностью почвы, причем выдерживается соотношение:

$$v_{\text{окр}} > v_{\text{пост}}$$

где  $v_{\text{окр}}$  - окружная скорость витков пружины в зоне контакта с почвой;

$v_{\text{пост}}$  - поступательная скорость движения агрегата.

За счет того, что окружная скорость винтов пружины  $v_{\text{окр}}$  в зоне контакта с поверхностью почвы будет больше, чем скорость поступательного движения агрегата  $v_{\text{пост}}$  происходит захватывание витками пружины почвенных комков и сорняков, попадающих в межвитковое пространство пружины.

При вращении рабочего органа  $\omega$ , выполненного в виде двух пружин 1 и 2, расстояние между его витками будет уменьшаться от максимального значения до минимального или нулевого, в случае соприкосновения витков. Комки почвы, оказавшиеся в межвитковом пространстве (Рис.-2.2), подвергаются сначала захватыванию (зона А), затем перемещению и частичному разрушению – зона Б, и полному разрушению - зона В. Кроме разрушения почвенных комков, рабочий орган погруженный на глубину  $h$ , не

превышающую высоту профиля пружины, будет разрушать и почвенную корку. Принцип работы устройства для обработки междурядий пропашных культур при удалении сорняков показан на Рис.-2.3. Сорняки, оказавшиеся в межвитковом пространстве, подвергаются захватыванию витками пружины в зоне Г, затем перемещению и извлечению из почвы в зоне Д, а затем сбросу на поверхность почвы в зоне Е.

Таким образом, исполнение пружины из двух частей: правой и левой навивки, позволяет обеспечить сгребание почвы из междурядий равномерно в правую и левую сторону гряды.

Разработанное устройство при проходе по междурядью пропашных культур позволяет эффективно удалять сорную растительность, разрушать почвенную корку, крошить почвенные комки и производить окучивание, тем самым обеспечивая повышение эффективности и качества междурядной обработки пропашных культур.

### **2.3. Обоснование конструктивных и кинематических параметров**

Пружины и упругие элементы используют в конструкциях в качестве виброизолирующих, амортизирующих, аккумулирующих, натяжных, динамометрических и других устройств.

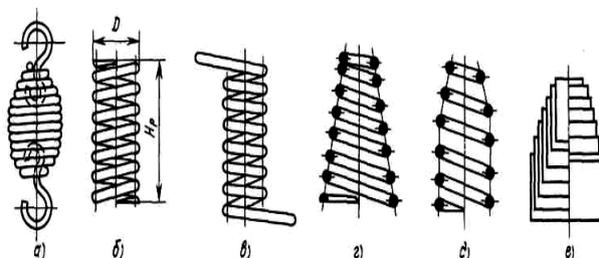
Классификация пружин: По виду воспринимаемой нагрузки различают: пружины растяжения, сжатия, кручения и изгиба.

По геометрической форме их называют: винтовыми, спиральными, прямыми и др.

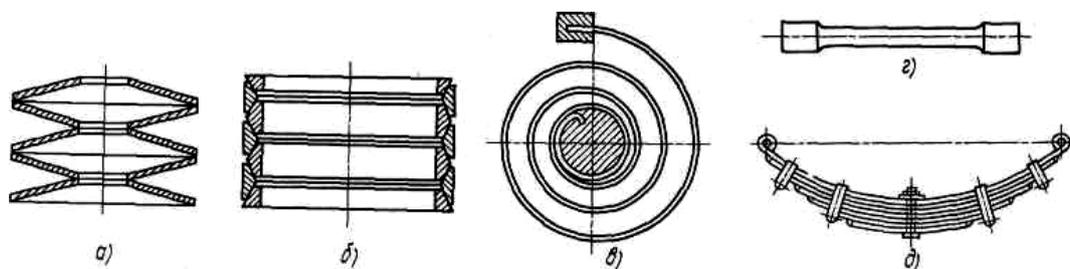
В зависимости от назначения пружины бывают: силовыми (аккумуляторы энергии или движители), измерительными (упругие чувствительные элементы), амортизирующими и т. д.

В машиностроении наиболее распространены винтовые цилиндрические пружины **растяжения, сжатия и кручения**.

Реже применяют специальные пружины: **тарельчатые и кольцевые – сжатия, спиральные и стержневые- кручения; листовые (рессоры)**.



Пружины: *a* - растяжения; *б* - сжатия; *в* - кручения; *г* – фасонные.



*a* - тарельчатая; *б*- кольцевая; *в* - спиральная; *г* - стержневая; *д* – рессора.

Общая характеристика пружин.

Пружины растяжения навивают без просветов между витками с начальным надавливанием витков, компенсирующим частично внешнюю нагрузку. Компенсирующее усилие составляет:

$$F_{np} = (0,25...0,3) ,$$

где  $F_{np}$  - предельное растягивающее усилие.

Для передачи внешней нагрузки пружины (диаметра до 3...4 мм) снабжают зацепами в форме отогнутых последних витков. Для ответственных пружин диаметром свыше 4 мм часто применяют закладные зацепы, но они менее технологичны.

Пружины сжатия навивают с просветом между витками, который должен на 10...20 % превышать осевые упругие перемещения каждого витка при наибольшей внешней нагрузке.

Пружины кручения навивают обычно с малым углом подъема и небольшими зазорами между витками (0,5 мм). Внешнюю нагрузку они воспринимают с помощью зацепов, образуемых отгибом концевых витков.

Основные параметры витых пружин, материалы.

$d$  - диаметр проволоки;

$D_0$  средний диаметр;

Индекс  $c = D_0/d$ ;

$n$  - число рабочих витков;

Длина рабочей части  $-H_0$ ; шаг витков  $-t = H_0/h$  ;

Индекс пружины характеризует кривизну витка. Пружины с индексом  $C \leq 3$  применять не рекомендуется из-за высокой концентрации напряжений в витках. Его выбирают в зависимости от диаметра проволоки .

Основными материалами пружин являются высокопрочная специальная пружинная проволока, высокоуглеродистые стали, марганцовистая сталь, кремнистая сталь, хромованадиевая сталь и др.

Для работы в химически активной среде пружины изготавливают из цветных сплавов.

Расчет цилиндрических пружин

Напряжения в сечениях и деформации витков.

Под действием осевой растягивающей силы  $F$  в поперечном сечении пружины будет действовать поперечная сила  $F$  и момент  $M_z = F D_0 / 2$ , плоскость которого совпадает с плоскостью пары

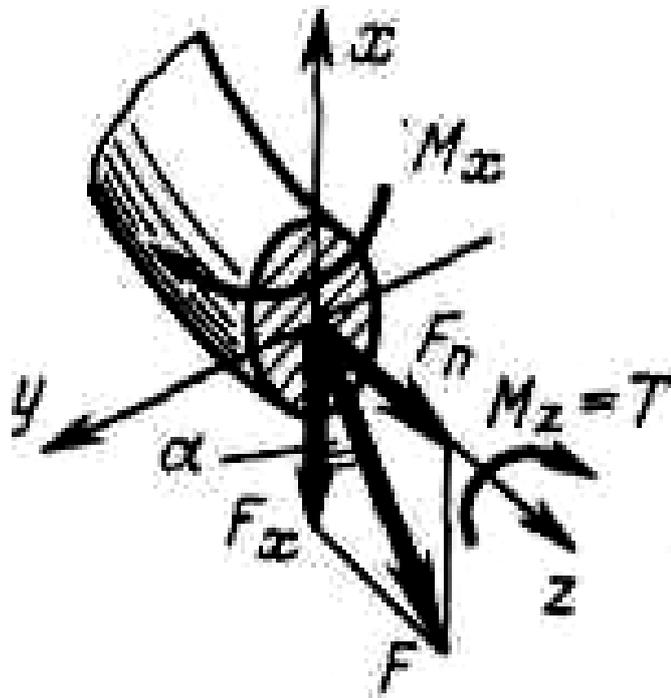
сил  $F$ . Нормальное поперечное сечение витка наклонено к плоскости момента на угол  $\alpha$ .

Проекции силы  $F$  на оси  $x$ ,  $y$  и  $z$  и момент  $T$  равны:

$$F_x = F \cos \alpha; \quad F_n = F \sin \alpha;$$

$$M_x = 0,5FD_0 \sin \alpha.$$

$$T = M_z = 0,5FD_0 \cos \alpha;$$



Угол подъема витков мал поэтому можно считать, что сечение пружины работает лишь на кручение.

Условие прочностной надежности пружины:

$$\tau_{\max} \leq [\tau_k]$$

$$\tau_{\max} = T / W_k$$

- максимальное касательное напряжение в сечении

$$\tau_{\max} = \frac{kFD_0}{2W_k} \leq [\tau_k]$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий кривизны витков;

$[\tau]$  - допускаемое касательное напряжение.

$W_k$  - момент сопротивления сечения витка.

Для проволоки круглого поперечного сечения

$$W_k = \pi d^3 / 32,$$

$$\tau_{\max} = \frac{8kFD_0}{\pi d^3}$$

Осевое перемещение пружины:

$$\delta = \lambda_{\Pi} F,$$

$$\lambda_{\Pi} = n\pi D_0^3 / (4GJ_k) = \lambda n,$$

осевая податливость пружины

$$\lambda = \frac{\pi D_0^3}{4GJ_k} = \frac{8D_0^3}{Gd^4} = \frac{8c^3}{Gd}.$$

где

- осевая податливость одного витка.

Тогда  $\delta = F n \pi D_0^3 / (4GJ_k)$

Здесь  $G$  - модуль сдвига;  $E$  — модуль упругости материала пружины

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \approx 0,384E$$

Диаметр проволоки, обеспечивающий необходимую прочность пружине

с заданным индексом  $c$  :

$$d = 1,6 \sqrt{kF_2 c / [\tau_n]}$$

Если пружина сжатия установлена с предварительной затяжкой (нагрузкой)  $F_1$ , то

$$n = \frac{\delta}{\lambda (F_2 - F_1)}$$

В зависимости от назначения пружины усилие  $F_1 = (0,1 - 0,5) F_2$ . Число витков округляют до полувитка при  $n \leq 20$ ; и до одного витка при  $n > 20$ .

Полное число витков  $n_1 = n + (1,5...2)$ .  $1,5...2$  витка идут на создание опорных поверхностей .

Полная длина ненагруженной пружины:

$$H_0 = H_3 + n (t - d),$$

При больших нагрузках и ограниченных габаритах используют составные пружины сжатия, навивку соседних пружин выполняют в противоположных направлениях (левом и правом).

Для предотвращения выпучивания пружины от потери устойчивости при больших значениях  $H_0/D_0$  пружину следует ставить на оправках или монтировать в гильзах.

### 2.3.1. Шаг и длина пружины

Длину пружины определяем исходя из параметров борозды (Рисунок 2.4):

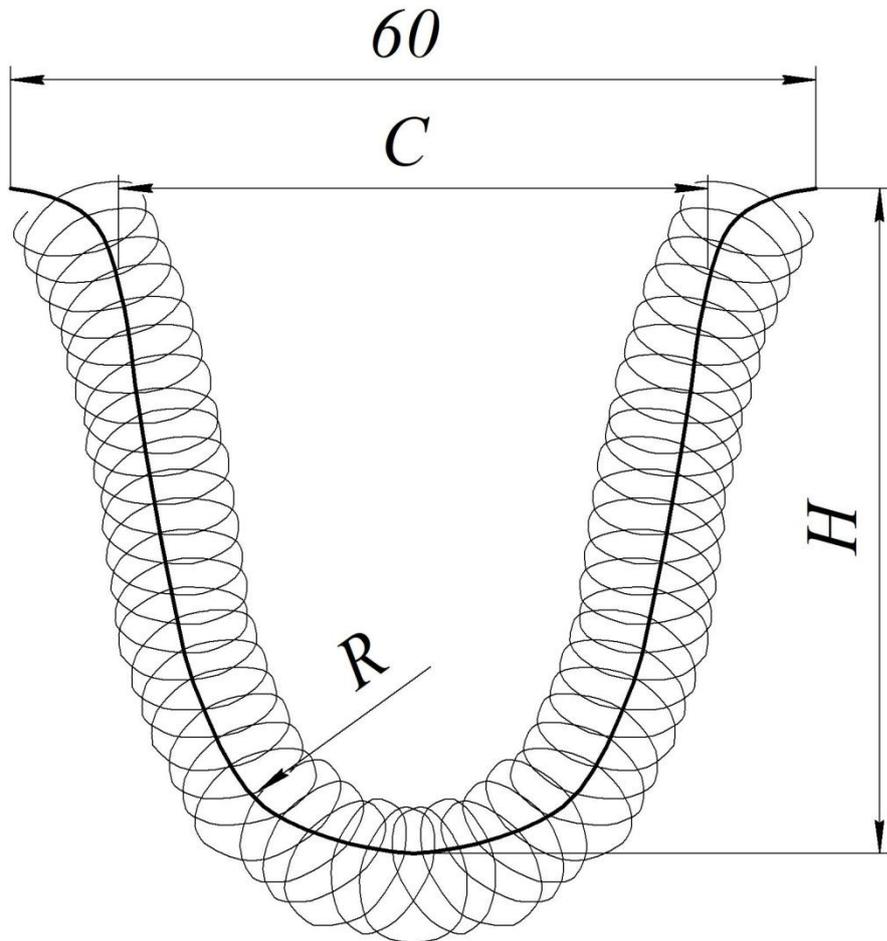


Рисунок – 2.4. Схема расчета шага и длины пружины

$$h = 2\pi R / 2 = \pi R,$$

$$L = 2H + h = 2H + \pi R;$$

Принимая  $H = 200$  мм,  $c = 100$  мм,  $R = c/2 = 50$  мм, получим

$$L = 2 \cdot 200 + 3,14 \cdot 50 = 557 \text{ мм.}$$

### 2.3.2. Диаметр пружины

При заданных габаритах и известной величине нагрузке  $F$ , для повышения гибкости и увеличения несущей способности механизмов подвесок машин, наибольшее распространение получили конструкции пружинных узлов (ПУ), включающие составные пружины с концентричной их установкой (коаксиальные пружины).

