

ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

*На правах рукописи*

**Дроздов Сергей Николаевич**

***ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО  
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОРУДИЯ***

*Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского  
хозяйства*

**Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук**

**Научный руководитель:**

доктор технических наук,  
профессор М.М. Константинов

Оренбург – 2013 г

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....   | 4  |
| <b>1. Состояние вопроса. Цель и задачи исследований</b> .....   | 9  |
| 1.1. Условия возделывания сельскохозяйственных культур<br>в сухостепных регионах.....   | 9  |
| 1.2. Анализ способов обработки почвы зон рискованного земледелия....  | 16 |
| 1.3. Обзор существующих конструкций комбинированных машин.....  | 24 |
| 1.3.1. Комбинированные орудия для основной обработки почвы.....   | 24 |
| 1.3.2. Комбинированные орудия, совмещающие основную и<br>дополнительную обработку почвы.....                                    | 30 |
| 1.4. Анализ методов снижения тягового сопротивления<br>почвообрабатывающих машин.....   | 37 |
| 1.5. Анализ существующих конструкций вибровозбудителей.....   | 49 |
| 1.5.1. Электромеханические вибраторы.....   | 49 |
| 1.5.2. Пневматические вибраторы.....  | 53 |
| 1.5.3. Электромагнитные вибраторы.....  | 55 |
| 1.5.4. Центробежные возбуждители общего назначения.....   | 56 |
| 1.5.5. Вибрационные машины для уплотнения грунта,<br>дорожных оснований и покрытий.....   | 61 |
| 1.5.6. Вибропогружатели и вибромолоты.....  | 62 |
| 1.6. Выводы, цель и задачи исследования.....  | 65 |
| <b>2. Теоретические основы совершенствования комбинированного<br/>почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем</b> .....     | 68 |
| 2.1. Обоснование координаты точки приложения возмущающей силы на раме<br>почвообрабатывающего орудия.....                       | 68 |
| 2.2. Обоснование и выбор закона движения<br>почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем.....                                | 78 |
| 2.3. Методика исследования режимно-технологических параметров<br>вибровозбудителя предлагаемого почвообрабатывающего орудия.... | 86 |
| 2.4. Обоснование затрат энергии на поддержание колебаний.....   | 93 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>3. Программа и методика экспериментальных исследований.....</b>   | <b>96</b>  |
| 3.1. Программа экспериментальных исследований.....   | 96         |
| 3.2. Лабораторно-полевая (экспериментальная) установка<br>и оборудование.....  | 97         |
| 3.3. Методика проведения лабораторно-полевых исследований.....   | 103        |
| 3.3.1. Методика определения энергетических показателей<br>экспериментального комбинированного почвообрабатывающего<br>орудия с механическим вибровозбудителем..... | 104        |
| 3.3.2. Методика определения агротехнических показателей<br>работы комбинированного почвообрабатывающего орудия<br>с механическим вибровозбудителем.....            | 106        |
| 3.4. Методика планирования многофакторного эксперимента.....   | 108        |
| 3.5. Методика обработки опытных данных и оценка ошибок<br>измерений.....   | 111        |
| <b>4. Обработка и результаты экспериментальных исследований.....</b>   | <b>116</b> |
| 4.1. Энергетические показатели работы почвообрабатывающего<br>орудия с механическим вибровозбудителем.....   | 116        |
| 4.2. Агротехнические показатели работы почвообрабатывающего<br>орудия с механическим вибровозбудителем.....  | 128        |
| <b>5. Обоснование экономической целесообразности применения<br/>почвообрабатывающего орудия с механическим<br/>вибровозбудителем.....</b>                          | <b>141</b> |
| <b>Выводы по результатам диссертационных исследований.....</b>   | <b>150</b> |
| <b>Список использованных источников.....</b>   | <b>152</b> |
| <b>Приложения.....</b>   | <b>165</b> |

## Введение

Обеспечение роста производства продукции растениеводства немислимо без осуществления рациональных способов обработки почвы, которые вбирают в себя применение энерго- и ресурсосберегающих почвощадящих технологий. Такой подход к современному агропроизводству объясняется тем, что урожай сельскохозяйственных культур в большей степени зависит от качества выполненных операций по подготовки почвы к посеву.

Именно процесс почвообработки влияет на аккумуляцию влаги и питательных веществ в почве, уничтожение сорной растительности, определяет воздушный режим во всех слоях почвенного горизонта.

Многочисленные исследования, посвященные земледелию в сухостепных регионах Российской Федерации подтверждают рациональность применения комбинированных способов обработки почвы. Применение комбинированных обработок почвы позволяют в достаточной степени снизить количество проходов по полю сельскохозяйственных агрегатов, которые вызывают переуплотнение и деградацию плодородных слоев почвы, а так же как следствие – увеличение энерго- ресурсозатрат на проведение технологических операций производственного цикла сельскохозяйственной культуры.

По результатам анализа выявлено, что в зависимости от характера и интенсивности обработок агрофизические свойства большинства видов почв (особенно черноземов) изменяются следующим образом. В опытах и производственных условиях длительная обработка почв оказывает незначительное влияние на механический и микроагрегатный состав. Напротив, структурно–агрегатный состав претерпевает значительные качественные и количественные изменения. Глыбистость почвы возрастает на 4-11 % от веса. На 15-19 % снижается водоустойчивость почвенной структуры, на 18-26 % - механическая прочность и на 2-4 % - пористость

агрегатов размером от 5 до 0,25 мм. Средние показатели на целине составляют соответственно 8, 15, 77, 55, 90 и 42 %. Плотность сложения пашни сразу же после обработки снижается на  $0,2 \text{ г/см}^3$ , после самоуплотнения возрастает на  $0,08-0,21 \text{ г/см}^3$  по сравнению с залежью. Водопроницаемость в максимально взрыхленном состоянии составляет 120-142 мм/г, при равновесной плотности – 53-62 мм/г

При распашке целинных черноземов происходит снижение гумуса и азота в пахотном слое и ухудшение других свойств почвы как под влиянием механических обработок и усиления минерализации гумуса, так и при воздействии эрозии.

В результате воздействия колес и гусениц тракторов в слое 0–10 см плотность сложения почвы может превысить  $1,3 \text{ г/см}^3$ , содержание воздуха опуститься ниже критического (15 %), твердость достигнуть  $20 \text{ кг/см}^2$ , а водопроницаемость уменьшиться до 10-15 мм/час. Отрицательные изменения прослеживаются до глубины 50-60 см.

Обработка уплотненной почвы снижает ее плотность до  $0,9-1,0 \text{ г/см}^3$ , но сопровождается образованием глыб даже в состоянии физической спелости. Способность такой почвы уменьшать плотность под действием переменного увлажнения и высушивания прослеживается до плотности  $1,25 \text{ г/см}^3$ . Уплотненная весной почва наиболее разуплотняется только к весне будущего года (но только в слое 0-10 см), менее всего – в течение лета. При более высокой исходной плотности способность почвы к разуплотнению заметно ослабевает.

Для реализации этой проблемы необходим новый подход, связанный с обработкой почвы за счёт комбинированных почвообрабатывающих и посевных машин. Тем не менее, большинство серийно выпускаемых моделей представляют собой «эшелон» простых однооперационных орудий для обработки и подготовки почвы к посеву. Подобная концепция построения комбинированных машин неизбежно приводит к увеличению веса машины, к увеличению ее тягового сопротивления, необходимости применения

энергонасыщенных тяжелых тракторов и увеличению энергозатрат на осуществление технологических операций.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что вопрос оптимизации конструктивных и эксплуатационных машин для обработки почвы достаточно актуален и имеет важное народнохозяйственное значение.

**Цель исследования.** Совершенствование эксплуатационно-технологических показателей комбинированного почвообрабатывающего орудия за счёт использования энергии направленных вынужденных колебаний.

**Объект исследования.** Процесс обработки почвы комбинированным почвообрабатывающим орудием оснащённым механическим вибровозбудителем.

**Предмет исследования.** Закономерности характеризующие влияния конструктивно-режимных параметров вибровозбудителя на тяговое сопротивление комбинированного почвообрабатывающего орудия и качество обработки почвы.

**Методика исследования** Теоретические исследования технологического процесса комбинированной обработки почвы посредством предлагаемого почвообрабатывающего орудия выполнялись с применением основных положений, законов, методов классической теории сельскохозяйственных машин, земледельческой механики, физики, матмоделирования и агротехнологий.

**Научную новизну работы** составляют:

- совокупность теоретических и экспериментальных исследований конструктивно-режимных параметров вибровозбудителя на энергетические и качественные показатели работы комбинированного почвообрабатывающего орудия;
- разработка и внедрение в процесс маятникового вибратора направленного действия;

- технико-экономические показатели внедрения комбинированного широкозахватного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем на основной обработке почвы.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

- аналитические закономерности, характеризующие тяговое сопротивление комбинированного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем;
- теоретическая модель закона движения комбинированного почвообрабатывающего орудия, оснащенного вибровозбудителем;
- конструкция вибровозбудителя с регулируемыми конструктивно-режимными параметрами;
- результаты экспериментальных исследований, подтверждающие зависимость энергетических и агротехнических показателей работы усовершенствованного комбинированного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем;
- показатели экономической эффективности использования комбинированного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем.

**Практическую ценность работы представляют:**

- рациональные конструктивные параметры механического вибровозбудителя и комбинированного почвообрабатывающего орудия;
- снижение эксплуатационных затрат на осуществление комбинированной основной обработки почвы;
- результаты исследований рекомендуется использовать при проектировании, производстве новых машин для комбинированной обработки почвы предприятиями-изготовителями почвообрабатывающих машин и в учебном процессе инженерных специальностей.

**Реализация результатов исследования.** Опытный образец маятниковым вибратором направленного действия на комбинированном почвообрабатывающем орудии, был изготовлен в ООО «Стрела» и

использовался в с. Владимировка Тюльганского района Оренбургской области.

Материалы диссертационной работы и опытный образец комбинированной почвообрабатывающей машины оснащённой маятниковым вибратором направленного действия с 2012 года используется в учебном процессе по дисциплинам «Сельскохозяйственные и гидромелиоративные машины» на кафедре «Механизация животноводства и растениеводства» ФГБОУ ВПО Оренбургского ГАУ.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы представлены на научно-практических конференциях молодых учёных и специалистов (Оренбург, 2010-2013 гг), на международных научно-технических конференциях (Оренбург, 2009; Костанай, 2012 г), на научно-практической конференции сотрудников Оренбургского государственного аграрного университета (УФА, 2012 г).

**Публикации.** По материалам выполненных исследований опубликовано 10 работ, из которых 5 – в изданиях, указанных в «Перечне ведущих журналов и изданий...» ВАК Минобрнауки РФ. Получено два патента на изобретение.

**Структура и объём работы.** Диссертация включает введение, 5 разделов, общие выводы, список использованной литературы и приложения.

Работа изложена на 164 страницах машинописного текста, содержит 5 таблиц, 55 рисунков, и 13 приложений.

Список литературы содержит 124 источника, в том числе 2 на иностранных языках.



## 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

### *1.1. Условия возделывания сельскохозяйственных культур в сухостепных регионах*

Территорию Южного Урала условно разделяют на два геоморфологических района: Предуралье – западная часть и Зауралье – восточная, за южными отрогами Уральских гор.

Территория сухостепной зоны Южного Урала составляет 426 тысяч квадратных километров. Из них 27 миллионов га сельскохозяйственных угодий, а 17,5 миллионов га - пашня [46].

На западном и восточном склонах Южного Урала 123,9 тыс. км<sup>2</sup> территории занимает Оренбургская область: протяженностью с запада на восток более 700 км, с севера на юг в Предуралье – 330 км, в Зауралье – 220 км [27].

Сухой континентальный климат определяется расположением зоны Южного Урала в центре Европейско-Азиатского материка. Жаркое лето сопровождается суховеями с большим количеством малооблачных дней, на что влияет нагретый воздух, поступающий из Средней Азии и Казахстана. Зима холодная и малоснежная из-за влияния холодного воздуха из Сибири. Средняя годовая температура воздуха в восточных районах колеблется от 1,1<sup>0</sup> до 2<sup>0</sup>, в западных районах от 3,1<sup>0</sup> до 4<sup>0</sup>. Наибольшая годовая амплитуда температуры воздуха достигает 85<sup>0</sup>. Продолжительность безморозного периода колеблется от 105 до 140 дней. Сумма положительных температур (свыше 10<sup>0</sup>) составляет 2100<sup>0</sup>...2770<sup>0</sup>, отрицательных (ниже 10<sup>0</sup>) – 1120<sup>0</sup>...1700<sup>0</sup>. Общий вегетационный период данной зоны составляет в среднем 155...175 дней. Самыми жаркими месяцами года являются июнь и июль, когда возможны периодические резкие повышения температуры воздуха до 40<sup>0</sup>С, а температура на поверхности почвы - до 65<sup>0</sup>С и выше. Сухостепная зона Южного Урала характеризуется высокой засушливостью

климата с резкими колебаниями увлажнения по годам. Средняя многолетняя норма годовой суммы осадков составляет от 300 до 400 мм, в отдельные засушливые годы выпадает лишь 200...250 мм. Так, например, в весенне-летний период в восточных районах выпадает 180...207 мм осадков, что составляет 63...69% от годового их количества, в юго-западных – 142...203 мм или 53...56%. Из чего можно сделать вывод о недостатке осадков в зимний период, что сопровождается небольшой высотой снежного покрова. Глубина промерзания земель составляет на северо-западе 0,7 м и востоке – 1,0 м. Длительность залегания снежного покрова составляет в среднем 145 дней. Колебание увлажнения характеризует неравномерность распределения осадков по времени и территории [27, 52].

Летние суховеи еще больше повышают недостаток влаги в почве. Высокие скорости сухих ветров, достигающих порой до 25...30 м/с выдувают из почвы и без того небольшие запасы влаги. Вследствие суховеев влажность почвы в отдельные периоды (июль и август) снижается до уровня «мертвого» запаса.

Сухой континентальный климат сказывается и в том, что максимум осадков, как правило, приходится на летние месяцы, а зимой довольно часты сильные ветры и метели (от 4 до 10 дней в месяц). В середине ноября появляется первый снег. Снежный покров своей максимальной толщины достигает к концу февраля – началу марта. Средняя глубина снежного покрова доходит до 20 см и держаться около 5 месяцев [28].

Образовавшийся снежный покров постоянно перемещается сильными ветрами, что приводит к заметанию сугробов у препятствий, на ровных поверхностях - оголению земли. Этим можно объяснить «недружную» всхожесть семян и снижение урожайности, так как на ровной поверхности снежный покров прерывается и влияет на распределение влаги в грунте. Обо всем этом свидетельствует влагообеспеченность сельскохозяйственных растений в условиях Оренбуржья, которая колеблется в пределах 20...60% от оптимальной влагообеспеченности. Поэтому вся агротехника возделывания

сельскохозяйственных культур в области направлена на борьбу с эрозиями почв, на максимальное накопление, бережное сохранение и эффективное использование влаги [39, 43, 51, 74].

Другим фактором, определяющим успешность ведения как растениеводческого, так и животноводческого агропроизводства является наличие обрабатываемых земель с достаточно высоким плодородным потенциалом (процентная составляющая черноземов различных видов в общей площади обрабатываемых земель). Исходя из современной классификации принято деление почв черноземного типа на подтипы и роды с учетом фациальных особенностей черноземообразования, свойств и режимов черноземных почв (И.С. Кауричев, 1989).

Различают следующие подтипы черноземов: оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные, южные. В свою очередь по родам черноземы соответственно подразделяются на: обычные и слабодифференцированные; глубоковскипающие и бескарбонатные; карбонатные и солонцеватые; осолоделые и глубинно-глееватые; слитные и неполноразвитые.

Согласно классификации видовая принадлежность черноземов характеризуется мощностью гумусового слоя (сверхмощные – более 120 см; мощные- от 80 до 120 см; среднемощные- от 40 до 80 см; маломощные от 25 до 40 см; очень маломощные- менее 25 см) и содержанием гумуса (тучные- 9%; среднегумусные- 6...9%; малогумусные - 4...6%; слабогумусированные 2...4%; слабогумусированные - менее 2%).

Кроме того, черноземы делятся на виды по степени выраженности сопутствующего процесса (слабо-, средне-, сильновыщелоченные, слабо-, средне-, сильносолонцеватые и т. п.).

В географическом распределении в зоне Южного Урала и Заволжья подтипов и разновидностей черноземов наблюдается четкая зональная закономерность.

Черноземы (южный, типичный, обыкновенный) и темно-каштановые

почвы характерны для региона Южного Урала и темно-каштановые почвы – для Заволжья [54].

В Предуралье в направлении с севера на юг последовательность расположения почвенных подзон можно указать в следующем порядке: черноземы типичные и выщелоченные, черноземы обыкновенные, черноземы южные и темно-каштановые почвы. Такое расположение объясняется гумусонакоплением, карбонатизацией и осолонцеванием. В Зауралье типичные черноземы отсутствуют.

Светло-каштановые почвы опустыненных степей, развитые на глинистых породах, почти полностью являются солонцеватыми.

Незначительная часть территории занята лесными и оподзоленными почвами. Большое распространение среди южных черноземов, а так же темно-каштановых почв имеют солонцы. При этом, чем южнее, тем сильнее выражен процесс осолонцевания.

В структуре пахотных угодий черноземы занимают 79%, подтип темно-каштановых почв - 16%, серые лесные почвы - 4% площади области. Среди черноземов наибольшая площадь приходится на южные черноземы - 44%, обыкновенные - 26%, типичные и выщелочные - 9%. В подзонах южных и обыкновенных черноземов соответственно 14 и 7% площади занимают солонцы. В подзоне темно-каштановых почв площадь солонцов составляет 36%.

Для сухостепных регионов Южного Урала и Заволжья в высокой степени актуальна главная проблема земледелия России – прогрессирующая деградация обрабатываемых почв. В рамках страны из 189 млн. га сельхозугодий примерно 125 млн. га подвержены эрозии; 47 млн. га загрязнены токсинами; 16 млн. га засолены, опустыниванию подвержены 74 млн. га.

Неполноразвитые и эродированные почвы занимают среди типичных черноземов 17% их площади, обыкновенных черноземов - 39%, южных - почти 50%, в подзоне темно-каштановых почв - 22% ее площади. Подзона

обыкновенных черноземов распахана на 74%, южных - на 52%, темно-каштановых почв - на 43%.

Богатые почвенные ресурсы благоприятны для возделывания зерновых и технических культур, поэтому под пашней находится 51% всей территории.

Гумуса содержится в типичных черноземах 6 т/га, в метровом слое - 500 т/га. Запасы гумуса в обыкновенном черноземе (в том же слое) колеблются от 150 до 500 т/га. В наиболее распространенных в регионе южных черноземах - от 100 до 300 т/га гумуса [54]. Гранулометрические исследования пахотного слоя вышеуказанных типов почв показывают, что состоят они из глины и тяжелых суглинков.

Вышеуказанные типы почв характеризуются высокой сложностью поглощения, то есть хорошо удерживают питательные элементы, вносимые с удобрениями. Но проведенные в последние годы исследования также показывают высокое насыщение карбонатами, что свидетельствует об ухудшении состояния почв. Такие изменения объясняются неправильным использованием земельных ресурсов, без учета особенностей почвенного покрова [72, 102]. Такие карбонатные почвы (особенно на известняках) обладают плохими физическими свойствами и легко подвергаются дефляции.

Выщелоченные черноземы по своим свойствам схожи с черноземами типичными. Выщелоченные черноземы составляют от 9 до 20% от площади типичных черноземов [2].

В сравнении содержанием гумуса с типичным и обыкновенным черноземами южные уступают. Среднее содержание гумусового горизонта составляет 40 см. Этот тип почв способен давать высокие урожаи сельскохозяйственных культур при оптимальном обеспечении влагой. Южные черноземы обладают большим потенциалом по увеличению плодородия. Таким образом, южные черноземы представляют большую хозяйственную ценность [53, 68, 114].

По сравнению с другими типами почв темно-каштановые почвы содержат гумус от 123 до 180 т/га в метровом слое, содержание гумуса и

мощность перегнойного горизонта сильно колеблется. Развитие солонцеватых разновидностей темно-каштановых почв и солонцов-солончаков в структуре этого типа почв обуславливает наличие засоленных пород. Для солонцов-солончаков характерны плохие физические свойства: во влажном состоянии эти почвы вязкие, липкие, затруднено определение момента физической спелости [50, 54].

В летний период сильное уплотнение и образование трещин при высыхании вызывает деформацию корневой системы сельскохозяйственных культур и нарушение водно-воздушного режима почв. Быстрое выветривание и испарение свободной влаги в таких почвах приводит к недостатку влаги и соответственно вызывает водное голодание растений.

Распространенная технология интенсивной обработки темно-каштановых почв, ежегодная отвальная пахота, дополнительная обработка почвы приводят к потере естественной комковатости. Интенсификация земледелия с применением высоких доз минеральных удобрений привела к повсеместному подкислению черноземов. Многочисленные полевые испытания и поэтапные агрохимические исследования выявлено прогрессирующее ежегодное подкисление от 0,03 до 0,5 единицы рН.

Вынос элементов питания в 5...6 раз превышает их поступление с удобрениями. Применение минеральных и органических удобрений, известки снизилось в 13 раз. Площади с низким содержанием гумуса достигли 45%. Процесс этот ничем не сдерживается.

Этим объясняется обилие эродированных почв в сухостепных регионах Южного Урала и Заволжья [61, 62].

Черноземы Южного Урала имеют относительно непродолжительную историю антропогенеза. Буквально за 25...30 лет использования почв произошли заметные изменения состава и свойств почв, находящихся в обороте площадей. Произошедшая деградация обусловлена неблагоприятными физико-химическими свойствами почв, вследствие интенсивного применения средств химизации в сочетании с традиционными

технологиями возделывания сельскохозяйственных культур, предусматривающих в качестве основной обработки почв, вспашку. Это обусловило существенное подкисление пахотного слоя и низкую степень насыщенности основаниями почв регионов рискованного земледелия. Подкислением и декальцированием почвенного профиля обусловлено заметное снижение гумусированности изучаемых почв, дефицит свободного кальция способствует потере гумуса из верхней полуметровой толщи за счет миграционных форм гумуса. Процесс декальцирования охватывает на полную мощность гумусовый горизонт. Критическая для черноземов величина степени насыщенности основаниями-93%-наблюдается до глубин 65...75 см у среднемощного вида и 41...47 см – у мощного. Интенсивная обработка обусловила в достаточной степени ощутимые минерализационные потери гумуса.

Дополнительным фактором ускоряющим вышеописанные процессы деградации почв обрабатываемых земель является повышенная их плотность. Поэтому на таких почвах увлажнение более глубоких слоев за счет осадков возможно лишь по трещинам, возникающим вследствие суховеев. Но с другой стороны влага из трещин быстро выветривается и испаряется, что вызывает пересушивание почвы – это причина глыбистости и повышенной твердости. Проведение мероприятий по удержанию влаги в почве приводят к образованию эрозионно-опасных частиц и как следствие - разрушению почв [43, 119].

Черноземные почвы обладают высоким потенциальным плодородием, но их эффективное плодородие зависит от тепло- и влагообеспеченности, биологической активности. Агропроизводственная деятельность человека – мощный специфический фактор влияния на почву и на весь комплекс окружающих условий развития почвообразовательного процесса. Этот фактор сознательно направленного воздействия на почву, вызывающий изменение ее свойств и режимов, идет значительно более быстрыми темпами, чем это происходит под воздействием природного

почвообразования. В настоящее время происходит дегумификация почв, сокращение мощности гумусовых горизонтов, формирование дисбаланса элементов питания и гумуса.

Кроме того, агроклиматические условия зоны Южного Урала и Заволжья не способствуют ведению земледелия. Сложные агроклиматические условия - основная причина крайне неустойчивого земледелия в этих регионах.

Для обеспечения рентабельности сельскохозяйственного производства в этих регионах в первую очередь необходимо остановить начатый процесс деградации почв путем оптимального подбора технологий почвообработки и возделывания сельскохозяйственных культур.

### ***1.2 Анализ способов обработки почвы зон рискованного земледелия***

Современные проблемы земледелия в районах так называемого рискованного земледелия и их решения через процессы и технологии современного агропроизводства имеют много общего. Общеизвестно, что обработка почвы является далеко не последним и важным звеном в технологической цепочке по производству сельскохозяйственной продукции.

Разнообразие почвенно-климатических условий предопределяет необходимость зонального подхода к разработке системы мер повышения эффективности и устойчивости земледелия. В рамках зональных технологий каждое хозяйство должно осваивать свою индивидуальную систему мер, на каждое поле иметь дифференцированный применительно к нему агрокомплекс.

От агрономической деятельности человека полностью зависят судьба пахотных почв, их развитие, плодородие и производительность.

При этом характер и значимость изменений почвы зависит от социально-экономических, производственных отношений, уровня развития науки и техники.

Необходимость полнейшего и всестороннего учета конкретных



местных условий при разработке и освоении систем земледелия неоднократно подчеркивали выдающиеся ученые: Д.И. Менделеев, А.Н. Энгельгардт, И.А. Стебут, К.А. Тимирязев, А.А. Измаильский и др.

В современной практике сельскохозяйственного производства определилось, в основном пять технологий обработки почвы: отвальная (вспашка), безотвальная, минимальная, комбинированная и биологическая [9].

Ведущие отечественные и зарубежные эксперты прогнозируют применение отвальных обработок или комбинированных на их основе на 50% посевных площадей в первой половине XXI столетия. Различные комбинации таких обработок не только сохраняют свои позиции, но и приобретают новых сторонников, так как служат основой экологически безопасных технологий, позволяющих существенно снизить использование химических средств и минеральных удобрений [101, 103]. Многочисленные исследования показали, что качественно проведенная отвальная обработка почвы является залогом получения высоких урожаев возделываемых культур [115, 123].

Основными достоинствами отвальной (классической) вспашки являются уничтожение сорной растительности, заделка пожнивных остатков, заделка органических удобрений (вносимых разбросным способом по поверхности поля). Кроме того при вспашке увеличивается толщина окультуриваемого слоя почвы, увеличивается влагонакопление в этом слое пахотного горизонта.

Не стоит и забывать о том, что в районах Южного Урала и Заволжья распашка целинных земель в середине прошлого века привела наряду с ростом продукции сельского хозяйства, к резкому нарастанию процессов ветровой и водной эрозии, усилению проявлений засухи.

Снижение количества источников гумуса приводит к снижению содержания и запасов гумуса в пахотных черноземах. При этом ухудшаются санитарно-защитные свойства, снижается биологическая активность почвы.

Потери и недостаток легкоразлагаемых органических веществ неизбежно приводит к усилению процессов выпахивания: к ухудшению структуры, физических и водно-физических свойств, ухудшению питательного режима почв.

Определено, что распашка способствует гумидизации водного режима, и как следствие – ускоренному выщелачиванию карбонатов. Величины рН пахотного горизонтов варьируется в пределах 5,12...6,91 и соответствует слабокислой и близкой к нейтральной градации кислотности, что обуславливает низкую величину степени насыщенности основаниями 87,3...89,4 %. В исходном же состоянии типичные черноземы по гумусированности соответствуют мало- и среднемошным видам.

За несколько десятилетий после освоения целины для предотвращения негативного антропогенного воздействия на почву были разработаны и освоены: почвозащитные приемы обработки почвы с сохранением стерни, четырехпольные зернопаровые севообороты.

Тем не менее, освоение почвоводоохранных мер в реальной практике не всегда строго обеспечивается и не дает ожидаемых результатов. Продукционный потенциал территорий при освоении почвоводоохранных мероприятий используется не в полной мере и затраты на последующие орошение и удобрение почв не окупаются.

Ко всему прочему отвальная обработка является энергоемкой операцией в растениеводстве. На нее расходуется 30-60% от необходимого объема топливо-смазочных материалов.

Почвозащитные технологии являются серьезной альтернативой «классической» отвальной вспашке.

Исследованиями установлено, что плоскорезная обработка почвы способствует дополнительному накоплению продуктивной влаги в почве за счет оставления на поверхности поля стерни и пожнивных остатков, которая способствует снегозадержанию и увеличению запасов воды. Помимо всего прочего, интенсивная безотвальная обработка почвы сокращает темпы

минерализации гумуса, по сравнению с отвальной в 1,5-2 раза [41, 86, 90].

Поверхностная обработка почвы совместно с рациональной органоминерализационной системой применения удобрений оказывает существенное положительное влияние на все показатели плодородия почв. При таком подходе отмечается рост содержания гумуса преимущественно в верхней (корнеобитаемой) части почвы. Рост содержания гумуса в верхней части профиля свидетельствует о заметной дифференциации гумусного слоя, что обусловлено поступлением свежего органического вещества преимущественно в поверхностный слой почвы.

Однако помимо реального улучшения состава и физико-химических свойств изменяется структурное состояние почвы. На глубине 16...25 см формируется слой с повышенной плотностью. Для него характерна грубая глыбистая структура. Во влажном состоянии он вязкий, в сухом состоянии – высокой твердости. Длительное применение высоких доз минеральных удобрений в сочетании с дефицитом органического вещества в пахотном слое обусловили декальцирование и диспергирование почвенной массы с развитием процесса слитизации. Зачастую этот процесс сопровождается осолонцеванием или является его следствием. Процесс осолонцеванием усугубляется длительным применением тяжелой колесной техники, негативное воздействие которой частично устраняется регулярным известкованием.

Замена традиционной технологии возделывания сельскохозяйственных культур со вспашкой на поверхностную обработку с ограниченным применением отвальной обработки резко уменьшает мощность обрабатываемого горизонта с 25 до 14 см. Это обуславливает резкое повышение гумусированности всего горизонта (по уровню гумусированности черноземы выщелоченные соответствуют среднегумусным видам). Кроме того, согласно проводимым исследованиям, такой подход к почвообработке увеличивает мощность верхнего корнеобитаемого слоя с уменьшением толщины переходных слоев (Приложение №1, таблица 1.1) [69].

Применение традиционных поверхностных обработок почвы определяет прогрессивно убывающий характер распределения гумуса по профилю, что обусловлено преимущественным поступлением источников гумуса в верхнюю часть профиля и их гумификации. Подобная дифференциация профиля по содержанию гумуса является ответной реакцией карбонатно-кальциевой системы на изменившиеся условия водного режима. Повышение содержания свободных ионов кальция способствует образованию гуматов кальция и закреплению их в верхней части профиля.

Развитие и совершенствование средств химической защиты растений привело к нецелесообразности ежегодных глубоких отвальных обработок почвы, к возможности уменьшения их глубины и сокращения их количества за счет применения гербицидов.

Замена отвальной системы обработки почвы поверхностной благотворно сказывается на состоянии почв: снижается интенсивность выщелачивания карбонатов, что в сочетании с рациональной системой применения удобрений способствует существенному повышению гумусифицированности и улучшению физико-химического состояния фонообразующих почв.

Сочетание своевременных механических обработок с рациональной системой применения средств защиты растений резко снижает засоренность посевов сорной растительностью. Это способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур, так как снижается непроизводительный расход элементов питания и продуктивной влаги.

Современные тенденции экологизации производства продуктов питания требуют освоения альтернативных биологических и адаптивных систем земледелия, исключающих применение гербицидов.

Биологический блок новых технологий ведения агропроизводства в сфере растениеводства включает: использование свойств растений разных биологических групп воздействовать угнетающе или стимулирующе друг на друга; использование свойств растений формировать более или менее

благоприятные почвенные условия для последующих культур; мульчирование почвы соломой, сидератами, другими растительными остатками в целях создания органической подушки на поверхности поля. На основе использования этих свойств растений формируются приемы сокращения числа обработок почвы, совмещения технологических операций, уменьшения глубины обработок, прямого посева и другие.

За рубежом широко применяются биологическая, консервирующая, экологическая и другие альтернативные системы земледелия. Неотъемлемой частью этих систем является минимализация обработки почвы. Глобальное значение технология минимальной обработки почвы приобрела благодаря ее экологическим и экономическим преимуществам, которые заключаются в ограничении ветровой и водной эрозии почвы, повышении ее плодородия, а также в значительном снижении производственных затрат.

Безотвальная технология обработки почвы с использованием современных комбинированных почвообрабатывающих агрегатов позволяют выполнить одновременно несколько технологических операций за один проход и соответственно снизить затраты на топливо, оплату труда, а также оптимизировать процесс подготовки почвы. Следует отметить, что обработка почвы без оборота пласта сохраняет в поверхностном слое растительные остатки, которые предотвращают развитие водной и ветровой эрозии, а также способствует формированию значительных запасов влаги в нижних слоях почвенного горизонта. С агротехнической точки зрения верхний слой должен быть разрыхлен до оптимальной плотности  $\rho=0,9-1,12 \text{ г/см}^3$ , но без образования эрозионноопасных частиц, пожнивные остатки, вносимые удобрения должны быть заделаны, но располагаться в зоне досягаемости для корневой системы растений.

В последние годы в мировом агропроизводстве растёт доля площадей, на которых применяют ресурсосберегающие технологии. По минимальной технологии обрабатывается 200 млн. га посевных площадей, по нулевой технологии – около 600 млн. га. Нулевая технология характеризуется отказом

от отвальной и безотвальной вспашки, путём мелкой обработки почвы. Наибольший потенциал снижения затрат и ресурсосбережения лежит в области обработки почвы и посева. Стремление к снижению производственных затрат в земледелии, а также высокая доля затрат на почвообработку в общем объеме затрат полеводства вызывают интерес в прямом посеве. Согласно проводимым исследованиям агрофирмы «Ак Барс» применение ресурсосберегающих технологий при возделывании сельскохозяйственных культур в 2009 году позволила не только снизить эксплуатационные затраты, но и несколько повысить урожайность культур (Приложение №1, таблица 1.2).

Представленные данные наглядным образом демонстрируют целесообразность применения комбинированных агрегатов при возделывании зерновых культур.

Несмотря на явные преимущества минимальной, нулевой технологий обработки почвы они все же не лишены весомых недостатков.

Существующие технологии комбинированной обработки почвы в основном направлены на окультуривание верхнего слоя пахотного горизонта, а окультуривание подпахотного горизонта в настоящее время развито слабо.

Напротив, окультуривание одновременно всего слоя пахотного горизонта, как единого корнеобитаемого слоя с сохранением природного чередования генетических горизонтов профиля почвы является достаточно эффективным современным приемом ресурсосберегающей технологией обработки почвы.

Это подтверждают исследования В.П. Ковриго, Л.П. Смоленцева, А.В. Ложкина (Ижевская ГСХА). Ими проводились в 2006 – 2007 гг. следующие агроприемы повышения плодородия почв при возделывании: рапса, яровой пшеницы, ячменя:

- 1) Обработка почвы под зябь глубокорыхлителем-удобрителем, вместо вспашки с оборотом пласта на глубину 35...40 см с локальным внесением на эту глубину комплексных удобрений и известняковой муки с учетом

агрохимических свойств горизонта с целью улучшения водно-воздушного режима почвы и уменьшения ее плотности.

2) Создание фонового мульчирующего слоя, состоящего из пожнивных остатков или сидератов, с поверхностно внесённой на кислых почвах мелиорантов. Мульчирующий слой является не только защитным от водной эрозии, но также способствует влагонакоплению, уменьшению испарения продуктивной влаги и повышению микробиологической активности почвы.

3) Применение комбинированного посевного агрегата, выполняющего за один проход: подготовку почвы для посева, посев, локальное внесение удобрений ниже засеянных семян, прикатывание (Приложение №1, таблица 1.3).

Исследования подтверждают факт того, что хотя почва и является саморегулирующейся системой, обеспечивающей в известных границах в течение многих лет естественное воспроизводство плодородия. Это свойство почвы не гарантирует сохранения постоянного уровня продуктивности поля, тем более - его повышения. В естественных условиях на целинных и залежных землях плодородие почвы увеличивается за счет использования энергии солнца зелеными растениями, оставляющими в почве энергетического материала больше, чем потребляют его для жизни.

Таким образом, применение почвосберегающих технологий, повышающих или не снижающих содержание гумуса, может привести к интенсивному гумусово-аккумулятивному процессу, улучшающему агрегатный состав и другие свойства почв.

Исходя из вышеизложенного следует, что комбинированная обработка почвы комбинированными почвообрабатывающими машинами является на сегодняшний день наиболее оптимальной для большинства типов почв Российской Федерации в целом и, в том числе почв сухостепных регионов в частности, к которым относится большинство площадей Южного Урала.

### ***1.3 Обзор существующих конструкций комбинированных машин***

С целью снижения энерго- и трудозатрат на выполнение технологических операций при возделывании сельскохозяйственных культур, как показывает опыт агропроизводителей различных стран, целесообразно применение комбинированных машин различных конструкций и назначения (Приложение № 2). В связи с чем возросший спрос на разнообразные машины стараются удовлетворить как малоизвестные (начинающие), так и именитые отечественные и зарубежные производители сельскохозяйственной техники.