Используемые в ПУ цилиндрические пружины сжатия с витками круглого сечения, характеризуются следующими основными геометрическими параметрами:

- диаметр проволоки (размер поперечного сечения витков) –  $d$ ;
- средний диаметр пружины (диаметр образующегося цилиндра) –  $D$ ;
- шаг витков –  $h$ ;
- число рабочих витков –  $i$ ;
- угол подъёма витков –  $\alpha$ ,  $\alpha = \arctg h/\pi D$ ;
- индекс пружины  $C=D/d$  (принимается 6...12) –  $C$ ;
- полная длина рабочей части пружины –  $H_p$

Силовые факторы, действующие в любом поперечном сечении витков пружины сжатия, сводятся к моменту  $M=FD/2$ , вектор которого перпендикулярен оси пружины и силе  $F$ , действующей вдоль оси пружины. В свою очередь момент  $M$  раскладывается на крутящий  $T$  и изгибающий  $M_u$  и моменты

Одновременно в поперечном сечении витков пружины возникают: поперечная сила  $Q = F \cos \alpha$  и нормальная сила  $N = F \sin \alpha$ .

Показано, что при малых углах подъёма витков  $\alpha < 10...12^\circ$ , расчет можно вести по напряжениям кручения, по моменту  $M=FD/2$ , пренебрегая другими силовыми факторами ввиду их малости. При этом максимальные

касательные напряжения , возникающие на внутренних волокнах витков, определяются зависимостью

Диаметр определяем исходя из условия выдергивания сорняков из почвы. То есть корень сорного растения с момента захвата витками пружины должен переместиться на поверхность почвы. Для этого должно выполняться условие:  $L \geq h$

### 2.3.3 Жесткость пружины

Жесткость пружины определяем из условия обеспечения сил трения, необходимой для захвата и выдергивания сорняка:

$$F_{\text{тр}} = f * N ,$$

где  $f$  – коэффициент трения,

$N$  – нормальная сила.

Нормальная сила обеспечивается силой упругости пружины, которая равна:

$$F_{\text{упр}} = c * x ,$$

где  $c$  – коэффициент упругости,

$x$  – перемещение витков пружины

После подстановки будем иметь:

$$F_{\text{тр}} = f * c * x ,$$

отсюда

$$c = F_{\text{тр}} / f * x ,$$

## 2.4. Угловая скорость вращения

Угловую скорость вращения пружины определяем из условия недопущения обуславливания участков, не подвергнувшихся воздействию витков пружины:

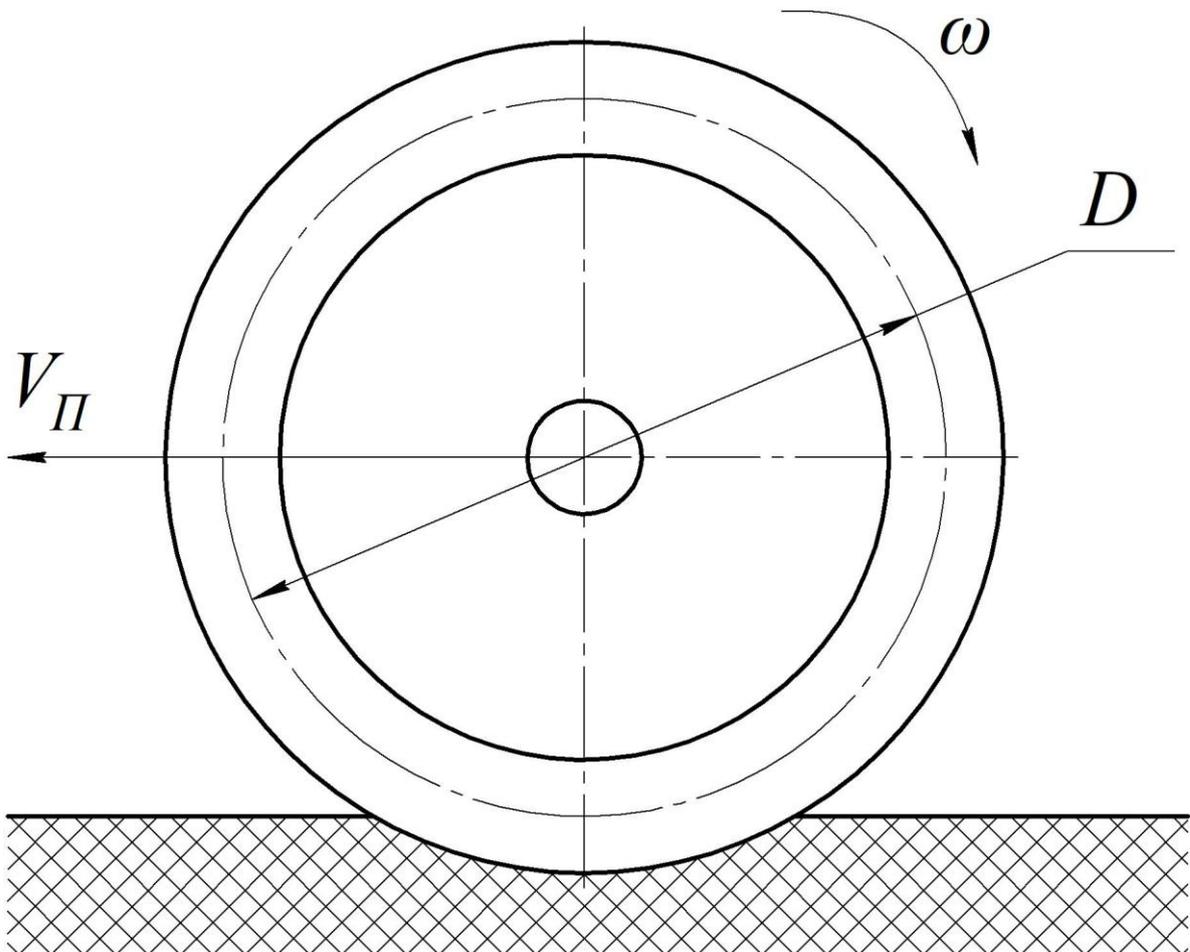


Рисунок – 2.5. Схема определения угловой скорости.

Для обеспечения описанного условия необходимо выполнить следующее соотношение:

$$h \geq h_k$$

где  $h_k$  – длина сорняка растения.

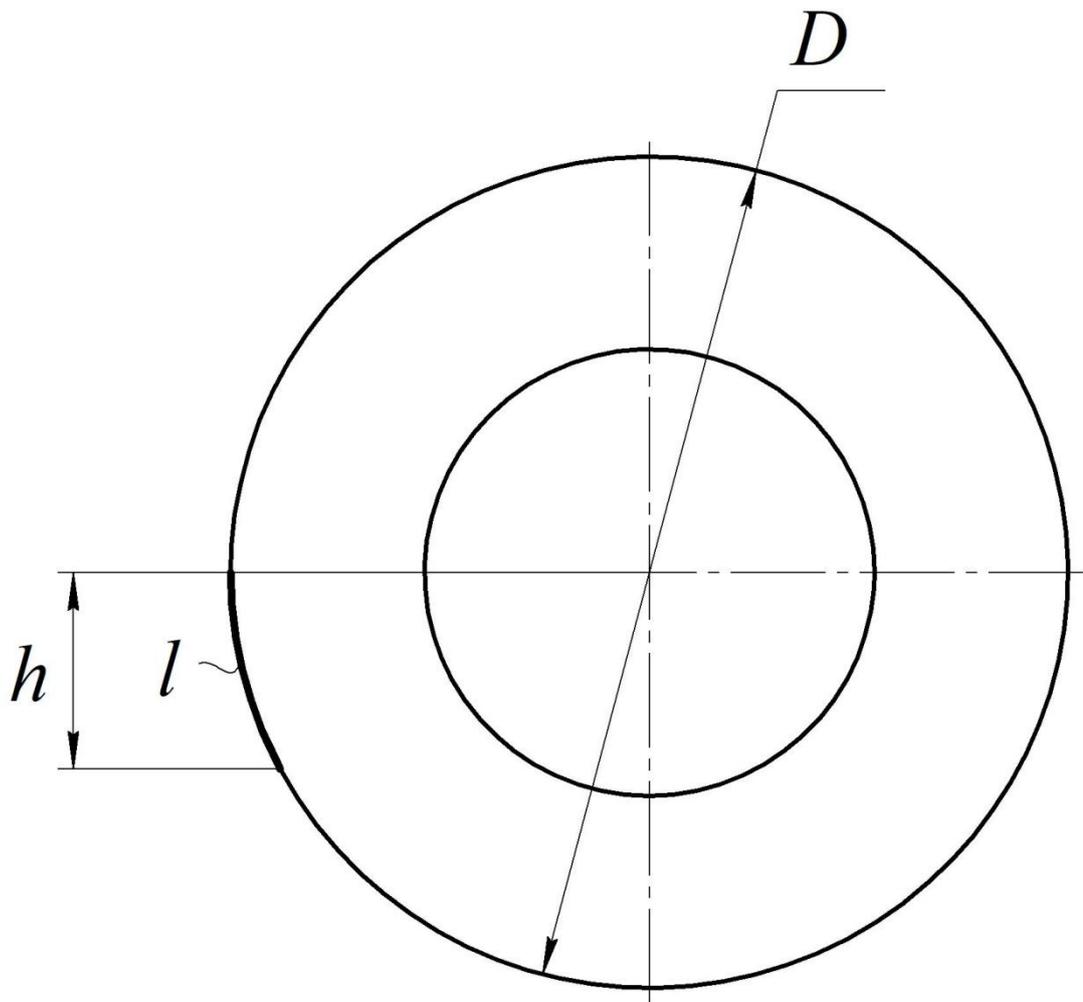


Рисунок - 2.6. Схема вращения.

## 2.5. Выводы по главе

1. Пружинные элементы находят широкое применение практически во всех отраслях технической деятельности человека.
2. Широкий спектр использования пружинных элементов сопровождается большими затратами.
3. Повышение ресурса работы пружинных элементов на 15-30% позволяет повысить надежность машин на 15-25% и сулит значительную экономическую выгоду.

4. Анализ причин выхода из строя пружинных узлов сельскохозяйственной техники показывает, что существенная их часть связана с несовершенством расчетных методов обеспечения ресурса их работы, не учитывающих в полной мере условия эксплуатации сельскохозяйственной техники.

5. Научной основой существующих методов расчета пружинных узлов являются классические положения теории упругости, гипотезы совместности тензоров деформации и напряжений, известные постулаты теории упругости и сопротивления материалов.

6. Уравнения, описывающие напряжения и деформации составных элементов пружин в классической постановке, являются громоздкими для повседневного использования в инженерной практике и требуют значительных математических преобразований.

7. Принятые в основу аналитических выводов физико-математические модели, требуют существенных преобразований применительно к конструктивно-эксплуатационным параметрам пружинных узлов сельскохозяйственной техники.

## ГЛАВА 3. ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 Задачи экспериментальных исследований

Целью настоящей главы являются экспериментальные исследования по определению количественных характеристик проведенных ранее теоретических исследований по повышению эксплуатационной надежности и ресурса работы пружинного рабочего органа:

- исследование усталостной прочности пружин различных типоразмеров;
- разработка дополнительных технических мероприятий по повышению усталостной прочности пружин, в частности пескоструйной обработке;
- испытания пружин различных типоразмеров на динамическую устойчивость;
- обработка данных экспериментальных исследований и анализ результатов.

Усталостные испытания пружин проводились на стенде TLS-S10000II. Результаты испытаний по усталостной прочности показали, что разрушения пружин в подавляющем большинстве (около 85%) происходили по второму и третьему виткам. Усталостные трещины развивались под углом  $45^\circ$  к продольной оси витка. У некоторых испытуемых пружин разрушение произошло перпендикулярно данной оси. Характер изломов – усталостный, типичный для нагружения кручением, с ярко выраженным фокусом разрушения, зоной усталостного развития трещины и зоной долома. Представлены кривые усталости пружин типа Велера для условий

испытаний, которые имеют слабо. Типичный излом пружины по 3-му витку 23 наклонный участок в зоне после  $6 \cdot 10^6$  циклов. Нагружения и криволинейный участок в зоне начального периода циклов нагружения  $N < 4 \cdot 10^6$  циклов, что может аппроксимироваться уравнением:  $\sigma = \tau N^{-const}$ , где показатель степени с достаточной для инженерных расчетов точностью может быть принят равным  $n = 5,3$  для пружин, подвергнутых пескоструйной обработке в течение 5 минут и  $n = 4,9$  – для пружин, без обработки. Экспериментальные исследования по критерию динамической устойчивости проводились на том же стенде и по той же методике, что и испытания по усталостной прочности.

С целью уточнения рациональных параметров рабочего органа, обеспечивающих качественные агротехнические и энергетические показатели работы и проверки полученных теоретических зависимостей, становится необходимым проведение комплекса лабораторных исследований.

На основании поставленных задач и обзора литературных источников были разработаны программа и общая методика исследований.

Программой лабораторных исследований были предусмотрены:

1. Определение некоторых физико-механических свойств почвы.
2. Проведение сравнительных испытаний экспериментальных рабочих пружинных органов культиватора с целью проверки правильности выводов теоретических исследований.
3. Определение влияния скорости движения рабочих органов на составляющие сил сопротивления и энергоемкость рабочего процесса.
4. Исследование влияния ширины захвата рабочего органа на величину составляющих тягового сопротивления.

5. Определение рациональных параметров пружинного рабочего органа, радиально установленного на рабочей поверхности и его влияние на энергетические показатели работы.

6. Исследование процесса взаимодействия рабочего органа с почвой с использованием методов теории планирования экспериментов.

7. Проверка полученных аналитических зависимостей для определения важнейших конструктивных параметров рабочего органа.

Согласно программы все лабораторные исследования комбинированного рабочего органа культиватора проводились в почвенном канале Казанского ГАУ.

### **3.2 Методика исследований по обоснованию конструктивных параметров рабочего органа культиватора**

#### **Методика определения физико-механических свойств почвы.**

В целях сведения к минимуму затрат материалов, времени и рабочей силы и получения надежных результатов в соответствии с методикой, лабораторные исследования были проведены в почвенном канале.

При проведении лабораторных исследований определялись физико-механические свойства почвы согласно СТО АИСТ 10.4.6- 2003. Для определения влажности и плотности почвы применялись цилиндр-бур, весы, электрический сушильный шкаф, а твердость почвы определялась твердомером конструкции Ревякина.

Лабораторные исследования были проведены в почвенном канале с использованием специально разработанной экспериментальной установки. Исследовались варианты рабочих органов культиватора в дерново-подзолистой почве среднесуглинистого механического состава, влажностью

в слое 0...13 см – 17...18,5%. В основу оценки приняты горизонтальные и вертикальные составляющие тягового сопротивления рабочего органа рациональная высота, установленных на рабочей поверхности.

Для экспериментального обоснования основных параметров рабочего органа культиватора и технологического режима его работы была изготовлена лабораторная установка, оснащенная системой для тензометрирования и представляющая собой тензометрическую раму, прикрепленную шарнирно к тележке почвенного канала. Тележка позволяет регулировать в необходимых пределах угол наклона к вертикали и глубину обработки. Для подготовки почвы в канале на раме тележки устанавливались привод и рабочий орган, выполненный в виде двух пружин, соединенных с помощью муфты, общая ось пружин изогнута на  $180^0$  по дуге окружности и расположена в плоскости наклоненной под углом  $\alpha$  к горизонтали в сторону противоположную поступательного движения агрегата. В целом экспериментальная установка смонтирована на существующей самоходной тележке почвенного канала. Перемещение самоходной тележки в почвенном канале осуществляется при помощи тросового каната, расположенного на барабане. Привод барабана производится от электродвигателя через многоступенчатый блок коробки передач.

Исходя из допустимой погрешности измерений были выбраны измерительные приборы и аппаратура. Для энергетической оценки рабочих органов культиватора, проверки основных теоретических выводов с учетом агротехнических показателей качества их воздействия на почву, использовался метод тензометрирования. При этом определялись следующие показатели: составляющие тягового сопротивления и качество обработки

почвы. Значения этих показателей фиксировались в зависимости от глубины обработки и величины поступательной скорости.

Для определения вышеуказанных показателей использовались тензометрические балки.

Тензометрические балки устанавливались в соответствующих шарнирных звеньях рамки. На тензобалки наклеивались электрические проволочные датчики сопротивления типа 2 ПКБ-20-200Х, которые соединялись по мостовой схеме. Передача сигнала от датчиков к компьютеру, производилась через тензоусилитель. Блок-схема измерителя деформаций. Сигнал разбаланса моста усиливается прибором ИП-238, затем выпрямляется фазочувствительным детектором и подается на фильтр, который задерживает составляющую несущей частоты. С выхода сигнал подается к регистрирующему устройству 4. Одновременно на компьютере регистрировались также импульсы от индуктивных датчиков оборотов рабочего органа, оборотов колеса тележки, для нахождения пути, проходимого установкой и датчика времени. Эти параметры необходимы для определения скорости поступательного движения установки.

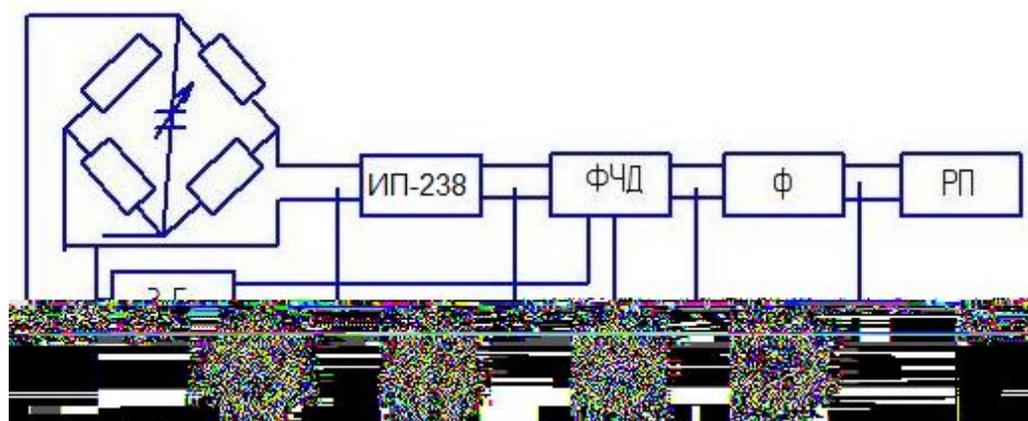


Рисунок 3.3. – Блок-схема измеритель деформации

Тарировка тензометрических звеньев проводилась в начале каждой серии опытов по общепринятой методике.

### Методика планирования эксперимента

На основании предварительного анализа существующих работ, теоретических исследований и поисковых опытов нами определены рациональные значения некоторых параметров рабочего органа. К ним относятся ширина захвата  $b$ , скорость движения рабочего органа  $V$  и высота  $h_n$ , глубина хода рабочего органа  $a$ , которые оказывают существенное влияние на энергетические и агротехнические показатели его работы.

Технологические факторы определяют условия проведения работ по обработке почвы. Предпосевная обработка почвы проводится при наступлении ее физической спелости, что достигается для дерново-подзолистой почвы при 18...20% влажности.

Глубина обработки почвообрабатывающими машинами соответствует глубине заделки семян и колеблется в пределах 3...8 см.

Исследование рабочих органов культиватора были проведены в лабораторных условиях, приближенных к производственным. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистого механического состава. Влажность ее составляла 17,0...18,5%, плотность – 1,10...1,21г/см<sup>3</sup>, глубина обработки до 0,11м.

При исследовании была принята скорость до 3,33м/с с учетом пределов скорости движения современных почвообрабатывающих машин.

В лабораторных условиях предусматривалось изучить влияние факторов  $b, v, h_n$  и  $a$  на тяговое усилие и вертикальную реакцию почвы, которая является важнейшим показателем, обуславливающим устойчивость хода рабочего органа по глубине. Остальные параметры – угол заострения, острота лезвия и др. приняты согласно.

В основу опытов были положены требования ОСТ 70.2.15-73, 70.4.2-74, 70.5.1-74. Объектом исследований явились рабочие органы культиватора различной ширины междурядий.

Поиск оптимальных величин указанных факторов произведен планированием эксперимента. При проведении опытов использована общепринятая методика математической теории планирования экспериментов, план для четырех факторов Бокса ( $B_4$ ). Сначала после рандомизации была проведена серия опытов полного факторного планирования экспериментов с четырьмя факторами, варьируемыми на двух уровнях. Выбор уровней и интервалов варьирования проведены на основе теоретических исследований.

Значения уровней варьирования факторов представлены в табл. 3.1, а матрица планирования для проведения экспериментов с целью описания поверхности отклика полиномом второго порядка – в приложение 1.

Таблица 3.1 - Значения уровней факторов и интервалов варьирования

Факторы	Обозначение	Уровни факторов			
		верхний (+ I)	основной (0)	нижний (-I)	Интервал варьирования
Высота, м	$x_1$	0,035	0,025	0,015	0,010
Ширина захвата, м	$x_2$	0,330	0,285	0,240	0,045
Глубина обработки, м	$x_3$	0,12	0,085	0,05	0,035
Скорость, м/с	$x_4$	3,33	2,5	1,67	0,83

Обоснование уровней и интервалов варьирования факторов :  $h_n$ ,  $v$ ,  $v$  и  $a$

1. Высота пружинного рабочего органа на рабочей поверхности рассматривается нами впервые. Цель пружинного рабочего органа – обеспечить сгребание почвы из междурядий равномерно в правую и левую сторону гряды и повысить устойчивость движения рабочего органа, т.е. как стабилизатора его движения. При этом высота должен иметь такой размер, который обеспечивает меньшую энергоёмкость и устойчивый ход рабочего органа без сопровождения явлений защемления и сгуживания почвы.

Как известно, при работе должна происходить деформация почвы на рабочей поверхности лапы, радиально установленным ножом-стабилизатором. Последний перемещаясь по этим трещинам скалывания должен испытывать меньшее тяговое сопротивление, соответственно, меньшим сопротивлением будет обладать и рабочий орган.

Кроме того, следует отметить, что при вырезании почвы двугранным клином изменяются размеры пласта. При этом фактическая длина вырезанного пласта всегда меньше пути, который проходит клин, так как пласт увеличивается по толщине. Это подтверждается по данным ряда исследователей.

По данным П.М.Василенко и П.Т. Бабий коэффициент вспушенности можно принять равным  $\zeta=1,2\dots1,25$ ].

Поэтому исходя из вышеизложенного и с учетом результатов теоретических исследований, учитывая глубину обработки, угол крошения и физико-механические свойства почвы, для лабораторных опытов можно принять высоту пружинного рабочего органа на рабочей поверхности лапы в пределах от 2,2...2,8 см.

2. Ширина пружины также должна иметь такой размер, который обеспечивает меньшую энергоемкость и устойчивый ход рабочего органа.

Как известно, всякое изменение угла трения  $\varphi$  вызывает соответствующее изменение координаты точки с зубчатого лезвия ( $\ell$ ) поэтому, соответственно, изменяется и координаты точки  $K$ . Так как всякое изменение координаты по оси  $X$  точки  $K$  влияет на оптимальное значение ширины захвата  $B_{\text{л}}$  рабочего органа, следовательно, эта величина должна выбираться в соответствии с конкретными условиями рабочего процесса (величина рабочей скорости, показатели влажности и засоренности почвы и т.д.).

В настоящее время отечественные и зарубежные культиваторы выпускаются с рабочими органами различной ширины захвата. Следует отметить, что оптимальным значением ширины захвата рабочих органов культиватора КПС-4 считается 0,270 м и 0,330 м. На основе вышеизложенного и с учетом результатов теоретических исследований, для лабораторных опытов можно принять рабочие органы шириной захвата от 0,240 м до 0,330 м.