Современный рынок сельскохозяйственной техники имеет достаточно широкий ассортимент комбинированных орудий и машин. Тем не менее, обзор конструкций существующих машин позволяет сделать вывод, что весь спектр предлагаемых орудий можно условно разделить на несколько групп:

- совмещение различных видов основной обработки почвы;
- совмещение основной и дополнительной обработки почвы;
- совмещение дополнительной (предпосевной) обработки почвы с посевом;
- совмещение обработки почвы с внесением удобрений.

#### ***1.3.1 Комбинированные орудия для основной обработки почвы***

Комбинированные орудия, совмещающие различные виды основной обработки почвы [81] могут быть представлены такими типичными представителями как комбинированный плуг-рыхлитель универсальный навесной ПРУН-8-45 (Петербургский тракторный завод), глубокорыхлитель ГРК-2,3/3,8 (Всероссийским НИИ механизации сельского хозяйства (ВИМ)) и ООО агропромфирма «Агромеханика» при участии ОАО «Волгодизельаппарат», ротационный навесной плуг ПРН-40, ПРНС-5 и



комбинированный агрегат для основной безотвальной и поверхностной обработки почвы КАО-2 разработанный ВНИПТИМЭСХ.

Плуг ПРУН-8-45 (рисунок 1.1) зависит от комплектации рабочих органов. Рабочие органы закреплены на раме 4. Все варианты обработки почв осуществляются с разуплотнением подпахотного горизонта, без образования плужной подошвы. Глубина обработки регулируется опорным колесом 3. При комбинированной обработке плужный корпус 1 отделяет пласт почвы с пожнивными остатками на глубину 10...20 см, рыхлит его и оборачивает в борозду, открытую впереди идущим плужным корпусом. Расположенный позади плужного корпуса рыхлитель 2 осуществляет рыхление без выноса на поверхность нижележащих слоев пахотного горизонта на глубину 30...45 см.

Конструкционная ширина захвата плуга составляет 3,48 м, рабочая скорость – 6...10 км/ч, а производительность за 1 час основного времени 2,09...3,48 га/ч.

Глубокорыхлитель ГРК-2,3/3,8 (рисунок 1.2) состоит из рамы 1 с навесным устройством и съёмными боковыми рамками 4, опорных колёс 2 с

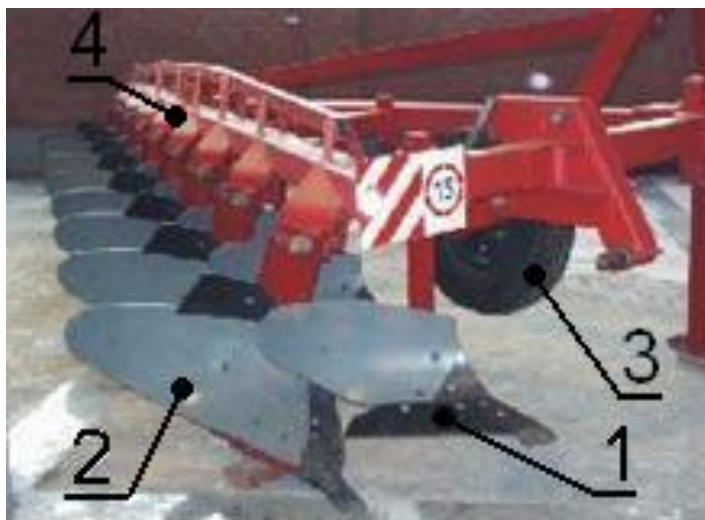


Рисунок 1.1. Плуг-рыхлитель универсальный навесной ПРУН-8-45 –(01-03):

1 – плужные корпуса; 2 – рыхлители; 3 – опорное колесо; 4 – рама

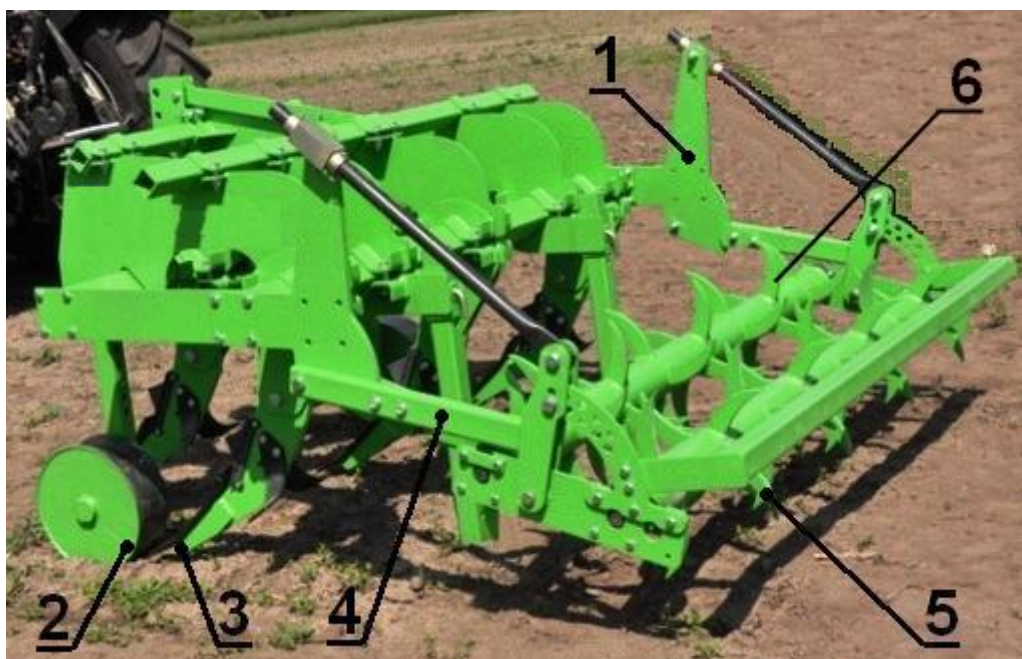


Рисунок 1.2. Глубококорыхлитель ГРК-2,3/3,8: 1 – рама; 2 – опорные колеса; 3 – чизельные лапы; 4 – боковые рамки; 5 – роторный глубококорыхлитель; 6 – дисковые ножи

механизмами регулировки глубины обработки. У чизельных модификаций сменными рабочими органами являются чизельные лапы 3 или долота (шириной захвата 270 или 80 мм соответственно). У плоскорезно-щелерезных модификаций устанавливают дисковые ножи, плоскорезные лапы (3 и 5 штук шириной захвата 800 мм) и щелерезы. Междуследие чизельных лап составляет 45 см, плоскорезных – 75, щелерезов – 70 и 140 см (изменяемое) [89].

Сменными приспособлениями являются роторный глубококорыхлитель 5, установленный на рамке 4, или каток планчато-зубчатый, выравниватель.

Глубококорыхлитель состоит из двух установленных с углом атаки секций с зубчатыми дисками. Каток выполнен в виде зубчатого барабана, а выравниватель – в виде двух подпружиненных уголков с зубьями, наклонно закрепленными на нижней полке. Дисковые ножи 6 закреплены на флюгерных стойках перед стойками плоскорезных лап или щелерезов, приспособления – на подпружиненных рамках 4.

Глубококорыхлитель осуществляет чизелевание почвы стрельчатыми лапами на глубину до 30 см, долотами – до 45 см, плоскорезное рыхление – на 6...16 см, щелевание – до 45 см и совмещенную плоскорезно-щелевую обработку.

Глубококорыхлитель ГРК-2,3/3,8 с чизельными лапами предназначен для периодического разуплотнения плужной подошвы, рыхления залежи и уплотненных орошаемых почв, в том числе с пластом многолетних трав. Чизельная модификация с глыбодробителем эффективна для рыхления почвы взамен весенней вспашки или перепашки под пропашные культуры и корнеплоды. Плоскорезно-щелерезная модификация орудия предназначена для послеуборочного рыхления, обработки стерневых агрофонов под ранний пар и полупар, а также для малозатратной зяблевой обработки. Щелерезная модификация с дисковыми ножами – для обработки пласта многолетних трав, для щелевания лугов и пастбищ, позднеосеннего щелевания зяби на склонах, а также для щелевой зяблевой обработки эрозионно опасных почв. Плоскорезная модификация орудия предназначена для предпосевной культивации, рыхления почвы под ранний пар и послеуборочной обработки, а также для ухода за парами и зяблевой обработки под яровые колосовые культуры. При работе с чизельными лапами или щелевании на глубину около 40 см ширина захвата орудия 2,3 м. При обработке почвы плоскорезными лапами на глубину до 35 см устанавливаются дополнительные боковые рамки и ширина захвата составляет 3,8 м. Кроме универсальной базовой модификации предусмотрены три плоскорезные и две чизельные модификации орудия с глубококорыхлительными органами какого-либо одного типа.

Особенность глубококорыхлителя – возможность его агрегатирования не только с колёсными, но и с гусеничными тракторами, обладающими низкой навесоспособностью.

Сочетание отвальных или безотвальных пассивных рабочих органов с активными рабочими органами как разновидность комбинированной основной обработки почвы не теряет своей актуальности и в настоящее время.

Плуг ПРН-40 (рисунок 1.3) также относится к типу комбинированных машин [78, 79]. Плуг состоит из рамы 6, на которой закреплен корпус 1 с ротационным рыхлителем 2. Глубина обработки регулируется опорным колесом 4 при помощи винтового механизма 5. За корпусом плуга установлен рыхлитель 3.

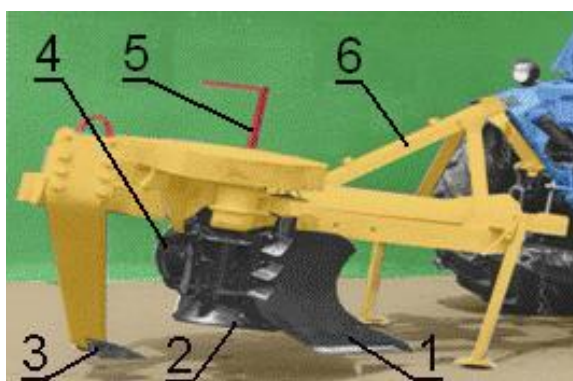


Рисунок 1.3. Ротационный плуг ПРН-40: 1 – корпус;  
2 – ротационный рыхлитель; 3 – рыхлитель;  
4 – опорное колесо; 5 – винтовой механизм; 6 - рама

Технологический процесс выполняется следующим образом: корпус 1 подрезает пласт и поднимает его на 10...15 см от дна борозды, поворачивая при этом его на  $90^0$ . Пласт сходит с отвала и подвергается действию лопастей ротационного рыхлителя 2, которые крошат, доворачивают и отбрасывают его в сторону пашни, при чем в контакт с пластом первыми входят верхние лопасти, сбрасывающие задернелую часть на дно борозды, а нижние лопасти вторыми – вынося на поверхность нижнюю часть пласта. Одновременно со вспашкой происходит глубокое рыхление подпахотного слоя рыхлителем 3 без перемешивания почвенных горизонтов. Ротационный плуг ПРН-40 имеет малую ширину захвата – 0,73 м, несмотря на высокое качество крошения (97...99%) и полную заделку пожнивных остатков (100%), удельные

энергозатраты (282 кВт·ч/га), что говорит о том, что разделение потока мощности не обеспечивает реального сокращения удельных энергозатрат [3, 17].

Недостатками конструкций ротационного плуга являются: высокая удельная материалоемкость; дополнительные энергозатраты на привод активных рабочих органов; невысокая надежность активных рабочих органов.

Комбинированный агрегат КАО-2 (рисунок 1.4) имеет пассивные рабочие органы и предназначен для безотвального рыхления с одновременным подрезанием сорняков, крошения глыб, выравнивания поверхности почвы и уплотнения поверхностных слоёв почвы. Ширина захвата агрегата составляет 1,4 м, производительность – 1,16 га/ч при рабочей скорости до 10 км/ч. Основные узлы агрегата – рыхлители двухярусные 1 безотвального типа с плоскорежущей лапой, рама 2, опорное колесо 3, навесное устройство 4. Приспособление для поверхностной обработки почвы 5 (фронтальная штанга с лепестками, батарея катков кольчато-шпоровых, каток-рыхлитель) подбирается в зависимости от состояния почв [37].

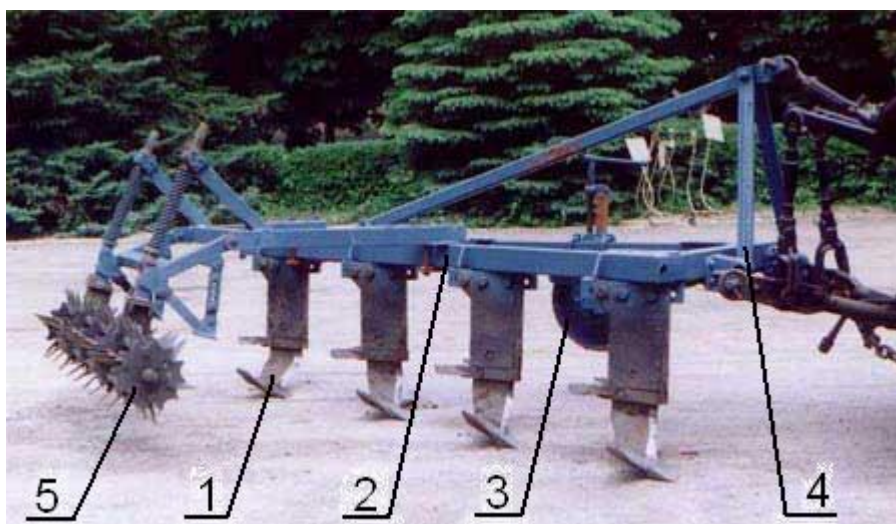


Рисунок 1.4. Комбинированный агрегат КАО-2:

- 1 – рыхлители двухярусные; 2 – рама; 3 – опорное колесо;  
4 – навесное устройство; 5 – каток кольчато-шпоровый

Технологический процесс обработки почвы агрегатом осуществляется следующим образом: крылья плоскорежущей лапы подрезают верхний слой на глубину до 12 см, разрыхляют и укладывают на подошву без оборота, рыхлитель подрезает монолит до глубины 35 см, и пласт, перемещаясь по поверхности долота и рыхлителей, разрыхляется и укладывается на дно. Выравниватель разбивает зубьями комки почвы, срезает гребни и перемещает почву во впадины. Уплотняющая плита частично выравнивает и уплотняет поверхность почвы, каток дробит комья, рыхлит верхний слой и уплотняет поверхностный слой почвы. Удельные энергозатраты на почвообработку орудием КАО-2 составляют 71 кВт·ч/га, качество крошения почвы – хорошее (81%), показатель заделки пожнивных остатков составляет не менее 50%. Тем не менее, такие орудия материалоемки и требуют применения энергонасыщенных тракторов.

### ***1.3.2 Комбинированные орудия, совмещающие основную и дополнительную обработку почвы***

Простейшим представителем, совмещающим основную и дополнительную обработку почвы, является комплекс агрегатов КПС-4 + 4БЗСС-1 + шлейфы. Современные комбинированные орудия представлены агрегатом АКНП-4,0; агрегатами серии КУМ, разработанными ВНИПТИХМЭСХ, агрегатами серий АПК и АПУ, навесным блочно-модульным культиватором КБМ-4,2Н.

Почвообрабатывающий комбинированный агрегат АКНП-4,0 (рисунок 1.5) предназначен для обработки почвы под посев озимых, пожнивных и поукосных посевов на базе отвальнорыхлительных лаповых органов на упругой подвеске. Он обеспечивает минимальное энергопотребление и наилучшее крошение комков. Комбинированный агрегат представляет собой плоскую раму 1 с трехрядным расположением комбинированных органов (работающих на глубине до 20 см) с шириной захвата 330 и 410 мм и



наральниками отвального типа шириной 90 мм, с двумя рядами звездчатых и планчатых каналами [14].

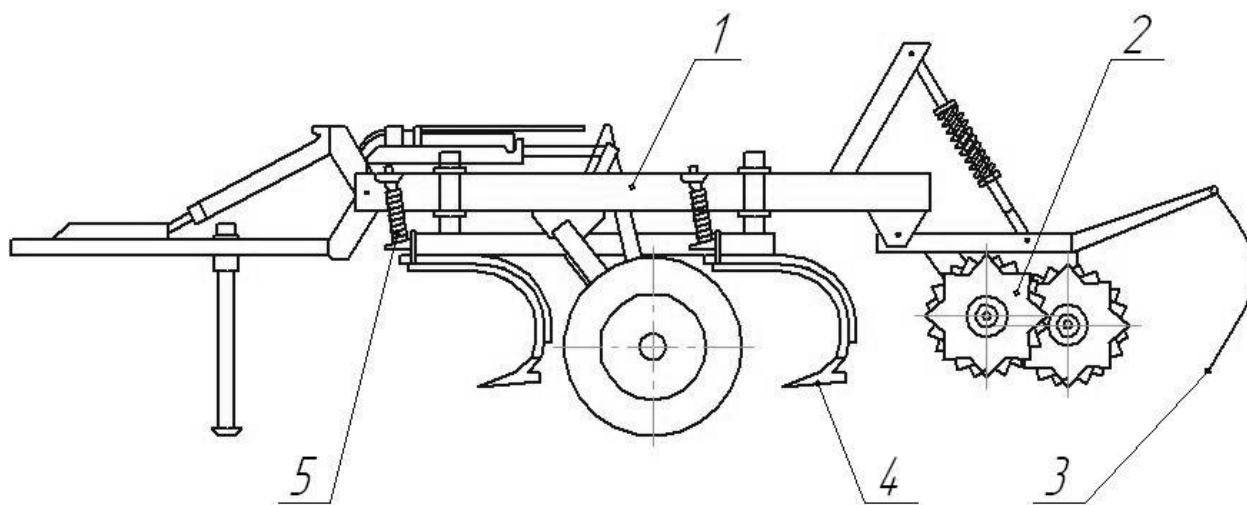


Рисунок 1.5. Почвообрабатывающий комбинированный агрегат АКНП-4,0:

1 – рама; 2 – двухрядный каток; 3 – видерная боронка; 4 – лапа;

5 – цилиндрическая пружина

Рабочие органы установлены на пружинные стойки в три ряда. Стерня и другие растительные остатки измельчаются двухрядными катками 2 с восьмиугольными звездочками диаметром 350 мм, финишное выравнивание осуществляется видерными боронками 3, закрепленными на хомутах позади катков. Предохранение лап 4 от поломок гарантируется двумя цилиндрическими пружинами 5, установленными на каждом рабочем органе.

Агрегат соответствует агротехническим показателям как по крошению (65...90%), так и по сохранению стерни в верхнем горизонте (52,7...58,1%). Наилучшие результаты при использовании комбинированных лап получены на скорости около 8 км/ч. Увеличение скорости улучшает крошение почвы, не повышая содержания эрозионно-опасных частиц. Сравнительная эргономика стрельчатых и комбинированных лап выявила преимущества последних.

К недостаткам можно отнести неудовлетворительную выровненность поля после его прохода, нестабильность глубины обработки и вынос на

поверхность поля влажной почвы.

Широкозахватный комбинированный почвообрабатывающий агрегат КУМ-4 (рисунок 1.6) разработанный ВНИПТИХМЭСХ предназначен для почвозащитной обработки с оставлением части стерни на поверхности поля.

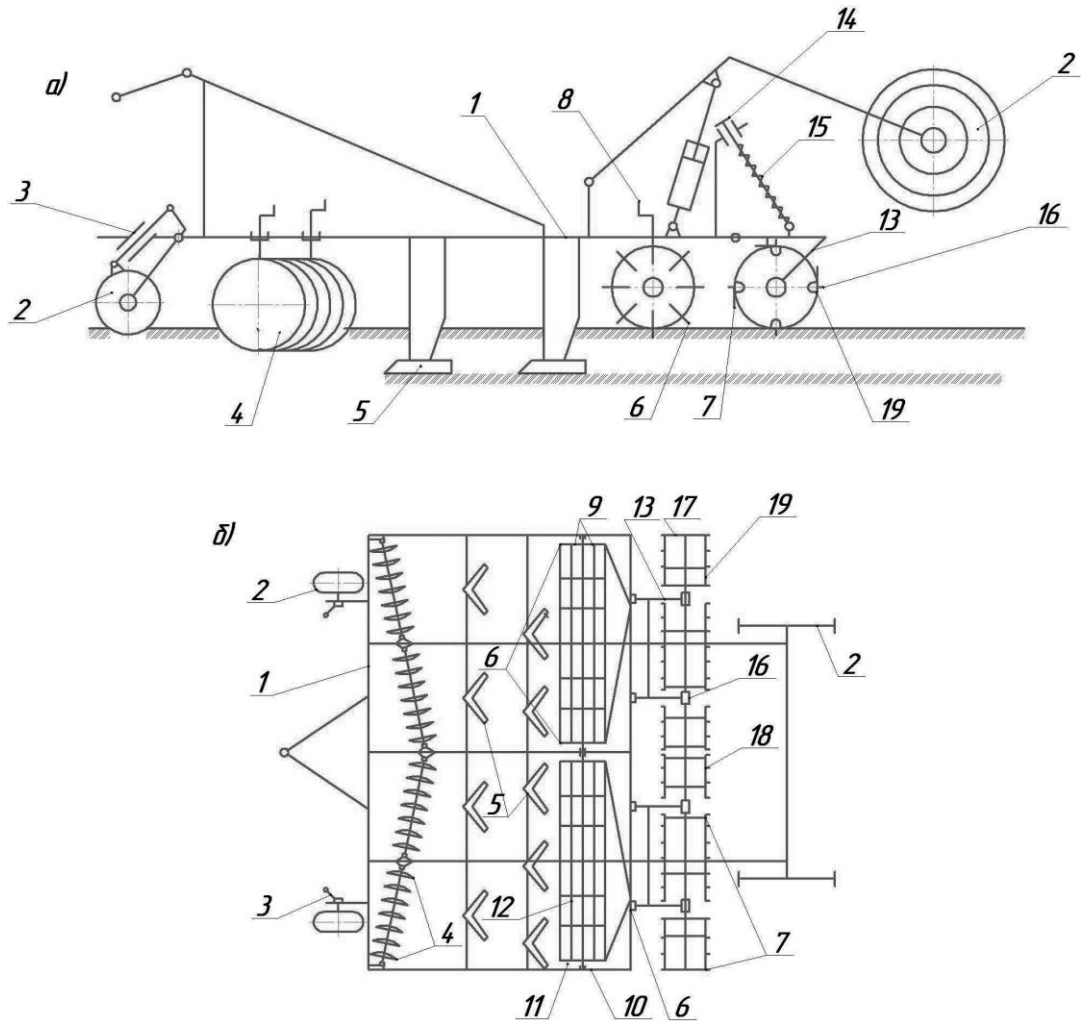


Рисунок 1.6. Схема комбинированного почвообрабатывающего агрегата КУМ-4: 1 – рама; 2 – опорные колеса; 3 – механизм регулировки; 4 – дисковая батарея; 5 – плоскорежущие рабочие органы; 6 – лопастные барабаны; 7 – зубовые катки; 8 – регулировочный винт; 9 – подшипники; 10 – ось; 11 – диск; 12 – лопасти; 13 – стойка; 14 – нажимная планка; 15 – пружина; 16 – ось; 17 – диск; 18 – штанга; 19 – зубья

Комбинированный почвообрабатывающий агрегат состоит из рамы 1 с



опорными колесами 2 и механизмами 3 регулировки. На раме жестко закреплены дисковые батареи 4, плоскорежущие рабочие органы 5. За плоскорежущими рабочими органами установлены: лопастной барабан 6 и зубовой каток 7. Между подшипниками 9 расположена ось 10 дисков 11, в которых радиально вварены лопасти 12 с заточкой. Секции катка снабжены стойками 13, которые шарнирно присоединены к заднему брусу рамы и дополнительно связаны с ней нажимными планками 14 с пружинами 15. На стойках 13 закреплена ось 16 с дисками 17, в которые вварены штанги 18 с зубьями 19 ножевидного типа, расположенные под прямым углом друг к другу [104].

Работает агрегат следующим образом. При его движении диски батарей, вырезая полосы в монолите почвы, рыхлят её верхний слой, плоскорежущие рабочие органы подрезают пласт и сорняки, рыхлят нижнюю часть пласта, лопасти барабана выравнивают почву и своими кромками разделяют подрезанный пласт на блоки, а зубья катка, проникая в глубь, крошат блоки почвы на мелкие фракции, штанги уплотняют почву и окончательно выравнивают её. При этом сохраняются пожнивные остатки, которые штанги прочно скрепляют с обработанной почвой. Послойная обработка почвы дисками обеспечивает формирование ветроводоустойчивого взрыхленного слоя.

Подпружиненные стойки катка этого агрегата вибрируют и вместе с дисками, лапами и барабаном интенсивно крошат почву. При этом стерня перемешивается с верхним слоем. Созданию мульчирующего слоя способствуют сферические батареи, поставленные под углом, которые частично оборачивают пласт почвы, подрезаемый лапами, расположенными в два ряда, и каток с барабаном, установленный за ними.

Почвозащитные влагонакопительные и влагосберегающие технологии в сжатые агротехнические сроки позволяет выполнять широкозахватный комбинированный почвообрабатывающий агрегат КУМ-8, разработанный ВНИПТИХМЭСХ и изготовленный ОАО «Каменский машзавод».

КУМ-8 состоит из трехсекционной рамы, на которой последовательно расположены подрессоренные дисковые батареи под углом к направлению движения, лапы на стойках с J-образной фронтальной кромкой, штангово-ножевой каток и барабан, лопасти которого находятся под углом к оси барабана, а кромки выполнены волнообразно. Это обеспечивает разделку подрезанного пласта лапами и предварительно обработанного дисками без оборачивания и перемешивания.

Рекомендуется использовать агрегат со спиральными катками и барабанами, кромки лопастей которого ступенчатые.

Важная особенность КУМ-8 – комбинирование основных рабочих органов с разнообразными по назначению дополнительными рабочими органами с целью подготовки почвы под посев за один проход.

Широкозахватные комбинированные агрегаты КУМ-4 и КУМ-8 при обработке плотных пересушенных почв имеют значительное тяговое сопротивление, поэтому ОАО «Техсервис» г. Георгиевска выпускает агрегаты КУМ-6 с шестиметровым захватом и набором рабочих органов, как у КУМ-4 и КУМ-8. Для обеспечения технологических требований по подготовке почвы под озимые по непаровым предшественникам на базе агрегата КУМ-8 разработан обрабатывающе-удобрительно-посевной комплекс, который позволяет одновременно с обработкой почвы вносить внутрипочвенно минеральные удобрения и, в случае необходимости, производить посев сельскохозяйственных культур.

Также к комбинированным почвообрабатывающим орудиям можно отнести АПК-3 и АПК-6 агрегируемые тракторами тяговых классов 3 и 5 (рисунок 1.7). За один проход они выполняют измельчение растительных остатков, рыхление почвы, предпосевную культивацию, выравнивание и прикатывание обработанного слоя почвы.

Вариант агрегата:

- со щелерезами 1 эффективен для обработки склоновых участков
- с чизельными лапами 2 - для глубокой зяблевой обработки

переуплотненных почв пласта после трав и залежи [4].

Агрегат совмещает до 6-ти операций, при этом заменяет 2-4 прохода МТА по полю, экономит до 10 литров дизтоплива на гектар, обеспечивает эрозионную устойчивость поверхности поля, хорошо сохраняет влагу, что

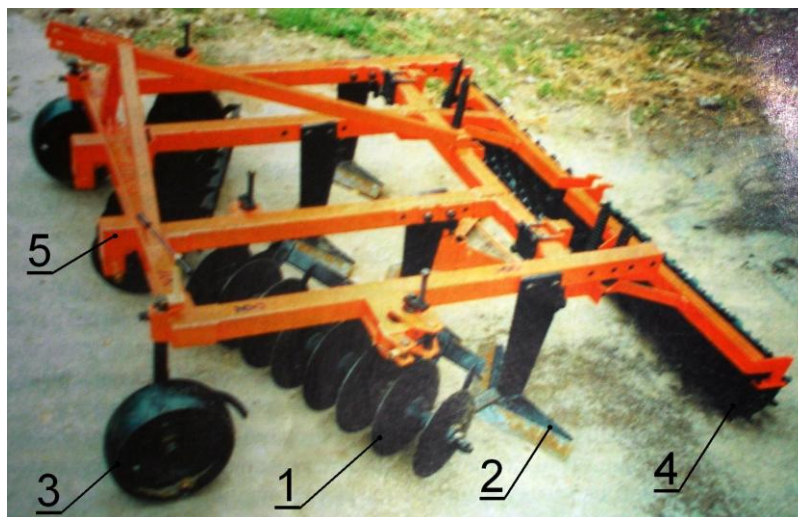


Рисунок 1.7. Почвообрабатывающий комбинированный агрегат АПК-3: 1 – щелерезы; 2 – чизельные лапы; 3 – колёса; 4 – выравниватель; 5 - рама

улучшает всхожесть и перезимовку посевов и повышает урожайность зерновых культур на 2...5 ц/га. Агрегат маневрен, устойчив при обработке склонов и при наличии сменных органов универсален для всех периодов полевых работ.

Глубина обработки лапами регулируется с помощью винтовых механизмов колес 3, заглубление щелерезов изменением высоты их крепления на раме 5, заглубление дисковых секций и выравнивателя 4 изменением высоты крепления их стоек в кронштейнах, нагрузка на каток затяжкой его пружин, плоскостность рамы регулировкой тяг навески трактора и механической блокировкой боковых секций.

Дисковые секции измельчают пожнивные остатки и крошат верхний слой почвы, лапы подрезают сорную растительность и рыхлят нижележащий

слой почвы.

Выравниватель разравнивает гребень по оси гона. Катки (или зубовые бороны) завершают процесс выравнивания микрорельефа, крошат почву верхнего слоя и уплотняют его. При установке чизельных лап или щелерезов обеспечивается разрушение плужной подошвы, улучшение водопроницаемости и влагообеспеченности пласта, предотвращение потерь влаги и эрозии почвы при ливневых осадках и снеготаянии.

Среднеквадратическое отклонение глубины обработки почвы составляет  $\pm 0,95$  см. После прохода агрегата отмечено полное (100%) подрезание сорных растений, сохранение растительных остатков составляет 52%, а измельчение их длиной до 150 мм – 56%, поверхность поля остается выровненной с высотой гребней 2 см и хорошим качеством крошения почвы (размер фракций до 50 мм составляет 94,95 %).

Также выпускаются модификации вышеуказанных комбинированных агрегатов - АПУ-3,5 (рисунок 1.8) и АПУ-6,5 (рисунок 1.9) к тракторам тяговых классов с 3 и 5 соответственно.



Рисунок 1.8. Агрегат  
почвообрабатывающий универсальный  
АПУ-3,5



Рисунок 1.9. Агрегат  
почвообрабатывающий  
универсальный АПУ-6,5

Технические особенности:

- регулируемая по высоте и углу атаки дисковая секция позволяет использовать агрегат на различных типах почв;

- стойка, выполненная из пружинной стали, вибрирующая в процессе работы исключает залипание и забивание стоек с лапами почвой;
- специальный предпружинный каток позволяет добиться требуемой плотности посевного горизонта.

Недостатки:

- нестабильность глубины обработки из-за вибрации пружинных стоек;
- большое тяговое сопротивление за счет дисковых секций и пружинного катка.

Несмотря на большое разнообразие современных сельскохозяйственных орудий, обладающих новыми техническими решениями, направленными на повышение производительности, все же наблюдается четко выраженное увеличение тягового сопротивления, особенно у широкозахватных машин. У машин с узким захватом увеличение тягового сопротивления происходит из-за большого числа разнообразных почвообрабатывающих органов.

Комбинирование различных видов почвообработки дает эффект уменьшения уплотнения почвы, снижения количества необходимых тракторов, снижения расхода топлива и сжатие агротехнических сроков.

Исходя из всего этого, можно сделать вывод, что необходимо искать пути снижения тягового сопротивления орудий и повышающие качество почвообработки.

#### ***1.4. Анализ методов снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих машин***

Как известно обработка почвы остается наиболее энергоемкой и ресурсозатратной технологической операцией в растениеводстве.

Не удивительно, что работы и исследования ученых и институтов мира, направленные на снижение энергоресурсоемкости почвообработки являются не только актуальными, но и стратегически значимыми.

Методам снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих и других сельскохозяйственных машин и орудий посвящено множество работ таких авторов: А.Д. Аджилковского, В.В. Бледных, В.И. Виноградова, В.П. Горячкина, А.А. Дубровского, М.Н. Ерохина, А.И. Завражного, С.Н. Капова, А.Б. Когана, М.М. Константинова, В.Н. Ключенко, Н.К. Мазитова, К.Т. Мамбеталина, О.М. Мацепуро, В.А. Милюткина, С.Г. Мударисова, Ю.Ф. Новикова, М.И. Панова, Н.А. Печерцева, И.В. Попова, А.С. Путрина, Р.С. Рахимова, Г.Н. Синеокова и других ученых [18, 22, 23, 24, 30, 33, 41, 42, 45, 66, 70, 78, 87, 105, 107, 116].

Исходя из анализа работ указанных авторов, их коллег и последователей можно утверждать, что снижение тягового сопротивления машин можно осуществить тремя основными способами:

- совершенствованием формы и геометрических параметров рабочих органов машин;
- изменением режимно-технологических параметров машин;
- синтезом почвообрабатывающих машин с устройствами генерации дополнительных возмущающих сил и полей, изменяющих взаимодействие рабочих органов с почвой.

Базовым и одновременно доминирующим направлением путей снижения тягового сопротивления машин является конструктивное совершенствование их рабочих органов.

Ярким примером могут служить работы, направленные на снижение или устранение вредных сопротивлений, вызываемых полевыми досками корпусов.

Исходя из экспериментальных исследований Р.Я. Прымова, [100] тяговое сопротивление прицепного плуга при замене полевой доски последнего корпуса обрезиненным катком уменьшилось на 11%, у навесного плуга – на 10%. Снижение удельного тягового сопротивления на 6...7% осуществлялось заменой стандартных полевых досок корпусов плуга укороченными.

В своей работе Ф.Е. Маматов [60] проведя исследования плуга, у которого полевые доски были заменены наклонными дисковыми ножами, поставленными перед каждым корпусом, доказал что снижение удельного тягового сопротивления плуга на 22,6% по сравнению с плугом с предплужниками.

Несмотря на все преимущества замены полевых досок корпусов плуга полный отказ от указанных снижает динамическую устойчивость пахотного агрегата, что несомненно негативно отражается на качестве обработки.

Достаточно известным способом снижения энергетических затрат (в определенных условиях) при основной обработке почвы является применение дисковых почвообрабатывающих орудий. Хотя Синеоков Г.Н. [106] отмечал равнозначность дисковых и лемешных рабочих органов по тяговому сопротивлению и залипаемости (при одинаковой глубине обработки и ширине захвата) Загоруйко А.Ф. установил снижение тягового сопротивления дисковых орудий при изменении угла атаки дисков с  $10^{\circ}$  до  $30^{\circ}$ .

Не менее распространенным способом снижения тягового сопротивления машин в мировой научной практике является геометрическое и функциональное совершенствование рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Огромную роль в определении взаимосвязи формы и геометрических параметров рабочих поверхностей рабочих органов машин с процессами, происходящими в почве сыграли исследования: В.П. Горячкина, Г.Н. Синеокова, В.И. Ветохина. В.И. Ветохиным установлено, что применение рабочих органов, имеющих вогнутую форму в передней части и выпуклую в задней позволяет повысить качество крошения почвы со снижением энергоемкости процесса. Подобные результаты были получены А.Д. Аджилевским и Мударисовым С.Г. при исследовании криволинейных дисков дисковых почвообрабатывающих орудий.

В работах И.Т. Коврикова и И.В. Попова, обосновываются основные геометрические параметры плоскорезной лапы, выполненной в виде двугранного клина шириной захвата 10 см, углом крошения  $25...30^{\circ}$  и углом наклона стойки к горизонту  $80...90^{\circ}$ , обеспечивающих снижение тягового сопротивления при основной обработке почвы 14-21% и уменьшением расхода топлива [90].

Влияние на тяговое сопротивление геометрических параметров рабочих органов рассматривалось в работе А.А. Митина. Согласно исследованиям, обоснованы параметры рыхлительной лапы и разуплотнителя, их размещение на раме плуга, что обеспечивает снижение тягового сопротивления на 13...30% [42, 67].

Снижение тягового сопротивления комбинированного плуга и удельного расхода топлива на 12...13% за счет оптимизации лемешно-отвальной поверхности джойнтера (рабочего органа для обработки верхнего корнеобитаемого слоя почвы) было достигнуто в работе Д.П. Юхина [118].