3. С учетом скорости движения современных почвообрабатывающих машин скорость  $V$  для экспериментов можно принять в пределах от 1,67 м/с до 3,33 м/с.

4. Глубину обработки рабочих органов для экспериментов примем от 0,05 до 0,12 м.

Одной из главных задач факторного планирования экспериментальных исследований является поиск математической модели изучаемого процесса.

При полнофакторном планировании искомая математическая модель представляется в виде следующего уравнения регрессии:

$$y = B_0 + \sum_{i=1}^n B_i x_i + \sum_{i=j}^n B_{ij} x_i x_j,$$

где  $x_i, x_j$  - значения факторов;

$B_0$  - свободный член;

$B_i$  - коэффициенты регрессии факторов;

$B_{ij}$  - коэффициенты регрессии факторов двойного взаимодействия.

Коэффициенты уравнения регрессии определяются по следующим зависимостям:

$$B_0 = \frac{\sum_{u=1}^n y_{cpu}}{N}; \quad B_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} y_{cpu}}{N};$$

$$B_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} y_{cpu}}{N},$$

где  $y_{cpu}$  - среднее значение выходного параметра;

$N$  – количество опытов;

$x_{iu}, x_{ju}$  - значение двух факторов в  $u$ -м опыте.

Оценка значимости коэффициентов регрессии проводится по критерию Стьюдента при выбранном уровне значимости - 0,05 по формуле:

$$t = \frac{|B_i|}{S B_i},$$

где  $|B_i|$  - абсолютное значение  $i$ -го коэффициента регрессии;

$t$  - критерий Стьюдента;

$S B_i$  - квадратичная ошибка коэффициентов регрессии.

Для определения  $S_{\epsilon_i}$  нужно найти дисперсию коэффициентов регрессии  $S^2_{\epsilon_i}$ , которая вычисляется так:

$$S^2_{\epsilon_i} = \frac{S_y^2}{N},$$

где  $S_y^2$  - дисперсия воспроизводимости опыта.

Дисперсия воспроизводимости опыта вычисляется по выражению:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N S_u^2}{N},$$

где  $S_u^2$  - дисперсия каждого опыта.

Дисперсия в каждой строке находится как

$$S_{bi}^2 = \frac{S_u^2}{N \cdot m},$$

где  $m$  - повторность опытов.

Ошибка коэффициентов регрессии равна:

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_u^2}{N \cdot m}}.$$

Оценка однородности дисперсии при одинаковом числе параллельных опытов производится по критерию Кохрена, который определяется из уравнения:

$$\sigma = \frac{S_{y_{max}}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2}.$$

При степенях свободы  $f_1 = (m - 1)$  и  $f_2 = N_1$ ,  $\sigma_{\text{табл.}}$  определяется согласно [72] и если  $\sigma_{\text{max}} < \sigma_{\text{табл.}}$ , то гипотеза об однородности верна.

Дисперсия для каждой точки параллельных опытов определяется так:

$$S_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_{ui} - y_{\text{cp.u}})^2}{m - 1},$$

где  $y_{ui}$  - значение функции отклика в  $u$ -й строке  $i$ -ого параллельного опыта;

$y_{\text{cp.u}}$  - среднее значение функции отклика в данном опыте.

При этом всю группу дисперсий  $S_u^2$  можно считать оценкой для одной и той же общей дисперсии воспроизводимости, которая вычисляется так:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{i=1}^m (y_{ui} - y_{\text{cp.iu}})^2}{N(n - 1)}.$$

Далее проверяется адекватность модели по  $F$  – критерию Фишера, определяемой по формуле:

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_y^2},$$

где  $S_{\text{ад}}^2$  - дисперсия адекватности;

$S_y^2$  - дисперсия воспроизводимости.

При этом

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (y_{\text{cp.u}} - y_u)^2}{N - d},$$

где  $y_{cp.u}$  - средняя величина функции отклика в  $u$ -м опыте при  $m$  повторностях;  $d$  - число коэффициентов модели;  $y_u$  - расчетное значение функции отклика для условий  $u$ -го опыта.

Расчетное значение  $F$  сравнивается с табличными  $F_m$  согласно [72], со степенями свободы  $f_{1a\partial} = N - d$  и  $f_{2a\partial} = N - 1$  при выбранном уровне значимости  $q = 0,05$ . Если  $F < F_m$ , то гипотеза об адекватности модели принимается.

При проведении лабораторных исследований использовано также центральное ротатабельное униформ-планирование второго порядка. При этом ядром плана является полный факторный эксперимент типа  $2^3$ , к нему добавляются  $2n$  звездных точек на расстоянии  $\pm 1,682$  и число нулевых точек  $n_0 = 6$  из расчета так, чтобы сохранить постоянной дисперсию значений параметров оптимизации.

Значение уровней и интервалов варьирования факторов представлены в табл. 3.2., а матрица планирования и результаты экспериментов – в приложение 1 и 2.

В этом случае коэффициенты регрессии и их ошибки вычисляются методами регрессионного анализа. При этом предварительно находятся следующие константы:

$$C = \frac{N}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}; \quad \lambda = \frac{nN}{n + 2(N - n_0)}$$

$$A = \frac{1}{2\lambda(n + 2)\lambda - n}$$

где  $n$  – число факторов;

$N$  - общее число опытов;

$n_0$ - число опытов в центре плана.

Далее на основании экспериментов вычисляются следующие суммы:

$$S_0 = \sum_{u=1}^N \bar{y}_u ;$$

$$S_i = \sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u , \text{ (где } i=1, 2, \dots, n);$$

$$S_{ik} = \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ku} \bar{y}_u , \text{ (где } i \neq k);$$

$$S_{ii} = \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \bar{y}_u , \text{ (где } i=1, \dots, n).$$

Расчет коэффициентов регрессии модели производится по следующим зависимостям:

$$B_0 = aN^{-1} \sum y_u - bN^{-1} \sum \sum x_{iu}^2 y_u ;$$

$$B_{ii} = -bN^{-1} \sum y_u + cN^{-1} \sum x_{iu}^2 y_u - dN^{-1} \sum \sum x_{iu}^2 \cdot y_u ;$$

$$B_i = \lambda_2^{-1} N^{-1} \sum x_{iu} y_u ;$$

$$B_{iy} = \lambda_3^{-1} N^{-1} \sum x_{iu} x_{ju} y_u .$$

Числовые значения (постоянные коэффициенты) параметров плана содержатся в таблице.

Раскодирование (преобразование к именованным величинам) выполним по формулам:

при преобразовании линейных членов уравнения

$$B_i X_i = \frac{B_i}{\varepsilon_i} X_i - \frac{B_i}{\varepsilon_i} X_{oi} ,$$

при преобразовании членов уравнения, содержащих взаимодействия

$$B_{ij} X_i X_j = \frac{B_{ij}}{\varepsilon_i \varepsilon_j} (X_i X_j - X_i X_{0j} - X_j X_{oi} + X_{oi} X_{0j}) ,$$

при преобразовании квадратичных членов уравнения

$$B_{ii}x_i^2 = \frac{B_{ii}}{\varepsilon_i^2} (x_i^2 - 2x_i x_{oi} + x_{oi}^2).$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии проводится по  $t$ -критерию Стьюдента ранее изложенным методом.

При этом дисперсии коэффициентов регрессии определяется так:

$$S_{\beta_0}^2 = \frac{2\lambda^2 A + 2\bar{y}_y^2}{N};$$

$$S_{\beta_i}^2 = \frac{cS_y^2}{N}, \quad (\text{где } i=1,2,\dots,n);$$

$$S_{\beta_{ii}}^2 = \frac{A [k+1] \bar{y} - [k-1] \bar{c}^2 S_y^2}{N};$$

$$S_{\beta_{ij}}^2 = \frac{c^2 S_y^2}{N\lambda}; \quad (\text{где } i \neq j).$$

Коэффициент регрессии  $\beta_i$  значим, если  $|\beta_i| > S_{\beta_i} t$ .

Оценка дисперсии воспроизводимости опыта определяется по формуле:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_{ui} - y_{срi})^2}{N_0 - 1}.$$

Она связана с числом степеней свободы  $f = N_0 - 1$ .

Оценку однородности дисперсии производят по критерию Кохрена.

Адекватность модели проверяется по критерию Фишера по формуле:

$$F_P = \frac{\max(S_{ad}^2, S_{ad}^2)}{\min(S_{ad}^2, S_{ad}^2)}.$$

Оценка дисперсии адекватности вычисляется из следующей зависимости:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i^p - y_{\bar{y}}^p)^2}{N - 0,5(n+2)(n+1) - (n_0 - 1)} \cdot S_y^2 (n_0 - 1)$$

Число степеней свободы, связанные с этой оценкой дисперсии находится из выражения:

$$f_{ad} = N - 0,5(n+2)(n+1) - (n_0 - 1)$$

Если в результате обработки экспериментальных данных получена адекватная модель, то можно приступить к ее исследованию известными методами.

### **Методика обработки результатов экспериментальных исследований в почвенном канале.**

Достоверность выводов, сделанных на основании экспериментальных исследований, в основном зависит от точности измерений и от правильности обработки их результатов. Поэтому при исследованиях на эти вопросы было уделено особое внимание. Обработка полученных при исследованиях сигналов проводилась на компьютере. При этом были получены средние значения горизонтальной и вертикальной составляющих тягового сопротивления.

По тарировочному графику тензопластины и тензостойки определяем масштабы составляющих тягового сопротивления:

$$m_i = \frac{P_i}{h_i},$$

где  $P_i$  - величина нагрузки по образцовому динамометру;

$h_i$  - высота ординаты на графике.

Скорость поступательного движения тележки почвенного канала, значит и рабочего органа определяется по формуле:

$$V_e = \frac{h_t}{h_s} S \cdot t,$$

где  $h_t$  - расстояние между импульсами, подаваемыми датчиком времени за время равное одной секунде, мм;

$h_s$  - расстояние между импульсами, подаваемыми датчиком оборотов тележки, за один оборот колеса тележки, мм;

$S$  - длина обода колеса тележки, м;

$t$  - время между импульсами, подаваемыми датчиком времени, равное одной секунде, с.

### **Определение погрешности измерений и повторности экспериментов.**

За основу исследования рабочих органов культиватора в почвенном канале был принят метод тензометрирования. Погрешность измерений при таком методе суммируется из погрешности применяемой аппаратуры и инструментальных ошибок.

Суммарная погрешность измерения тягового усилия и его составляющих вычисляется из выражения:

$$\frac{\Delta R}{R} = \pm \left[ \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta m}{m} \right],$$

где  $\frac{\Delta h}{h}$  - ошибка определения ординат по графику (1,0%);

$\frac{\Delta m}{m}$  - погрешность тензометрической аппаратуры и тарировки.

Она складывается из погрешности усилителя (1...1,5%), регистрирующего прибора (1,5...1,9%) и ошибки в процессе тарировки (0,2%).

Общая погрешность измерений при определении составляющих тягового сопротивления составляет  $\pm 3,7...4,6\%$ .

Повторность опытов при проведении исследований должна обеспечить необходимую для данного уровня экспериментов степень точности. Повторность опытов, необходимая при проведении лабораторно-полевых исследований определялось по формуле:

$$n = \left( \frac{V_1}{P_1} \right)^2,$$

где  $V_1$ - вариационный коэффициент испытаний;

$P_1$ - максимальное допустимое значение показателей точности.

Для определения  $V_1$  перед началом основных опытов были проведены поисковые опыты. На основании поисковых опытов установлено, что коэффициент вариации отдельных измерений составляет 4,1...6,2%. Величину допустимого значения показателя точности опытов принимаем равной 3,5%. Тогда необходимое число повторностей составит 1,4...3,1. Поэтому лабораторные исследования проводились с трехкратной повторностью.

### **3.3. Цель и программа полевых опытов**

Целью полевых исследований была проверка теоретических выводов и результатов лабораторных экспериментов. Наряду с этим, для завершения комплексного исследования комбинированного рабочего органа возникла необходимость определения его агротехнических и энергетических показателей работы.

Программой полевых исследований было предусмотрено:

1. Изготовление опытных образцов рабочих органов. Обоснование их рациональных параметров и режимов работы.

2. Исследование агротехнических показателей работы рабочего органа культиватора в зависимости от скорости его поступательного движения.

3. Исследование закономерностей изменения энергетических показателей рабочего процесса комбинированного органа в зависимости от скорости его поступательного движения.

4. Определение технико-экономических показателей эффективности обработки почвы культиватором с комбинированными рабочими органами.

С учетом поставленных задач и разработанной программы, полевые эксперименты проводились по схеме, представленной в табл. 3.2.

### **3.3.1. Методика исследования агротехнических показателей работы**

Агротехнические исследования проводились на дерново-подзолистой почве среднесуглинистого механического состава на полях Учебного хозяйства Казанского ГАУ и ООО «Аксубаевская продовольственная корпорация» РТ. В качестве объекта исследования служила экспериментальная установка, опытный образец машины для поверхностной обработки почвы с комбинированными рабочими органами в агрегате с трактором МТЗ-82. Для сравнения агротехнических показателей работы использовался серийный культиватор КПС-4 с зубowymi боронами БЗСС-1, а также культиватор КПС-4 с гладкими и зубчатыми ротационными рыхлителями почвы геликоидальной формы.

Опыты проводились по общепринятой методике согласно ГОСТов и ОСТов. Программа агротехнической оценки работы комбинированных рабочих органов и машины в целом включена следующие вопросы:

а) изучение степени крошения;

б) исследование гребнистости, вспушенности, выравненности поверхности поля;

в) определение заглубляемости и устойчивости хода рабочих органов по глубине;

г) определение высоты гребня между смежными рабочими органами и твердости дна борозды;

д) определение степени уничтожения сорной растительности;

е) определение урожая зерна.

В результате проведенных опытов производилась окончательная оценка степени совершенства комбинированных рабочих органов путем сравнения агротехнических показателей их работы и данных урожайности.

**Исследование степени крошения почвы.** При определении степени крошения почвенные пробы брались с участка каждого варианта опыта согласно общепринятой методике в четырех местах по диагонали участка, соответствующих проходам агрегата в обоих направлениях. Разделение почвы на фракции производили по методике ГОСТ 2911-54, ОСТ 70.4.1.-74. Кроме того, с целью определения распыления почвы был определен ее агрегатный состав до и после прохода агрегата. При каждом опыте брали пять проб при помощи специально изготовленного почвенного бура из всего обработанного слоя. Проба высушивалась до воздушно-сухого состояния. Комки крупнее 25 мм отделяли вручную, а оставшуюся часть почвы просеивали через колонку сит и взвешивали каждую фракцию. При этом определяли количество пыли (частиц диаметром меньше 0,25мм) и общее количество эрозионноопасных частиц размером до 1 мм.

**Исследование гребнистости и вспушенности пашни.** Гребнистость пашни определялась путем профилирования. Замеры проводились через

каждые 5 см по всей ширине захвата агрегата. При этом одновременно проводилось и профилирование дна борозды. По этим данным на миллиметровой бумаге вычерчивались профили поля до и после прохода агрегата и дна борозды. По ним определялись гребнистость, вспушенность пашни и высота гребней на дне борозды, оставшихся между смежными рабочими органами.

Гребнистость почвы в процентах вычисляли по формуле:

$$\Gamma = \frac{\ell_1 - \ell}{\ell} \cdot 100,$$

где  $\ell$  - длина прямой линии поперек направления обработки;  $\ell_1$  - длина ломаной линии копирования микрорельефа поля.

Вспушенность почвы в процентах определяем по выражению:

$$K_B = \frac{\Delta F}{F} \cdot 100,$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения необработанного слоя почвы;

$\Delta F$  - прирост площади поперечного сечения после обработки.

Для определения твердости почвы и дна борозды использовали твердомер конструкции Ю. Ревякина. Кроме рассмотренных показателей вначале и в конце каждой серии опытов определялась влажность, объемная масса и плотность почвы по общепринятой методике.

#### **Определение степени уничтожения сорной растительности.**

Степень уничтожения сорняков в зоне обработки определяли отношением количества растений, подрезанных после прохода агрегата, к количеству сорных растений, имевшихся до обработки на площади, ограниченной шириной захвата орудия и длиной, равной 0,5 м по ходу движения, в шестикратной повторности согласно ОСТ 70.2.15-73.

После прохода агрегата отдельно подсчитывали количество подрезанных сорняков в зоне обработки.

Определение урожая зерна. Конечным критерием оценки совершенства различных технологий является величина урожая. Учет урожая зерна производился путем использования пробных площадок и сплошной уборки прямым комбайнированием, согласно методике полевого опыта.

Таблица 3.2 - Программа и схема полевых опытов

Постоянные параметры				Наименование орудий	Изменяемые параметры и их значения					
2 <i>в</i> , мм	<i>h<sub>н</sub></i> мм	<i>a</i> , мм	<i>V<sub>е</sub></i> , км/ч		параметры	Варианты				
						1	2	3	4	5
285	25	50-120	-	Н1-Н2*	<i>V<sub>е</sub></i> ,км/ч	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0
285	25	80	-	Н1	<i>V<sub>е</sub></i> ,км/ч	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0
285	-	80	-	Н2	<i>V<sub>е</sub></i> ,км/ч	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0

\*

Н1-КПС-4М+ротационные рыхлители с зубьями;

Н2-КПС-4М+бороны зубовые БЗСС-1,0(контроль).

### **3.3.2. Методика энергетической оценки культиватора с комбинированными рабочими органами**

Методика энергетических исследований разрабатывалась в соответствии с основной задачей исследования, которая заключалась в сравнительной энергетической оценке работы культиваторов с комбинированными рабочими органами и КПС-4. Они проводились на дерново-подзолистой почве среднесуглинистого состава, влажностью в слое 0...0,11 м -19,8% и плотностью 1,11 см<sup>3</sup>. Выбор участка и подготовка к опытам, разбивка на делянки и проведение экспериментов, а также определение энергетических показателей работы проводились в соответствии с отраслевыми стандартами. Длина учетного гона при тензометрировании принималась равной 100 м. Повторность опытов четырехкратная.

Установка была оборудована тяговым звеном культиватора, состоящего из двух тензометрических колец, датчиками оборотов колеса и времени. Регистрирующая аппаратура устанавливалась на тракторе МТЗ-82, а показания с тензометрических звеньев снимались с помощью гибкого экранированного кабеля и были фиксированы и обработаны на бортовом компьютере.

Тяговое сопротивление ( $R_{кр}$ ) определяется с помощью информационно-измерительной системы ИП-238 (рисунок 3.5). Аппаратура ИП-238 устанавливается в кабине трактора на подставке или специальном кронштейне или на коленях у инженера испытателя. Соединительный блок для подключения первичных преобразователей может находиться на полу трактора или на специальной подставке. Первичные преобразователи подключаются к соединительному блоку с помощью кабелей. Соединительный блок подключается к аппаратуре с помощью единственного специального

изолированного многожильного кабеля. Кабель питания подключается к соответствующему разъёму аппаратуры и бортовой сети трактора.

Тяговое усилие воспринималось спаренными тензометрическими кольцами. В экспериментах использовались тензодатчики марки ФКП-20-200, которые соединялись между собой по мостовой схеме.



Рисунок 3.5. – Установка информационно-измерительной системы ИП-238 на энергетическом средстве

Для измерения пути, пройденного установкой, использовалось опорное колесо. У датчика, установленного на раме, при вращении опорного колеса замыкаются контакты, тем самым на регистрирующем приборе записывается импульс.

Тензометрирования исследуемых агрегатов проводилась на скоростях от 6,0 до 12,0 км/ч с учетом диапазона рабочих скоростей машин.

На величину энергетических показателей рабочих органов большое влияние оказывает твердость и влажность обрабатываемой почвы. Они определялись в начале и в конце каждой серии опытов по известной методике.

### 3.3.3. Методика обработки результатов полевых опытов

Обработка экспериментальных данных проводится методом вариационной статистики на компьютере с применением пакета программ «Statistica 6».

При этом определяется:

а) среднеарифметическое отклонение

$$M = \frac{\sum V}{n},$$

где  $M$  – среднеарифметическое отклонение, (размерность той физической величины, которая определяется);

$\sum V$  - алгебраическая сумма показателей наблюдений;

$n$  - число наблюдений.

б) среднеквадратичное отклонение

$$\delta = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}},$$

где  $\delta$  - среднеквадратичное отклонение (размерность той физической величины, которая определяется);

$\sum x^2$  - сумма квадратов отклонений всех вариантов от среднеарифметического;

$n$  - число наблюдений.

в) средняя ошибка опыта:

$$m = \pm \frac{\delta}{\sqrt{n}},$$

г) показатель точности

$$P = \pm \frac{100 \cdot m}{M},$$

где  $P$  - показатель точности.

### 3.3.4. Методика определения погрешности измерений и повторности экспериментов

Погрешность измерения любой исследуемой величины складывается из:

- погрешности измерительного прибора или инструментальной погрешности;
- погрешности измерения, возникающей от эксплуатации прибора, от выбранного метода измерений, а также от способа снятия показаний и обработки полученных данных.

Погрешности по своему численному выражению разделяются на два вида: абсолютные погрешности, выраженные в единицах измеряемой величины; относительные погрешности, выраженные в процентах к измеряемой величине:

$$\alpha = \frac{\Delta}{M} \cdot 100\% .$$

В общем виде источником погрешности измерения могут быть следующие случайные ошибки:

- $\Delta_1$  - несистематическая инструментальная ошибка прибора (по паспорту);
- $\Delta_2$  - ошибка из-за нечувствительности прибора;
- $\Delta_3$  - ошибка отсчета или ошибка округления отсчета;
- $\Delta_4$  - визуальная ошибка;

$\Delta_5$  - ошибка, вследствие несвоевременного включения и выключения прибора;

$\Delta_6$  – ошибка, не учитываемая при опыте (свойственна машине или среде).

При наиболее неблагоприятном случае суммарная максимально возможная погрешность будет:

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n,$$

где  $\Delta_1; \Delta_2; \Delta_3; \dots \Delta_n$  - наибольшие абсолютные значения отдельных погрешностей.

Ввиду малой вероятности получения максимальных величин погрешностей одного знака в отдельных звеньях, подсчет общей погрешности целесообразно проводить на базе теории вероятности. Согласно теории вероятности можно считать (с вероятностью 99,7%), что если частные погрешности в звеньях носят случайный характер, то максимальное значение общей погрешности будет равно среднему квадратичному из значений погрешностей всех элементов:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots \Delta_n^2}.$$

Точность результатов единичного опыта или измерение оценивают на основании предельной ошибки результата, которая может быть определена только по предельным ошибкам измерений 1 и 2.

Для массовых измерений математическая статистика дает метод непосредственного подсчета ошибок среднего арифметического.

Для этого из результатов измерений определяют среднее арифметическое:

$$M = \frac{\sum X_i}{n},$$

где  $X_i$  - результат отдельного измерения.

Затем находят отклонения результатов отдельных измерений от средней арифметической:

$$\delta_i = X_i - M.$$

После чего может быть подсчитана величина средней квадратичной ошибки, произведенного ряда измерений по формуле:

$$\delta = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}}.$$

Ошибка среднего арифметического:

- абсолютная

$$M = \pm \frac{\delta}{\sqrt{n}}.$$

- относительная

$$\Delta_0 = \pm \frac{m}{M} \cdot 100\% .$$

Для характеристики степени рассеянности ряда, например, степени неравномерности тягового сопротивления и устойчивости хода рабочих органов сельскохозяйственных машин и так далее пользуются коэффициентом вариации:

$$V = \frac{\delta}{M} \cdot 100\% .$$

При определении суммарной погрешности результата опыта можно исходить из следующих положений теории ошибок.

Если  $M$  - истинная величина;

$\pm dM$  - абсолютная ошибка результата определения величины  $M$ ;

$X$  - результат измерения величины, функцией которой является  $M$ , а величина  $\pm dx$  ошибка измерения, то

$$M \pm dM = f(x \pm dx).$$

Разлагая это выражение в ряд Тейлора:

$$M \pm dM = f(x) \pm dx \frac{df(x)}{dx} \pm \frac{(dx)^2}{2} \frac{d^2 f(x)}{dx^2} \pm \dots$$

и учитывая, что вторые и более высокие степени ошибок лежат за пределами точности измерений и ими можно пренебречь, получим выражение

$$M \pm dM = f(x) \pm dx \frac{df(x)}{dx},$$

Откуда 
$$dM = \pm dx \frac{df(x)}{dx},$$

то есть абсолютная ошибка функции равна абсолютной ошибке аргумента, умноженной на производную этой функции. Для сложной функции:

$$M = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n).$$

Абсолютная ошибка равна сумме частных ошибок, в каждой из которых за переменную принимается только один из аргументов, то есть:

$$dM = \pm \left( dx_1 \frac{dM}{dx_1} + dx_2 \frac{dM}{dx_2} + \dots + dx_n \frac{dM}{dx_n} \right).$$

От абсолютной ошибки легко перейти к относительной зная, что относительная ошибка какой-либо величины является частным от деления абсолютной ошибки на эту величину, то есть:

$$\frac{dM}{M} = \pm \frac{1}{f(x_1, x_2, \dots, x_n)} \left( dx_1 \frac{dM}{dx_1} + dx_2 \frac{dM}{dx_2} + \dots + dx_n \frac{dM}{dx_n} \right).$$

Технику вычисления ошибки результатов опыта удобнее производить следующим образом:

- оценить размеры частных предельных погрешностей по отдельным элементам измерений, входящих в опыт;
- оценить относительную ошибку результата;
- от относительной ошибки перейти к абсолютной ошибке результата.