Оптимизация основных параметров корпуса плуга с целью снижения энергетических затрат на разрушение почвенного пласта нашло и в работе Бойкова В.М., Беднова А.Н., Старцева С.В., Бобкова С.А. [82]. Поставленная задача достигается тем, что на стойке корпуса плуга закреплены отвал, лемех и носок, причем последний выполнен с лобовой конической поверхностью за одно целое с полевой доской, частью лемеха и снабжен долотом. Долото имеет две сопряженные между собой наружные конические поверхности, причем одна сопряжена с конической поверхностью носка, а другая, расположенная на концевой части долота, выполнена с наклоном к первой так, что ее образующая, лежащая в вертикальной плоскости симметрии конуса, составляет с горизонталью угол, равный  $18...35^{\circ}$ . Снижение тягового сопротивления орудия осуществляется за счет того, что сменный носок с долотом, внедряясь в почву, подрезает и деформирует ее коническими поверхностями, создающими в сечении усилия разнонаправленных деформаций.



Известно чизельное орудие «Comso Three», где боковой профиль стойки чизельных рабочих органов которого выполнен в форме параболы. Кроме того, рабочие органы на раме орудия закреплены таким образом, что обеспечивается ярусная обработка почвы. Вышеуказанные особенности орудия в совокупности обеспечивают повышение агротехнических показателей, а так же снижение энергоемкости обработки почвы на 8...12% по сравнению с остальными видами чизельных орудий.

Долота с криволинейной S-образной рабочей поверхностью, применяемые на рыхлительных рабочих органах компании «Komatsu» обеспечивают снижение энергоемкости процесса обработки почвы на 5...8%. Указанное снижение энергоемкости достигается за счет того, что рабочая поверхность органов выполнена с переменным углом крошения, плавно увеличивающимся от лезвия долота, обеспечивающая более рациональное чем у долота с плоской рабочей поверхностью взаимодействие с почвой.

Изменение геометрических характеристик рабочих органов неразрывно связано с дилеммой «тяговое сопротивление - качество обработки». При уменьшении тягового сопротивления неизбежно ухудшается качество обработки почвы и, наоборот, при улучшении качества – повышается тяговое сопротивление, поэтому при проектировании почвообрабатывающих органов необходимо определиться с доминирующими его характеристиками. Сочетание высокого качества обработки при низком тяговом сопротивлении достигается достаточно редко.

Решением вышеуказанной проблемы при проектировании почвообрабатывающих рабочих органов является комбинирование отдельных рабочих поверхностей на одной стойке или раме.

Известно авторское свидетельство на корпус плуга, принадлежащее ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии под авторством И.И. Гуреева и Н.И. Аулова. Согласно этому свидетельству тяговое сопротивление снижается за счет того, что корпус оснащен поярусно установленными право- и левосторонним лемехами. Причем верхний лемех смещен в

продольном направлении относительно стойки корпуса в сторону за носовую часть нижнего лемеха, а также механизмом регулировки положения лемеха в зависимости от глубины обработки.

Авторский коллектив в составе: И.Г. Львутин, А.М. Комиссарчук, П.М. Гильштейн, О.М. Мацепуро и М.С. Кринько, согласно авторскому свидетельству, (21) 2113563/30-15 изменением конструкции плуга для гладкой вспашки осуществили снижение тягового сопротивления и повысили качество заделки растительных остатков. Конструктивно цель достигается установкой на раму плуга дополнительных направляющих в виде отвалов со стороны отвальной поверхности соседнего корпуса. Причем направляющие установлены выпуклой стороной ко дну борозды и имеют одноименный профиль с отвалами корпусов.

Вышеуказанные конструктивные решения все же имеют существенный недостаток – значительное увеличение тягового сопротивления при отклонении параметров агрегатирования и характеристик почвы от теоретически задаваемых.

Метод снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих машин за счет снижения сил трения рабочих поверхностей рабочих органов машин о почву был предложен еще В.И. Виноградовым, М.Д. Подскребко, А.Д. Аджилевским [1, 18, 87] и получил достаточно широкое распространение во многих научных работах. Согласно анализу работ указанного направления поставленная цель достигалась в основном тремя основными способами: заменой трения скольжения на трение качения; применением смазывающей среды; применение материалов для рабочих поверхностей рабочих органов машин с низкими фрикционными свойствами.

Конструктивное решение В.И. Виноградова по замене отвала корпуса плуга роликовой поверхностью, а полевой доски – колесом, позволяла снизить удельное тяговое сопротивление до 20% [18]. Недостатком конструкции, который не позволил внедрить подобное решение в серийное

производство – быстрая залипаемость рабочей поверхности отвала и, как следствие рост тягового сопротивления.

Большой интерес представляет применение смазывающей среды между трущимися поверхностями рабочих органов и почвой для снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих орудий.

В.И. Виноградовым, Ю.В. Позняковым и В.Ф. Сичкарь [18, 19, 88] для уменьшения тягового сопротивления плуга применялся ввод воды в граничный слой между лемешно-отвальной поверхностью корпуса и пластом почвы. Авторами экспериментально было установлено снижение коэффициента трения рабочих поверхностей корпусов о тяжелые суглинистые почвы на 42...47%, о средние суглинки – на 37...45%. Тяговое сопротивление корпуса плуга при этом снижается до 30-34% по сравнению с корпусом плуга без смазывающей жидкости.

Данный способ не нашел практического применения из-за сложности конструкции плугов, а также большого расхода смазывающей жидкости.

Наиболее практичным оказалось применение в качестве смазки рабочих органов почвообрабатывающих машин сжатого газа.

Еще В.А. Желиговским рассматривалась положительная работа свободного или «защемленного» воздуха, находящегося в почве при почвообработке. При сжатии почвы под действием рабочих органов почвообрабатывающих машин значительная часть свободного почвенного воздуха переходит также в защемленное состояние. При сходе с рабочей поверхности давление на почвенный пласт прекращается и, сжатый защемленный воздух, расширяясь, разрывает связи между почвенными агрегатами, а пласт почвы превращается в мелкокомковатое сыпучее тело. Рыхление почвы происходит в результате разрыва связей между структурными агрегатами из-за их растяжения, но без разрушения агрегатов, то есть с наименьшими затратами энергии [35].

Применение газа (выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания

тягового энергетического средства) свойственно, для рабочих органов газодинамического действия, создающих растягивающие напряжения в грунте. При использовании подобных устройств, почва разрушается за счет энергии расширения подводящихся к рыхлителям продуктов сгорания, и тяговое сопротивление при этом снижается на 30...40% [73].

Несмотря на явные преимущества подобных устройств, они по конструктивной сложности проигрывают обычным рабочим органам, разрушающих почву с помощью растягивающих усилий. Применение растягивающих усилий с целью разрушения почвенных пластов лежит в основе конструкции рабочего органа глубокорыхлителя «Paraplow» [90].

Самые глубокие исследования по модернизации рабочих органов посвящены применению композиционных материалов.

Влияние на энергетику процесса обработки почвы покрытий из полиэтилена и фторопласта на трущихся поверхностях плугов изучалось А.И. Мильцевым [66]. Согласно исследованиям лемеха, отвалы, полевые доски корпусов и предплужников покрывались пластинами из полиэтилена и фторопласта. Применение полиэтилена на рабочих поверхностях плуга позволило снизить тяговое сопротивление на лемехах: на 2...2,5%; на отвалах – 9...9,5%, полевых досках – 5...6%.

При исследовании вибрационных процессов особое внимание уделяется возможности применения вибрации при обработке почвы. Применение колеблющихся рабочих органов позволяет снизить сопротивление почвообрабатывающих орудий.

Идея использования вибраций в технике далеко не нова, однако создание принципиально новых машин вибрационного принципа действия стало возможно только в недавнее время. А именно с того момента, как сформировались соответствующие разделы теории колебаний и был создан необходимый математический аппарат. Применение вибрационной техники позволяет коренным образом усовершенствовать традиционные технологические процессы. Уже давно успешно вибрационная техника

обеспечивает перемещение материалов по наклонным и горизонтальным поверхностям, измельчение твердых тел и уплотнение смесей, превращение полужидких масс в твердые и придание сыпучему материалу свойств жидкостей.

На основе «псевдооживления» сыпучих материалов основана теория перемещения почвенных частиц по рабочим поверхностям почвообрабатывающих рабочих органов машин (при рассмотрении почвы как несвязной текучей среды). Указанное псевдооживление снижает силу трения почвенных частиц при их движении о поверхность рабочих органов, что позволяет говорить о снижении тягового сопротивления почвообрабатывающей машины.

Одно из первых исследований влияния вибрации на работу почвообрабатывающих орудий было выполнено М.М. Крыловым [33], который оснастил вибратором кротовый плуг ДП ВНИИГиМ. Конструкция механического вибратора позволяла в отдельности получать вертикальную, круговую и поперечную вибрацию. Наибольшее снижение тягового сопротивления наблюдалось при круговой вибрации, поступательной скорости 1,4 м/с и глубине обработки 0,3 м и составила 35%. При других условиях агрегатирования средняя величина снижения тягового сопротивления не превышала 10...20%.

Наибольшее снижение тягового сопротивления в опытах В.И. Цветникова под руководством М.Н. Летошнева [33] с плугом, оснащенным жесткозакрепленным на его раме механическим вибратором направленного действия на скоростях около 1 м/с связанных почв достигло 30%, сыпучих – 15%. При других режимах агрегатирования наблюдался меньший эффект, а в некоторых случаях даже повышение тягового сопротивления.

Конструкции плугов ВИМа общего назначения, оснащенных гидравлическими полуавтоматически и автоматически настраиваемыми вибраторами при испытаниях в канале с песком на скоростях 1 м/с и частоте

колебаний вибраторов 1800 колебаний в минуту показали снижение тягового сопротивления на 25...30% по сравнению с серийным плугом.

Эксперименты, проведенные на почвах при частотах вибрации 1000...6000 колебаний в минуту, показали среднее снижение тягового сопротивления на 20...30% на легких и средних почвах и до 50% - на тяжелых.

Положительный эффект от применения вибрирующих рабочих органов почвообрабатывающих орудий установлен многими другими исследователями и учеными.

Исследования, проведенные Н.С. Шкуренко и Д.Д. Барканом выявили, что на сопротивление резания грунта оказывают влияние как поперечные, так и продольные колебания рабочего органа. Причем, с увеличением амплитуды и частоты колебаний положительный эффект вибрации возрастает. Характерно, что при одной и той же скорости колебаний эффект вибрации значительно выше для продольных колебаний, чем для поперечных.

В работах Р. Мюллера и А. Газеллы исследовалось влияние вибраций на тяговое сопротивление культиваторов. Установив, что работа лап культиваторов сопровождается автоколебаниями вследствие изменения свойств почвы, авторы выявили, что наибольшее снижение тягового усилия до 40% наблюдается у культиваторов с пружинными стойками.

Автоколебания рабочих органов в процессе обработки почвы исследовались также Н.Г. Дубровиным. Результаты исследований выявили, что в интервале влажности почвы 18...23% вибрация эффекта не дает, но выше или ниже этого интервала тяговое сопротивление колеблющихся лап меньше, чем обычных примерно на 65%.

Испытания культиватора с активно действующими рабочими органами КАП-3,5 Южно-Украинской МИС на скоростях 4,5 км/ч и влажности почвы 26,5% установили, что качество обработки почв улучшилось, производительность труда увеличилась в 1,7 раза, а энергозатраты снизились на 40%.

Согласно исследованиям А.С. Лимонта и В.П. Мармалюкова; В.В. Труфанова при использовании культиваторов типа КПС-4 в сочетании с зубовыми боронами БЗСС-1,0 на скоростях 3...5 м/с наблюдалось их неустойчивая работа (особенно на переувлажненных почвах), а так же чрезмерное забивание борон и стоек растительными остатками. В результате возрастало тяговое сопротивление до 40% от сопротивления культиватора.

Испытания культиватора с вибрирующими лапками Н.М. Ибрагимовым при глубине культивации 15 см и поступательной скорости 4,5 км/ч показало снижение тягового сопротивления культиватора на 30...50% по сравнению с тяговым сопротивлением культиватора без вибрирующих стоек.

Исследования Сорокина А.А. и Кусова Т.Т. показали, что применение вибрационных подкапывающих лемехов позволяет снизить тяговое сопротивление картофелеуборочных машин до 50%.

Исследования, связанные с применением вибрации на почвообрабатывающих орудиях, легли в основу работ А.Б. Когана, А.П. Швейкина [59]. Ими было предложено оснастить корпуса плуга вибрирующими долотами для подрезания пласта, то есть исполняющих роль лемехов. Привод вибратора долот осуществлялся от вала отбора мощности. Результаты исследований показали, что экономия тяговой мощности больше на низких скоростях и непрерывно уменьшается при увеличении скорости. Работа такого пахотного агрегата на скоростях выше 6 км/ч вызвала увеличение тягового сопротивления, что привело к уменьшению экономии удельной тяговой мощности до отрицательного значения.

В своих исследованиях И.М. Бурмин [8] для снижения тягового сопротивления плуга использовал вибрирующие почвоуглубители. Наибольшее снижение тягового сопротивления одного почвоуглубителя, около 30%, наблюдалось при скорости 5 км/ч. Снижение тягового сопротивления плуга за счет вибрирования почвоуглубителей не превышало 10%.

На основании проведенного анализа методов снижения тягового

сопротивления почвообрабатывающих машин можно сказать, что все конструктивные решения, направленные на снижение энергоемкости процесса почвообработки, несмотря на преимущества обладают рядом существенных недостатков. Усложнение геометрических форм рабочих органов неразрывно связано изменением качества обработки почвы. Кроме того, подобные рабочие органы не обеспечивают постоянства их характеристик по мере износа рабочих поверхностей, что сопровождается резким увеличением удельного тягового сопротивления с одновременным снижением качества обработки. Комплектование почвообрабатывающих машин набором монофункциональных рабочих органов сопряжено со снижением их надежности в целом, снижением качественных показателей работы при отклонении от заданных эксплуатационных режимов почвообрабатывающего агрегата.

Считаем, что наиболее перспективным направлением снижения энергетических показателей при обработке почвы является использование вынужденных колебаний. Исходя из анализа работ, посвященных этой тематике, следует заключить, что применение вибрации позволяет существенно и в широких пределах изменять функциональные характеристики рабочих органов и машин различного назначения (в том числе и почвообрабатывающих).

Следует отметить, что наличие достаточного числа работ, посвященных применению вибрации в процессах почвообработки, не свидетельствует о законченности исследований в этом направлении. Процесс взаимодействия механического вибровозбудителя направленного действия с комбинированным почвообрабатывающим орудием требует соответствующих исследований, кроме того, не полностью освещен вопрос взаимодействия рабочих органов комбинированных машин, оснащенных вибраторами направленного действия с различными слоями почвы и, как следствие, неполнота теоретического обоснования взаимосвязи параметров вибровозбудителя и почвообрабатывающей машины.



### **1.5 Анализ существующих конструкций вибровозбудителей**

Вибрация в технике считается явлением вредным и является одной из причин преждевременного и часто аварийного выхода из строя машин. Изучение вибрационных явлений учеными и инженерами выявило возможность использования вибрации с успехом в технике для решения многих практических задач и, в частности, в сельском хозяйстве для обработки почвы.

Трудами ученых глубоко исследованы и раскрыты основные явления механики и физики процесса вибрации.

Вибраторы являются простыми механизмами. При конструировании же их необходимо иметь ввиду, что в определенных условиях частые колебания вызывают поломку вибратора. Эффективная работа вибрационных машин во многом зависит от характера колебаний. Идут постоянные исследования влияния величин и частот колебаний на процесс производства работ [10, 11].

#### **1.5.1 Электромеханические вибраторы**

Центробежная сила, которая возникает при вращении тела с неуравновешенной массой, называемый эксцентрик, постоянно направлена по радиусу окружности, описываемой центром тяжести  $M$  (рисунок 1.10) вращающегося тела [21].

Если закрепить эксцентрик 4 на вал 3, вращающийся на подшипниках и приводимый во вращение электродвигателем 1 через ременную передачу 2, то смонтировав в корпусе и поставив на площадку, вместе с валом будет вращаться и эксцентрик. Под действием центробежных сил  $R$  корпус будет колебаться. Такой механизм называется вибратором.

Так как с одной вращающейся неуравновешенной массой направление центробежных сил меняется за один оборот на  $360^{\circ}$ , то будет колебаться и корпус вибратора. В этом случае вибратор называется вибратором

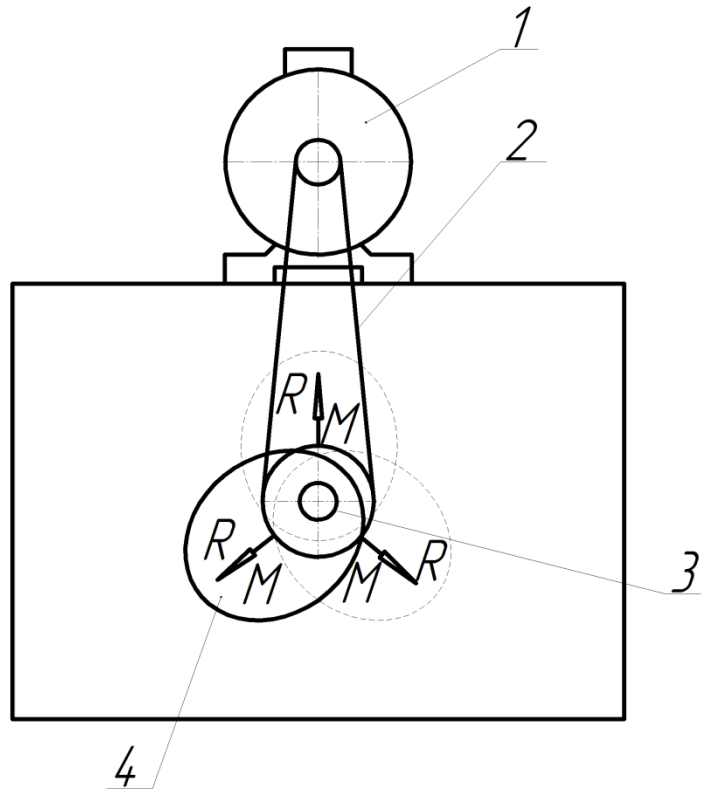


Рисунок 1.10. Схема действия вибратора ненаправленного действия:

1 – электродвигатель; 2 – ремённая передача; 3 – вал; 4 - эксцентрик

ненаправленного действия; центробежная сила – возмущающей силой, величина которой постоянна, а направление меняется.

В вибраторах направленного действия (рисунок 1.11) величина возмущающей силы изменяется от наибольшего значения до нуля, затем меняет своё направление на противоположное и возрастает снова до своего максимального значения и т.д. Под действием этой силы вибратор совершает колебательные движения, направленные всё время вдоль линии действия возмущающей силы.

В корпусе 1 вибратора направленного действия установлены рядом два валика 3 с надетыми на них эксцентриками 4, которые закреплены на осях так, что их центры тяжести одновременно находятся в самых низких точках. Валики 3 вращаются одновременно с одинаковыми оборотами в противоположные стороны, за счёт зубчатых колёс 5. Суммарная центробежная сила  $R$  эксцентриков будет всегда направлена

перпендикулярно осям, что даёт направленность колебаний.

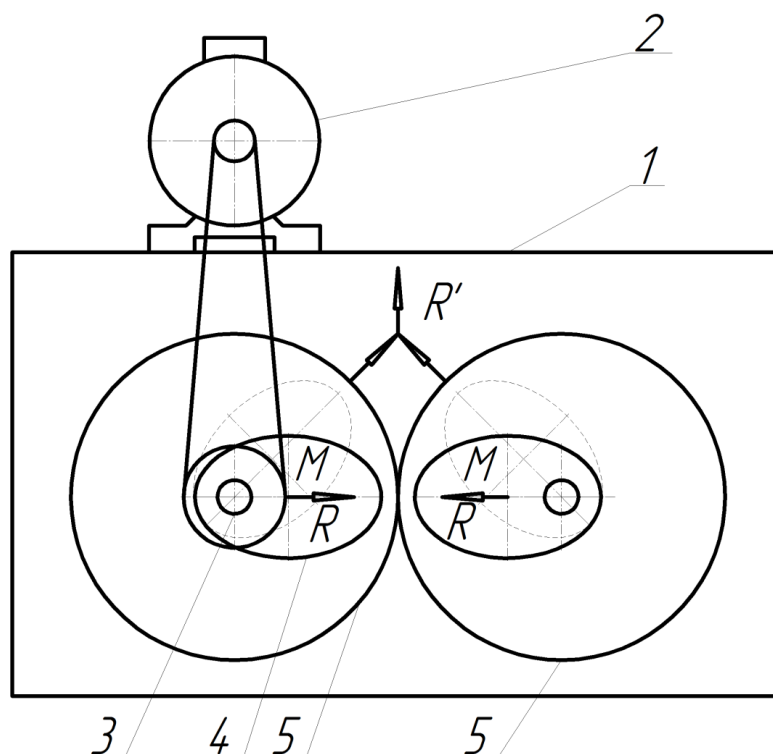


Рисунок 1.11. Схема действия вибратора направленного действия:

- 1 – корпус; 2 – электродвигатель; 3 – валики; 4 – эксцентрики;  
5 – зубчатые колёса

Вибраторы ненаправленного и направленного действия не могут давать колебания большой частоты, так как при значительных оборотах подшипники быстро выходят из строя. Поэтому для того, чтобы увеличить частоту колебания применяются высокочастотные вибраторы планетарного типа [33].

Планетарный вибратор (рисунок 1.12) состоит из неподвижного колеса 1, на одной оси с которым может свободно вращаться поводок 2. На поводке 2 закреплен ось с колесом 3, обод которого находится в соприкосновении с ободом колеса 1. При вращении поводка 2 колесо 3 вращается вместе с ним и одновременно обкатывается вокруг колеса 1. Поэтому колесо 1 называется солнечным, колесо 3 – сателлитом, а механизм - планетарным. Большое

число оборотов сателлита можно получить, изменяя число оборотов поводка 2 и отношение диаметров колёс 1 и 3.

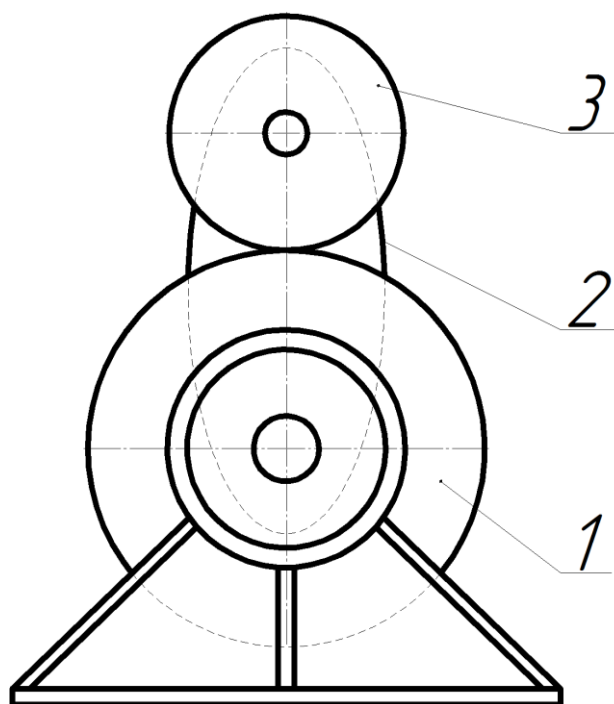


Рисунок 1.12. Схема действия вибратора с планетарным механизмом: 1 – неподвижное колесо; 2 – поводок; 3 - колесо

Так же существуют вибраторы планетарного типа с гибким валом (рисунок 1.13). На тонком и гибком стержне закреплено неподвижно планетарное колесо 2, выполненное в виде чашки. Чашка представляет собой как бы эксцентрик. Чашка находится в корпусе 1 с коническим выступом и соединена через гибкий вал 3 с приводом. Благодаря утолщению, при вращении чашки возникает центробежная сила. Эта сила прижимает чашку к коническому выступу, закрепленному в корпусе. После чего чашка начинает обкатываться вокруг этого выступа, как сателлит в планетарном механизме. Такой механизм называется планетарным вибратором с гибким валом. Частота колебаний таких вибраторов достигает 10000...14000 кол/мин при оборотах гибкого вала 3000 кол/мин [7, 33].

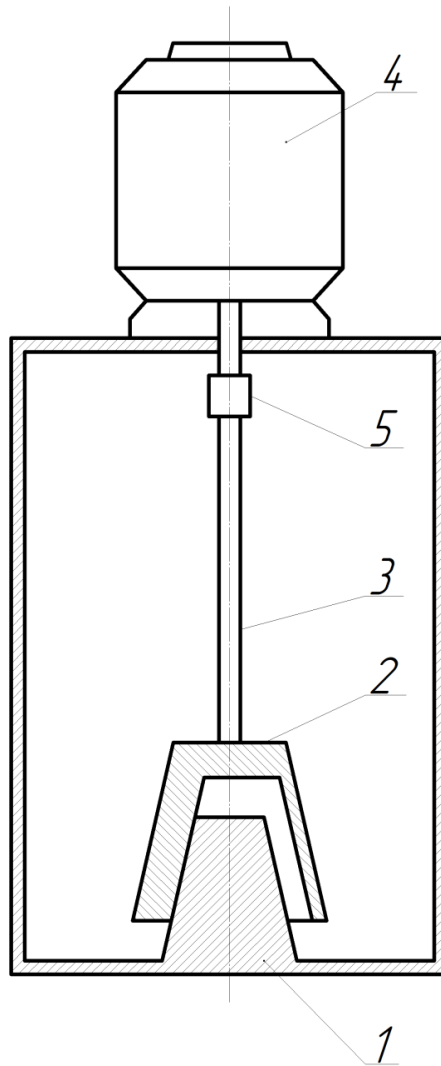


Рисунок 1.13. Схема действия планетарного вибратора: 1 – корпус; 2 – планетарное колесо; 3 – гибкий вал; 4 – электродвигатель; 5 – муфта

### ***1.5.2 Пневматические вибраторы***

Принцип действия пневматических вибраторов не отличается от механических. Отличие в том, что приводом в пневматических вибраторах служит пневматический двигатель, приводимый в движение сжатым воздухом.

Пневматический вибратор (рисунок 1.14) состоит из корпуса 1 с фланцами, в которых имеются выпускные отверстия для удаления воздуха из выпускной полости, полого шпинделя 2 и ротора 3 сидящего свободно на

шпинделе. Плоский золотник 4 вставлен в паз шпинделя. Сжатый воздух поступает через канал в оси шпинделя и давит на золотник, отжимая его вместе с ротором от шпинделя. Ротор при этом прижимается к шпинделю, образуя две полости: рабочая Р и выпускная В, разделенные между собой пластиной золотника. Рабочая полость соединена с каналом в оси шпинделя пазом золотника. Выпускные отверстия в этот момент перекрыты торцами ротора, а выпускная полость соединена через отверстия во фланцах с атмосферой. Поступающий в рабочую полость сжатый воздух заставляет ротор обкатываться по полости шпинделя эксцентрично оси шпинделя и вызывает колебания вибратора [20, 55].

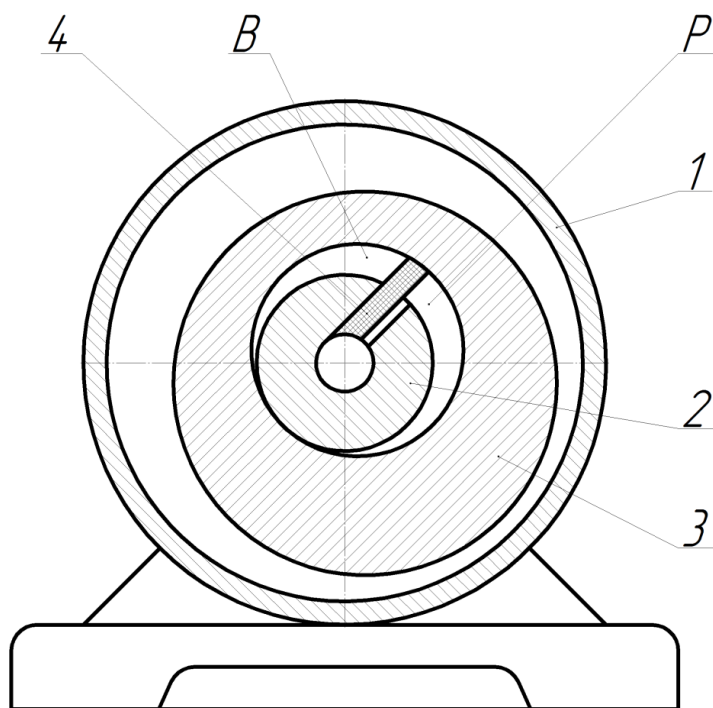


Рисунок 1.14. Схема пневматического вибратора:

1 – корпус; 2 – шпиндель; 3 – ротор; 4 – плоский золотник;

Р – рабочая полость; В – выпускная полость

### 1.5.3 Электромагнитные вибраторы

Колебания вибратора так же можно вызвать при помощи электромагнита. Простейшим электромагнитным вибратором является электрический звонок.

Электромагнитный вибратор (рисунок 1.15) состоит из катушки 1 с железным сердечником 2 и якоря 3. Между четырьмя спиральными пружинами 4 подвешен якорь. Плавность и равномерность колебаний якоря обеспечивают собранные по две пружины на двух болтах 5, закрепленные на основании 6. К катушке через выпрямитель подводится переменный ток. Ток, проходя через катушку, притягивает якорь, а когда ток идет в обратном направлении катушка размагничивается и пружины отталкивают якорь. Частота колебания якоря соответствует частоте тока, а возмущающей силой являются силы притяжения электромагнита [7, 20, 58, 112].

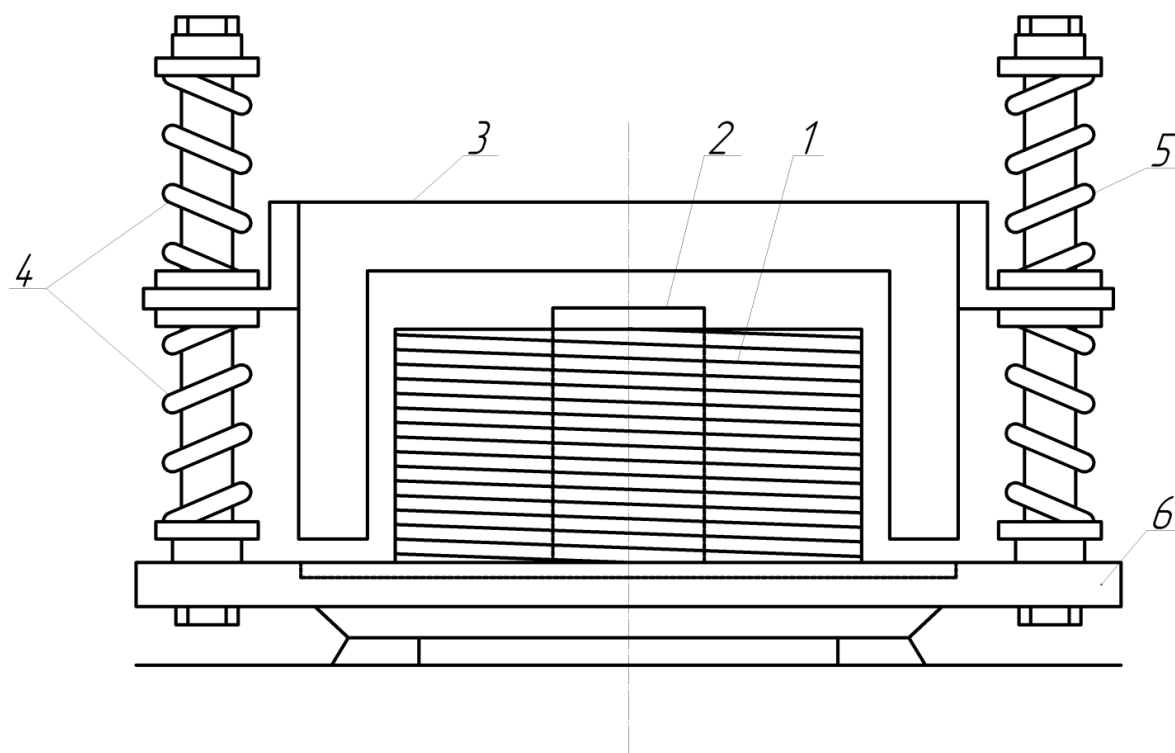


Рисунок 1.15. Схема работы электромагнитного вибратора:

1 – катушка; 2 – сердечник; 3 – якорь; 4 – пружина спиральная;  
5 – болты; 6 – основание

#### ***1.5.4 Центробежные возбуждители общего назначения***

Большую распространенность среди возбуждателей колебаний получили вибровозбудители, представляющие инерционные вибровозбудители с вращательным движением инерционного элемента. Их подразделяют на дебалансные и планетарные.

Дебалансный вибровозбудитель (рисунок 1.16, а) содержит несбалансированный ротор 1, называемый дебалансом, вал  $O$  которого вращается в подшипниках, закрепленных в корпусе 2. Центробежная вынужденная сила от вращения дебаланса воспринимается корпусом через подшипники. Крутящий момент валу дебаланса сообщается двигателем, находящимся вне корпуса или встроенным в него.

Планетарный вибровозбудитель содержит бегунок, который, обкатываясь по беговой дорожке, передает на него вынуждающую центробежную силу. По способу поддержания обкатки планетарные вибровозбудители можно разделить на три вида: пневмо-планетарные, поводково-планетарные и зубчато-планетарные. По тому, какой своей боковой поверхностью бегунок обкатывается по беговой дорожке – наружной или внутренней, планетарные вибровозбудители подразделяют на возбуждители с наружной обкаткой и с внутренней обкаткой.

На рисунке 1.16, б, в приведены схемы поводково-планетарных вибровозбудителей с наружной обкаткой. Здесь бегунок 1 обкатывается по беговой дорожке 2 корпуса 3 при помощи поводка 4, которому вращение сообщается валом 5. Поводок в первом случае вилочный, а во втором – шарнирно-рычажный. Угловая скорость обкатки равна угловой скорости вращения поводка. Фрикционно-планетарный вибровозбудитель с наружной обкаткой (рисунок 1.16, г) состоит из бегунка 1, собственное вращение которого поддерживается двигателем через вал 2. Бегунок своей наружной поверхностью обкатывается по беговой дорожке 3 корпуса 4. В случае внутренней обкатки (рисунок 1.16, д) бегунок 1 внутренней поверхностью



своей цилиндрической полости обкатывается по беговой дорожке, образуемой боковой поверхностью пальца 2 жестко связанного с корпусом 3. Собственное вращение бегунка поддерживается двигателем через не показанный на схеме вал. Обкатка в обоих случаях поддерживается силами сухого трения между бегунком и беговой дорожкой, возникающими под действием центробежной силы. Зубчато-планетарные вибровозбудители отличаются от фрикционно-планетарных тем, что вне беговых дорожек

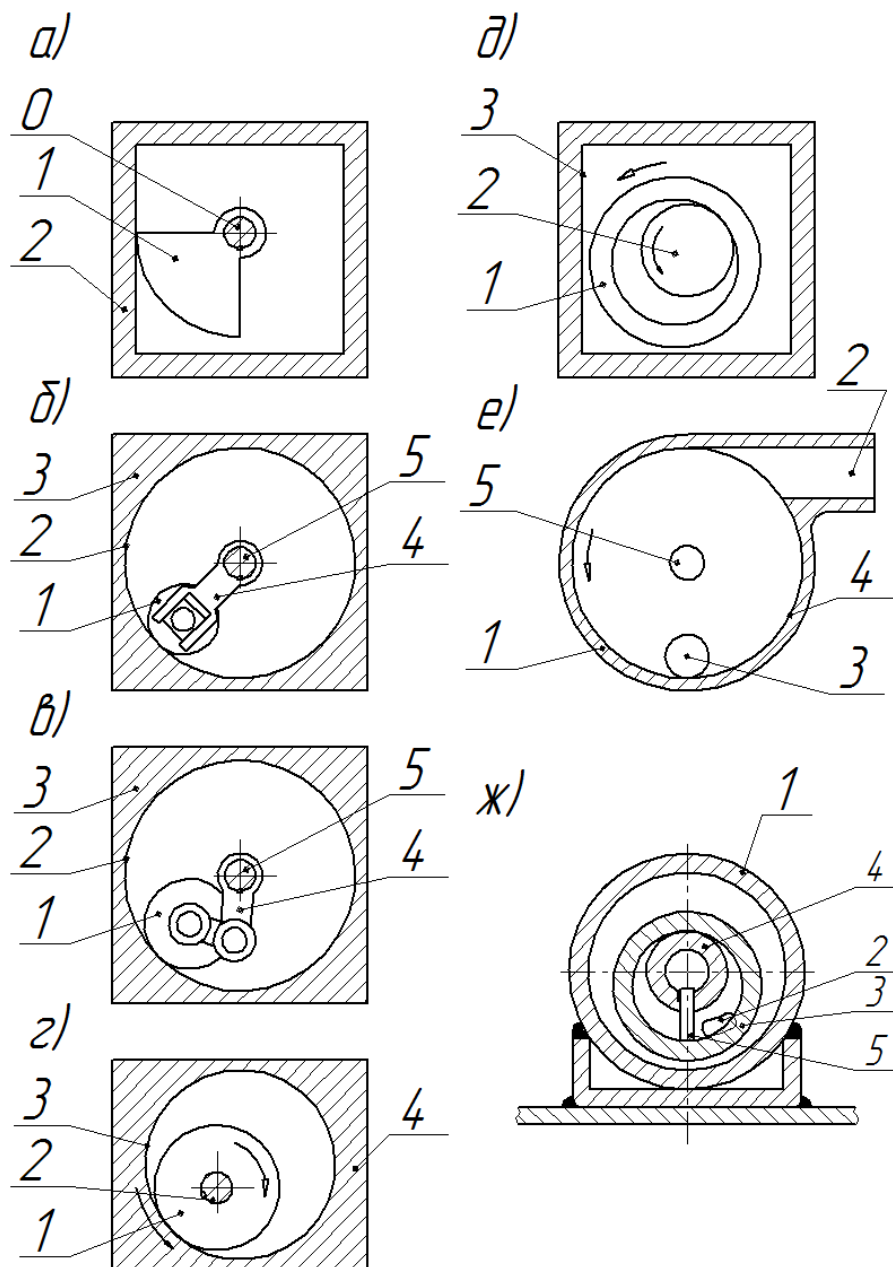


Рисунок 1.16. Схемы принципиальные центробежных вибровозбудителей

имеется зубчатое зацепление бегунка с корпусом, которое поддерживает обкатку.

Из пневмопланетарных вибровозбудителей получили распространение шариковые (рисунок 1.16, е) и ротационные с выдвижной лопаткой (рисунок 1.16, ж). В рабочую полость корпуса 1 шарикового вибровозбудителя через входное отверстие 2 подается в тангенциальном направлении сжатый воздух или пар, струя которого поддерживает обкатку шарика 3 по беговой дорожке 4, имеющий желобчатое поперечное сечение. Здесь происходит наружная обкатка. Обработанный воздух выходит через центральное отверстие 5 в торцевой стенке корпуса. Ротационный вибровозбудитель содержит корпус 1, в торцевых стенках которого жестко закреплена полая ось 4 с выдвижной лопаткой 5. В центральное отверстие оси подается сжатый воздух, который по каналу поступает в полость между осью и бегунком 3 слева от лопатки. Давление воздуха поддерживает обкатку бегунка по поверхности оси (в данном случае обкатка внутренняя). Торцы бегунка скользят по торцевым стенкам корпуса. Отработанный воздух выходит через отверстие 2 в торцевой стенке корпуса. Непрерывное прижатие лопатки к внутренней поверхности обкатывающего бегунка обеспечивается давлением воздуха в отверстии оси.

Статический момент массы планетарного вибровозбудителя  $m_0 r$  равен произведению массы бегунка  $m_0$  на эксцентриситет этой массы  $r$  относительно оси беговой дорожки, который определяется зависимостью  $r = |R_1 - R_2|$ , где  $R_1$  – радиус беговой дорожки,  $R_2$  – радиус бегунка. В случае шарнирно-рычажного поводкового вибровозбудителя к массе бегунка необходимо добавлять соответствующую долю массы примыкающего к бегунку звена рычага. У фрикционно-планетарных и зубчато-планетарных вибровозбудителей передаточное отношение  $i = \omega / \omega_6$ , где  $\omega$  – угловая скорость обкатки,  $\omega_6$  – угловая скорость собственного вращения бегунка. С другой стороны, из геометрических соображений  $i = R_2 / (R_2 - R_1)$ . Отсюда видно, что передаточное отношение отрицательно (то есть направления

собственного вращения и обкатки противоположны) в случае наружной обкатки, когда  $R_2 < R_1$ , и положительно (то есть направления собственного вращения и обкатки совпадают) при внутренней обкатке, когда  $R_2 > R_1$  [7].

Дебалансные вибровозбудители общего назначения (их называют так же прикрепляемыми дебалансными вибровозбудителями) используют в довольно больших количествах для различных целей. Подавляющее большинство этих вибровозбудителей выпускают со встроенными трехфазными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. Выпускаются одновальные вибровозбудители с круговой вынуждающей силой (рисунок 1.17, а), двухвальные с направленной вынуждающей силой по схеме (рисунок 1.17, б) и маятниковые с направленной вынуждающей силой по схеме (рисунок 1.17, в).

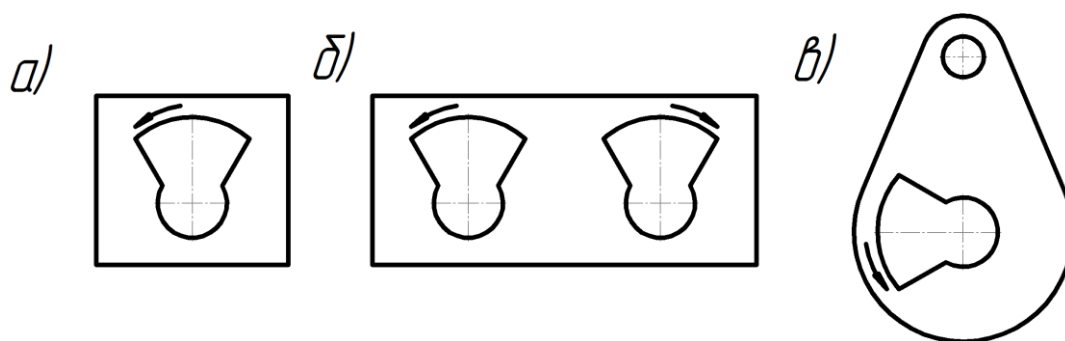


Рисунок 1.17. Одновальные вибровозбудители с круговой вынуждающей силой

Схема вибровозбудителя с круговой вынуждающей силой и встроенным электродвигателем приведен на рисунке 1.18, а. В корпус 1 вибровозбудителя запрессован статор электродвигателя, лобовые части 2 которого показаны прямой перекрестной штриховкой. В корпусе закреплены также щиты 4, в которых установлены подшипники 5. В подшипниках вращается вал, несущий в средней своей части короткозамкнутый ротор 3 электродвигателя, а на концах - дебалансы 6. На корпусе имеются лапы 7, которые болтами прикрепляются к вибрируемой конструкции. Торцовые

части корпуса закрыты крышками 8.

Реже используют одновалные вибровозбудители с пристроенным электродвигателем (рисунок 1.18, б) фланцевого исполнения. Корпус 5 электродвигателя своим фланцем прикрепляется к корпусу 6 вибровозбудителя. Общий вал 2 ротора 4 и дебаланса 1 вращается в подшипниках 3 и 7.

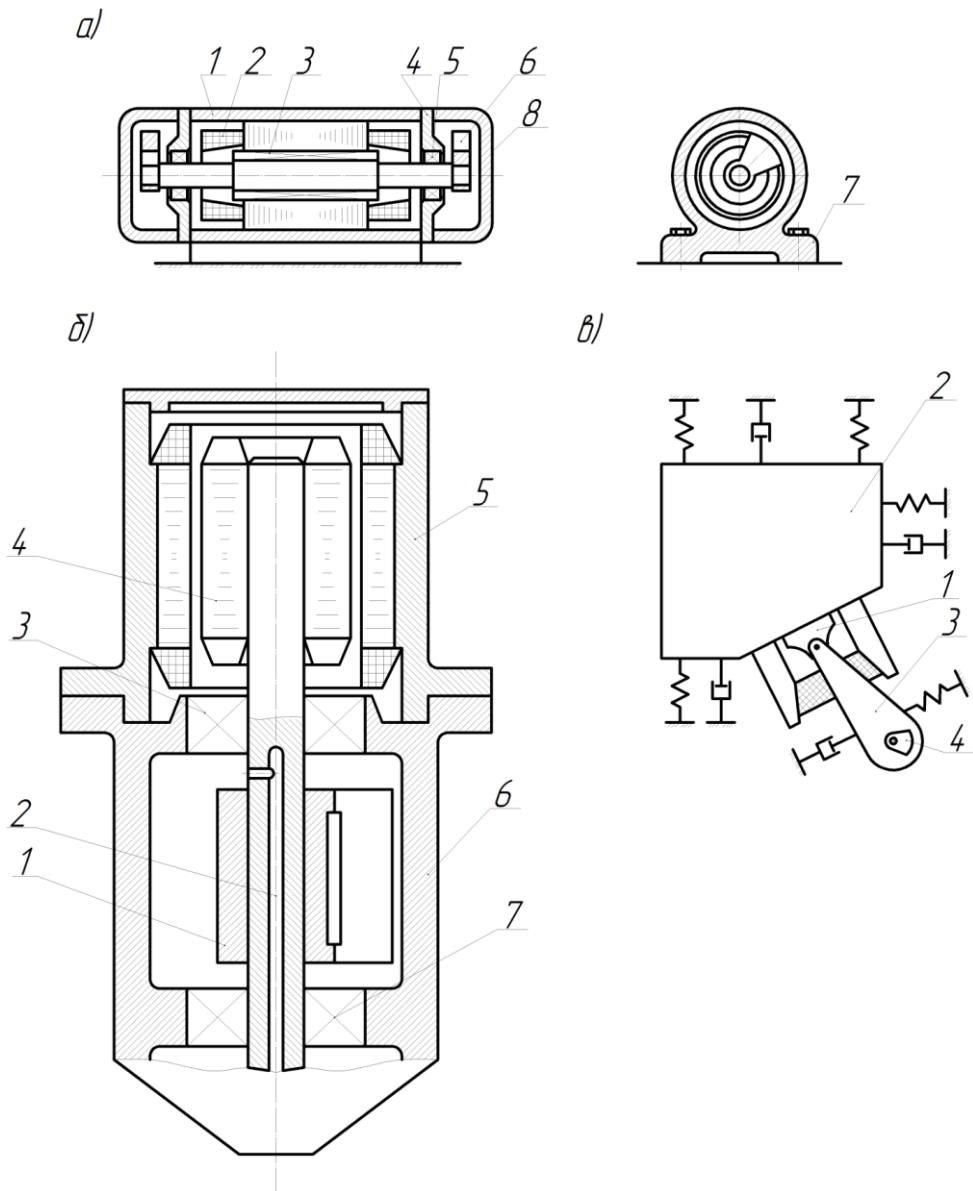


Рисунок 1.18. Одновалные вибровозбудители с пристроенным электродвигателем фланцевого исполнения

Маятниковый вибровозбудитель (рисунок 1.18, в) состоит из

основания 1, прикрепляемого к вибрируемому телу 2 и соединенному при помощи шарнира 0 с маятником 3, в котором на валу вращается дебаланс 4, приводимый во вращение встроенным электродвигателем [55].

### **1.5.5 Вибрационные машины для уплотнения грунта, дорожных оснований и покрытий**

По характеру сил взаимодействия рабочего органа с уплотняемой средой устройства для уплотнения грунтов и дорожных покрытий можно подразделить на машины статического действия (прессование, укатка) и машины динамического действия (безударные вибрационные, ударно-вибрационные, ударные). Границы между указанными типами машин часто оказываются очень расплывчатыми. Иногда следует различать не только тип машины, но и режим её работы.

Практически все выпускаемые в настоящее время вибрационные машины для уплотнения грунта работают в ударно-вибрационном режиме.

Кинематическая схема односекционной (то есть с одним вальцом на оси) вибрационной машины показана на рисунке 1.19. Здесь двигатель 1 через муфту сцепления 2 и клиноременную передачу 3 приводит во вращение дебаланс 5, расположенный внутри вальца 4. Он состоит из вибрационного вальца, вращающегося на оси, укрепленной в раме двигателя, расположенного на раме. В качестве трансмиссии обычно используют клиноременную передачу. В случае необходимости на раму устанавливают дополнительные грузы.

Важным параметром таких вибрационных машин является диаметр вальцов. Горизонтальная реакция уплотняемого материала возрастает с уменьшением диаметра вальца, что вызывает сдвиг вперед уплотняемого материала, снижает плотность материала и приводит к волнистости его поверхности. Увеличение диаметра вальца – увеличивает габариты и вес машины и повышает центр тяжести.

По числу и расположению валцов можно разделить на одновальные с ручным управлением, двухвальцовые двухосные и трехвальцовые трехосные. Встречаются также со сдвоенными валцами, когда на одной оси располагаются два валца [7, 112].

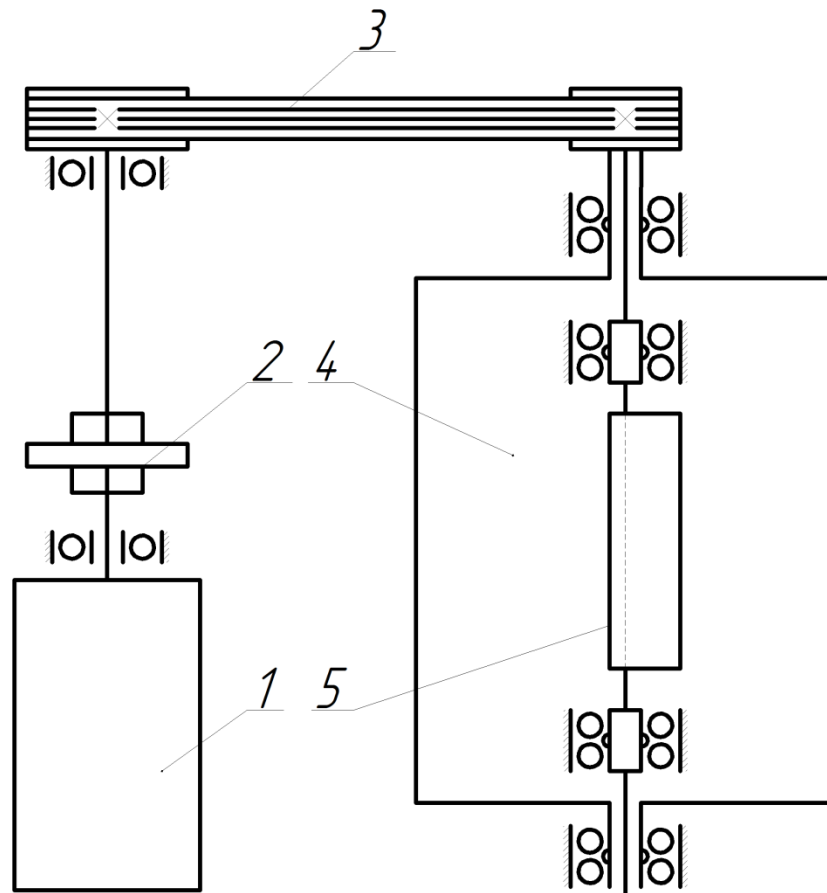


Рисунок 1.19. Кинематическая схема односекционной вибрационной машины: 1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – клиноремённая передача; 4 – валец; 5 – дебаланс

### 1.5.6 Вибропогружатели и вибромолоты

Вибрационные машины для погружения в грунт различных элементов и для извлечения их принято подразделять на безударные вибрационные и ударно-вибрационные.

Силу, которую необходимо преодолеть при погружении делят на боковое сопротивление, приложенное к боковой поверхности погружаемого

элемента, и лобовое сопротивление, приложенное к нижней торцевой поверхности элемента.

Сила сопротивления грунта имеет упругую, инерционную и диссипативную составляющие. Для того, чтобы перемещение осуществлялось, амплитуда вибрации элемента должна быть больше предела упругих деформаций грунта, в результате чего возникает колебательное проскальзывание боковой поверхности элемента относительно грунта и, возможно, взаимное проскальзывание близлежащих частиц и слоёв грунта.

Известны машины, которые кроме продольно направленной прямолинейной вибрации сообщают погружаемым элементам угловую вибрацию относительно круговой симметрии. Такое сочетание может облегчить процесс погружения. Генерировать такие колебания можно используя схемы, приведенные на рисунке 1.20.

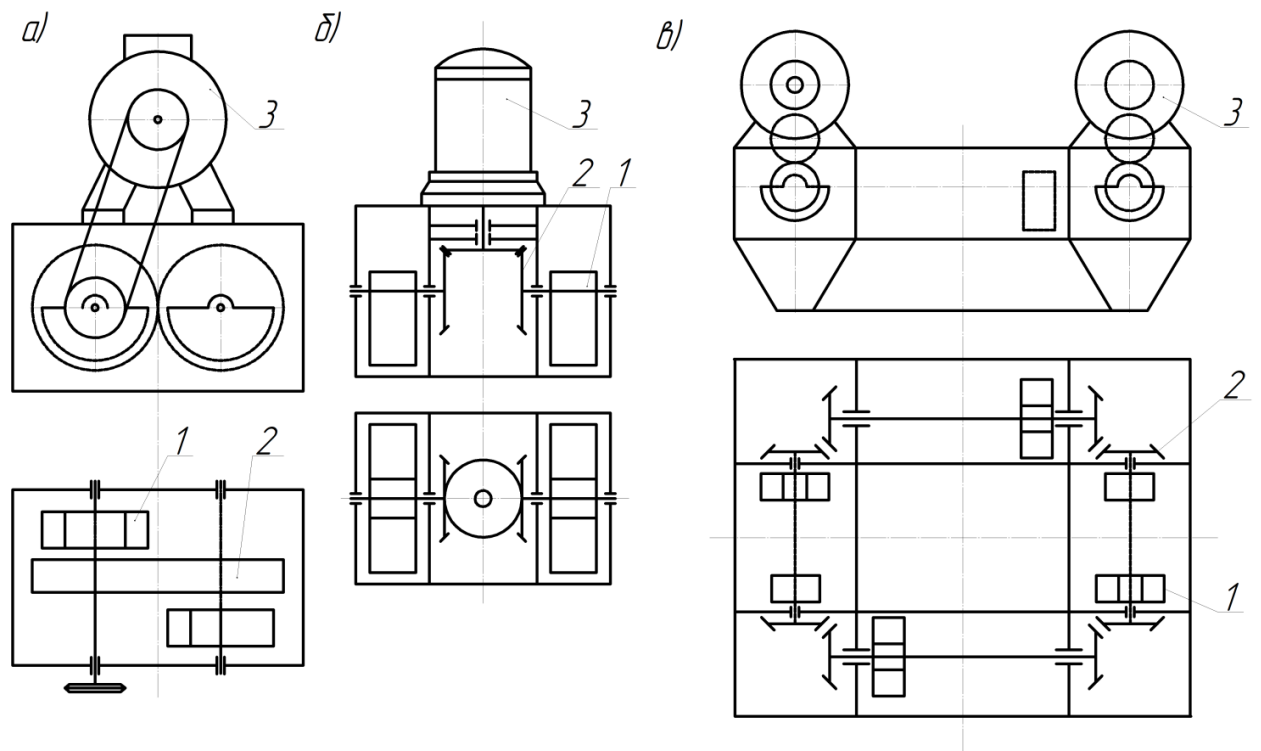


Рисунок 1.20. Схемы вибропогружателей сообщаемые угловую вибрацию относительно оси круговой симметрии: 1 – дебалансы; 2 – зубчатая передача; 3 - электродвигатель

Дебалансы 1, находящиеся на разных плоскостях, вращаются синхронно (благодаря зубчатой передаче 2) в противоположных направлениях. привод осуществляется от вынесенного электродвигателя 3. На рисунке 1.20, б синхронно вращающиеся в противоположные стороны дебалансы 1 расположены соосно. Они получают вращение через коническую зубчатую передачу 2 от фланцевого электродвигателя 3 с вертикальным валом. Для более мощных вибропогружателей можно применить схему с четырьмя дебалансами 1 (рисунок 1.20, в) или большим их количеством. Имеется ряд электродвигателей 3 и синхронизирующая зубчатая передача 2. Каждая пара дебалансов, расположенных на параллельных валах, действует как на рисунке 1.20, а [7].

Для погружения в более крепкие грунты применяют ударные машины: дизельные и паровоздушные.

Известен ряд схем вибромолотов. Некоторые из них изображены на рисунке 1.21. На рисунке 1.21, а вибровозбудитель направленного действия 1 свободно лежит на верхнем торце погружаемого элемента 2, подпрыгивает под действием вынуждающей силы, падая, сообщает элементу ударные импульсы. Наиболее распространенная схема показана на рисунке 1.21, б, где вибровозбудитель связан с наголовником 4 пружинами 3, жесткость которых подбирается из условий осуществления одного из резонансов, возможных в этой схеме.

На основании проведенного анализа вибровозбудителей следует отметить, что наиболее перспективным с точки зрения их применимости при обработке почвы являются механические дебалансные вибраторы (которые успешно применяются в грунтоуплотняющих и грунтопроходных машинах) ввиду их конструктивной простоты при достаточной эффективности [7, 66].



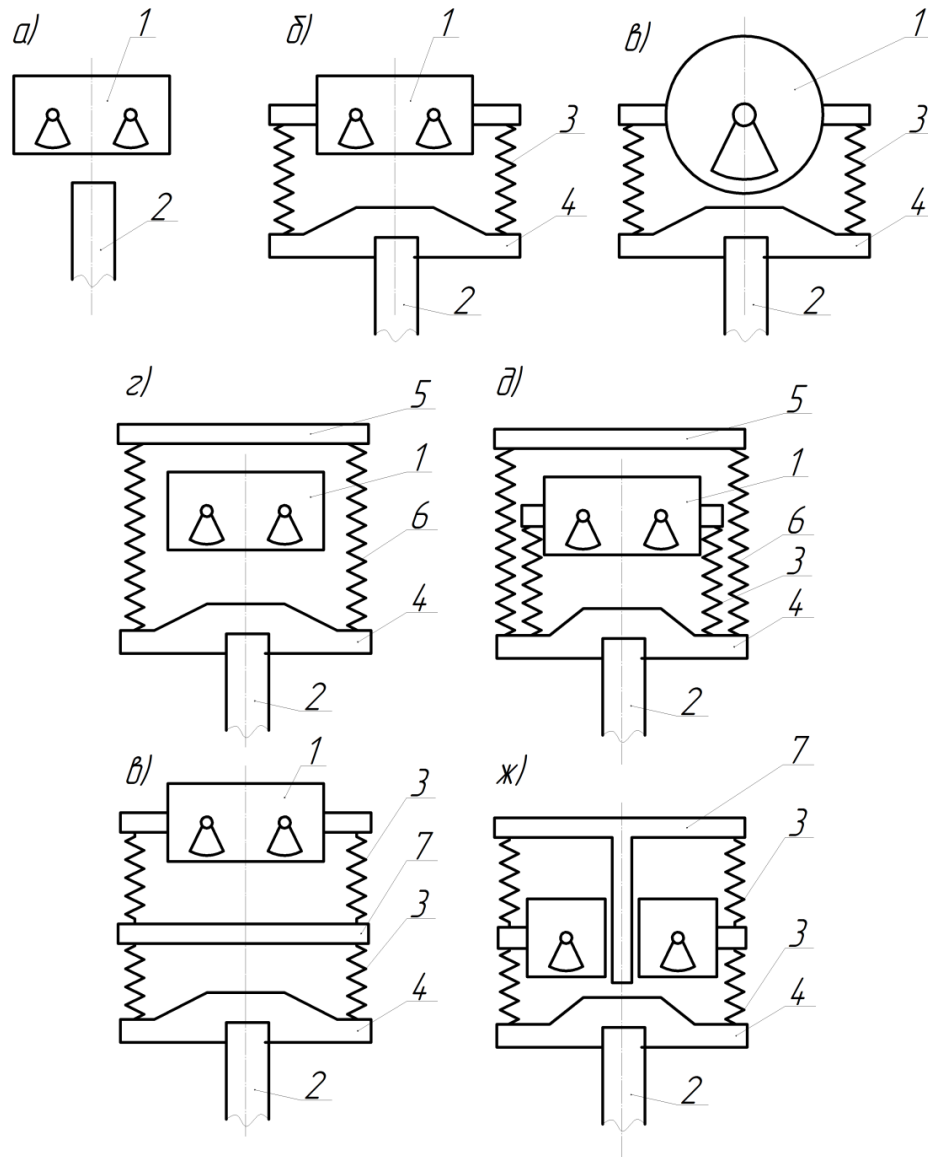


Рисунок 1.21. Схемы вибромолотов: 1 – вибровозбудитель; 2 – погружаемый элемент; 3 – пружины; 4 – наголовник

### 1.6 Выводы, цель и задачи исследования

Исходя из опыта передовых стран по введению системы энергоресурсосбережения в земледелии следует, что приоритетное значение имеют мера биологизации технологий и минимизации обработки почвы. Такой подход в земледелии обоснован снижением производственных затрат при возделывании сельскохозяйственных культур, а также обеспечением почвоводоохранных мероприятий.

Считается, что на данном этапе наиболее перспективны

энергоресурсосберегающие технологии, базирующиеся на освоении наукоемких и одновременно экологичных приемов агропроизводства, адаптированных к местным условиям с уклоном в сторону минимизации обработки почвы.

Внедрение указанных энергоресурсосберегающих технологий невозможно без освоения основных и взаимосвязанных этапов: совершенствование земледельческой техники, включая производство комбинированных машин и агрегатов, энергоресурсосберегающих рабочих органов, адаптацию к новым технологиям имеющихся в хозяйствах и приобретаемых машин.

Совершенно очевидно, что выполнение энергоресурсосберегающих технологических операций в полеводстве в современных условиях немыслимы без применения комбинированных машин.

Следует учитывать, что все известные и серийно выпускаемые комбинированные машины наряду с очевидными преимуществами не лишены ряда существенных недостатков, основным из них – значительное удельное тяговое сопротивление. Кроме того, не может быть универсальных приемов возделывания сельскохозяйственных культур, применимых повсеместно с одинаково высоким эффектом. Решения в каждом конкретном случае должны быть свои, адаптированные к местным условиям. Таким образом, существующие в настоящее время разработки зачастую не учитывают многообразие факторов, влияющих на процесс агропроизводства и поэтому зачастую при внедрении не дают ожидаемого результата.

Анализ работ по совершенствованию почвообрабатывающих машин (в том числе и комбинированных), а также их адаптации к почвенно-климатическим условиям определил ряд возможных направлений исследований:

- преимущественными направлениями совершенствования технологии почвообработки остаются послыйная и минимальная обработки почвы;
- недостаточная обоснованность взаимодействия рабочих органов

комбинированных машин с почвой;

- неудовлетворительный уровень исследований, направленных на снижение энергоресурсопотребления (в частности, направленных на снижение тягового сопротивления машин) при использовании комбинированных машин в растениеводстве.

Учитывая значимость и актуальность указанной проблемы, определена цель настоящих исследований, которая заключается в **совершенствовании эксплуатационно-технологических показателей комбинированного почвообрабатывающего орудия за счёт использования энергии направленных вынужденных колебаний.**

Согласно поставленной цели определены задачи исследований:

- 1. Разработать теоретическую модель процесса взаимодействия с почвой комбинированного почвообрабатывающего орудия, оснащённого механическим вибровозбудителем;**
- 2. Разработать конструкцию механического вибровозбудителя направленного действия;**
- 3. Провести лабораторно-полевые испытания комбинированного почвообрабатывающего орудия оснащённого вибровозбудителем;**
- 4. Оценить технико-экономическую эффективность внедрения технического решения.**

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОРУДИЯ С ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЕМ

### *2.1. Обоснование координаты точки приложения возмущающей силы на раме почвообрабатывающего орудия*

Как показывает практика, использование вибрационной техники в сельском хозяйстве значительно уступает другим отраслям, таким как строительство, комбикормовое производство и медицина.

Предлагаемая в работе конструкция для снижения тягового сопротивления широкозахватного комбинированного почвообрабатывающего орудия, основана на использовании вынужденных направленных колебаний. Принцип работы заключается в следующем. На раму почвообрабатывающего орудия 2 монтируется маятниковый вибратор 6 (рисунок 2.1, а), который состоит из двух зубчатых колёс, вращающихся с одинаковой угловой скоростью в разные стороны. Зубчатые колёса выполнены в виде дебалансов 12. Когда почвообрабатывающий агрегат движется по лёгким почвам и тяговое сопротивление не большое, тогда маятниковый вибратор 6 находится в вертикальном положении (рисунок 2.1, б). Дебалансы 12 создают возмущающую силу  $F$ , которая действует только в вертикальной плоскости. В этом случае горизонтальной силы нет, так как при повороте зубчатых колёс, возмущающие силы от дебалансов 12 будут скомпенсированы. За счёт этого почвообрабатывающее орудие 2 будет совершать только вертикальные колебания. Кроме этого, опорное колесо 7 будет ограничивать заглубление почвообрабатывающего орудия в почву. В результате, кроме периодически изменяющегося веса машины будет происходить предварительное разрушение пласта перед рабочими органами 5 и 9. Таким образом, тяговое сопротивление снизится.

При движении почвообрабатывающего агрегата по тяжёлым почвам

тяговое сопротивление увеличивается, что фиксирует датчик 4, установленный на прицепном звене 3. Сигнал от датчика 4 подаётся на

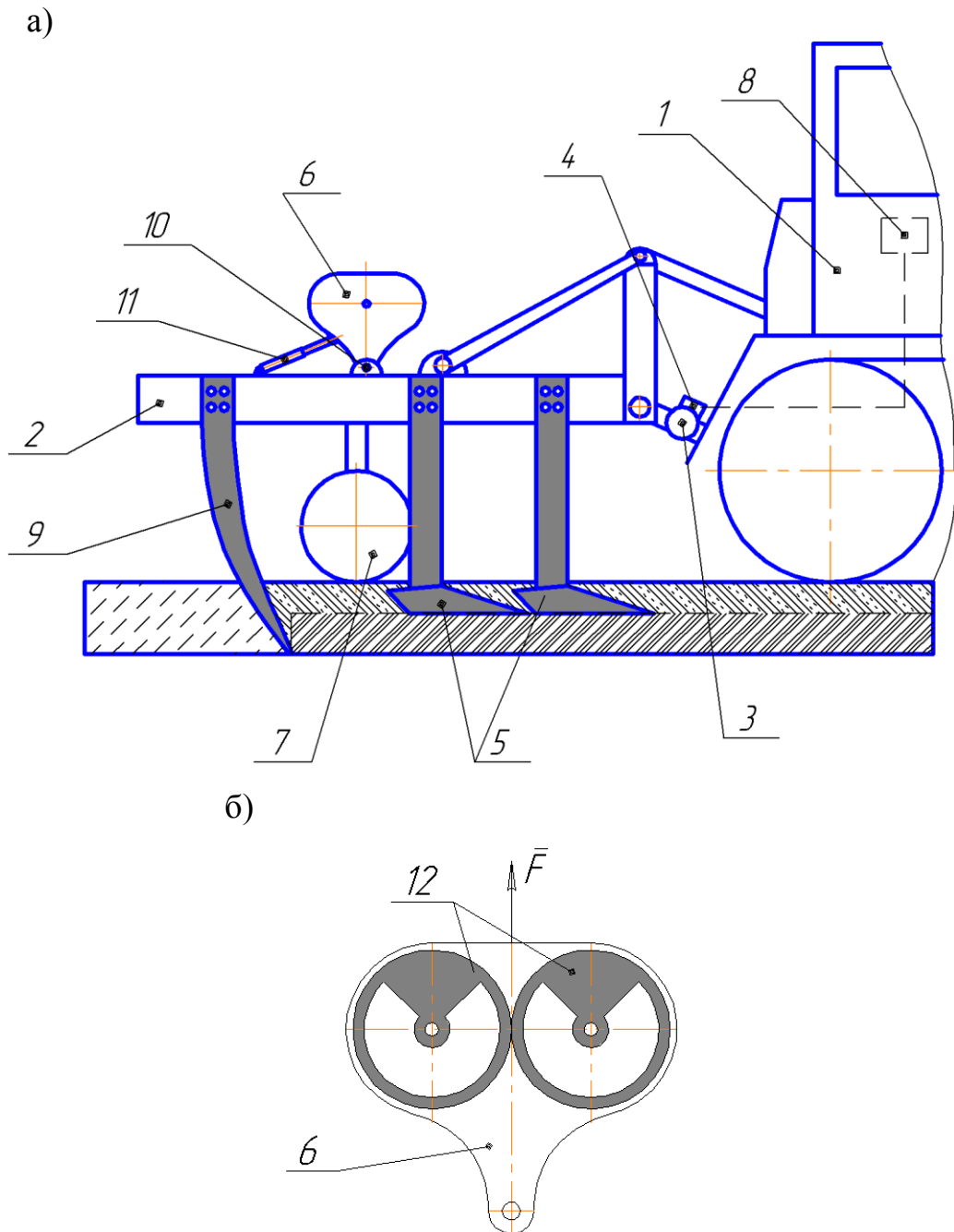


Рисунок 2.1. Схема почвообрабатывающего агрегата с маятниковым вибратором направленного действия, установленный в вертикальное положение: 1 – МЭС; 2 – почвообрабатывающее орудие; 3 – прицепное звено; 4 – датчик; 5 – плоскорезная лапа; 6 – маятниковый вибратор направленного действия; 7 – опорное колесо; 8 – прибор; 9 – рыхлитель; 10 – шарнирная ось; 11 – гидроцилиндр; 12 - дебалансы

a)

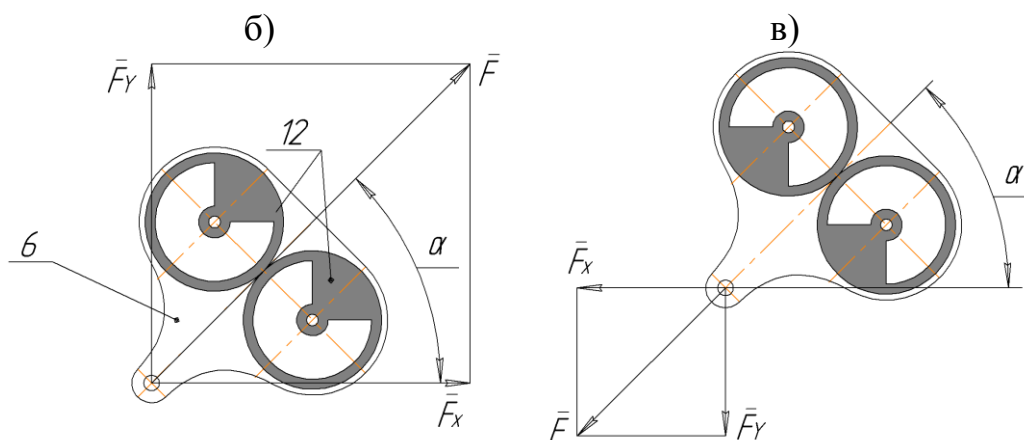
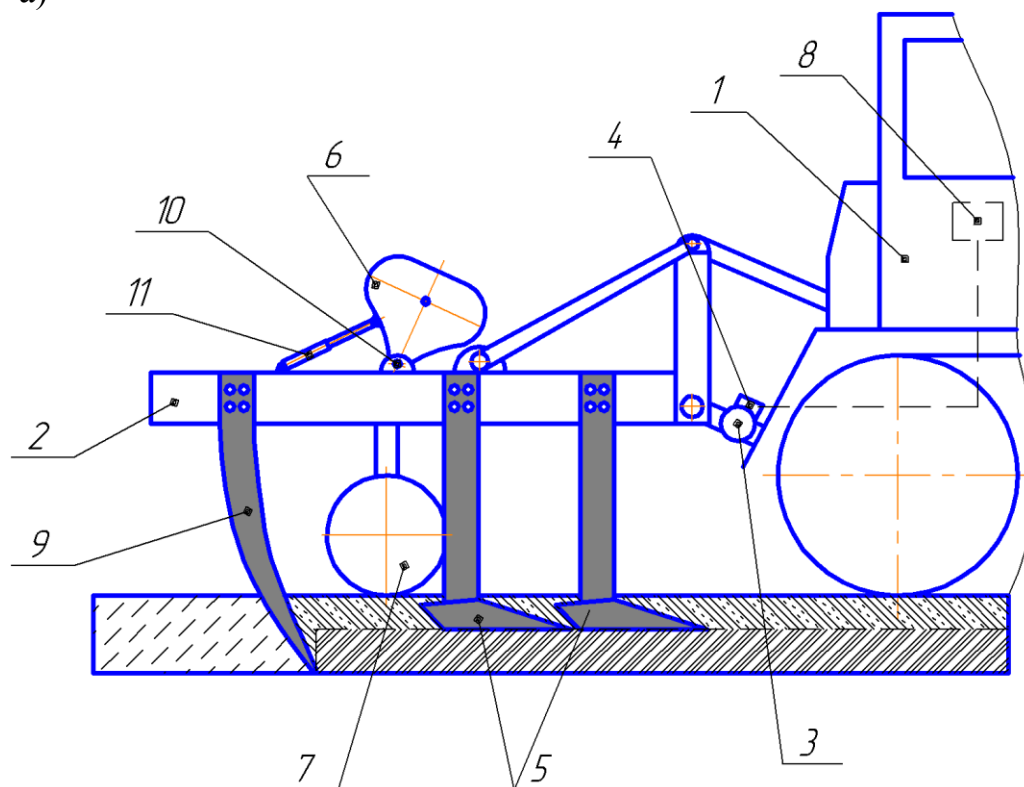


Рисунок 2.2. Схема почвообрабатывающего агрегата с маятниковым вибратором направленного действия, установленный под углом  $\alpha$  к горизонту

прибор 8, находящийся в кабине трактора 1 и показывающий величину тягового сопротивления. В этом случае механизатор с помощью гидросистемы управляет гидроцилиндром 11 и поворачивает маятниковый вибратор 6 за счёт шарнира 10 на необходимый угол по ходу движения агрегата, до тех пор, пока прибор 8 не покажет снижение тягового

сопротивления (рисунок 2.2, а). Кроме этого, устройство может работать без участия человека в автоматическом режиме.