Для приборов и инструментов (рулетка, линейка, угломеры, секундомер, вольтметр и т.д.) максимальная величина погрешностей принимается равной  $\pm 3\%$ . Так как в измеряемых показателях в своих текущих значениях погрешность носит случайный характер, то наиболее приемлемой в этом случае является математическая обработка данных методом вариационной статистики, образующейся на основе теории вероятности, элементы, которой были изложены выше.

Достоверность полученных экспериментальных данных проверялась путем проведения систематических контрольных опытов с большим числом повторностей.

В заключение отметим, что описанные общие и частные методики позволили всесторонне исследовать и испытать комбинированный рабочий орган, решить вопрос о целесообразности внедрения его в сельскохозяйственное производство.

## ГЛАВА 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРАБОТАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

### 4.1 Определение экономической эффективности

Экономическая эффективность разработанной конструкции пружинного рабочего органа определялась по общепринятой методике. Пружинный рабочий орган отличается от активной бороны NG 250 М4 конструктивными особенностями. Цена одной секции на начало 2011 года составила 129600 рублей, цена экспериментального составила 103000 рублей. Экономический эффект применения предложенного пружинного рабочего органа наблюдается за счет снижения себестоимости обработки. Исходные данные для расчета технико-экономических показателей приведены в таблице. Удельные затраты труда ручных операций при обработке:

$$T^{\square}уд = T^{\square}г / A, Tуд = Tг / A,$$

где  $T^{\square}уд$  – удельные затраты труда на ручные операции при использовании серийного агрегата, чел·ч/л;

$Tуд$  – удельные затраты труда на ручные операции при использовании экспериментального агрегата, чел·ч/л;

$T^{\square}г, Tг$  – соответственно годовые затраты труда ручных операций при использовании серийного и экспериментального агрегатов, чел·ч;

$A$  – годовая нагрузка, л;

$$Tг = H \cdot P \cdot \tau p \cdot Kсм \cdot D,$$

где  $H$  – количество трактористов, чел;  $H = 1$  чел.;

$P$  – количество обработок. раз;  $P=3$  раза;

$\tau p$  – время, затрачиваемое на ручные операции при обработке, ч.;

$\tau^{\square}p = 2$  мин (0,033 ч),  $\tau p = 0,74$  мин(0,012ч);

$K_{см}$  - коэффициент использования рабочего времени смены;  $K_{см} = 0,9$ ;

$D$  – количество рабочих дней в году;  $D = 305$  дней.

Таблица 4.1. – Исходные данные для расчета технико-экономических показателей

№	Наименование показателей	Ед. измерения	Активная борона NG 250 М4	Экспериментальный агрегат
1	2	3	4	5
1	Балансовая стоимость	руб.	129600	103000
2	Обрабатываемая площадь	га	200	200
3	Часовая тарифная ставка тракториста	руб.	48,45	48,45
4	Количество обработок	раз	3	3
5	Производительность	га/ч	1,6	1,6
6	Время, затрачиваемое на ручные операции в расчете на один агрегат	мин.	2	0,74
7	Количество обслуживающего персонала	чел.	1	1
8	Затрачиваемая мощность	кВт	12	12
9	Амортизационные отчисления	%	31	31

10	Отчисления на ТО, ремонт и хранение	%	9	9
11	Стоимость обработки 1 га	руб.	214,5	214,5
12	Доплата за качество работы	%	20	20
13	Отчисления на социальные нужды	%	30	30
14	Стоимость дизельного топлива	руб.	37	37
15	Коэффициент использования рабочего времени	-	0,9	0,9

$$T_{\text{г}}^{\square} = 4 \cdot 3 \cdot 0,033 \cdot 0,9 \cdot 305 = 108,7 \text{ чел}\cdot\text{ч};$$

$$T_{\text{г}}^{\square} = 4 \cdot 3 \cdot 0,012 \cdot 0,9 \cdot 305 = 39,5 \text{ чел}\cdot\text{ч};$$

$$T_{\text{уд}}^{\square} = 108,7 / 4830 = 0,0225 \text{ чел}\cdot\text{ч}/\text{га};$$

$$T_{\text{уд}} = 39,5 / 4840 = 0,0082 \text{ чел}\cdot\text{ч}/\text{га}.$$

Годовая экономия затрат труда от использования экспериментального агрегата:

$$\text{Этр} = (T_{\text{уд}}^{\square} - T_{\text{уд}}) \cdot A_{\text{э}},$$

$$\text{Этр} = (0,0225 - 0,0082) \cdot 4840 = 69,2 \text{ чел}\cdot\text{ч}.$$

Степень снижения затрат труда при внедрении экспериментального агрегата:

$$\text{Этр} = (T_{\text{уд}}^{\square} - T_{\text{уд}}) / T_{\text{уд}}^{\square} \cdot 100,$$

$$\text{Этр} = (0,0225 - 0,0082) / 0,0225 \cdot 100 = 63,6\%.$$

Рост производительности труда от использования экспериментального агрегата:

$$Пт = T_{\text{уд}} / T_{\text{уд}} \cdot 100,$$

$$Пт = (0,0225/0,0082) \cdot 100 = 274\%$$

Высвобождение рабочей силы при внедрении экспериментального агрегата:

$$Л = \text{Этп} / T_{\text{з}},$$

$$Л = 69,2/39,5 = 1,75 \text{ чел.}$$

Годовой экономический эффект при использовании экспериментального агрегата от снижения себестоимости обработки в сравниваемых вариантах определяется по формуле:

$$\text{Эн} = S_{\text{с}} - S_{\text{э}},$$

где  $\text{Эн}$  - годовой экономический эффект при сравнительной оценке серийного и экспериментального агрегатов, руб;

$S_{\text{с}}$ ,  $S_{\text{э}}$  – себестоимость обработки при использовании серийного и экспериментального агрегатов, соответственно, руб;

Себестоимость произведенной продукции при использовании серийного и экспериментального агрегатов находятся по формуле:

$$S = C_{\text{з.п.}} + C_{\text{э}} + C_{\text{рто}} + A,$$

где  $C_{\text{з.п.}}$  – затраты на оплату труда, руб;

$C_{\text{э}}$  – затраты на дизельное топливо, руб;

$C_{\text{рто}}$  – затраты на ремонт и техническое обслуживание агрегата, руб;

$A$  – отчисления на амортизацию, руб.

Затраты на оплату труда в расчете на один гектар определяется по формуле:

$$C_{\text{з.п.}} = B_{\text{ч}} \cdot O_{\text{г}} \cdot (1 + 0,01 \cdot P_{\text{дон}}) \cdot (1 + 0,01 \cdot C_0);$$

$$C_{\text{з..п.}} = B_{\text{ч}} \cdot O_{\text{г}} \cdot (1 + 0,01 \cdot P_{\text{дон}}) \cdot (1 + 0,01 \cdot C_0);$$

где  $O_2$ ,  $O_2$  – годовые затраты труда на обработку при использовании серийного и экспериментального агрегатов в расчете на один гектар, чел ч;

$P_{дон}$  - размер доплат на обработку, %;  $P_{дон} = 20\%$

$C\theta$  – норма отчислений на социальные нужды, %;  $C\theta = 30\%$

Годовые затраты труда на обработку при использовании серийного и экспериментального агрегатов в расчете на один гектар определяются по формуле:

$$O_2 = H \cdot P \cdot \tau\theta \cdot K_{см} \cdot D;$$

$$O_2 = H \cdot P \cdot \tau\theta \cdot K_{см} \cdot D;$$

где  $\tau\theta$ - время затраченное на обработку одного гектара, ч.

Время затраченное на обработку одного гектара определяется по формуле:

$$\tau\theta = \tau_{добщ} / n ;$$

$$\tau\theta = \tau_{добщ} / n ;$$

где  $n$  – общая площадь обработок, га;

$\tau_{добщ}$  – время, затрачиваемое на обработку всей площади при использовании серийного агрегата, ч;

$\tau_{добщ}$  – время, затрачиваемое на обработку всей площади при использовании экспериментального агрегата, ч.

Время затрачиваемое на обработку всей площади при использовании серийного агрегата определяется по формуле:

$$\tau_{добщ} = n = \tau \cdot p / H \cdot 60;$$

$$\tau_{добщ} = (200 \cdot 2) / (4 \cdot 60) = 1,67 \text{ ч.}$$

Время, затрачиваемое на обработку всей площади при использовании экспериментального агрегата определяется по формуле:

$$\tau_{добщ} = \tau_{добщ} \cdot (100 - Y) / 100$$

где  $Y$  – сокращение времени обработки при применении экспериментального агрегата, %,  $Y = 15$  %.

$$\tau_{\text{доб}} = 1,67 \cdot (100 - 15) / 100 = 1,42 \text{ ч.}$$

Тогда время затрачиваемое на обработку одного гектара составит:

$$\tau_{\text{д}} = 1,67 / 200 = 0,83 \text{ ч,}$$

$$\tau_{\text{д}} = 1,42 / 200 = 0,71 \text{ ч.}$$

Годовые затраты труда на обработку при использовании серийного и экспериментального агрегатов в расчете на один гектар составит:

$$O_{\text{с}} = 4 \cdot 3 \cdot 0,0083 \cdot 0,9 \cdot 305 = 27,34 \text{ чел/ч;}$$

$$O_{\text{с}} = 4 \cdot 3 \cdot 0,0071 \cdot 0,9 \cdot 305 = 23,39 \text{ чел/ч.}$$

Затраты на оплату труда при использовании серийного и экспериментального агрегатов в расчете на один гектар составят:

$$C_{\text{з..н.}} = 48,45 \cdot 27,34 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) \cdot (1 + 0,01 \cdot 30) = 2066,4 \text{ руб;}$$

$$C_{\text{з..н.}} = 48,45 \cdot 23,39 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) \cdot (1 + 0,01 \cdot 30) = 1767,9 \text{ руб.}$$

Затраты дизельного топлива на обработку в расчете на один гектар находятся по формуле:

$$C_{\text{з}} = N_{\text{эл}} \cdot C_{\text{эл}},$$

где  $N_{\text{эл}}$  – количество дизельного топлива, расходуемое за год в расчете на один гектар, кг/га;

$C_{\text{эл}}$  – стоимость одного литра дизельного топлива, руб/литр;  $C_{\text{эл}} = 37$  руб/литр.

Количество дизельного топлива, расходуемое за год на процесс обработки серийным и экспериментальным агрегатами в расчете на один гектар определяется по формуле:

$$N_{\text{эл}} = W_{\text{дв}} \cdot P \cdot D \cdot \tau_{\text{д}},$$

$$N_{\text{эл}} = W_{\text{дв}} \cdot P \cdot D \cdot \tau_{\text{д}},$$

где  $W_{дв}$  - мощность двигателя трактора, кВт;  $W_{дв} = 12$  кВт.

$$N_{эл} = 12 \cdot 3 \cdot 305 \cdot 0,0083 = 91,1 \text{ кВт/ч};$$

$$N_{эл} = 12 \cdot 3 \cdot 305 \cdot 0,0071 = 77,9 \text{ кВт/ч}.$$

Удельные затраты энергии при использовании серийного и экспериментального агрегатов определяются по формуле:

$$N_{эуд} = N_{эл} / A_c;$$

$$N_{эуд} = N_{эл} / A_э;$$

$$N_{эуд} = 91,1 / 4830 = 0,0189 \text{ кВт ч/л};$$

$$N_{эуд} = 77,9 / 4830 = 0,016 \text{ кВт ч/л}.$$

Коэффициент удельных энергозатрат, представляющий собой отношение удельных затрат энергии при использовании серийного и экспериментального агрегатов определяются по формуле:

$$K_э = N_{эуд} / N_{эуд};$$

$$K_э = 0,016 / 0,0189 = 0,85.$$

Уровень интенсификации в результате снижения удельных затрат энергии находится по формуле:

$$У_{эл} = (1 - K_э) \cdot 100;$$

$$У_{эл} = (1 - 0,85) \cdot 100 = 15\%.$$

Годовые затраты на энергию по сравниваемым вариантам в расчете на один гектар составят соответственно:

$$C_{э}^{\square} = 91,1 \cdot 4,85 = 441,83 \text{ руб};$$

$$C_{э}^{\square} = 77,9 \cdot 4,85 = 377,81 \text{ руб}.$$

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле:

$$A^{\square} = Ц_{уд}^{\square} \cdot 0,01 \cdot Ka;$$

$$A_э = Ц_{уд}^{\square} \cdot 0,01 \cdot Ka,$$

где  $C_{\square y}$ ,  $C_{\square yд}$  – балансовая стоимость серийного и экспериментального аппаратов в расчете на один гектар, руб;

$Ka$  - норма амортизационных отчислений, %,  $Ka = 31\%$ .