Возмущающая сила  $F$  будет приложена к центру шарнирной оси 10 маятникового вибратора и разложится на горизонтальную  $F_x$  и вертикальную  $F_y$  составляющие (рисунок 2.2, б). Вертикальная составляющая  $F_y$  будет стремиться уменьшить вес агрегата, а значит уменьшится сопротивление протаскиванию почвообрабатывающего орудия, а горизонтальная составляющая  $F_x$ , будет стремиться «толкать» агрегат вперёд. При повороте дебалансов на  $180^\circ$  (рисунок 2.2, в), вертикальная составляющая  $F_y$  будет догружать агрегат, т.е. увеличивать вес почвообрабатывающего орудия и увеличивать сопротивление протаскиванию, а  $F_x$  направленное против движения агрегата, не сможет оказывать существенного влияния [30, 31, 32, 33, 47, 64, 65, 83, 84, 111].

Можно сделать вывод, что снижение тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия будет зависеть от величины вертикальной и горизонтальной силы. Для этого, необходимо в первую очередь, определить координаты точки приложения возмущающей силы  $F$ , а также её величину и направление. Существенный критерий для решения такой задачи – минимализация амплитуды вынуждающей силы, обеспечивающей заданную амплитуду перемещения почвообрабатывающего орудия. Точка приложения, позволит всем точкам орудия перемещаться с одинаковыми кинематическими параметрами, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости.

При определении координаты приложения возмущающей силы условно принимаем:

- размеры пласта «а» и «b» постоянны;
- физико-механические свойства почвы по ширине захвата почвообрабатывающего орудия одинаковые;

Рассмотрим всю систему почвообрабатывающего орудия (рисунок 2.3), освободив её от связей, т.е. опорные колёса 4, 5 заменим реакциями  $R_{y1}$  и

$R_{Y2}$ , предположив, что они направлены по положительному направлению осей координат. Действие почвенного пласта на плоскорезы 6 заменим сосредоточенными силами, предварительно разложив на составляющие  $F_{X1}$  и  $F_{Y1}$ , а на глубокорыхлители 7 обозначим  $F_{X2}$  и  $F_{Y2}$ . Действие МЭС через прицепное звено заменим  $F_{тяг}$ , а вес орудия обозначим  $G$ . Так как секции 2, 3 почвообрабатывающего орудия, рабочие органы 6, 7 и опорные колёса 4, 5 расположены симметрично, то пространственную систему сил приведём к плоской системе (центральной балке 1) и используя методику приведения произвольной системы сил к одной силе, мы можем привести силы к равнодействующей (рисунок 2.4).

На основании вышесказанного можно записать:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= n_1 \cdot F_{X1}, \\ F_2 &= n_1 \cdot F_{Y1}, \\ F_3 &= n_2 \cdot F_{X2}, \\ F_4 &= n_2 \cdot F_{Y2}, \\ R_1 &= R_{Y1} + R_{Y1}, \\ R_2 &= R_{Y2} + R_{Y2}, \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

где:  $n_1, n_2$  – количество рабочих органов плоскорезов и рыхлителей соответственно.

Любую систему сил, приложенных к твёрдому телу, можно привести к равнодействующей силе, используя теорему Вариньона: векторный момент равнодействующей рассматриваемой системы относительно любой точки равен сумме векторных моментов всех сил этой системы относительно той же точки.

Добавим к заданной системе сил равнодействующую силу  $F_p$ , которая заменит действие возникающих реакций  $R_1, R_2$  (т.е. должно выполняться условие  $R_1=0, R_2=0$ ), и имеет точку приложения  $O$ , которая будет являться центром тяжести комбинированного почвообрабатывающего орудия с



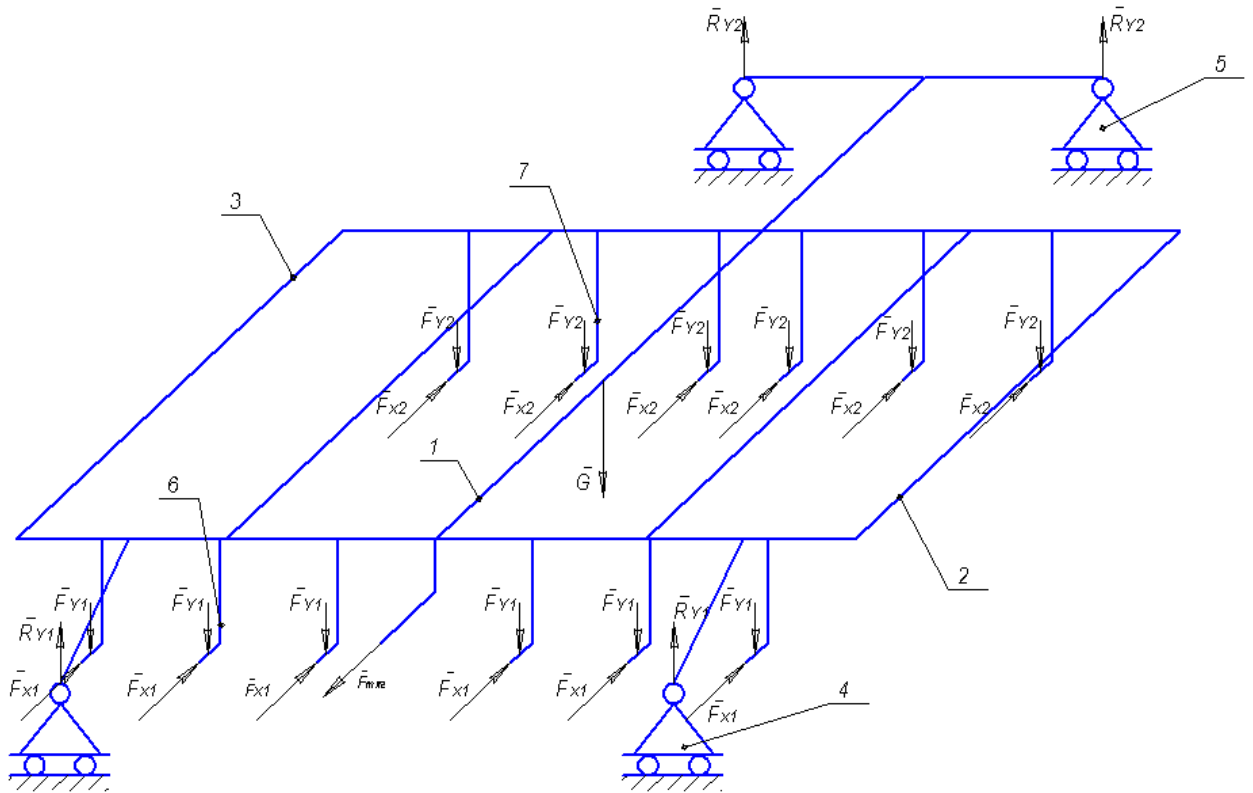


Рисунок 2.3. Пространственная расчётная схема почвообрабатывающего орудия: 1 – центральная балка; 2 – левая секция почвообрабатывающего орудия; 3 – правая секция почвообрабатывающего орудия; 4,5 – опорные колёса; 6 – плоскорезные лапы; 7 - глубокорыхлители

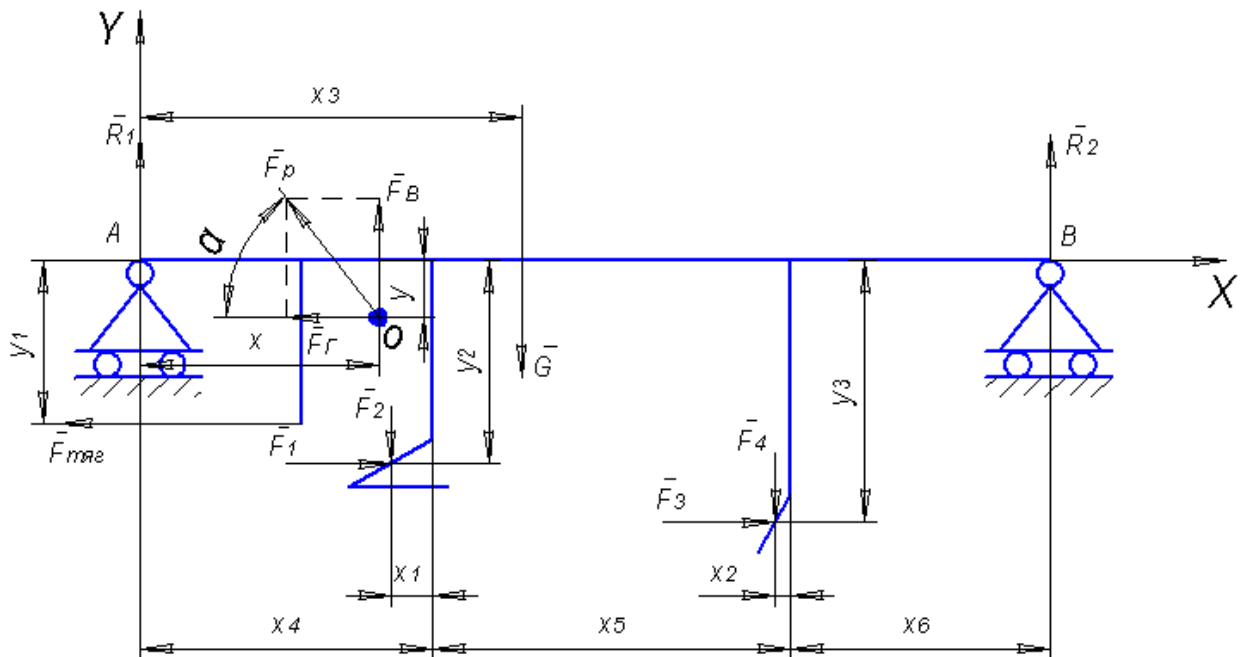


Рисунок 2.4. Схема плоской системы произвольно расположенных сил

координатами  $x$ ,  $y$ , и образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$ . Разложим вектор равнодействующей силы  $F_p$  на составляющие  $F_\Gamma$  и  $F_B$ . Координаты  $x$  и  $y$  будут являться точкой приложения возмущающей силы, для стабильной работы комбинированного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем.

Всего имеется четыре неизвестных, поэтому составим уравнение равновесия так, чтобы в них входило не более одного неизвестного. Через точку А проведём декартову систему координат с осями  $X$  и  $Y$ . Составим для почвообрабатывающего орудия условие равновесия сил в форме суммы проекций сил на оси  $AX$  и  $AY$ . Имеем

$$\begin{aligned} -F_\Gamma - F_{\text{мял}} + F_1 + F_3 &= 0; \\ F_B + R_1 + R_2 - F_2 - F_4 - G &= 0. \end{aligned} \quad (2.2)$$

откуда

$$\begin{aligned} F_\Gamma &= F_1 + F_3 - F_{\text{мял}} \\ F_B &= F_2 + F_4 + G, \end{aligned} \quad (2.3)$$

После этого для всей системы применим условие равновесия сил в форме суммы моментов сил относительно опор А и В. Получим

$$\begin{cases} -F_{\text{мял}} \cdot y_1 - F_\Gamma \cdot y + F_1 \cdot y_2 + F_3 \cdot y_3 + F_B \cdot x - G \cdot x_3 + R_2 \cdot (x_4 + x_5 + x_6) - \\ -F_2 \cdot (x_4 - x_1) - F_4 \cdot (x_4 + x_5 - x_2) = 0 \\ -F_{\text{мял}} \cdot y_1 - F_\Gamma \cdot y + F_1 \cdot y_2 + F_3 \cdot y_3 - F_B \cdot (x_4 + x_5 + x_6 - x) + G \cdot (x_4 + x_5 + x_6 - x_3) - \\ -R_1 \cdot (x_4 + x_5 + x_6) + F_2 \cdot (x_1 + x_5 + x_6) + F_4 \cdot (x_2 + x_6) = 0 \end{cases}, \quad (2.4)$$

Решая совместно систему уравнений 2.4, вычисляем координаты  $x$  и  $y$ :

$$\begin{cases} x = \frac{-F_1 \cdot y_2 + F_2 \cdot (x_4 - x_1) + F_4 \cdot (x_4 + x_5 - x_2) - F_B \cdot (x_4 + x_5 + x_6) + \\ + G \cdot (x_4 + x_5 + x_6) + F_2 \cdot (x_1 + x_5 + x_6) + F_4 \cdot (x_2 + x_6)}{2F_B} \\ y = \frac{-F_{\text{мял}} \cdot y_1 + F_1 \cdot y_2 + F_3 \cdot y_3 + F_B \cdot x - G \cdot x_3 - F_2 \cdot (x_4 - x_1) - F_4 \cdot (x_4 + x_5 - x_2)}{F_\Gamma} \end{cases} \quad (2.5)$$

Однако при определении координаты  $y$ , необходимо учитывать технические возможности реализации полученных результатов. Установка маятникового вибратора направленного действия будет осуществляться на раме почвообрабатывающего орудия. Тогда координата  $y$  фактически будет

зависеть от конструктивных особенностей орудия, т.е  $y=0$ .

Неизвестные силы, входящие в уравнения 2.5 определим следующим образом. Для определения тягового сопротивления плуга  $F_{\text{тяг}}$ , воспользуемся рациональной формулой предложенной В.П. Горячкиным [23]:

$$F_{\text{тяг}} = f \cdot G + \kappa \cdot a \cdot b + \xi \cdot a \cdot b \cdot V^2, \quad (2.6)$$

где:  $F_{\text{тяг}}$  – тяговое сопротивление плуга, Н;

$f$  – коэффициент сопротивления передвижению плуга;

$G$  – вес плуга, Н;

$\kappa$  – коэффициент удельного сопротивления почвы, Н/м<sup>2</sup>;

$a$  – глубина вспашки, м;

$b$  – ширина захвата плуга, м;

$\xi$  – коэффициент, зависящий от свойств почвы и размеров почвенного пласта, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;

$V$  – рабочая скорость агрегата, м/с.

Однако отличие условий работы лемешно-отвального плуга по принципу косого сплошного резания на полную глубину хода рабочего органа с оборотов пласта не позволяет применить эту формулу для непосредственных расчётов тягового сопротивления комбинированных глубоких рыхлителей. Объясняется это тем, что для рабочих органов глубоких рыхлителей характерны как не сплошное резание почвы по ширине захвата, так и рыхление без оборота пласта. В этом случае, запишем формулу для тягового сопротивления в следующей форме:

$$F_{\text{тяг}} = f \cdot G + n_1 \cdot F_{x1} + n_2 \cdot F_{x2}, \quad (2.7)$$

Для определения тягового сопротивления плоскорезущей лапы воспользуемся формулой, предложенной Н.А. Печерцевым [92]:

$$F_{x1} = R_{\text{СТх}} + R_{\text{ЛЕЗх}} + R_{\text{ДЕФх}} + R_{\text{Пх}} + nR_{\text{Бх}}, \quad (2.8)$$

где:  $R_{\text{СТх}}$  – сила сопротивления стойки, Н;

$R_{\text{ЛЕЗх}}$  – сила сопротивления лезвия лапы, Н;

$R_{\text{ДЕФх}}$  – сила, затрачиваемая на преодоление сопротивления сжатию и

отрыву пласта, Н;

$R_{Пх}$  – усилие, необходимое для подъёма пласта по передней поверхности лапы, Н;

$n$  – число боковых разрушений;

$R_{Бх}$  – сила сопротивления боковому разрушению, Н.

$$R_{Стх} = \rho \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot \left( 1 + \frac{2d \cdot f_1}{b_1} \right), \quad (2.9)$$

где:  $\rho$  – удельное сопротивление пласта почвы прорезанию стойкой, Н/м<sup>2</sup>;

$a_1$  – длина рабочей части стойки по глубине обработки, м;

$d$  и  $b_1$  – ширина и толщина стойки, м;

$f_1$  – коэффициент трения почвы о сталь.

$$R_{ЛЕЗх} = 0,5v \cdot b \cdot \delta^2 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \beta \cdot \left( \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \gamma - \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \sec \gamma}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta \cdot \sin \gamma}} \right), \quad (2.10)$$

где:  $v$  – коэффициент объёмного смятия почвы, Н/м<sup>3</sup>;

$b$  – ширина захвата рабочего органа, м;

$\delta$  – путь смятия почвы, м;

$\beta$  – угол наклона лемеха ко дну борозды, град.;

$\gamma$  – угол раствора плоскорезущей лапы, град.

$$R_{ДЕФх} = a \cdot b \cdot \sigma_{отрВ} \cdot \frac{\sin \beta \cdot \sin \gamma + f \cdot \sin^2 \gamma \cdot \cos \alpha + f \cdot \cos^2 \gamma}{6 \sin \gamma \cdot \cos \beta}, \quad (2.11)$$

где:  $a$  – глубина обработки, м;

$\sigma_{отрВ}$  – напряжение разрыва пласта, Па.

$$R_{Пх} = a \cdot b \cdot h \cdot \gamma_{об} \cdot \operatorname{ctg} \beta \cdot \left( 1 + \frac{V^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta}{g \cdot h} \right) \cdot \frac{\sin \beta \cdot \sin \gamma + \operatorname{tg} \varphi \cdot (\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cdot \cos \alpha)}{\sin \gamma}, \quad (2.12)$$

где:  $h$  – высота подъёма пласта по поверхности лапы, м;

$\gamma_{об}$  – объёмный вес почвы, Н/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\varphi$  – угол трения почвы о сталь, град.;

$\alpha$  – угол наклона стойки ко дну борозды, град.

$$R_{Bx} = 0,16\pi \cdot a^3 \cdot \gamma_{об} \cdot \left(1 + \frac{1,9\sigma_{отрВ}}{a \cdot \gamma_{об}}\right) \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \quad (2.13)$$

Конструкция рабочего органа глубокорыхлителя типа «Мишель» схожа с конструкцией рыхлителя типа «Paraplow», поэтому для определения его тягового сопротивления воспользуемся упрощённой формулой

В.П. Горячкина:

$$F_{x2} = (k + \varepsilon \cdot V^2) \cdot S, \quad (2.14)$$

где:  $S$  – площадь сечения взрыхлённой части пласта,  $\text{м}^2$ .

Угол образованный вертикальной и горизонтальной составляющими определим через тангенс угла  $\alpha$ :

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{F_B}{F_T}, \quad (2.15)$$

Таким образом, на основании системы уравнений 2.5 мы теоретически обосновали, как будет изменяться координата  $x$  центра тяжести комбинированного почвообрабатывающего орудия относительно опоры А в зависимости от тягового сопротивления комбинированного почвообрабатывающего орудия (рисунок 2.5).

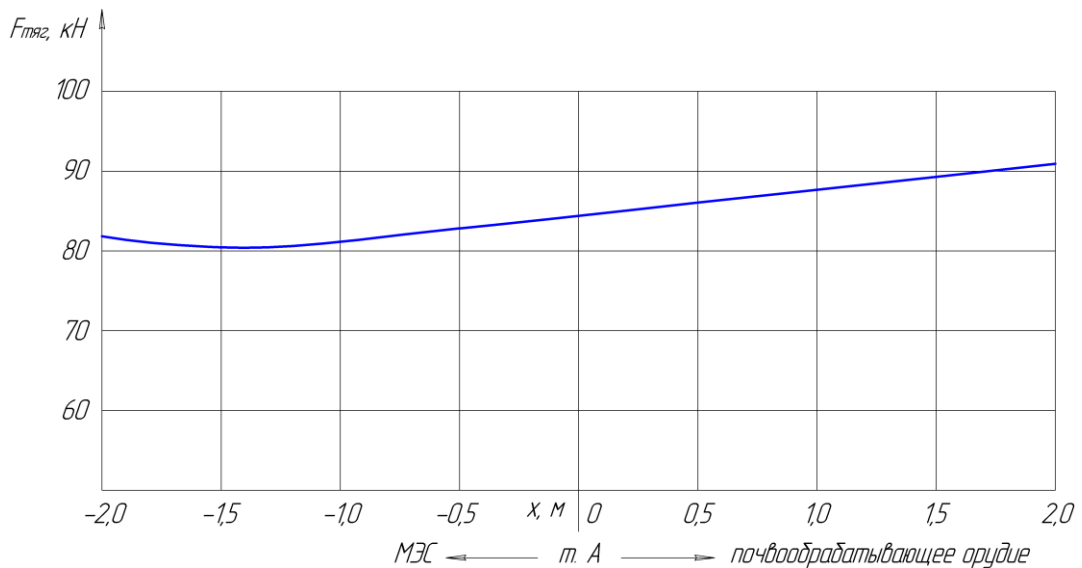


Рисунок 2.5. Зависимость тягового сопротивления от изменения координаты  $x$  (центр тяжести комбинированного почвообрабатывающего орудия) относительно опоры А при  $a=0,3$  м.

Анализ зависимости показывает, что координата центра тяжести комбинированного почвообрабатывающего орудия при минимальном значении тягового сопротивления и различных физико-механических свойствах почвы находится за пределами почвообрабатывающего орудия (в сторону МЭС). Соответственно, с практической точки зрения осуществить воздействие возмущающей силой в этом месте мы не можем. Можно сделать вывод, что установку вибровозбудителя на раму почвообрабатывающего орудия необходимо выполнять как можно ближе к т.А при изменении координаты  $x$  от 0 до 1,5 м, что не значительно будет влиять на изменение тягового сопротивления.

Таким образом, для того чтобы определить влияние закономерностей  $F_{\text{тяг}}=f(\omega)$  и  $F_{\text{тяг}}=f(\alpha)$  необходимо рассмотреть взаимодействие маятникового вибратора с комбинированным почвообрабатывающим орудием.

## ***2.2. Обоснование и выбор закона движения почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем***

Так как в колеблющейся системе присутствуют вынужденные колебания, то возможны случаи перехода вынужденных колебаний системы в резонансное состояние. Для обоснования амплитудно-частотной характеристики составим расчётную схему почвообрабатывающего орудия в виде математической модели взаимодействия вибрации рабочего органа с почвой [80, 121, 124].

Этому также посвящены научные работы Н.Я. Хархуты, Л. Форсблада, Я.А. Калужского, П.Ф. Овчинникова и ряда иностранных исследователей.

Грунт в начале процесса разуплотнения представляет собой плотную среду с жёстко связанными минеральными частицами. В этот момент предел прочности материала высок, и необходимо большее усилие. В данном случае особую роль играет коэффициент вязкости пневмошины и почвы  $b_{\text{п}}$ ,  $b_{\text{поч}}$ . В результате многократного приложения возмущающей нагрузки с

переориентацией минеральных частиц и формированием не прочной и не устойчивой структуры снижается плотность грунта и его предел прочности. На этом промежуточном этапе разуплотнения необходимо регулировать вязкость  $b_{п}$  и жесткость  $c_{п}$  пневмошины для уменьшения энергоемкости процесса и адаптации работы маятникового вибратора направленного действия к изменяющимся реологическим характеристикам грунта (жёсткости  $c_{поч}$  и вязкости  $b_{поч}$ ).

В основу моделирования было положено математическое описание одномассовой колебательной системы в виде упруго-вязких элементов «вибрационное почвообрабатывающее орудие – разуплотняемая среда» (рисунок 2.6). Такое описание отмечено во многих трудах отечественных и зарубежных авторов: В.И. Баловнева, И. И. Блехмана, А. А. Борщевского, С.С. Вялова, М.Н. Гольдштейна, П.Ф. Овчинникова, К.П. Севрова, А.Г. Степанова, С. П. Тимошенко, А. А. Яблонского и др.

Схему с вертикальными и горизонтальными колебаниями можно представить в виде неконсервативной системы с двумя степенями свободы.

Уравнения движения системы можно записать в виде:

$$\begin{cases} (m_1 + m_2) \ddot{x} + b_x \dot{x} + c_x x = F_x \sin \omega t \\ (m_1 + m_2) \ddot{y} + b_y \dot{y} + c_y y = F_y \sin \omega t \end{cases}, \quad (2.16)$$

где:  $m_1$  – масса почвообрабатывающего орудия, кг;

$m_2$  – суммарная масса дебалансов,  $m_2=2m$ , кг;

$x$  и  $y$  – соответственные перемещения относительно осей X и Y, м;

$c_x$  – суммарная жёсткость почвы в горизонтальной плоскости, Н/м;

$c_y$  – суммарная жёсткость пневмошин и почвы в вертикальной плоскости,  $c_y=c_{п}+c_{поч}$ , Н/м;

$b_x$  – коэффициент сопротивления от почвы, Н·с/м;

$b_y$  – суммарный коэффициент сопротивления от почвы и пневмошин,  $b_y=b_{п}+b_{поч}$ , Н·с/м;

$F_x$  и  $F_y$  – амплитудное значение возмущающей силы относительно осей X и Y, Н;

$\omega$  - угловая скорость вращения дебаланса, рад/с;

$t$  - время, с.

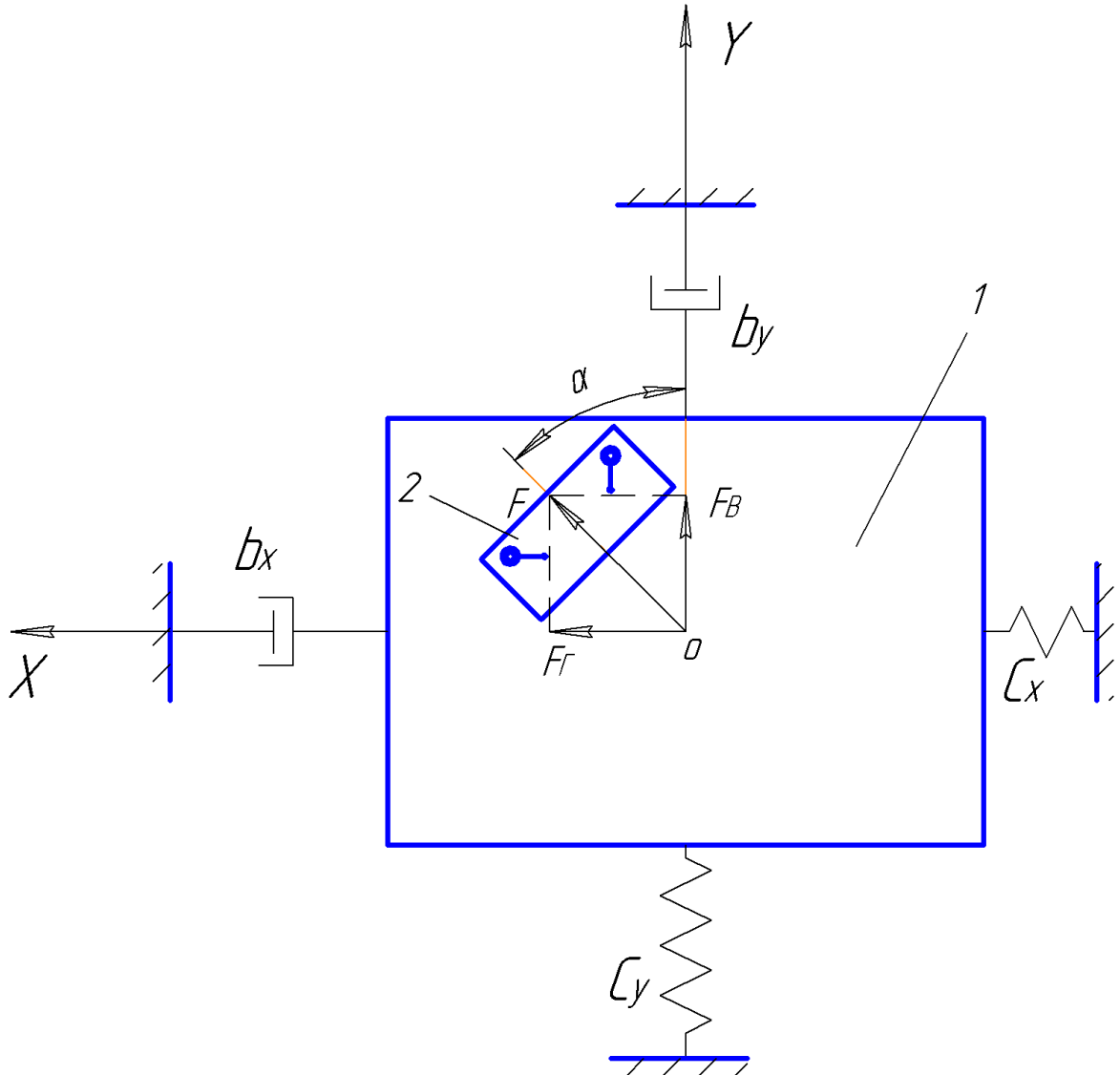


Рисунок 2.6. Модель колебательной системы «вибрационное почвообрабатывающее орудие – разуплотняемая среда»:

1 – рама почвообрабатывающего орудия;

2 – маятниковый вибратор направленного действия

При составлении этих уравнений приняли:

- массы  $m_1$  и  $m_2$  являются сосредоточенными и движутся только вдоль осей X и Y;



- рама почвообрабатывающего орудия является абсолютно жёсткой;
- почва деформируется линейно и силы сопротивления колебательным движениям малы;
- угловые колебания рамы отсутствуют.

Тогда

$$\begin{cases} F_x = 2 m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot \sin \alpha \\ F_y = 2 m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (2.17)$$

где:  $m$  - масса дебаланса, кг;

$r$  - расстояние центра масс дебаланса от точки вращения, м;

$\alpha$  - угол установки корпуса вибратора к горизонту, град.

Суммарную жёсткость почвы в горизонтальной и вертикальной плоскости определяем по формуле предложенной М.П. Костельовым [112]

$$c_x = 6,5 \cdot C_0 \cdot \sqrt{A_n^G + A_p^G} \quad (2.18)$$

$$c_{\text{поче}} = 6,5 \cdot C_0 \cdot \sqrt{A_n^B + A_p^B} \quad (2.19)$$

где  $6,5$  – размерный коэффициент;

$C_0$  – коэффициент постели, Н/м<sup>3</sup>;

$A_n^G$ ,  $A_n^B$  – площадь основания плоскореза контактирующего с почвой в горизонтальной и вертикальной плоскостях, м<sup>2</sup>;

$A_p^G$ ,  $A_p^B$  – площадь основания рыхлителя контактирующего с почвой в горизонтальной и вертикальной плоскостях, м<sup>2</sup>.

Жёсткость пневмошины определим по формуле предложенной Лашко А.Г. [56]:

$$c_n = \frac{m_r \cdot (V_1^2 - V_2^2) - 2 \cdot b_n \cdot (V_1 - V_2) \cdot l}{l^2}, \quad (2.20)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – скорости груза до и после удара соответственно, м/с;

$l$  – деформация пневмошины, м;

$m_r$  – масса возмущающей силы действующей на пневмошину, кг;

$b_n$  – коэффициент вязкого трения пневмошины, Н·с/м.

По исследованиям С.П. Тимошенко и других авторов [108], вязкость

пневмошины и почвы определяется как:

$$b_n = \frac{F_y}{V_n}, \quad b_{поч1} = \frac{F_x}{V_{поч}}, \quad b_{поч2} = \frac{F_y}{V_{поч}}, \quad (2.21)$$

где  $V_n$  – скорость деформации пневмошины и почвы, м/с;

$V_{поч}$  – скорость деформации почвы, м/с.

Разделим левую и правую части уравнения 2.16 на  $m$  и заменим

$$2n = \frac{b}{m}, \quad m_0 = m_1 + m_2, \quad \text{а } \Omega^2 = \frac{c}{m} \quad (2.22)$$

Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний запишем

$$\begin{cases} \ddot{x} + 2n_x \dot{x} + \omega_x^2 x = \frac{F_x \sin \omega t}{m_0} \\ \ddot{y} + 2n_y \dot{y} + \omega_y^2 y = \frac{F_y \sin \omega t}{m_0} \end{cases}, \quad (2.23)$$

В общем случае, решения уравнений 2.23 отвечающие установившимся вынужденным колебаниям при условии  $\omega_x = \omega_y = \omega$  будут иметь вид [107]

$$\begin{cases} x = x_a \cos(\omega t - \varphi_x) \\ y = y_a \cos(\omega t - \varphi_y) \end{cases}, \quad (2.24)$$

где  $x_a$  – амплитуда вынужденных колебаний по направлению оси X, м;

$y_a$  – амплитуда вынужденных колебаний по направлению оси Y, м;

$\varphi_x, \varphi_y$  – фазовые углы начального положения дебалансов, рад;

$t$  – время, с.

В результате

$$\begin{cases} x_a = \frac{2m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha}{m_0 \cdot \sqrt{(\Omega_x^2 - \omega^2)^2 + 4n_x^2 \omega^2}} \\ y_a = \frac{2m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha}{m_0 \cdot \sqrt{(\Omega_y^2 - \omega^2)^2 + 4n_y^2 \omega^2}} \end{cases}, \quad (2.25)$$

где  $m_0$  – суммарная масса почвообрабатывающего орудия и вибровозбудителей, кг

$$\begin{cases} \varphi_x = \arctg \frac{2n_x \omega}{\Omega_x^2 - \omega^2} \\ \varphi_y = \arctg \frac{2n_y \omega}{\Omega_y^2 - \omega^2} \end{cases}, \quad (2.26)$$

Зависимости, даваемые формулами 2.25 и 2.26 называют соответственно амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристиками. В уравнение 2.25 подставим 2.20, 2.21 и 2.22 получим:

$$x_a = \frac{2m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha}{m_0 \cdot \sqrt{\left( \frac{6,5 \cdot C_0 \cdot \sqrt{A_n^r + A_p^r}}{m} - \omega^2 \right)^2 + \frac{4r^2 \cdot \omega^6 \cdot \cos^2 \alpha}{V_{noc}^2}}}, \quad (2.27)$$

$$y_a = \frac{2m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha}{m_0 \cdot \sqrt{\left( \frac{6,5 \cdot C_0 \cdot \sqrt{A_n^B + A_p^B}}{m} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{l^2} - \frac{4 \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha \cdot (V_1 - V_2)}{l \cdot V_n} - \omega^2 \right)^2 +$$

$$\sqrt{+4 \cdot \left( \frac{r \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha}{V_{noc}} + \frac{r \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha}{V_n} \right)^2 \cdot \omega^2}}$$

Режим вынужденных колебаний системы, соответствующий максимуму амплитудно-частотной характеристики, называется резонансом.

В случае, когда коэффициенты сопротивления не равны нулю, почвообрабатывающее орудие будет совершать эллиптические колебания, но оси эллиптической траектории не параллельны осям координат. Одна из осей эллиптической траектории повернута относительно оси ОХ на угол:

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2x_a y_a \cos(\varphi_y - \varphi_x)}{x_a^2 - y_a^2}, \quad (2.28)$$

Тогда, амплитуда колебаний вдоль оси Х эллипса равна:

$$a = \frac{x_a y_a \sin(\varphi_y - \varphi_x)}{\sqrt{\frac{x_a^2 + y_a^2}{2} - \frac{x_a^2 - y_a^2}{2} \cdot \cos 2\alpha_1 + x_a y_a \cos(\varphi_y - \varphi_x) \sin 2\alpha_1}}, \quad (2.29)$$

Амплитуда колебаний вдоль оси Y эллиптической траектории равна:

$$b = \frac{x_a y_a \sin(\varphi_y - \varphi_x)}{\sqrt{\frac{x_a^2 + y_a^2}{2} + \frac{x_a^2 - y_a^2}{2} \cdot \cos 2\alpha_1 - x_a y_a \cos(\varphi_y - \varphi_x) \sin 2\alpha_1}}, \quad (2.30)$$

Решив совместно уравнения 2.24 с использованием формул 2.25-2.30, получили уравнение движения почвообрабатывающего орудия, причём значительно зависящее от  $\Delta\varphi = |\varphi_y - \varphi_x|$  (рисунок 2.7):

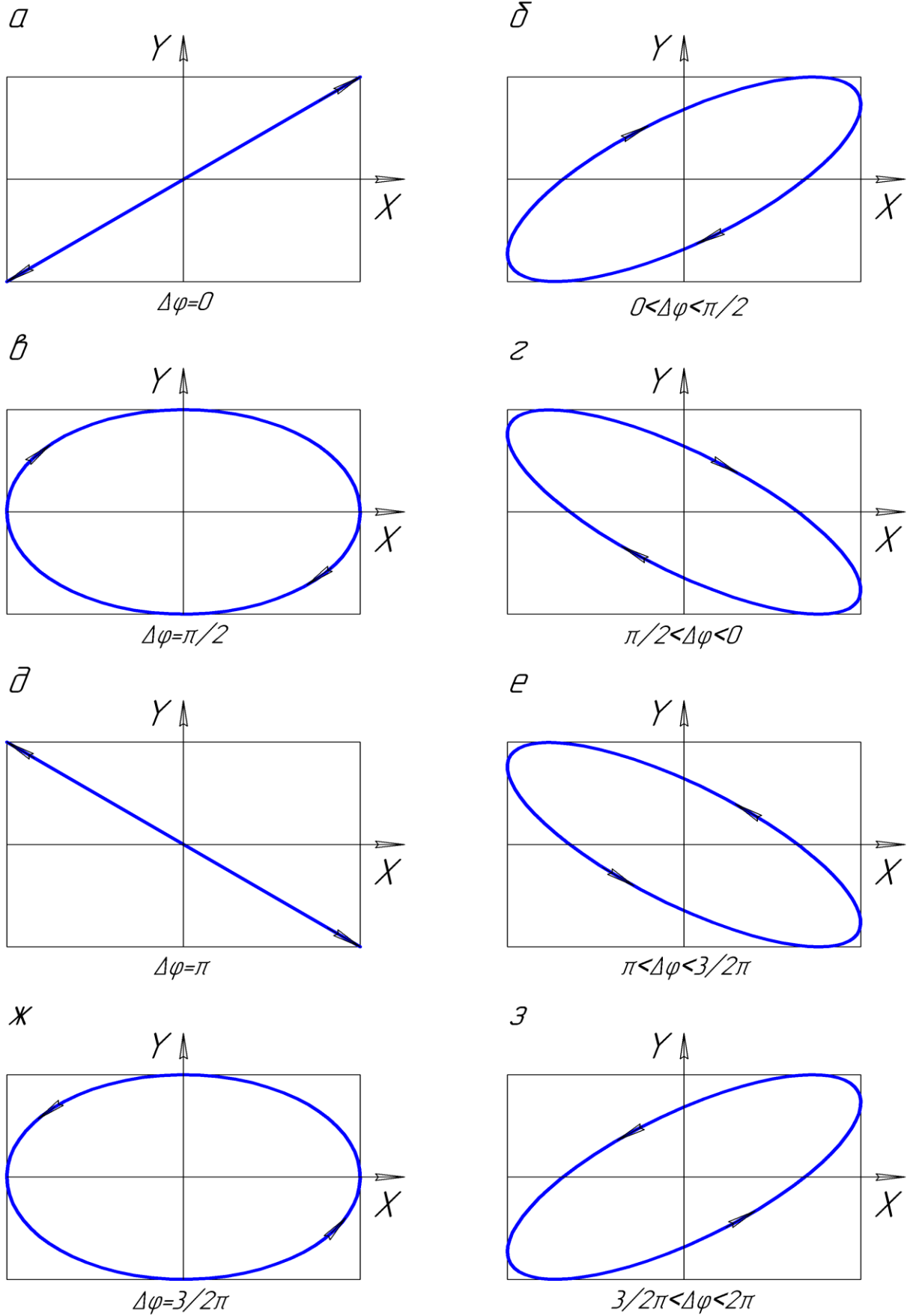


Рисунок 2.7. Траектории возможных вариантов движения почвообрабатывающего орудия при заданных углах положения дебалансов

$$\left(\frac{x}{x_a}\right)^2 + \left(\frac{y}{y_a}\right)^2 - 2\frac{x}{x_a} \cdot \frac{y}{y_a} \cdot \cos(\varphi_y - \varphi_x) = \sin^2(\varphi_y - \varphi_x), \quad (2.31)$$

Когда  $\Delta\varphi < \pi/2$  и  $\Delta\varphi > \pi$ , почвообрабатывающее орудие движется в направлении вращения дебалансов (рисунок 2.7 б, е), когда же  $\Delta\varphi > \pi/2$  и  $\Delta\varphi > 3/2\pi$ , почвообрабатывающее орудие движется в направлении, противоположном вращению дебалансов (рисунок 2.7 г, з). При  $\Delta\varphi = \pi/2$  и  $\Delta\varphi = 3/2\pi$ , эллиптическая траектория переходит в круговую (рисунок 2.7 в, ж). Когда  $\Delta\varphi = 0$  и  $\Delta\varphi = \pi$ , прямолинейная зависимость движения почвообрабатывающего орудия (рисунок 2.7 а, д).

Тщательный анализ каждого закона движения почвообрабатывающего орудия, позволил выбрать наиболее рациональную траекторию перемещения и физически осуществимый с точки зрения законов механики и физики (рисунок 2.8).

Тогда эллипс перемещения можно условно разбить на три зоны: зона положительного перемещения – 1, характеризуется с положительным направлением результирующей возмущающей силы; зона - 2, характеризуется отрицательными значениями возмущающей силы. При условии отсутствия перемещения в зоне – 3, т.к. почва обладает большими сопротивлениями а также опорные колёса будут препятствовать заглублению СХМ, то площадь зоны 1, работа положительной силы, больше зоны 2, отрицательной работы. Таким образом, теоретически установлено, что применение вибровозбудителя направленного действия позволяет получить положительную работу возмущающей силы, реализуемую в движущую силу почвообрабатывающего орудия.

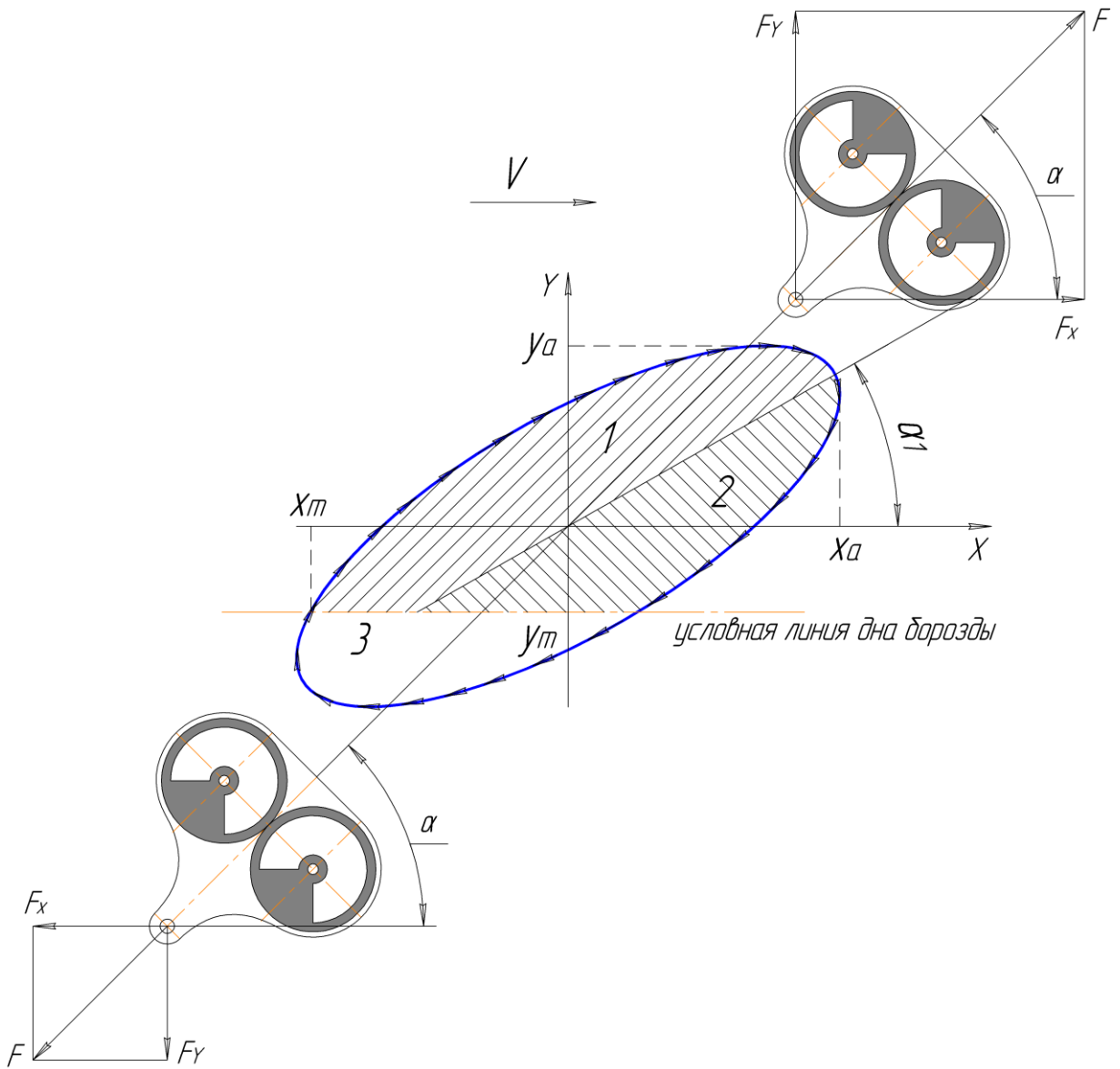


Рисунок 2.8. Годограф перемещения почвообрабатывающего орудия под действием возмущающей силы при заданном угле определяющим положение центра масс системы дебалансов при  $0 \leq \Delta\varphi \leq \pi/2$ : 1 – зона положительного перемещения; 2 – зона отрицательного перемещения; 3 – зона отсутствия перемещения

### 2.3. Методика исследования режимно-технологических параметров вибровозбудителя предлагаемого почвообрабатывающего орудия

Обоснование режимно-технологических параметров предлагаемого комбинированного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем

заключается в определении его тягового сопротивления [48, 49, 120]. Для этого почву принимаем за реологическую модель (рисунок 2.9). Так как движение почвообрабатывающего орудия по полю не является равномерным, а в виде толчков (колебаний). Эти колебания возникают за счёт неоднородности структуры почвы и за счёт вынужденных колебаний маятникового вибратора установленного на раме машины.

Допущения, принятые при составлении реологической модели:

- грунт является сплошной упруго-вязкой, изотропной средой, упругость среды проявляется в восстановлении деформаций после разгрузки, вязкость – в том, что деформация развивается с запаздыванием по отношению к приложенному напряжению;
- собственные колебания системы зависят от начальных условий и с течением времени быстро затухают, поэтому рассматривается решение только для установившихся вынужденных колебаний;
- рассматривается плоская, одномерная задача;
- грунт активно взаимодействует с рабочим органом по всей толщине обрабатываемого слоя, так как наиболее равномерное накопление деформаций происходит в пределах толщины слоя покрытия, называемой активной зоной разуплотнения (где происходит максимальное колебание частиц грунта и перемещение их относительно друг друга);
- разуплотнение происходит в результате воздействия нормальных нагрузок, возникающих от рабочего органа в горизонтальном и вертикальном направлениях, без учета касательных напряжений в почве;
- почвообрабатывающее орудие не отрывается от поверхности почвы, так как процесс обработки должен происходить с наименьшими энергопотерями;
- рама и стойки рабочих органов почвообрабатывающего орудия являются жёсткой конструкцией, т.е. деформации отсутствуют;
- угловыми колебаниями в продольной плоскости почвообрабатывающего орудия пренебрегаем, т.е. орудие совершает строго вертикальные и горизонтальные колебания;

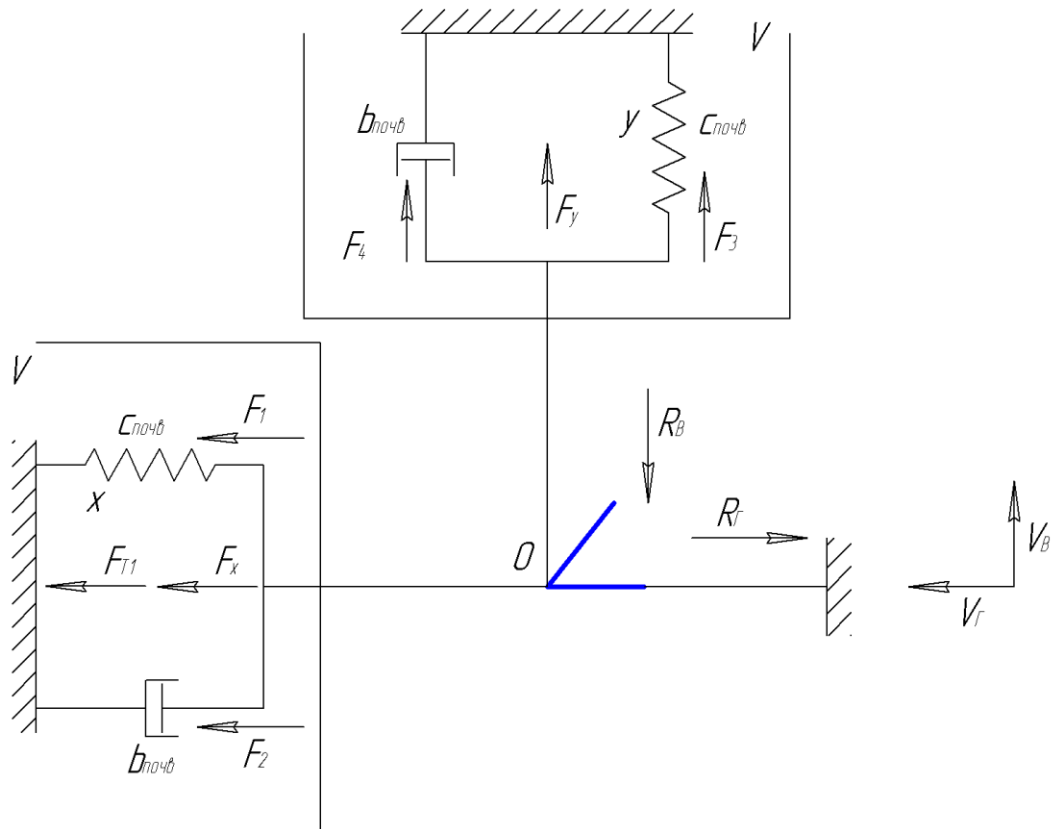


Рисунок 2.9. Силовое возбуждение колебаний почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем:  $V$  – почвенный объем;  $b_{\text{почв}}$  – элемент вязкости;  $C_{\text{почв}}$  – элемент упругости

- поверхность обрабатываемой почвы принимаем ровной, исключая вертикальные колебания орудия из-за неравномерности рельефа поля.

Для этого все рабочие органы комбинированного почвообрабатывающего орудия приведём к одной точке  $O$ .

Рабочий орган (плоскорезная лапа и глубокорыхлитель) воздействует на почвенный объем  $V$  в горизонтальной и вертикальной плоскости через т.  $O$ . При этом сила воздействия  $R$  рабочего органа будет расходоваться на деформации упругого  $C_{\text{почв}}$  и вязкого  $b_{\text{почв}}$  элементов. Тогда сила воздействия, вызывающая сопротивление почвенного объема  $R_T$  и  $R_B$ , равна:

$$\begin{aligned} R_T &= n \cdot (F_1 + F_2) + F_{T1} - F_x \\ R_B &= n \cdot (F_3 + F_4) - F_y \end{aligned} \quad (2.32)$$

где  $F_1, F_3$  – сила расходуемая на преодоление упругих сопротивлений почвы,

Н;



$F_2, F_4$  – сила расходуемая на преодоление вязких сопротивлений почвы,  
Н;

$F_{T1}$  – сила сопротивления протаскиванию почвообрабатывающего орудия,  
Н;

$n$  – количество рабочих органов почвообрабатывающего орудия, шт.

$$F_{T1} = (G - F_y) \cdot f, \quad (2.33)$$

где  $G$  – вес почвообрабатывающего орудия, Н;

$f$  – коэффициент сопротивления передвижению почвообрабатывающего орудия;

Воздействие рабочего органа на почвенный слой вызовет смятие и сдвиг почвенных частиц и будет сопровождаться элементарными перемещениями в почвенной среде, в частности в упругом и вязкостном элементах. Перемещение точки  $O$  контакта рабочего органа с почвой будет состоять из перемещения  $x$  и  $y$ .

$$\begin{aligned} x &= V_r t \\ y &= V_B t \end{aligned} \quad (2.34)$$

Перемещение  $x$  и  $y$  можно определить уравнениями:

$$x = \frac{F_1}{C_{почв}}, \quad (2.35)$$

$$y = \frac{F_3}{C_{почв}}, \quad (2.36)$$

Для вычисления перемещения  $x$  и  $y$  подставим уравнения 2.35 и 2.36 в уравнение 2.34, получим:

$$V_r t = \frac{F_1}{C_{почв}}, \quad (2.37)$$

$$V_B t = \frac{F_3}{C_{почв}}, \quad (2.38)$$

где  $V_2, V_6$  – скорость перемещения точки  $O$  контакта рабочего органа с почвой в горизонтальной и вертикальной плоскости соответственно, м/с.

Решая уравнения 2.37 и 2.38 получим:

$$F_1 = V_2 \cdot C_{почв} \cdot t, \quad (2.39)$$

$$F_3 = V_6 \cdot C_{почв} \cdot t, \quad (2.40)$$

Силы  $F_2$  и  $F_4$  определим через  $b_{почв}$  по формуле предложенной С.П. Тимошенко [108], получим:

$$F_2 = b_{почв1} \cdot V_2, \quad (2.41)$$

$$F_4 = b_{почв2} \cdot V_6, \quad (2.42)$$

Так как объёмы почвы  $V$  в горизонтальной и вертикальной плоскостях контактирующие с т. О находятся на близком расстоянии друг от друга, можно предположить, что они обладают одинаковыми физико-механическими свойствами, т.е. упругие  $C_{почв}$  и вязкие  $b_{почв}$  составляющие элементов в разных плоскостях равны. Заменяем произведение  $C_{почв} \cdot t$  динамической вязкостью почвенного слоя  $\mu$ . В свою очередь:

$$\mu = \nu \cdot \rho, \quad (2.43)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость почвенного слоя,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\rho$  – плотность обрабатываемого слоя почвы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

$$\text{Откуда } \rho = \frac{m_{почв}}{V}, \quad (2.44)$$

где  $m_{почв}$  – масса почвы в слое участвующая в обработке,  $\text{кг}$ .

Объём почвы подверженный обработке определим по формуле:

$$V = S_I \cdot a, \quad (2.45)$$

где  $S_I$  – площадь обработки почвы,  $\text{м}^2$ ;

$a$  – средняя глубина обработки почвы,  $\text{м}$ .

Тогда:

$$F_1 = \frac{V_G \cdot \nu \cdot m_{почв}}{S_1 \cdot a}, \text{ и } F_3 = \frac{V_B \cdot \nu \cdot m_{почв}}{S_1 \cdot a}, \quad (2.46)$$

Если учесть, что почвообрабатывающее орудие не движется вертикально вверх, а только совершает колебания, то можно принять скорость воздействия рабочих органов почвообрабатывающей машины, а именно скорость удара для получения остаточного перемещения  $u$  [16].

Тогда запишем:

$$V_B = \sigma_B \cdot \sqrt{\frac{g}{E \cdot \gamma}}, \quad (2.47)$$

где  $\sigma_B$  – предел прочности почвы, Па;

$E$  – модуль упругости почвы при сжатии и растяжении, Па;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\gamma$  – удельный вес почвы, Н/м<sup>3</sup>.

Подставим полученные данные в уравнения 2.32, получим:

$$R_G = n \cdot V_G \cdot \left( \frac{v \cdot m_{почв}}{S_1 \cdot a} + b_{почв1} \right) + (G - 2m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha) \cdot f - 2m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha, \quad (2.48)$$

$$R_B = n \cdot \sigma_{ни} \cdot \sqrt{\frac{g}{E \cdot \gamma}} \cdot \left( \frac{v \cdot m_{почв}}{S_1 \cdot a} + b_{почв2} \right) - 2m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha, \quad (2.49)$$

Окончательно, вычислим результирующую тягового сопротивления почвообрабатывающей машины:

$$R_1 = \sqrt{R_G^2 + R_B^2} = F_T, \quad (2.50)$$

Аналогично рассмотрим реологическую модель почвы при повороте дебалансов на 180<sup>0</sup>, когда возмущающая сила направлена против движения комбинированного почвообрабатывающего орудия (рис. 2.10). Составим уравнения силы сопротивления почвенного объёма  $R_G$  и  $R_B$ :

$$\begin{aligned} R_G &= n \cdot (F_1 + F_2) + F_{T2} + F_x \\ R_B &= n \cdot (F_3 + F_4) + F_y \end{aligned}, \quad (2.51)$$

где  $F_{T2}$  – сила сопротивления протаскиванию почвообрабатывающего орудия, Н.

$$F_{T2} = (G + F_y) \cdot f, \quad (2.52)$$

Подставим данные в уравнения 2.51:

$$R_G = n \cdot V_G \cdot \left( \frac{v \cdot m_{почв}}{S_2 \cdot a} + b_{почв1} \right) + (G + 2m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha) \cdot f + 2m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha, \quad (2.53)$$

$$R_B = n \cdot \sigma_{ни} \cdot \sqrt{\frac{g}{E \cdot \gamma}} \cdot \left( \frac{v \cdot m_{почв}}{S_2 \cdot a} + b_{почв2} \right) + 2m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha, \quad (2.54)$$

Результирующую силу тягового сопротивления определим по формуле:

$$R_2 = \sqrt{R_G^2 + R_B^2} = F_T, \quad (2.55)$$

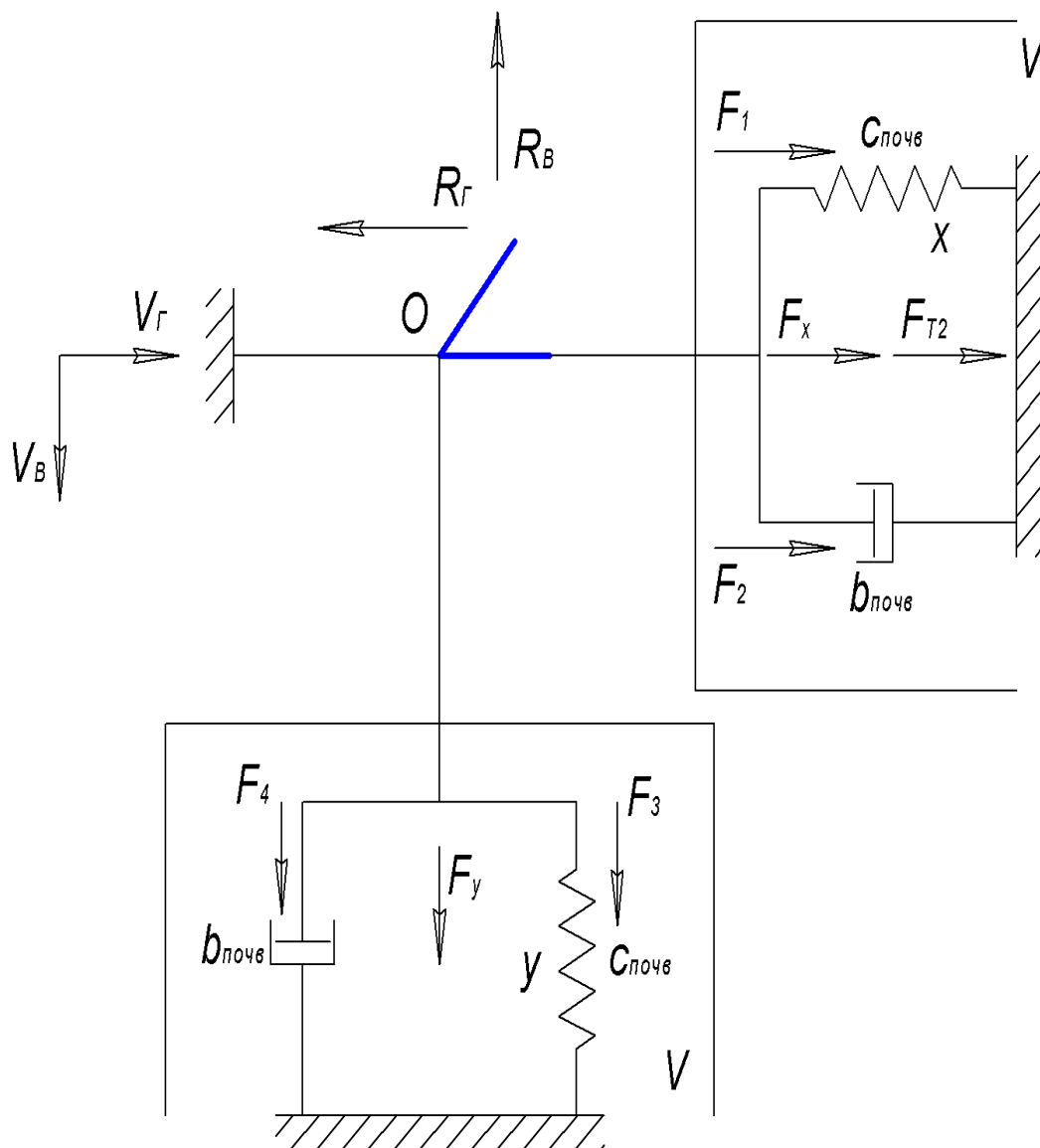


Рисунок 2.10. Силовое возбуждение колебаний почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем при повороте дебалансов на  $180^{\circ}$

Если провести анализ уравнений 2.50 и 2.55, то результирующая тягового сопротивления  $R_2$  меньше чем  $R_1$ . Связано это с тем, что после прохода рабочих органов почва имеет другие свойства. Можно сделать вывод, что составляющим силам  $F_x$  и  $F_y$ , легче препятствовать перемещению орудия против движения МТА. Однако орудие передвигается не самостоятельно, а под действием приложенной силы от энергетического средства. В результате механическая работа совершённая тяговой силой от МЭС равна:

$$\begin{aligned} A_1 &= R_1 \cdot s_1 \\ A_2 &= R_2 \cdot s_2 \end{aligned} \quad (2.56)$$

где  $s$  – пройденный путь, м.

Если предположить, что из-за отсутствия подвижности в соединениях прицепного устройства, то  $s_2=0$ . Тогда и  $A_2=0$ . Соответственно  $A_1>A_2$ , будет снижение тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия, а не препятствие его движению.

Таким образом, реологическая модель почвы позволила вывести уравнение тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем направленного действия.

#### ***2.4. Обоснование затрат энергии на поддержание колебаний***

При созданий новых вибрационных машин встаёт проблема целесообразности её использования. Так как мощность, затраченная на поддержание колебаний, может быть не соизмеримо высока. Мощность, необходимую для поддержания вынужденных колебаний, рассмотрим на примере системы, имитирующей начало пуска вибровозбудителя и совершающей установившиеся колебания под действием вынуждающей силы. При определении мощности, потерями на сопротивление об воздух дебалансов пренебрегаем. Суммарная мощность, затрачиваемая на привод дебалансов при пуске равна:

$$N_n = \frac{N_1 + N_2}{\eta_{np}}, \quad (2.57)$$

где  $N_1$  – мощность, необходимая для вращения дебалансов в момент пуска и на инерционные нагрузки, возникающие в процессе разгона дебалансов до установившегося вращения  $\omega=\text{const}$ , Вт;

$N_2$  – мощность, необходимая для преодоления трения в подшипниках дебалансов, Вт;

$\eta_{np}$  – коэффициент полезного действия в трансмиссии.

Мощность, необходимая для вращения дебалансов в момент пуска и на инерционные нагрузки, возникающие в процессе разгона дебалансов до установившегося вращения:

$$N_1 = (M_C + M_{СИ}) \cdot \omega, \quad (2.58)$$

где  $M_C$  – момент сил сопротивления от дебалансов в момент пуска, Н·м.

$M_{СИ}$  – момент сил сопротивления от инерционных нагрузок, Н·м.

Тогда можно записать:  $N_1 = 2(m \cdot g \cdot r \cdot \sin \omega t + J \cdot \varepsilon) \cdot \omega$ , (2.59)

где  $J$  – осевой момент инерции сечения дебаланса, м<sup>4</sup>;

$\varepsilon$  – угловое ускорение вала дебаланса, рад/с<sup>2</sup>.

Мощность, необходимую на преодоление трения в подшипниках дебалансов вычислим по методике предложенной В.А. Бауманом [7]:

$$N_2 = 2f \cdot d_0 \cdot m \cdot r \cdot \omega^3, \quad (2.60)$$

где  $f$  – приведённый коэффициент трения;

$d_0$  – диаметр вала подшипника, м;

КПД трансмиссии равно:

$$\eta_{пр} = \eta_m \cdot \eta_z, \quad (2.61)$$

где  $\eta_m$  – КПД муфты;

$\eta_z$  – КПД зубчатой передачи.

$$\text{Окончательно: } N_n = \frac{2(m \cdot g \cdot r \cdot \sin \omega t + J \cdot \varepsilon + f \cdot d_0 \cdot m \cdot r \cdot \omega^2) \cdot \omega}{\eta_m \cdot \eta_z}, \quad (2.62)$$

Если анализировать формулу 2.59, то выяснится, когда движение будет установившееся  $\omega = \text{const}$ , не будет момента сил инерции, а дебалансы в зависимости от угла поворота, будут накапливать энергию при повороте от верхней мёртвой точки, к нижней, а затем расходовать, при повороте от нижней мёртвой точки к верхней. В результате, мощность при установившемся движении будет равна мощности затрачиваемой на преодоление сил трения в опорах:

$$N_{уст} = \frac{1,1 \cdot 2f \cdot r_0 \cdot m \cdot r \cdot \omega^3}{\eta_m \cdot \eta_z}, \quad (2.63)$$

где  $I, I$  – коэффициент, характеризующий неравномерность вращения дебалансов.

Построим график теоретической зависимости  $N_{уст}=f(\omega)$  при установившемся вращении дебалансов (рис. 2.11).

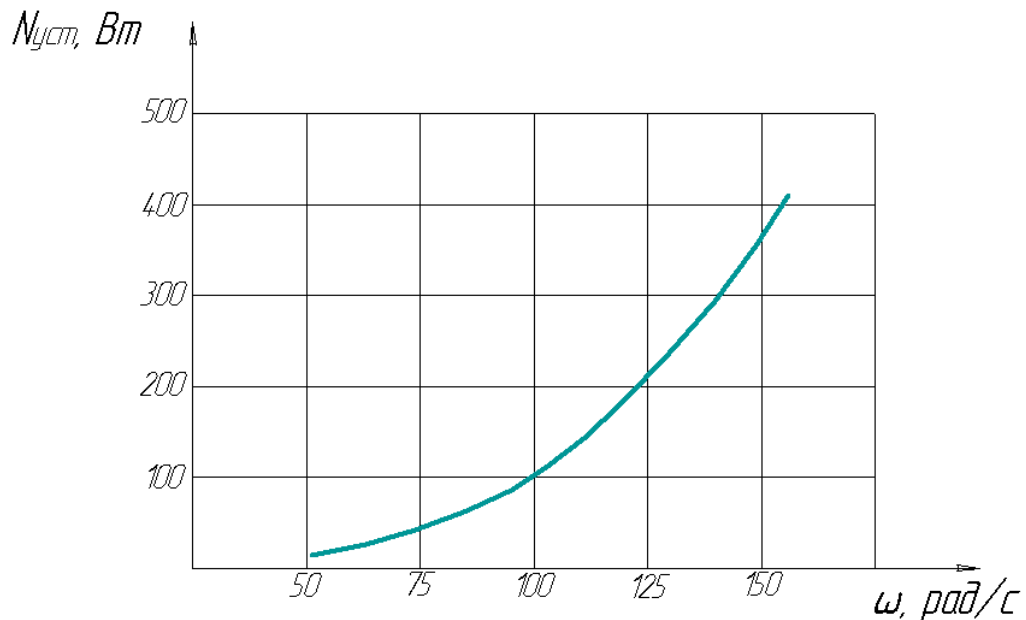


Рисунок 2.11. График зависимости затрат мощности на поддержание вынужденных колебаний в зависимости от угловой скорости дебалансов

Анализ уравнения 2.63 показывает, что при установившемся движении рост потребления энергии на поддержание вращения дебалансов значительно зависит от увеличения угловой скорости дебалансов, но как видно из графика (рисунок 2.11) мощность необходимая для создания возмущающей силы не велика. Это подтверждает необходимость использования комбинированных почвообрабатывающих орудий имеющих источник вынужденных колебаний. Однако, лабораторно-полевые испытания покажут затраты мощности при основной обработке почвы, тогда можно будет сделать окончательные выводы и говорить о рациональности использования вибровозбудителя.

### 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### *3.1 Программа экспериментальных исследований*

В силу необходимости подтверждения и корректировки данных теоретических исследований нами была разработана программа экспериментальных исследований [15, 44, 6].

Согласно разработанной программе выполнялись следующие виды работ:

1. Проверка в лабораторно-полевых условиях качества почвообработки экспериментальным орудием с механическим вибровозбудителем направленного действия.
2. Проверка теоретических положений по обоснованию конструктивно-технологических параметров экспериментального почвообрабатывающего орудия.
3. Определение зависимостей влияния режимно-технологических параметров экспериментального почвообрабатывающего орудия на энергетические и агротехнические показатели его работы.
4. Определение эксплуатационно-технологических показателей работы экспериментального орудия по сравнению с серийной конструкцией в хозяйственных условиях.

Выполнение программы экспериментальных исследований проводилось по следующему этапу: динамометрирование экспериментального почвообрабатывающего орудия, определение агротехнических показателей и ускорение (горизонтальное и вертикальное) орудия в зависимости от скорости агрегатирования, глубины обработки, положения маятникового вибратора направленного действия, частоты вращения дебалансов [25, 26].

Испытание осуществлялось в Тюльганском районе, на фонах



типичных для Южного Урала и Поволжья.

Полевые и производственные испытания проводились на участках почвы, соответствующих основным требованиям:

- почвы по структуре и составу типичны преобладающему типу почв региона;
- мезорельеф полей соответствует ландшафту региона;
- участки по видам предшествующих культур и обработкам однородны.

Условия проведения поэтапных экспериментов приведены в приложении № 3, таблица 3.1.

### ***3.2. Лабораторно-полевая (экспериментальная) установка и оборудование***

Для выполнения разработанной программы проведения экспериментальных исследований на базе лаборатории кафедры «Проектирование механизмов и машин» и НПО «Стрела» г. Оренбург была изготовлена лабораторно-полевая установка на базе экспериментального почвообрабатывающего орудия, оснащенного механическим вибратором направленного действия (Приложение № 4), агрегируемый тракторами тяговых классов 7...8 (рисунок 3.1). Установка укомплектовалась контрольно-измерительным комплексом (рисунок 3.2 и приложение № 5).

Экспериментальное почвообрабатывающее орудие представляет собой модернизированный комбинированный почвообрабатывающий глубокорыхлитель GREGOIRE BESSON HELIOS SP с рабочей шириной захвата 6 м [98].

Технические характеристики серийного орудия GREGOIRE BESSON HELIOS SP приведены в таблице 3.2

Универсальное комбинированное почвообрабатывающее орудие GREGOIRE BESSON HELIOS SP предназначено для повышения эффективности технологического процесса основной обработки почвы. Не поднимает на поверхность комья с глубины, а приводит почву в

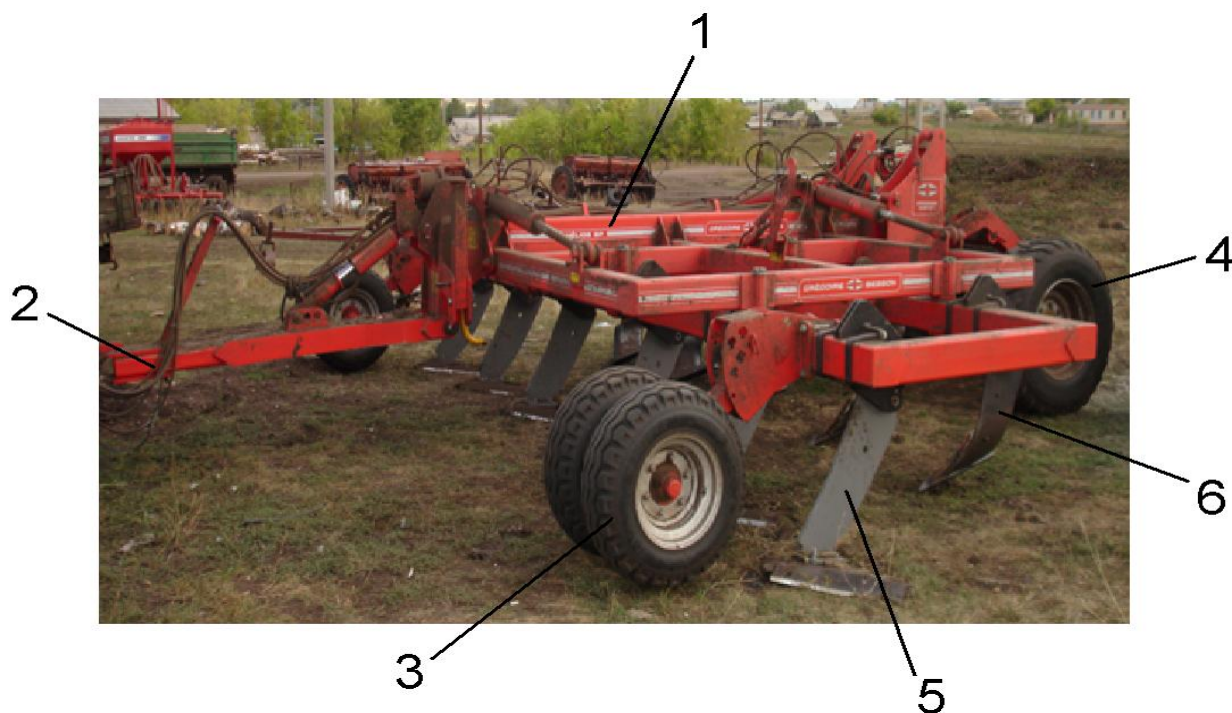


Рисунок 3.1. Общий вид серийного комбинированного орудия GREGOIRE BESSON HELIOS SP: 1 - рама машины; 2 - прицепное устройство; 3 – переднее опорное колесо; 4 – заднее опорное колесо; 5 – плоскорезная лапа; 6 – стойка рыхлителя типа «Мишель».