Балансовая стоимость серийного и экспериментального агрегатов в расчете на один гектар определяется по формуле:

$$C_{\square yд} = C_c / k;$$

$$C_{\square yд} = C_{\square} / k,$$

где  $k$  – количество полей обрабатываемых одним агрегатом,  $k=16$ ;

$$C_{\square yд} = 2960/16 = 185 \text{ руб};$$

$$C_{\square yд} = 4300/16 = 268,75 \text{ руб}.$$

Амортизационные отчисления для серийного агрегата в расчете на один гектар составят:

$$A_{\square} = 185 \cdot 0,01 \cdot 31 = 57,35 \text{ руб}.$$

Амортизационные отчисления для экспериментального агрегата в расчете на один гектар составят:

$$A_{\square} = 268,75 \cdot 0,01 \cdot 31 = 83,31 \text{ руб}.$$

Затраты на техническое обслуживание (ТО), ремонт и хранение в расчете на один гектар вычисляются по формуле:

$$C_{\square PTO} = C_{\square yд} \cdot 0,01 K_{pmo};$$

$$C_{\square PTO} = C_{\square yд} \cdot 0,01 K_{pmo},$$

где  $K_{pmo}$  – норма отчисления на ТО, ремонт и хранение, %,  $K_{pmo} = 9\%$ .

Затраты на ТО, ремонт и хранение для серийного агрегата составят:

$$C_{\square PTO} = 185 \cdot 0,01 \cdot 9 = 16,65 \text{ руб}.$$

Затраты на ТО, ремонт и хранение для экспериментального агрегата составят:

$$C_{\square PTO} = 268,75 \cdot 0,01 \cdot 9 = 24,19 \text{ руб}.$$

Себестоимость обработки при использовании серийного агрегата в расчете на один гектар равна:

$$S_c = 2066,4 + 441,83 + 16,65 + 57,35 = 2582,23 \text{ руб.}$$

Себестоимость обработки при использовании экспериментального агрегата в расчете на один гектар равна:

$$S_{\text{э}} = 1767,9 + 377,81 + 24,19 + 83,31 = 2253,21 \text{ руб.}$$

Тогда годовой экономический эффект при использовании пружинного рабочего органа от снижения себестоимости работы в сравниваемых вариантах в расчете на один гектар составит:

$$Э_n = 2582,23 - 2253,21 = 329,02 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект от использования экспериментального агрегата в расчете на 1000 гектар составит:

$$Э_{\text{общ}} = 329,02 \cdot 200 = 65804 \text{ руб.}$$

Результаты расчета экономической эффективности предложенного агрегата приведены в таблице.

Таблица 4.2 – Экономическая эффективность использования экспериментального агрегата.

№	Наименование показателей	ЕД.измерения	Активная борона NG-250 М4	Экспериментальный агрегат
1	2	3	4	5
1	Амортизационные отчисления	руб.	57,35	83,31
2	Расходы на текущий ремонт и технический уход	руб.	3330	4838
3	Затраты на дизельное	руб.	88366	75562

	топливо			
4	Затраты на оплату труда	руб.	413280	353580
5	Удельные затраты труда	чел·ч/га	0,0225	0,0082
6	Годовая экономия затрат	чел·ч	-	69,2
7	Степень снижения затрат труда	%	-	63,6
8	Рост производительности труда	%	-	274
9	Высвобождение рабочей силы	чел.	-	1,75
10	Удельные энергозатраты	кВт·ч/га	0,0189	0,016
11	Коэффициент энергозатрат	-	1	0,85
12	Уровень интенсификации в результате снижения энергозатрат	%	-	15
13	Себестоимость обработки	руб.	516446	450642
14	Годовой экономический эффект с учетом снижения себестоимости обработки в расчете на	руб.	-	65804

	200 га			
15	Годовой экономический эффект с учетом снижения себестоимости обработки в расчете на 1 га	руб.	-	329,02

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что применение экспериментального агрегата позволяет получить годовой экономический эффект 65804 рубля на 1000 га за счет снижения затрат энергии и увеличения производительности агрегата.

#### 4.2 Оценка энергетической эффективности

При расчете энергетических показателей в качестве аналога нами взят культиватор для междурядной обработки с активными рабочими органами ASA-LIFT ECO WEEDER предназначенный для механической прополки всех видов овощных культур.

Принцип работы разработанного пружинного культиватора заключается в следующем. При движении рабочего органа по полю с поступательной скоростью, пружинный элемент, находясь в междурядье, получает вращение вокруг своей оси от привода. При этом расстояние между витками пружинного элемента будет уменьшаться от максимального значения до минимального или нулевого в случае соприкосновения витков. Комки почвы, оказавшиеся в межвитковом пространстве, подвергаются сначала захватыванию, затем перемещению и частичному разрушению и полному разрушению. Кроме разрушения почвенных комков, рабочий орган погруженный на глубину  $h$ , не

превышающую высоту профиля пружины, будет разрушать и почвенную корку. Сорняки, оказавшиеся в межвитковом пространстве, подвергаются захватыванию, затем перемещению и извлечению, а затем сбросу.

Таким образом после прохода рабочего органа уничтожаются сорняки, крошится почвенная корка, дробятся почвенные комки, тем самым обеспечивается повышение эффективности и качества междурядной обработки.

Определим совокупные энергозатраты технологического процесса культивации. Агрегат состоит из трактора МТЗ-80 и культиватора. Производительность культиватора для междурядной обработки с активными рабочими органами ASA-LIFT ECO WEEDER –  $W_{см} = 0,25$  га/ч экспериментальной  $W_{см} = 0,3$  га/ч.

Прямые затраты энергии  $E_n$  – определяется по формуле:

$$E_n = Hm(am fm),$$

где  $Hm$  – расход топлива ,кг/га;

$am$  – теплосодержание топлива, МДж/кг,  $am = 42,7$  МДж/кг;

$fm$  – коэффициент учитывающий дополнительные затраты на производство топлива, МДж/кг;

Прямые затраты энергии составляют для базового культиватора:

$$E_n = 6(42,7 + 10) = 316,2 \text{ МДж/га};$$

Для экспериментального пружинного культиватора:

$$E_n = 5,5(42,7 + 10) = 289,85 \text{ МДж/га}.$$

Затраты живого труда  $E_{ж}$  находят по формуле:

$$E_{ж} = nчa_{ж}/W_{см},$$

где  $nч$  – число рабочих, чел;

$a_{ж}$  – энергетический эквивалент затрат живого труда, МДж/чел.ч.

$a_{ж} = 1,26$  МДж/чел.ч.

$$E_{ж} = 2 \cdot 1,26 / 0,25 = 10,08 \text{ МДж/га};$$

$$E_{ж} = 2 \cdot 1,26 / 0,3 = 4,2 \text{ МДж/га};$$

Удельная энергоёмкость трактора  $E_m$  в расчете на один час работы определяется по формуле:

$$E_m = Mm \cdot a_{tr} (a_m + a_{mk} + a_{mt}) / 100 T_{nm},$$

где  $Mm$  – масса энергетического средства, кг,  $Mm = 3160$  кг;

$a_{tr}$  – энергетический эквивалент энергетического средства, МДж/кг;

$$a_{tr} = 49,98 \text{ МДж/кг};$$

$a_m$   $a_{mk}$   $a_{mt}$  – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонты трактора, %,  $a_m = 10\%$ ,  $a_{mk} = 5\%$ ,  $a_{mt} = 14,9\%$ ;

$T_{nm}$  – нормативная загрузка трактора, ч,  $T_{nm} = 1095$  ч.

$$E_m = 3160 \cdot 49,98(10+5+14,9) / 100 \cdot 1095 = 43,13 \text{ МДж/ч};$$

$$E_{mэ} = 3160 \cdot 49,98(10+5+14,9) / 100 \cdot 1095 = 43,13 \text{ МДж/ч};$$

Удельная энергоёмкость  $E_m$  культиватора рассчитывается по формуле:

$$E_m = Mm \cdot a_m (a_m + a_{mt}) / 100 T_{nm},$$

где  $Mm$  – масса энергетического средства, кг,  $Mm = 90$  кг,  $Mmэ = 81$  кг;

$a_m$  – энергетический эквивалент энергетического средства, МДж/кг,

$$a_m = 35,2 \text{ МДж/кг}, a_{mэ} = 31 \text{ МДж/кг};$$

$a_m$ ,  $a_{mt}$  – отчисления на реновацию и текущий ремонт культиватора, %,  $a_m = 14,2\%$ ,  $a_{mt} = 7\%$

$$a_m = 14,2\%, a_{mt} = 7\%$$

$T_{nm}$  – нормативная загрузка культиватора, ч,  $T_{nm} = 120$  ч.

$$E_m = 90 \cdot 35,2(14,2+7) / 100 \cdot 120 = 5,6 \text{ МДж/ч};$$

$$E_m = 81 \cdot 31(14,2+7) / 100 \cdot 120 = 4,44 \text{ МДж/ч}.$$

Суммарную энергоёмкость трактора и машины в расчете на 1 га определяют по формуле:

$$E_{tm} = E_m + E_m / W_{см}$$

$$E_{т.м} = 43,13 + 5,6 / 0,25 = 194,92 \text{ МДж/га};$$

$$E_{т.мэ} = 43,13 + 4,44 / 0,3 = 158,57 \text{ МДж/га}.$$

Совокупные или полные энергозатраты технологического процесса  $E_{тп}$  составляют:

$$E_{тп} = E_n + E_{ж} + E_{т.м}.$$

$$E_{тп} = 316,2 + 10,08 + 194,92 = 521,2 \text{ МДж/га};$$

$$E_{тпэ} = 289,85 + 4,2 + 158,57 = 452,62 \text{ МДж/га}.$$

Коэффициент энергетических затрат:

$$K_{э} = E_{тпэ} / E_{тп},$$

отсюда

$$K_{э} = 452,62 / 521,2 = 0,87.$$

Технические характеристики и энергетическая оценка культиватора для междурядной обработки с активными рабочими органами ASA-LIFT ECO WEEDER и экспериментального пружинного культиватора предназначенного для междурядной обработки приведены в таблице 1.

Таблица 4.3 – Технические характеристики и энергетическая оценка культиватора для междурядной обработки с активными рабочими органами ASA-LIFT ECO WEEDER и экспериментального пружинного культиватора предназначенного для междурядной обработки.

№ п/п	Показатели	Ед.изм.	Численные значения	
			культиватор для междурядной обработки ASA-LIFT ECO	экспериментальный пружинный культиватор

			WEEDER	
1	2	3	4	5
1	Производительность	га/ч	0,25	0,4
2	Масса	кг	90	81,
3	Рабочая скорость	км/ч	2	4
4	Годовая загрузка	час.	120	120
5	Прямые затраты энергии	МДж/га	316,2	289,85
6	Энергозатраты живого труда	МДж/га	10,08	4,2
7	Удельная энергоемкость бороны	МДж/ч	5,6	4,44
8	Энергоемкость трактора и машины	МДж/га	194,92	158,57
9	Совокупные затраты	МДж/га	521,2	452,62
10	Коэффициент энергетических затрат	-	-	0,87

Разработанный экспериментальный пружинный культиватор имеет совокупные энергетические затраты на 13% меньше, чем у базового вследствие новый культиватор имеет большую производительность при меньшей массе конструкции.

Разработанное новое техническое средство на основе спирально-винтовой пружины охватывает широкий спектр технологических операций в сельскохозяйственном производстве.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Пружинные элементы находят широкое применение практически во всех отраслях технической деятельности человека.

2. Широкий спектр использования пружинных элементов сопровождается большими затратами.

3. Повышение ресурса работы пружинных элементов на 15-30% позволяет повысить надежность машин на 15-25% и сулит значительную экономическую выгоду.

4. Анализ причин выхода из строя пружинных узлов сельскохозяйственной техники показывает, что существенная их часть связана с несовершенством расчетных методов обеспечения ресурса их работы, не учитывающих в полной мере условия эксплуатации сельскохозяйственной техники.

5. Научной основой существующих методов расчета пружинных узлов являются классические положения теории упругости, гипотезы совместности тензоров деформации и напряжений, известные постулаты теории упругости и сопротивления материалов.