Таблица 3.2 Технические характеристики серийного орудия GREGOIRE BESSON HELIOS SP

|  |         |
|--|---------|
| Ширина захвата, м  | 6       |
| Количество рабочих органов в виде плоскорезов (глубина обработки до 20 см), шт | 6       |
| Количество рыхлительных рабочих органов (глубина обработки до 40 см), шт       | 6       |
| Рабочая скорость, км/ч   | 8-9     |
| Степень сохранения стерни, %   | 70...80 |
| Гребнистость поверхности поля, см  | 5-6     |
| Крошение почвы, %  | 65-75   |
| Производительность, га/ч   | 4...5   |
| Расход топлива, кг/га  | 18...20 |
| Агрегируется с тракторами тягового класса                                      | 8-9     |

псевдокипящее состояние. Слои почвы не перемешиваются, но в то же время существенно улучшается водный и воздушный обмен, разрушается плужная подошва, предотвращается образование блюдец на полях.

Модернизированная почвообрабатывающая машина представлена на рисунке 3.2.

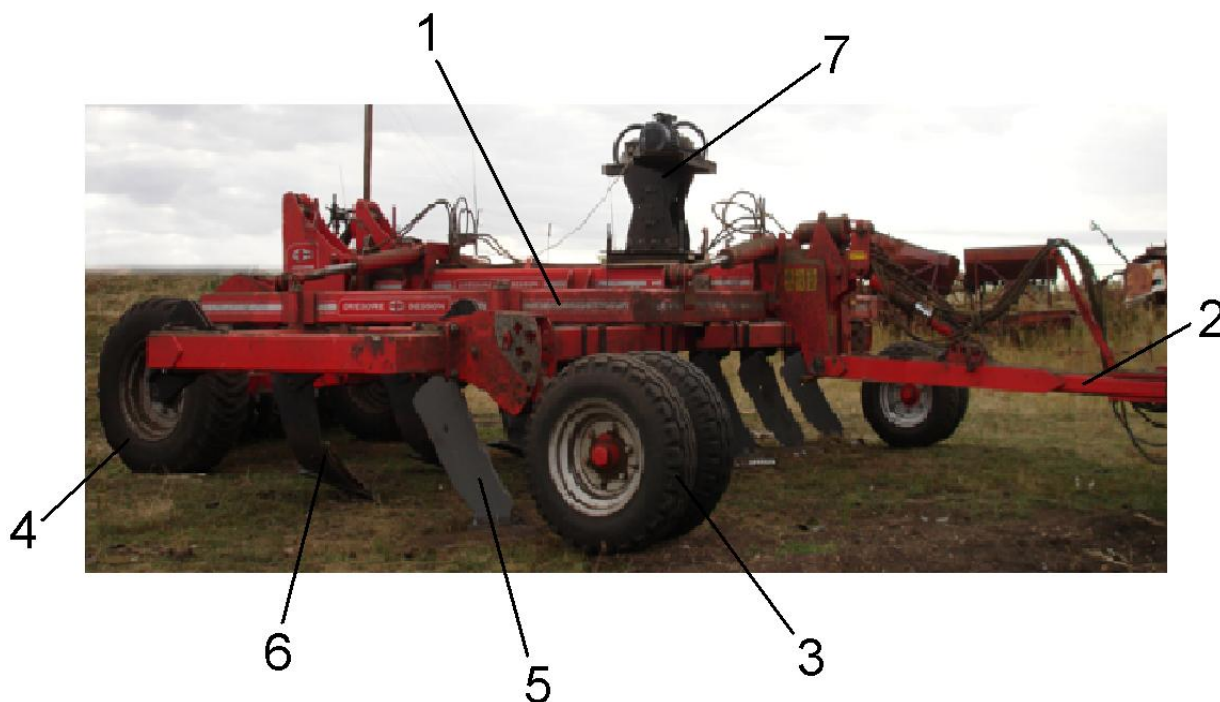


Рисунок 3.2. Модернизированное экспериментальное орудие GREGOIRE BESSON HELIOS SP M: 1 - рама машины; 2 - прицепное устройство; 3 – переднее опорное колесо; 4 – заднее опорное колесо; 5 – плоскорезная лапа; 6 – стойка рыхлителя типа «Мишель»; 7 – маятниковый вибратор направленного действия.

Модернизированное почвообрабатывающее орудие GREGOIRE BESSON HELIOS SP M представляет собой серийный комбинированный глубокорыхлитель GREGOIRE BESSON HELIOS SP, оснащенный маятниковым вибратором направленного действия, который крепится к раме посредством шарнира, обеспечивающего вращение корпуса вибратора только в продольно-вертикальной плоскости под заданным углом относительно рамы машины.

Для регистрации исследуемых параметров применялось следующее оборудование (Приложение № 6):

- тензометрическая установка, которая включала блок питания (аккумуляторная батарея напряжением 12 В и емкостью 55 А·ч), измерительная информационная система ИП-264, ноутбук «Rover» с пакетом программ Microsoft и тестовой программой «Испытания» (версия 3.4);
- тензометрическое звено, расположенное на навеске экспериментальной машины СТ-10А;
- частотный преобразователь для трёхфазных электродвигателей мощностью от 0,2 до 2,2 кВт, фазное напряжение 220 В;
- путеизмерительное «пятое» колесо;
- расходомер топлива ИП-260-2;
- вибродатчики МП-66 (диапазон измерения -10...+10 мм) и МП-69 (диапазон измерения -1...+15 мм).

Регистрационная аппаратура располагалась в кабине трактора New Holland T 9040.

Измерительный комплекс (рисунок 3.3) позволял регистрировать следующие параметры:

- тяговое сопротивление комбинированной машины  $F_{\text{тяг}}$ ;
- амплитуду колебаний почвообрабатывающего орудия в горизонтальной и вертикальной плоскостях мм;
- пройденный путь  $S$ ;
- скорость движения почвообрабатывающего агрегата  $V$ ;
- частоту вращения дебалансов маятникового вибратора  $n$ ;
- продолжительность эксперимента  $t$ .

#### **Тарировка тензометрического звена.**

Калибровка тензозвена обеспечивает необходимую точность измерения тягового усилия на крюке трактора.

Для выполнения калибровки тензометрического звена СТ-10А, необходимо выполнить следующие действия [91]:

- установить режим «Калибровка каналов» на главном меню;
- выбрать номер опрашиваемого аналогового канала и время его опроса;

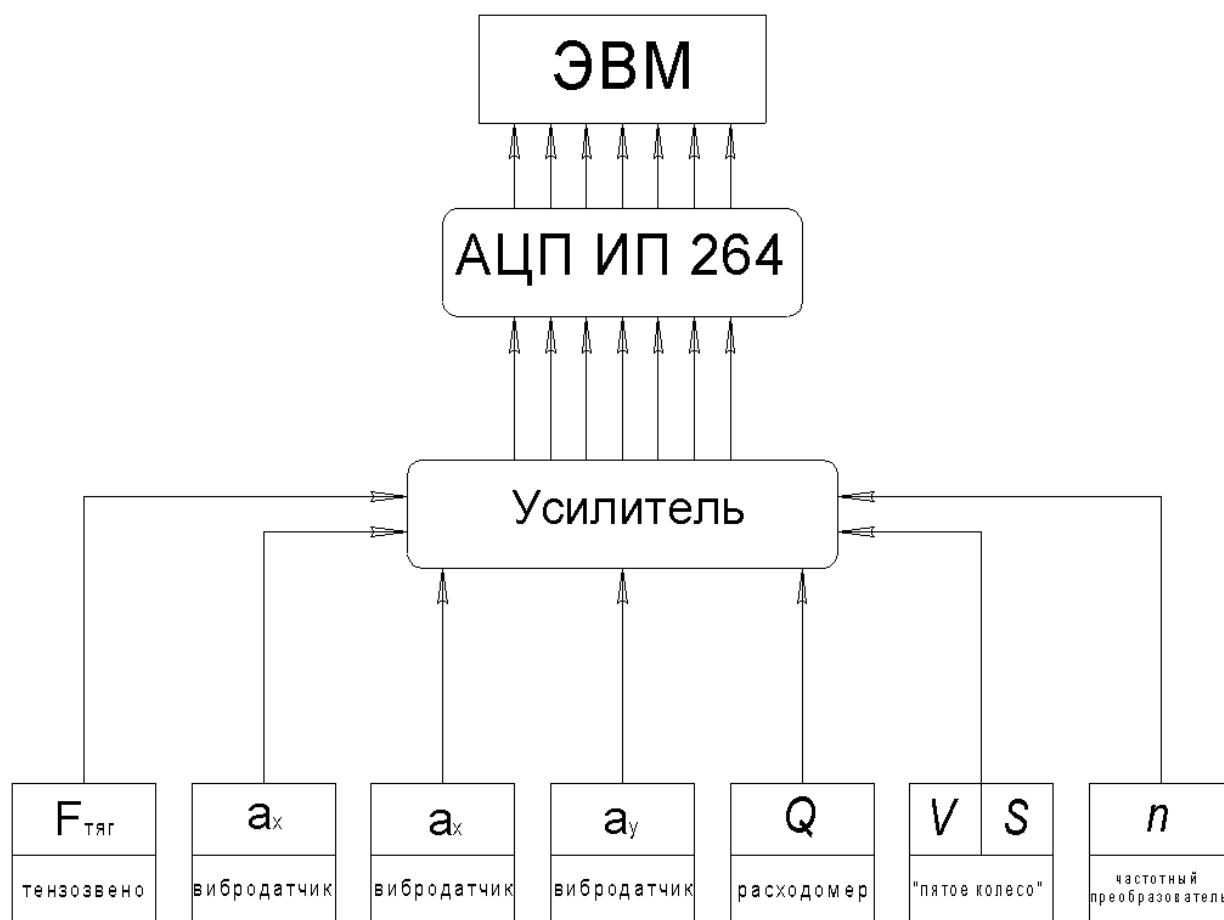


Рисунок 3.3. Структурно-функциональная схема лабораторной установки.

- последовательно нагружая и разгружая преобразователь усилия разрывной машиной ГМС-50, снять калибровочную характеристику тензодатчика.
- рассчитать номинальный статический коэффициент функции преобразования;
- занести значение калибровочного коэффициента в конфигурацию канала.

#### **Тарировка датчика путеизмерительного колеса.**

Калибровка дискретного датчика заключается в определении цены одного импульса датчика путеизмерительного колеса и проводится перед началом опыта. Для проведения калибровки необходимо [91]:

- в меню программы выбрать вкладку «Дискретные каналы»;

- проехать на постоянной скорости без нагрузки по твёрдому и ровному основанию некоторое расстояние с трёхкратной повторностью;
- рассчитать коэффициент датчика пути и ведущих колёс и занести значения калибровочных коэффициентов в конфигурацию каналов.

### **Тарировка датчика вибрации.**

Тарировка датчика вибрации заключается в его поверке на вибростенде ВС-133. Методом сравнения оценивается чувствительность вибродатчика и его погрешность с учётом всех составляющих выполним следующее:

- на вибростол соосно устанавливаются образцовый и поверяемый вибродатчики, сигналы с которых передаются на усилитель;
- с усилителя сигнал идёт на входы анализатора;
- сигнал с генератора, входящего в состав анализатора спектра, поступает на усилитель мощности и катушку возбуждения вибростенда;
- генератор обеспечивает сканирование на заданных частотах и поддержание амплитудного ускорения на образцовом вибродатчике;
- перемещая инерционный груз в ручную, измерить расстояние перемещения груза, снять калибровочную характеристику тензодатчика.
- для каждого датчика рассчитать номинальный статический коэффициент функции преобразования;
- внести значение калибровочного коэффициента в конфигурацию канала

В ходе проведения экспериментальных исследований сигналы поступающие от датчиков тензометрического звена навесного устройства и вибродатчиков комбинированной почвообрабатывающей машины усиливались с помощью шестнадцатиканальной измерительной информационной системы ИП 264. Регистрация сигналов осуществлялось с помощью ноутбука фирмы «Rover». Показания частоты вращения роторов механического колебательного контура от частотного преобразователя также через ИП 264 регистрировались с помощью компьютера. Для измерения скорости движения почвообрабатывающего агрегата и пройденного пути использовалось путеизмерительное колесо («пятое колесо»), закрепленное

сбоку на раме машины.

Положение корпуса механического колебательного контура относительно рамы комбинированной почвообрабатывающей машины определялось стационарным угломером, установленным на раме машины, каждый раз перед началом снятия опытных данных.

Твердость почвы определяли твердомером Ревякина. Повторность измерений восьмикратная.

Гранулометрический состав почвы определяли с помощью лабораторного набора почвенных сит.

### ***3.3 Методика проведения лабораторно-полевых исследований***

Экспериментальная почвообрабатывающая машина для комбинированной обработки почвы оснащенная механическим вибратором направленного действия агрегатировалась с трактором марки New Holland T 9040.

Предварительно до начала проведения лабораторно-полевых испытаний экспериментальное поле было разбито на загоны [110].

Экспериментальный почвообрабатывающий агрегат двигался согласно утвержденной схеме (Приложение № 7).

В процессе проведения лабораторно-полевых испытаний определяли следующие показатели:

- тяговое сопротивление машины для комбинированной обработки почвы  $F_{\text{тяг}}$ ;
- амплитуду колебания в горизонтальной и вертикальной плоскостях  $A_x$  и  $A_y$ ;
- частоту вращения дебалансов  $n$ ;
- пройденный почвообрабатывающим агрегатом путь  $S$ ;
- скорость движения почвообрабатывающего агрегата  $V$ ;
- угол наклона корпуса вибратора к раме машины в продольно-вертикальной плоскости  $\alpha$ ;

- глубину обработки рабочими органами почвообрабатывающей машины а;
- продолжительность опыта t.

Лабораторно-полевые испытания проводились согласно существующим методикам, изложенным в: ГОСТ Р 20915-75 «Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний»; ГОСТ 26738-91 «Культиваторы-плоскорезы. Общие технические требования»; ГОСТ Р 52777 2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» [25, 77].

### ***3.3.1. Методика определения энергетических показателей экспериментального комбинированного почвообрабатывающего орудия с механическим вибровозбудителем***

Измерительный комплекс, применяемый в ходе проведения лабораторно-полевых испытаний, позволяет измерять, архивировать и отображать в простой и наглядной форме режимные параметры экспериментального комбинированного почвообрабатывающего агрегата. Доминирующей задачей контрольно-измерительного комплекса являлось динамометрирование почвообрабатывающей машины в различных режимах эксплуатации. Определяющими параметрами при динамометрировании как способе оценки энергоёмкости процесса почвообработки являются тяговое сопротивление машины и скорость движения агрегата. Указанные параметры определялись согласно ГОСТ Р 52777 2007 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» и ОСТ 70.4.1-80 [76].

Величина тягового сопротивления, приходящаяся на каждое из тензометрических звеньев определялось согласно выражению:

$$R_z = y \cdot k, \quad (3.1)$$

где  $R_z$  – тяговое сопротивление, Н;

$y$  – показания аналогового канала аппаратуры, усл. ед. (импульсы);



$k$  – градуировочный коэффициент датчика тягового сопротивления, Н/усл. ед. (импульсы).

Расчет пройденного пути почвообрабатывающим агрегатом осуществляется по выражению:

$$S=L \cdot n_k \quad (3.2)$$

где  $S$  - пройденный путь, м;

$L$  - путь, пройденный за один оборот «пятого» колеса, м/об;

$n_k$  - число оборотов «пятого» колеса, об/мин.

Значение пути, пройденного за один оборот «пятого колеса»  $L$  определяется по формуле:

$$L=2 \cdot \pi \cdot r_k \quad (3.3)$$

где  $r_k$  - радиус «пятого» колеса, м.

Значение  $n_k$  определяется по формуле:

$$n_k=z/2, \quad (3.4)$$

где  $z$  - число импульсов зарегистрированных электромагнитным счетчиком пройденного пути.

Для определения скорости движения почвообрабатывающего агрегата автоматически измерялись путь  $S$  и время  $t$ :

$$V=S/t, \quad (3.5)$$

где  $V$  – скорость движения агрегата, м/с;

$S$  – пройденный путь, м;

$t$  – время движения, с.

Величина амплитуды колебания вычисляется по формуле:

$$A=m \cdot h, \quad (3.6)$$

где  $A$  – амплитуда колебания, м;

$m$  – показания аналогового канала аппаратуры, усл. ед. (импульсы);

$h$  – градуировочный коэффициент датчика тягового сопротивления, м/усл. ед. (импульсы).

Все данные, полученные в результате эксперимента и записанные ЭВМ, обрабатывались и выводились на экран в натуральной форме.

### 3.3.2. Методика определения агротехнических показателей работы комбинированного почвообрабатывающего орудия с механическим вибровозбудителем

В процессе экспериментальных исследований определяли также параметры качества обработки почвы [25, 26, 77]:

- гребнистость поверхности почвы (высота гребней), %;
- степень сохранности стерни, %;
- степень крошения почвы, %.

Исследования качественных показателей технологического процесса обработки почвы проводились в одинаковых условиях на типичных фонах, характерных для данной зоны.

Перед исследованиями влажность почвы измеряли в слоях 0...10, 10...20, 20...30, 30...40 см по диагонали участка с восьмикратной повторностью взятия проб.

Влажность почвы определяли высушиванием навески проб при температуре 102 °С в течение 8 часов. Абсолютная влажность рассчитывалась по формуле:

$$A = \frac{(m_B - m_C)}{m_C} \cdot 100\%, \quad (3.7)$$

где:  $m_B$  – масса образца влажной почвы, г;

$m_C$  – масса образца сухой почвы, г.

Взвешивание образцов проводилось с помощью электронных весов с точностью до 0,01 г [40].

Твердость почвы измеряли с помощью твердомера Ревякина [12]. Твердость почвы определяют по формуле:

$$P = h \cdot k \cdot s, \quad (3.8)$$

где:  $h$  – средняя ордината диаграммы твердости, см;

$k$  – масштаб (жесткость) пружины, Н/см;

$s$  – площадь поперечного сечения плунжера, см<sup>2</sup>.

Глубина обработки каждым видом рабочих органов определялись по методу поперечного профилирования [25, 38, 59].

Перед проходом почвообрабатывающего агрегата линейка убиралась и возвращалась на место после его прохода.

Глубину обработки замеряли градуированным металлическим щупом.

Повторность взятия профиля восьмикратная.

Среднее квадратическое отклонение глубины обработки по каждому виду рабочих органов получали методом математической статистики [29, 117].

Одновременно с измерением среднего квадратического отклонения глубины обработки замеряется гребнистость поверхности контрольного участка после прохода агрегата [50, 68].

Величину гребнистости в процентах определяют по выражению:

$$K_{gp} = \frac{L_{cb} - L_H}{L_{cb}} \cdot 100\%, \quad (3.9)$$

где:  $L_{cb}$  – длина свободно уложенной бечевки, м;

$L_H$  – расстояние между колышками, м.

Повторность замеров на контрольном участке восьмикратная.

Крошение почвы определяли по пробам с площадок 0,5 м<sup>2</sup> на глубину обработки. Пробы брали в восьми точках участка, равноудаленных друг от друга по ходу движения почвообрабатывающего агрегата.

Взятые пробы почвы разделяли с помощью почвенных сит на отдельные фракции, затем фракции отдельно взвешивали с точностью до 0,01 кг.

Результаты взвешивания позволяют рассчитывать массовую долю каждой фракции в процентах:

$$M_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100\%, \quad (3.10)$$

где:  $m_i$  – масса  $i$ -той фракции в пробе, кг.

$m$  – общая масса пробы, кг.

Все показатели систематизировались и фиксировались для дальнейшей статистической обработки.

Во второй стадии экспериментальных исследований по вышеуказанной методике определялись агротехнические показатели работы, как экспериментального орудия, так и применяемых в хозяйстве почвообрабатывающих орудий и серийного аналога экспериментального орудия.

Эксплуатационная оценка сравниваемых почвообрабатывающих агрегатов осуществлялась по двум критериям: производительность и расход топлива [25, 26, 76].

Производительность определяли в следующем порядке: устанавливали длину гона, глубину обработки, передачу, обеспечивающую оптимальную загрузку двигателя трактора.

Отсчет времени начинали после первого прохода агрегата. Время смены принималось семи часам. По окончании времени смены замеряли площадь обработанного участка.

Удельный и погектарный расход топлива определяли путем замера количества израсходованного топлива за смену и деления его на объём выполненной работы.

### ***3.4. Методика планирования многофакторного эксперимента***

Планирование эксперимента – это средство построения математических моделей различных процессов, способов сокращения времени и средств, повышение производительности труда исследователя. Планирование эксперимента включает в себя этапы формирования программы эксперимента, разработки плана эксперимента и выбор методов и средств измерения [5].

Цель эксперимента заключается в подборе факторов, обеспечивающих оптимальное значение параметра оптимизации. План эксперимента должен

представлять собой композицию из нескольких блоков, первый из которых позволяет построить модель первого порядка и, при необходимости, первый блок может быть дополнен опытами для построения модели второго порядка (Приложение № 8) [5].

Для поиска области оптимума был предложен последовательный метод изучения поверхности отклика, включающий в себя следующую последовательность. Производится серия опытов для описания небольшого участка поверхности отклика адекватной моделью первого порядка, затем опыты переносят в другую область в направлении градиента линейного приближения. Процесс продолжается до тех пор, пока линейная модель становится неадекватной, то есть появились основания считать, что достигнута стационарная или почти стационарная область поверхности отклика [5].

Чтобы выбрать план эксперимента, необходимо сформулировать критерий его оптимальности. Среди математических методов планирования эксперимента широкое распространение получили методы построения, так называемых, ортогональных планов. Достоинство ортогональных планов заключается в простоте их построения, в обеспечении максимальной точности определения выборочных коэффициентов модели и в существенном уменьшении вычислительных операций. Особенно эти достоинства проявляются по мере увеличения числа факторов, то есть при увеличении сложности задачи [5].

При построении ортогонального плана эксперимента необходимо обеспечить следующие условия ортогональности:

$$\sum_{i \neq j}^N X_i X_j = 0, \quad i=1, 2, 3, \dots, k; \quad j=1, 2, 3, \dots, k, \quad (3.12)$$

$$\sum_{i=1}^N X_i = 0, \quad i=1, 2, 3, \dots, k; \quad \sum_{i=1}^N X_i^2 = N, \quad i=1, 2, 3, \dots, k, \quad (3.13)$$

где:  $N$  – число опытов;

$k$  – число факторов.

Основой для построения плана эксперимента служит матрица планирования в кодированных значениях факторов, варьирующих на двух уровнях. Полный факторный эксперимент на двух уровнях предполагает осуществить  $N=2^n$  опытов.

Кодирование представляет собой линейное преобразование координат факторного пространства: перенос начала координат в нулевую точку плана и выбор масштаба по осям координат в единицах интервала варьирования. При этом верхний уровень интервала варьирования принимается за +1, а нижний за -1.

Перед началом эксперимента все факторы кодировали по формуле:

$$X_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta \varepsilon}, \quad (3.14)$$

где  $X_i$  - кодированное значение фактора;

$x_i$  - натуральное значение фактора на верхнем или нижнем уровне;

$x_{0i}$  - натуральное значение фактора на нулевом уровне;

$\Delta \varepsilon$  - натуральное значение интервала варьирования, равная половине разности между натуральными значениями фактора на верхнем и нижнем уровнях.

Уровни факторов меняли в соответствии с планом (таблица 3.3 факторов), а последовательность опытов рангомизировали для уменьшения влияния неконтролируемых факторов (изменение микрорельефа, твердости и влажности почвы и т.д. за время проведения экспериментов).

Все опыты проводились в четырёхкратной повторностью (два при движении агрегата в прямом, два - в обратном направлениях), а размеры участков подбирали с таким расчетом, чтобы обеспечить на нем выполнение всех работ, предусмотренных планом и программой исследований.

Таблица 3.3. Уровни варьирования факторов и диапазоны их измерения

| Независимые переменные   | Обозначение    | Ед. измерения | Уровни      |            |            | Интервал |
|--|----------------|---------------|-------------|------------|------------|----------|
|  |                |               | Верхний (+) | Основной 0 | Нижний (-) |          |
| Скорость движения, V   | X <sub>1</sub> | м/с           | 2,4         | 1,7        | 1,0        | 0,7      |
| Глубина обработки почвы, а   | X <sub>2</sub> | м             | 0,3         | 0,225      | 0,15       | 0,075    |
| Частота вращения дебалансов, n   | X <sub>3</sub> | об/мин        | 1500        | 1000       | 500        | 500      |
| Угол наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости, α  | X <sub>4</sub> | град          | 60          | 30         | 0          | 30       |
| Расстояние от сцепки до крепления маятникового вибратора на раме машины, L | X <sub>5</sub> | м             | 1,65        | 1,35       | 1,15       | 0,25     |

### ***3.5. Методика обработки опытных данных и оценка ошибок измерений***

При проведении экспериментальных исследований на рабочий процесс комбинированного почвообрабатывающего агрегата, оснащенного механическим колебательным контуром одновременно влияли: физико-механические и технологические свойства почвы, глубина обработки рабочими органами, сочетание рабочих органов комбинированной почвообрабатывающей машины, положение корпуса механического колебательного контура относительно рамы машины, частота вращения роторов колебательного контура, скорость движения почвообрабатывающего агрегата. Все эти факторы являются основными и действуют одновременно, а

значит могут быть исследованы методом планирования серии многофакторных экспериментов [36, 76]. Остальные факторы, определяющие процесс условно принимались постоянными.

В качестве критериев оптимизации работы комбинированной почвообрабатывающей машины были выбраны: тяговое сопротивление ( $Y_1$ ) и амплитуда колебания ( $Y_2$ ). При проведении эксперимента добивались устойчивой работы агрегата (Приложение 10).

Устойчивым движением можно было считать в том случае, если не нарушается прямолинейность хода трактора, рама машины не перекошена, рабочие органы работают на заданной глубине.

Кроме того, при проектировании экспериментальной машины с вибровозбудителем необходимо было учитывать характеристики качества и надежности, к которым следует отнести уравновешенность и стабильность. Наиболее значимый критерий из указанных – уравновешенность. Уравновешенность характеризует степень передачи динамических нагрузок на опоры и на трактор. Для вибрационных машин уравновешенность оценивается коэффициентом передачи динамической силы:

$$D = P_T / P_{пр}, \quad (3.15)$$

где  $P_T$  – сила, передаваемая на трактор, Н;

$P_{пр}$  – сила, развиваемая приводом, Н.

Повторность проводимых опытов экспериментальных исследований определялась в зависимости от необходимой точности. Точность опыта, в свою очередь, зависела от масштаба предполагаемых различий между вариантами: чем больше предполагаемый эффект, тем меньше может быть точность, и, наоборот, для доказательства небольших различий необходима более высокая точность.

По общеизвестным формулам [29] на ПЭВМ с использованием электронных таблиц Microsoft Excel определяли среднее, среднее арифметическое, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации.

Повторность опытов определялась по формуле:



$$n_{оп} = \left( \frac{\sigma}{m} \right)^2, \quad (3.16)$$

где  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение;

$m$  - ошибка средней арифметической выборочной совокупности.

Точность с ошибкой 2-4% при проведении полевых опытов можно получить при 4-6-кратной повторности [29]. Объем выборки, необходимый для того, чтобы получить выборочную среднюю с заданной точностью, определяли по формуле:

$$n_{оп} = \left( \frac{t \cdot \sigma}{m} \right)^2, \quad (3.17)$$

где  $t$  - критерий Стьюдента.

Значение  $t$  – критерия зависит от уровня вероятности (значимости), который необходимо иметь, и определяется по табличным данным [15, 29, 117]. В нашей работе использовался, как правило, 95% уровень вероятности (5% уровень значимости) с доверительным интервалом  $X \pm 2t$ , где  $X$  - среднее арифметическое измеряемой величины. Оценка существенности разности выборочных средних, осуществлялась по критерию Стьюдента.

Интерполяционную модель процесса изменения тягового сопротивления запишем как:

$$y = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5), \quad (3.18)$$

где  $y$  - функция отклика;

$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  - независимые переменные.

Для получения зависимости тягового сопротивления и амплитуды колебания от вышеперечисленных факторов проведены исследования с использованием планирования полнофакторного эксперимента по двухуровневому плану для пяти возмущающих факторов. При этом рассматривалось получение моделей исследуемых процессов в виде полиномов второй степени.

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (3.19)$$

где:  $Y$  - критерий оптимизации;

$x_i, x_j$  - исследуемые факторы;

$b_0$  - свободный член уравнения;

$b_{ij}$  - коэффициент парных взаимодействий;

$b_{ii}$  - коэффициент при квадратичных факторах.

Для обеспечения достоверности результатов количество опытов на одну экспериментальную точку устанавливали по зависимости:

$$K = (\mathbf{u} \cdot \mathbf{r})^2 / \zeta, \quad (3.20)$$

где  $\mathbf{u}$  – коэффициент вариации;

$\mathbf{r}$  – показатель статистической достоверности;

$\zeta$  – показатель точности опыта.

Для определения брака в измерениях использовали критерий Стьюдента

$$r \leq \frac{y - \bar{y}}{M}, \quad (3.21)$$

где  $y$  – сомнительное значение измерения;

$\bar{y}$  – среднее арифметическое значение измерений, не вызывающих сомнений;

$M$  – среднее квадратическое отклонение.

Измерение величины выбраковывалось, если ее значение по модулю было больше теоретически возможного, взятого из таблиц распределения Стьюдента.

Статистическая обработка данных нами проводилась с использованием статистической графической системы STATGRAPHICS Plus for Windows, и были получены уравнения регрессии в кодированном виде. Коэффициенты уравнений регрессии проверяли на их значимость критерием Стьюдента, незначимые коэффициенты удаляли из модели.

Проверяли адекватность полученного уравнения регрессии критерием Фишера.

## 4. ОБРАБОТКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### *4.1. Энергетические показатели работы почвообрабатывающего орудия с механическим вибровозбудителем*

Согласно плану экспериментальных исследований были получены результаты влияния конструктивно-технологических параметров на тяговое сопротивление комбинированного почвообрабатывающего орудия. (Приложение 8, 9).

После обработки результатов многофакторного эксперимента (Приложение 10), выполненного по оптимальному плану, было получено уравнение регрессии, описывающее закономерность изменения тягового сопротивления плуга в процессе его работы:

$$Y_1 = 54,89X_1^2 + 20,68X_2^2X_4 - 9,59X_2X_4 + 1,9X_2^2X_3 - 0,91X_2X_3 - 0,46X_1X_4 + 0,13X_1^2X_4 + 0,01X_1X_4^2, \quad (4.1)$$

где  $Y_1$  – значение тягового сопротивления плуга для послойной обработки почвы.

Фактора  $X_5$  в уравнении регрессии нет, так как коэффициент не значимый при 95% уровне значимости.

Проверку модели на адекватность проводили с помощью критерия Фишера. Его расчётное значение составило 18,8, что меньше табличного – 19,3 для 5% уровня значимости, что свидетельствует об адекватности модели.

Для анализа степени влияния факторов  $X_1, X_2, X_3, X_4$  на тяговое сопротивление построим поверхности отклика, характеризующие изменение тягового сопротивления парного воздействия возмущающих факторов:  $X_1$  и  $X_2$ ;  $X_1$  и  $X_3$ ;  $X_1$  и  $X_4$ ;  $X_2$  и  $X_3$ ;  $X_2$  и  $X_4$ ;  $X_3$  и  $X_4$ .

Построение поверхности отклика, характеризующей тяговое сопротивление от скорости движения комбинированного глубокорыхлителя

$V(X_1)$  угла поворота маятникового вибратора направленного действия относительно рамы орудия  $\alpha(X_4)$  строится при постоянных значениях других факторов  $X_2, X_3$  в уравнение регрессии (4.1).

Тогда уравнение регрессии примет вид:

$$Y_1 = 76,4612 - 71,8367X_1 + 28,7755X_1^2 - 0,5056X_1X_4 + 0,1582X_1^2X_4 + 0,0391X_4 + 0,015X_1X_4^2, \quad (4.2)$$

Поверхность отклика, характеризующая зависимость тягового сопротивления от скорости рыхлителя и угла поворота маятникового вибратора направленного действия относительно рамы орудия представлена на рисунке 4.1.

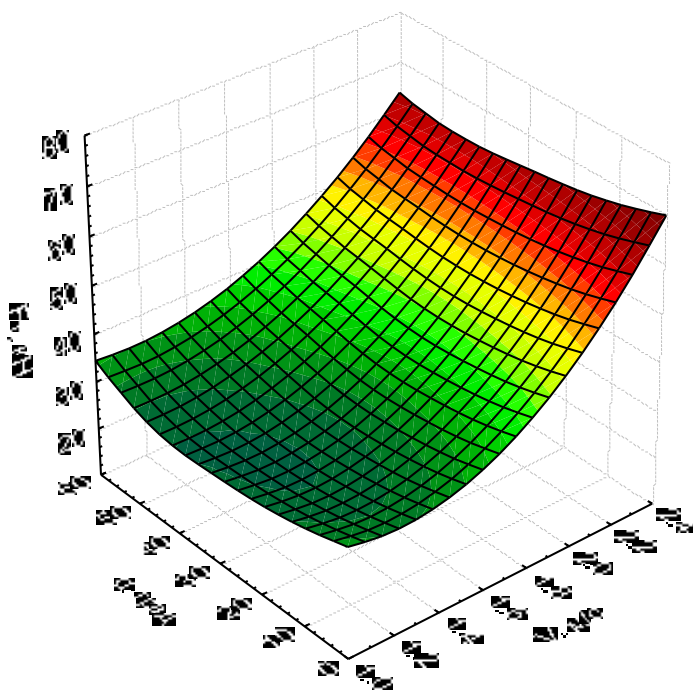


Рисунок 4.1. Поверхность отклика, характеризующая тяговое сопротивление комбинированного почвообрабатывающего орудия от скорости движения и угла наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости

По аналогичной методике были построены поверхности откликов, характеризующие изменение тягового сопротивления от других

совокупностей, возникающих факторов.

Уравнение регрессии (4.1) для совокупного воздействия факторов  $X_2$  и  $X_4$  примет следующий канонический вид:

$$Y_1 = 215,315X_2 - 124,405X_2^2 + 17,867X_2^2X_4 + 16,402 - 8,051X_2X_4 + 0,544X_4 + 0,115X_2^2X_4^2 - 0,059X_2X_4^2 + 0,01X_4^2, \quad (4.3)$$

Поверхность отклика, характеризующая изменение тягового сопротивления комбинированного глубокорыхлителя от возмущающих факторов имеет форму, представленную на рисунке 4.2.