6. Уравнения, описывающие напряжения и деформации составных элементов пружин в классической постановке, являются громоздкими для повседневного использования в инженерной практике и требуют значительных математических преобразований.

7. Принятые в основу аналитических выводов физико-математические модели, требуют существенных преобразований применительно к конструктивно-эксплуатационным параметрам пружинных узлов сельскохозяйственной техники.

8. На основе предложенных теоретических предпосылок разработана новая конструкция сельскохозяйственных машин. Разработанное новое техническое средство на основе спирально-винтовой пружины охватывает широкий спектр технологических операций в сельскохозяйственном производстве.

9. Годовой экономический эффект от внедрения предложенных технических решений в производство составил при использовании пружинного рабочего органа 65804 рубля га 1000 га пашни в ценах на 2017 год. Коэффициент энергетических затрат для пружинной бороны составил 0,9, для пружинного культиватора – 0,87.

10. Установлено, что предназначенные для междурядной обработки пропашных культур орудия и их рабочие органы несовершенны и имеют отдельные недостатки (невозможность обработки защитных зон культурных растений, сложность конструкции и др.), устранение которых позволит улучшить качество междурядной обработки пропашных культур.

Усовершенствованная конструкция рабочего органа пропашного культиватора должна обеспечить возможность качественной обработки защитных зон за счет сдвига почвы в рядок растений. Рабочий орган культиватора должен включать в себя универсальную стрелчатую лапу, ножевидную стойку, кронштейн, плоский диск, дополни тельный кронштейн для крепления оси диска, пластину и многозвенный шарнирный механизм. Диск должен иметь возможности перемещения вдоль быть выполнены вертикальные отверстия, в которых устанавливаются регулируемые по высоте зубья 2. Установлены теоретические зависимости дальности отбрасывания частиц почвы и толщины валка почвы, сдвигаемой рабочим органом в защитную зону культурных растений, от его конструктивно-режимных пара

метров и физических свойств почвы. Также получены зависимости для определения диаметра приваливающего диска и тягового сопротивления секций культиватора.3. Основным показателем оценки качества междурядной обработки может служить коэффициент соответствия эталону к толщине присыпаемого в защитную зону рядка растений слоя почвы  $5 = 3$  см при коэффициенте соответствия эталону  $k = 0,94$ ,  $5 = 6,2$  см). Наличие у рабочего органа двухзвенного разравнивающего приспособления и плоского диска диаметром 250 мм позволяет использовать его как на первой, так и на последующих междурядных обработках пропашных культур, выполняя при этом перемещение, сдвиг почвы в защитную зону растений с ее рыхлением и выравниванием без выворачивания нижних слоев и обнажения дна борозды.4. Установлено, что предложенные рабочие органы уничтожают при междурядной обработке от 94,6 % до 97,9 % сорняков, что значительно лучше, чем у серийных рабочих органов (61,4...71,9 %) . При этом урожайность кукурузы повышается в среднем на 13,9 %, а картофеля - на 12,7 % по отношению к урожайности этих культур после обработки серийными рабочими органами. Это позволяет получить дополнительно на каждый га в среднем 30 ц зеленой массы кукурузы, 16,5 ц/га картофеля, а эксплуатационные затраты снизить на 12,5 %. Дополнительные капитальные вложения на изготовление предлагаемых рабочих органов составляют 23587 руб., а срок их окупаемости не превышает 0,25 года.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Агропромышленный комплекс России в 2014 году. Сборник. / Департамент экономики и государственной поддержки АПК на основе Росстата и Минсельхоза России // – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 703 с.
2. Конструкция и регулировки машин для внесения удобрений [Текст] – Саратов: СХИ, 1993 – 95 с.
3. Методические указания к лабораторным работам по изучению конструкции и регулировок машин для уборки трав и силосных культур. [ ]: – Саратов: СХИ, 1995 – 115 с.
4. Методические указания к лабораторным работам по изучению конструкции и регулировок машин для уборки корнеклубнеплодов. [ ]: – Саратов: СХИ, 1998 – 31 с.
5. Система земледелия Республики Татарстан. Инновации на базе традиций / Габдрахманов И.Х., Файзрахманов Д.И., Валиев А.Р., Сафин Р.И., и др.//Ч.1. Общие аспекты системы земледелия. – Казань: Центр инновационных технологий, 2013. – 168 с.
6. Система земледелия Республики Татарстан: Ч.2. Агротехнологии производства продукции растениеводства / Коллектив авторов. – Казань: Центр инновационных технологий, 2014. – 292 с.
7. Техническое обеспечение системы земледелия Республики Татарстан: современное состояние и направления / Валиев А.Р., Сафин Р.И., Семушкин Н.И. // Вестник Казанского ГАУ. – 2012. – № 4 (26). – С 65-70.
8. Балашов А. В. Блочно-модульный агрегат для возделывания пропашных культур / А.В. Балашов, А.Н. Омаров, Ж.Ж. Зайнушев, А.И. Завражнов, Соловьев С.В. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2. – С. 163–171

9. Бердышев, В.Е. Сельскохозяйственные машины. [Текст]: учеб. пособие. /Бердышев В.Е., Цепляев А.Н., Шапров М.Н. и др. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» Саратов, 2010, 220с. ISBN 5-7011-0490-7
10. Валиев А.Р. Классификация колебаний и использование их в почвообрабатывающей технике / А.Р. Валиев, Л.Ф.Сиразиев // Вестник Курской ГСХА. – 2013. – № 2. – С 72-75.
11. Валиев А. Р., Мухаметшин И. С. Совершенствование орудий для основной комбинированной обработки почвы // Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы: Труды международной научно-практической конференции. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2015. – С. 71–77.
12. Валиев А. Р., Мухаметшин И. С. Анализ агротехнических способов предупреждения деградации почв // Научное сопровождение агропромышленного комплекса: теория, практика, перспективы: Материалы международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2015. – С. 253–258.
13. Диденко, Н.Ф. Машины для уборки овощей [ ]: / Н.Ф. Диденко, В.А. Хвостов, В.П. Медведев. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.
14. Дмитриенко, В.И. Посевные и посадочные машины [ ] Методические указания / В.И. Дмитриенко, Б.Н. Емелин. – Саратов: СХИ, 1995 – 80 с.
15. Дружкин, А.В. Почвообрабатывающие, посевные, посадочные машины и машины для внесения удобрений [ ]: Методические указания / А.В. Дружкин [и др.]. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2004. – 65 с.

16. Дружкин, А.В. Машины для химической защиты растений и заготовки кормов[ ]: учебное пособие / А.В. Дружкин, Б.Н. Емелин, С.Н. Бабанский [и др.]. – Саратов: СГАУ, 1999. – 60 с.

17. Зиганшин Б.Г., Дмитриев А.В., Валиев А.Р., Яхин С.М., Халиуллин Д.Т., Кашапов И.И., Лукманов Р.Р., Семушкин Н.И. Машины для заготовки кормов: регулировка настройка и эксплуатация. Издательство «ЛАНЬ» Санкт-Петербург, 2017 - 168.

18. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины[ ]: Учебники и учеб.пособия для студ.высш.учеб.заведений. / Н.И. Кленин, В.А. Сакур. – М.: Колос, 1994 – 751 с.

19. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные машины. [ ] Учебники и учеб.пособия для студ.высш.учеб.заведений. / Н.И.Кленин, С.Н.Киселев, А.Г.Левшин. М.: КолосС, 2008 – 816с.: ил ISBN 978-5-9532-0455-2

20. Карпенко, А.Н. Сельскохозяйственные машины [ ]: Учебники и учеб.пособия для студ.высш.учеб.заведений. / А.Н. Карпенко, В.М. Халанский. – М.: Агропромиздат, 1989 – 572 с. 19. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины[ ]: / Под общ. ред. Г.Е. Листопада. – М.: Колос, 1986. – 688 с.

21. Листопад, Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [ ]: Учебники и учеб.пособия для студ.высш.учеб.заведений. / Листопад Г.Е. и др..- М: Колос, 1986. – 688с.

22. Петров, Г.Д. Картофелеуборочные машины [Текст] / Г.Д. Петров. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.

23. Пикмуллин, Г.В. Обоснование формы и параметров рабочей поверхности спирально-пластинчатых рабочих органов / Г.В. Пикмуллин, Г.Г. Булгариев, Р.Г. Юнусов // Материалы за IX международная научная практическая

конференция. - 2013. Том 25. Сельское стопанство Ветеринарная наука. София «Бял ГРАД-БГ» ООД - 2013.ъ

24. Пикмуллин, Г.В. Почвообрабатывающее орудие с комбинированными рабочими органами / Г.В. Пикмуллин, Г.Г. Булгариев, Р.Г. Юнусов //Научно-практический журнал «Сахарная свекла». Форс Манга. 2013г. - №2.

25. Пикмуллин Г.В., Мустафин А.А., Яхин С.М., Марданов Р.Х. Учебное пособие «Сопротивление материалов». - Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2016. - 176 с. ISBN 978-5-905201-37-0.

26. Полянин, В.К. Механизация технологических процессов в растениеводстве [ ]:/ В.К. Полянин. – Саратов: СХИ, 1993. – 145 с.

27. Протасов, А.А. Гидросистема комбайнов «Дон-1500Б» и «Дон-680» [ ]: учебное пособие / А.А. Протасов. – Саратов: Саратов. гос. агр. ин-т им. Н.И. Вавилова, 2003. – 89 с.

28. Рыбалко, А.Г. Зерноуборочный комбайн «Дон-1500» и его модификации[ ]: учебное пособие / А.Г. Рыбалко [и др.]. – Саратов: Саратов. гос. агр. ин-т им. Н.И. Вавилова, 2002. – 187 с.

29. Рыбалко, А.Г. Машины для обработки почв, посева и посадки растений [ ]: учебное пособие для институтов и факультетов механизации сельского хозяйства / А.Г. Рыбалко [и др.]. – Саратов: Саратовский СХИ, 1987. – 78 с.

30. Рыбалко, А.Г. Машины для уборки и послеуборочной обработки продукции растениеводства[ ]: учебное пособие / А.Г. Рыбалко, Б.Н. Емелин, С.Н. Бабанский [и др.]. – Саратов: СГАУ, 2004. – 63 с.

31. Рыбалко, А.Г. Машины и оборудование в растениеводстве. Основы теории и расчета рабочих процессов. [ ]: Учеб. пособие /Рыбалко А.Г., Емелин

Б.Н., Давыдов С.В. и др. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» Саратов, 2011, 116с.  
ISBN 978-5-7011-0561-2

32. Спицын, И. А. Сельскохозяйственная техника и технологии [ ]  
Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений / ред. И. А.  
Спицын, А. Н. Орлов, В. В. Ляшенко, Международная ассоциация  
"Агрообразование" . - М. : КолосС, 2006. - 647 с. : ил. ISBN 5-9532-0350-0

33. Яхин, С.М. Применение спирально-винтовых пружин в  
сельскохозяйственном производстве. / С.М. Яхин, Б.Г. Зиганшин, Н.И.  
Семушкин. – Казань: Казан. гос. аграрн. ун-т, 2012. – 316 с.

34. Яхин, С.М. Методика проектирования и расчета пружин  
сельскохозяйственных машин по критерию динамической устойчивости / С.М.  
Яхин, Б. Г. Зиганшин, Ф. А. Шамсутдинов // Нива Поволжья. – 2012. – №3 (24).  
– С. 41–44.

35. Яхин, С.М. Классификация видов нагрузжений и критериев расчета  
спирально-винтовых элементов сельскохозяйственных машин / С.М. Яхин,  
Н.И. Семушкин, Валиев А.Р. // Вестник башкирского государственного  
аграрного университета. – 2012. - №3. – С.63-66.

36. Яхин, С.М. Применение спирально-винтовых пружин в  
сельскохозяйственном производстве. / С.М. Яхин, Б.Г. Зиганшин, Н.И.  
Семушкин. – Казань: Казан. гос. аграрн. ун-т, 2012. – 316 с.

37. Яхин, С.М. Влияние завивки валов сельскохозяйственных машин на  
выносливость / С.М. Яхин, С.А. Мартьянов // Вестник Ульяновской  
государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. - № 3 (19). – С.135-  
138.

38. Яхин, С.М. Анализ физико-механических свойств зерен риса для  
первичной очистки в приемно-очистительных пунктах. Сборник трудов.

«Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы». Казань. Издательство Казанского ГАУ, 2016.

39. Яхин, С.М. Дисковое орудие для поверхностной обработки почвы./ Гайнутдинов Р.Х., Яхин, С.М. Сборник трудов.«Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы». Казань. Издательство Казанского ГАУ, 2016.