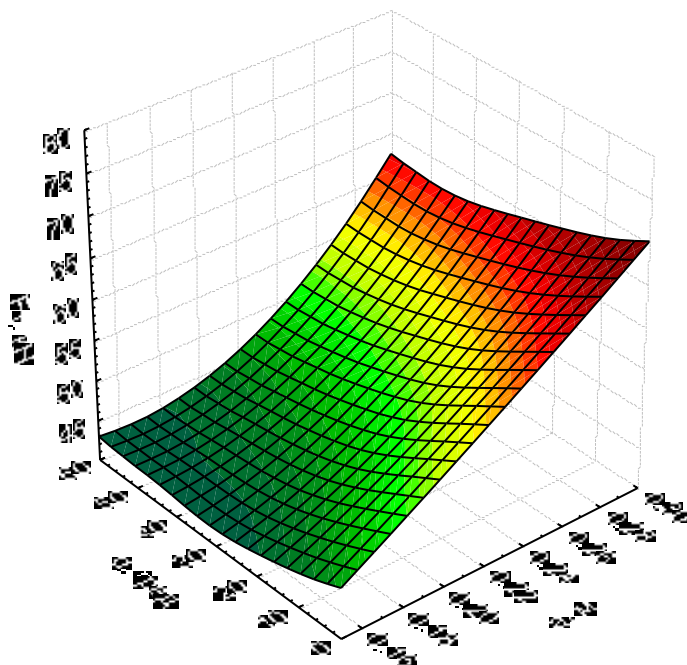


Рисунок 4.2. Поверхность отклика, характеризующая тяговое сопротивление комбинированного почвообрабатывающего орудия от глубины обработки рабочими органами и угла наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости

Уравнение регрессии для зависимости тягового сопротивления от глубины обработки рабочими органами комбинированного глубокорыхлителя  $n(X_3)$  и угла поворота маятникового вибратора

направленного действия относительно рамы орудия  $\alpha(X_4)$  имеет канонический вид:

$$Y_1 = 77,9 - 0,24583X_4 - 0,0075X_3 + 0,00731X_4^2 + 0,0005X_3X_4 - 0,00002X_3X_4^2, (4.4)$$

Поверхность отклика, характеризующая изменение тягового сопротивления комбинированного глубокорыхлителя от возмущающих факторов имеет форму, представленную на рисунке 4.3.

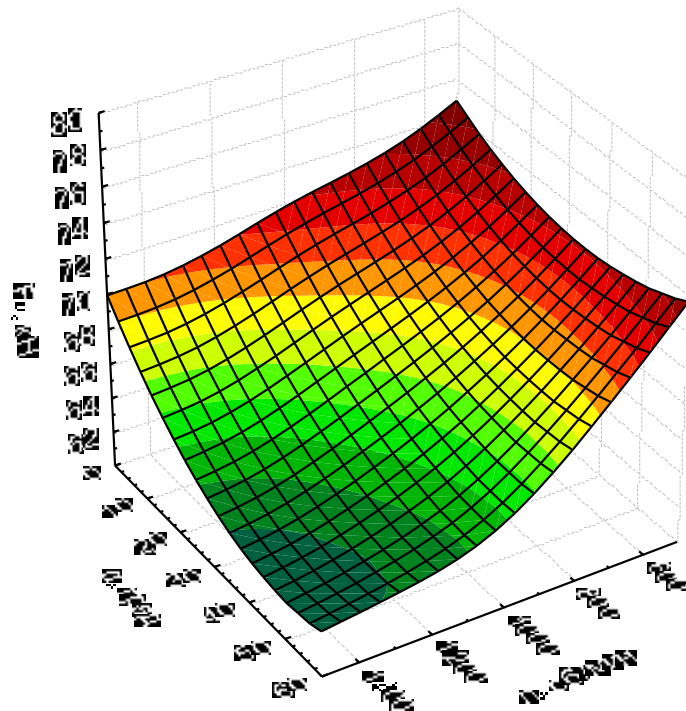


Рисунок 4.3. Поверхность отклика, характеризующая тяговое сопротивление комбинированного почвообрабатывающего орудия от частоты вращения дебаланса и угла наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости

По полученным в результате экспериментальных исследований данным были так же получены поверхности откликов для зависимости тягового сопротивления от действия пар возмущающих факторов:  $V(X_1)$  и  $a(X_2)$ ;  $V(X_1)$  и  $n(X_3)$ ;  $a(X_2)$  и  $n(X_3)$

Уравнения регрессии для трёх случаев имеют следующий канонический вид:

$$Y_1 = 987,67X_1X_2^2 - 288,907X_1X_2 - 135,374X_2^2 - 114,796X_1^2X_2^2 + 34,17X_2 + 31,576 + 18,559X_1^2 - 17,397X_1 + 11,862X_1^2X_2, \quad (4.5)$$

$$Y_1 = 55,4888 - 51,3776X_1 + 26,9388X_1^2 - 0,0106X_1^2X_3 + 0,0102X_1X_3 - 0,0038X_3, \quad (4.6)$$

$$Y_1 = 1389,881X_2^2 - 427,113X_2 + 90,395 - 0,593X_2^2X_3 + 0,181X_2X_3 - 0,041X_3, \quad (4.7)$$

Соответствующие поверхности откликов представлены на рисунках 4.4, 4.5 и 4.6

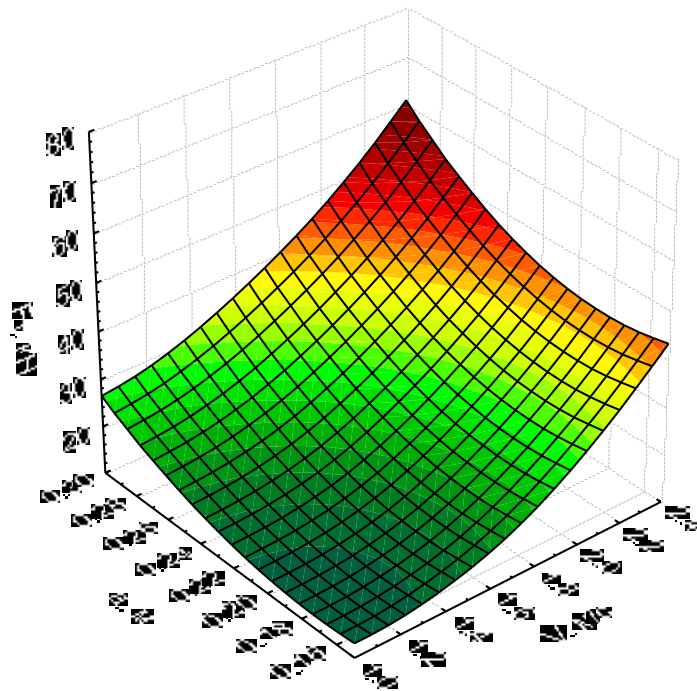


Рисунок 4.4. Поверхность отклика, характеризующая тяговое сопротивление комбинированного почвообрабатывающего орудия от скорости движения и от глубины обработки почвы



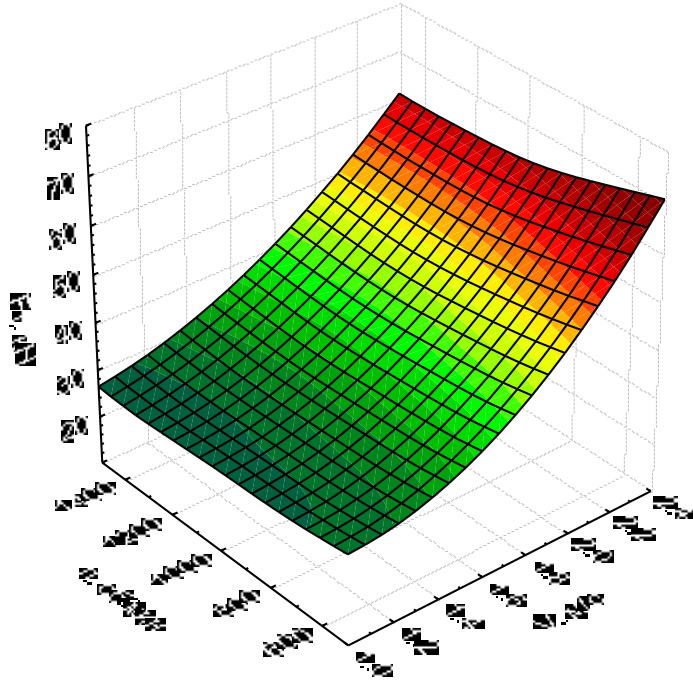


Рисунок 4.5. Поверхность отклика, характеризующая тяговое сопротивление комбинированного почвообрабатывающего орудия от скорости движения и частоты вращения дебалансов

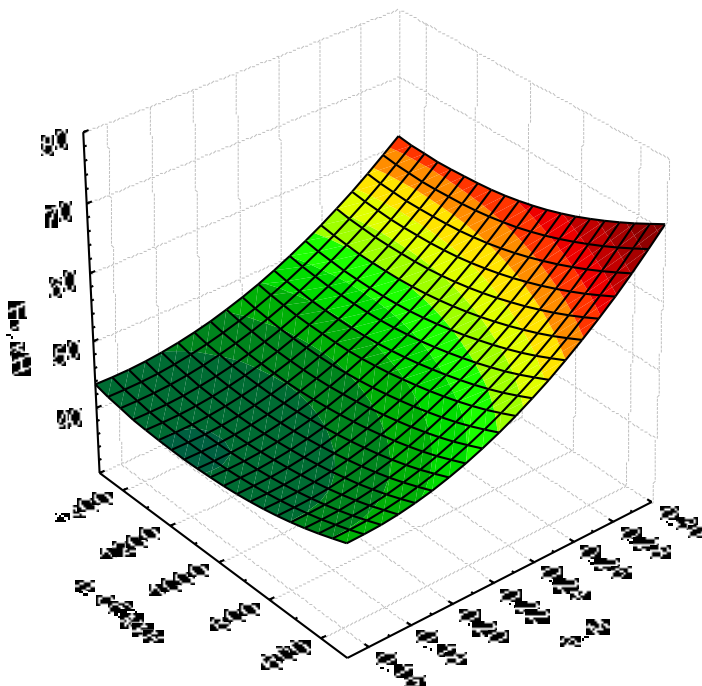


Рисунок 4.6. Поверхность отклика, характеризующая тяговое сопротивление комбинированного почвообрабатывающего орудия от глубины обработки рабочими органами и частоты вращения дебалансов

На основе полученных данных и теоретических расчётов были построены графики, характеризующие зависимость тягового сопротивления комбинированного почвообрабатывающего орудия от каждого возмущающего фактора:  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ . Все расчёты, связанные с построениями поверхностей откликов и графиков проведены с помощью электронных приложений Windows: «Statistica v 6.0», «Microsoft Excel», «ALLREGR», «FACT 151», «KORREL».

Согласно полученным графикам можно отметить, близкую сходимость теоретических расчётов с данными опытов по величине тягового сопротивления комбинированного почвообрабатывающего орудия (рисунки 4.7-4.10).

Анализируя графики, можно сделать вывод, что тяговое сопротивление комбинированного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем  $F_T$

увеличивается с повышением скорости обработки почвы  $V$  (рисунок 4.7), и с увеличением глубины обработки почвы  $a$  (рисунок 4.8). При увеличении частоты вращения дебалансов  $n$  (рисунок 4.9), изменения угла наклона корпуса маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости  $\alpha$  (рисунок 4.10) замечена тенденция к снижению тягового сопротивления.

Зависимость тягового сопротивления  $F_T$  от поступательной скорости движения комбинированного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем  $V$  имеет квадратичную зависимость (рисунок 4.7).

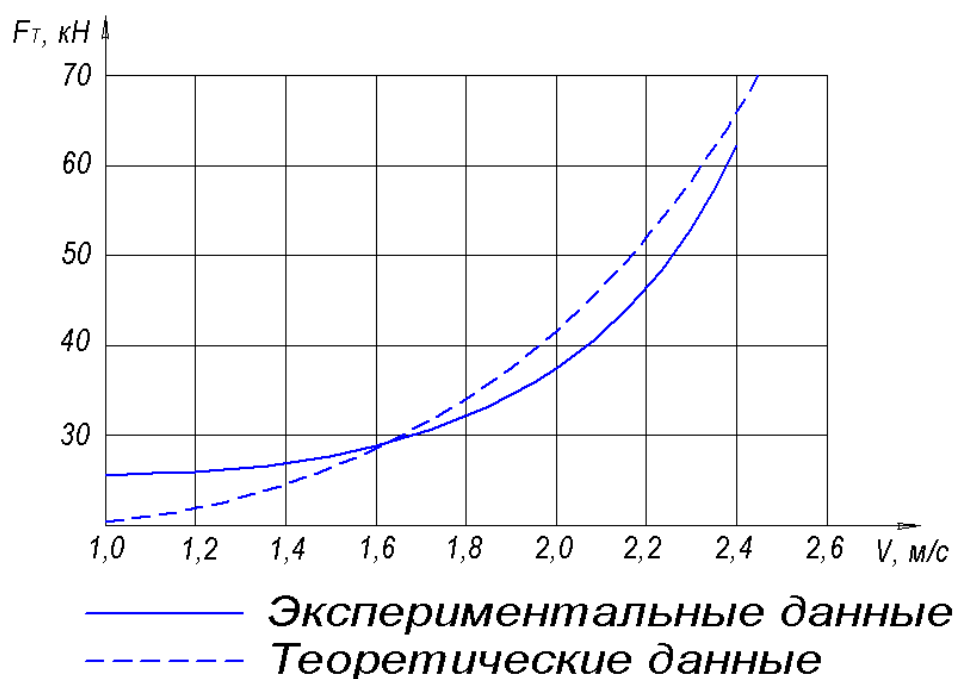


Рисунок 4.7. Зависимость тягового сопротивления комбинированного почвообрабатывающего орудия от скорости движения

При глубине обработки  $a=0,3$  м, частоте вращения дебалансов  $n=1500$  об/мин. и угле наклона корпуса маятникового вибратора к раме машины  $\alpha=45^\circ$ , что подтверждает уравнение Горячкина - квадратичную зависимость возрастания тягового сопротивления в зависимости от скорости.

При увеличении скорости движения  $V$  с 1,2 до 1,7 м/с, прирост тягового сопротивления составил  $\Delta F_T=4,5$  кН (14,8%); при увеличении

скорости  $V$  свыше 1,7 м/с до 2,4 м/с (ограничено техническими характеристиками комбинированного почвообрабатывающего орудия) прирост сопротивления составил 31,5 кН (50,8%), что свидетельствует о нецелесообразности эксплуатации комбинированного почвообрабатывающего агрегата на скорости выше 1,7-2,4 м/с из-за повышенной энергоёмкости процесса вспашки.

Зависимость тягового сопротивления  $F_T$  от глубины обработки почвы  $a$  имеет линейную зависимость (рисунок 4.8).

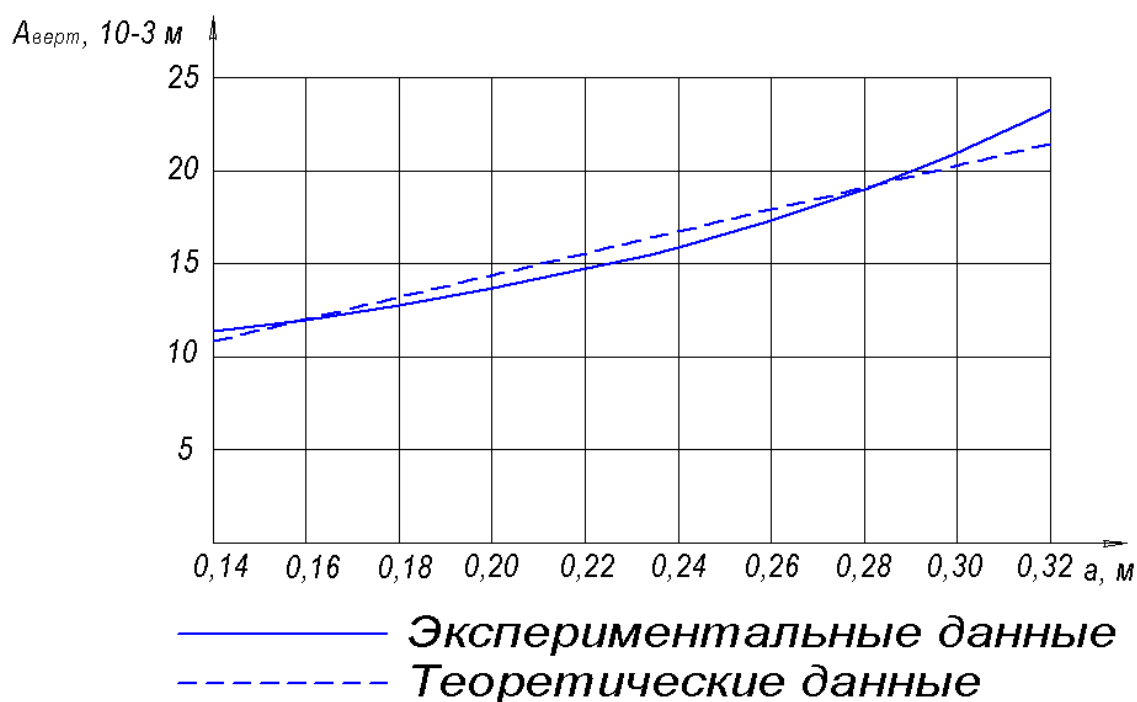


Рисунок 4.8. Зависимость тягового сопротивления комбинированного почвообрабатывающего орудия от глубины обработки почвы

При движении комбинированного почвообрабатывающего орудия по стерне кукурузы со скоростью  $V=2,4$  м/с, с установленным углом наклона маятникового вибратора направленного действия  $\alpha=45^\circ$  и частотой вращения дебалансов  $n=1500$  об/мин., разность максимального и минимального зафиксированных значений тягового сопротивления с  $a=0,15$  м до  $a=0,3$  м составляет  $\Delta F_{тяг}=18$  кН. Максимальное значение тягового сопротивления

$F_T=62$  кН составило при глубине обработки  $a=0,3$  м. Связано это проникновением плоскорезов и рыхлителей в более плотные слои с большим преобладанием в нём суглинка.

Высокие показатели тягового сопротивления определяются также обработкой задернелого слоя пахотного горизонта, а также формой рабочих органов рыхлителей.

Изменение тягового сопротивления  $F_T$  комбинированного почвообрабатывающего орудия в зависимости от угла наклона корпуса маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости  $\alpha$  относительно рамы орудия представлено на рисунке 4.9.

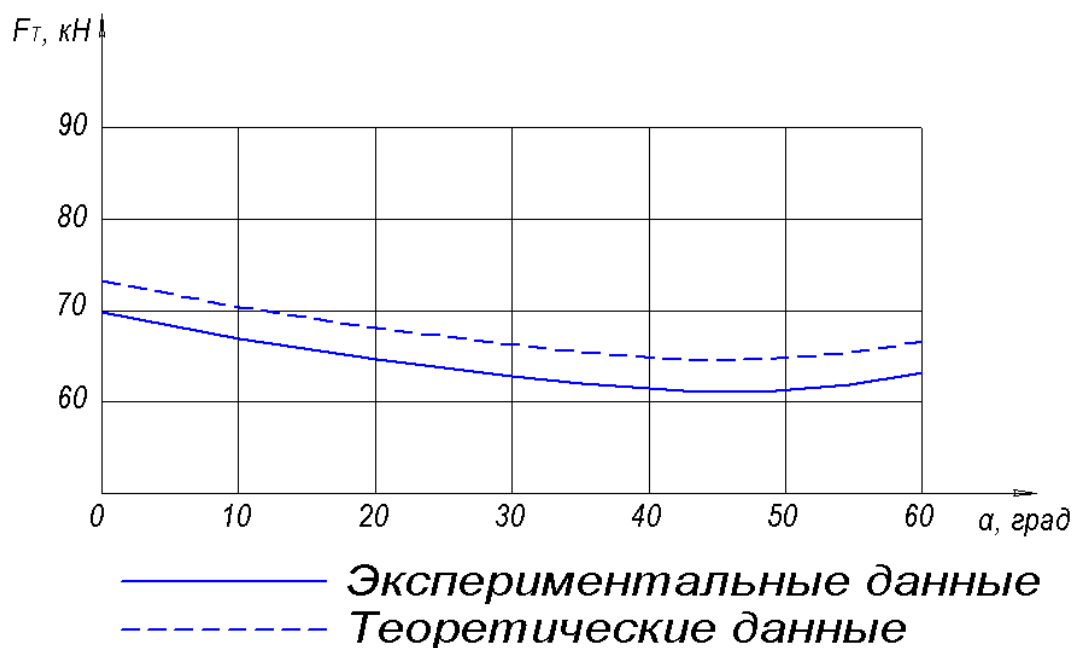


Рисунок 4.9. Зависимость тягового сопротивления комбинированного почвообрабатывающего орудия от угла наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости

При движении комбинированного почвообрабатывающего орудия со скоростью  $V=1,2-2,4$  м/с, частотой вращения дебалансов  $n=1500$  об/мин и установленной глубине обработки  $a=0,3$  м тяговое сопротивление орудия

изменяется от  $F_T=70$  кН при  $\alpha=0^\circ$ , до  $F_T=61,1$  кН при  $\alpha=45^\circ$ , затем можно наблюдать не значительный прирост тягового сопротивления. Снижение тягового сопротивления в зависимости от изменения угла наклона корпуса маятникового вибратора направленного действия от максимального значения до минимального составил 8,9 кН (12,7%).

Степень снижения тягового сопротивления при угле установки корпуса маятникового вибратора направленного действия в продольно-вертикальной плоскости относительно рамы орудия  $\alpha=45^\circ$  объясняется перераспределением энергии возмущающей силы в горизонтальной и вертикальной плоскостях, которая способствует разрушению структуры почвы перед рабочими органами и уменьшению налипания почвы на рабочие органы.

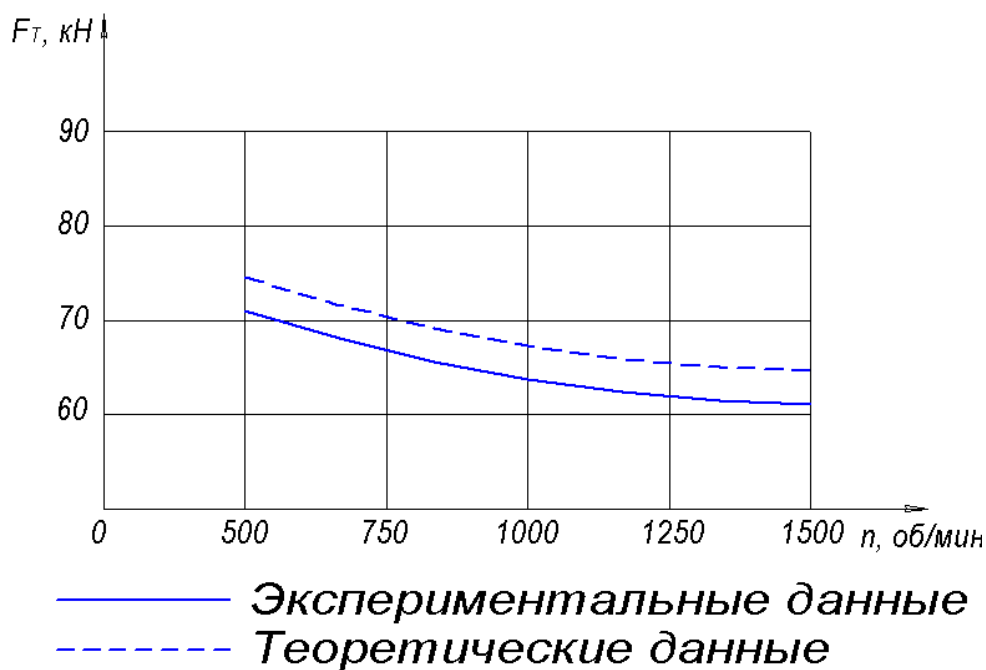


Рисунок 4.10. Зависимость тягового сопротивления комбинированного почвообрабатывающего орудия от частоты вращения дебалансов

Снижение тягового сопротивления комбинированного почвообрабатывающего орудия  $F_T$  с увеличением частоты вращения дебалансов  $n$  (рисунок 4.10) связано с увеличением результирующей

возмущающей силы  $F_B$ . Максимальное значение сопротивления комбинированного почвообрабатывающего орудия составило  $F_T=71$  кН при частоте вращения дебалансов  $n=500$  об/мин., минимальное значение тягового сопротивления  $F_T=71$  кН и  $n=1500$  об/мин, глубина обработки почвы при этом составила:  $a=0,3$  м; скорость движения почвообрабатывающего агрегата  $V=0,3$  м/с; угол наклона корпуса маятникового вибратора  $\alpha=45^\circ$ .

На основании проведённого анализа влияния возмущающих факторов:  $V$ ,  $a$ ,  $n$ ,  $\alpha$  на тяговое сопротивление комбинированного почвообрабатывающего орудия оснащённого вибровозбудителем для основной обработки почвы, можно рекомендовать следующие примерные его параметры: скорость движения агрегата  $V$  должна быть приближена к максимально-допустимой для каждого вида работ и не превышать рекомендуемой заводом изготовителем; средняя глубина обработки почвы плоскорезами и рыхлителями  $a=0,3$  м, частота вращения дебалансов должна быть максимальной  $n=1500$  об/мин.; угол наклона корпуса маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости относительно рамы орудия  $\alpha=40-50^\circ$ .

Согласно экспериментальным исследованиям, можно отметить, что комбинированное почвообрабатывающее орудие для основной обработки почвы при установке на раму маятникового вибратора направленного действия имеет тяговое сопротивление  $F_T=61,1$  кН значительно отличающееся у стандартного комбинированного почвообрабатывающего орудия  $F_T=79,3$  кН при скорости  $V=0,3$  м/с. По сравнению с существующей конструкцией орудия тяговое сопротивление предлагаемого комбинированного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем ниже на 23% при той же скорости агрегатирования и глубине обработки почвы.

Проведённые замеры израсходованного топлива в ходе работ по обработке почвы экспериментальным комбинированным почвообрабатывающим орудием в с. Владимировка показали, что средний

удельный расход топлива составляет 17,2 кг/га, это ниже средних показателей расхода топлива комбинированным почвообрабатывающим орудием на базе GREGOIRE BESSON HELIOS SP – 22,6 кг/га.

Полученные результаты хозяйственных испытаний комбинированного почвообрабатывающего орудия для основной обработки почвы свидетельствуют о том, что по всем показателям новое почвообрабатывающее орудие превосходит серийную машину. Таким образом, можно говорить о целесообразности применения нового комбинированного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем для основной обработки почвы.

#### ***4.2. Агротехнические показатели работы почвообрабатывающего орудия с механическим вибровозбудителем***

Устойчивая работа комбинированного почвообрабатывающего орудия в продольно-вертикальной плоскости определяет стабильность глубины обработки почвы, поэтому получение зависимостей амплитуды вертикальных колебания от возмущающих факторов позволяет судить об отклонении средней глубины обработки от заданной, которая не должна превышать  $\pm 1$  см на выровненных полях и участках  $\pm 2$  см на почвах с неровным рельефом. Значение амплитуды колебания в горизонтальной плоскости не отличались от колебаний серийной машиной без вибровозбудителя. Очевидно, связано это с тем, что почва является бесконечным массивом, в среде которой невозможно осуществить «разбег» для получения амплитуды колебания, кроме этого МЭС «тащит» за собой почвообрабатывающее орудие исключая колебательных воздействий почвообрабатывающего орудия на сцепку.

После обработки экспериментальных данных по влиянию конструктивно-режимных параметров вибровозбудителя на амплитуду колебания комбинированного почвообрабатывающего орудия для основной



обработки почвы, получили следующее уравнение регрессии:

$$Y_2 = 150,889X_1^2X_2 - 436,26X_1X_2 - 306,977X_1^2X_2^2 - 4,115X_2X_4 - \\ - 1,776X_2^2X_3 + 0,612X_2X_3 - 0,174X_2^2X_4^2 + 0,086X_2X_4^2, \quad (4.8)$$

Расчётные значения амплитуды колебания комбинированного почвообрабатывающего орудия оснащённого вибровозбудителем, полученные при помощи уравнения регрессии 4.8, проверяли на адекватность по критерию Фишера. Расчётные значения критерия Фишера составило  $F_{\text{расч}}=15,81$ , что меньше табличного  $F_{\text{табл}}=19,3$  при 5% уровне значимости, что свидетельствует об адекватности полученной модели.

Степень влияния возмущающих факторов:  $V (X_1)$ ,  $a (X_2)$ ,  $n (X_3)$ ,  $\alpha (X_4)$  (фактора  $X_5$  в уравнении регрессии нет, так как коэффициент не значимый при 95% уровне значимости) на величину амплитуды вертикальных колебаний почвообрабатывающего орудия можно проанализировать по построенным поверхностям откликов.

Поверхность отклика, характеризующая изменение амплитуды вертикальных колебания от скорости движения почвообрабатывающего орудия  $V (X_1)$  и частоты вращения дебалансов  $n (X_3)$  строится по методике изложенной в пункте 4.1.

Уравнение регрессии 4.8 для случая  $Y_2=f(X_1, X_3)$  примет канонический вид:

$$Y_2 = -30,9857 + 20,3571X_1 - 3,5714X_1^2 + 0,088X_3 - 0,0509X_1X_3, \quad (4.9)$$

Поверхность отклика, характеризующая зависимость амплитуды вертикальных колебания  $A_{\text{верт}} (Y_2)$  от скорости движения почвообрабатывающего орудия  $V (X_1)$  и частоты вращения дебалансов  $n (X_3)$  представлена на рисунке 4.11.

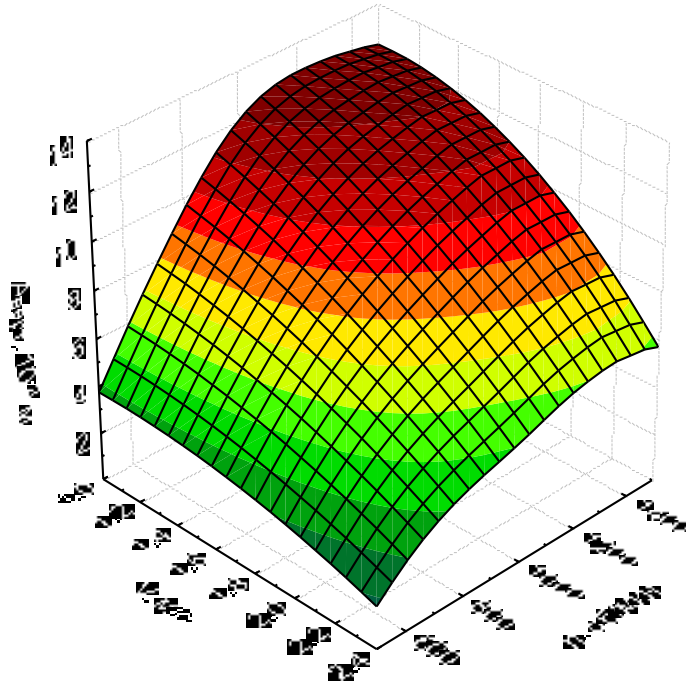


Рисунок 4.11. Поверхность отклика, характеризующая амплитуду вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия от скорости движения орудия и частоты вращения дебалансов

Точно таким же образом были получены поверхности откликов, характеризующие изменение амплитуды вертикальных колебаний  $A_{\text{верт}}$  от других парных воздействий возмущающих факторов.

Уравнение регрессии 4.8 для совокупного воздействия факторов  $a$  ( $X_2$ ) и  $n$  ( $X_3$ ) имеет вид:

$$Y_2 = 1255,952X_2^2 - 391,845X_2 - 2,592X_2X_3 + 1,818 + 0,699X_2X_3 + 0,035X_3, \quad (4.10)$$

Поверхности отклика, характеризующие зависимость амплитуды вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия  $A_{\text{верт}}$  ( $Y_2$ ) от глубины обработки рабочими органами  $a$  ( $X_2$ ) и частоты вращения дебалансов  $n$  ( $X_3$ ) представлена на рисунке 4.12

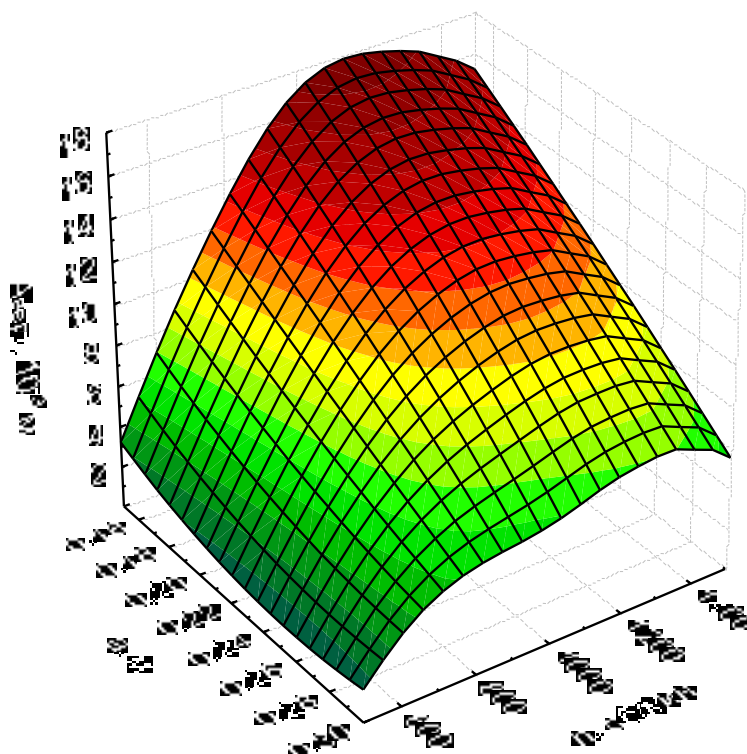


Рисунок 4.12. Поверхность отклика, характеризующая амплитуду вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия от глубины обработки почвы и частоты вращения дебалансов

Уравнение регрессии для зависимости амплитуды вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия  $A_{\text{верт}}$  ( $Y_2$ ) от изменения частоты вращения дебалансов  $n$  ( $X_3$ ) и угла наклона корпуса маятникового вибратора направленного действия  $\alpha$  ( $X_4$ ) имеет канонический вид:

$$Y_2 = -2,5 - 0,12833X_4 + 0,0211X_3 + 0,00228X_4^2, \quad (4.11)$$

Поверхности отклика, характеризующие зависимость амплитуды вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия  $A_{\text{верт}}$  ( $Y_2$ ) от частоты вращения дебалансов  $n$  ( $X_3$ ) и угла наклона корпуса маятникового вибратора направленного действия  $\alpha$  ( $X_4$ ) представлена на рисунке 4.13.

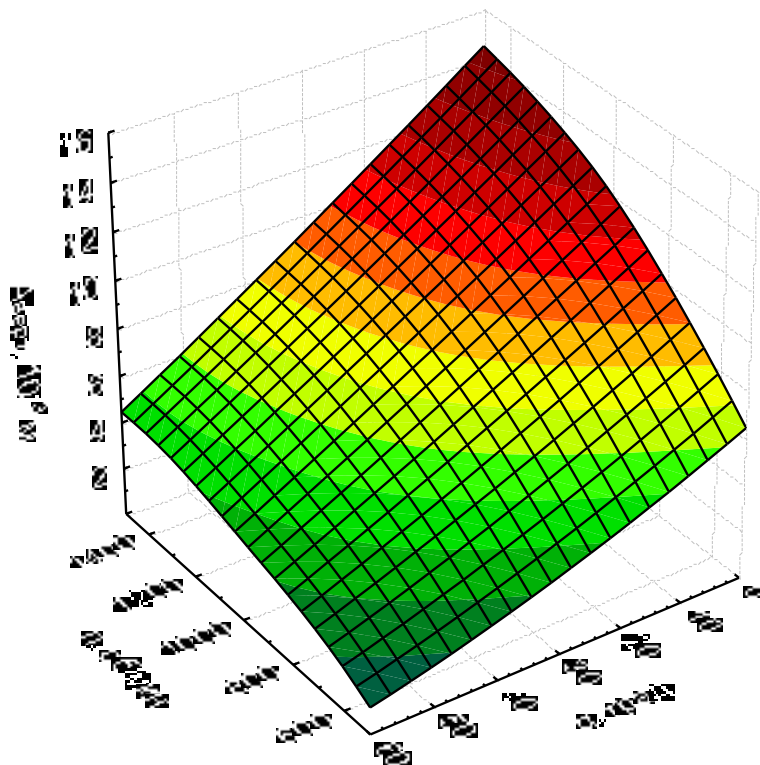


Рисунок 4.13. Поверхность отклика, характеризующая амплитуду вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия от частоты вращения дебалансов и угла наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости

По полученным в ходе эксперимента данным, были так же получены поверхности откликов для зависимости амплитуды вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия от действия пар возмущающих факторов:  $a(X_2)$  и  $V(X_1)$ ;  $\alpha(X_4)$  и  $V(X_1)$ ;  $\alpha(X_4)$  и  $a(X_2)$ .

Уравнения регрессии соответственно имеют вид:

$$Y_2 = 3562,8X_1X_2^2 - 2111,76X_2^2 - 1562,99X_1X_2 - 1123,66X_1^2X_2^2 + 830,16X_2 + 498,85X_1^2X_2 + 157,83X_1 - 52,71X_1^2 - 52,19 \quad (4.12)$$

$$Y_2 = 32,0551 - 10,5816X_1 + 1,3265X_1^2 + 0,4908X_1X_4 - 0,3609X_4 - 0,1633X_1^2X_4 \quad (4.13)$$

$$Y_2 = -51,3095X_2 + 30,7643 - 11,9048X_2^2 - 11,746X_2^2X_4 + 5,4413X_2X_4 - 0,6986X_4 + 0,3095X_2^2X_4^2 - 0,1415X_2X_4^2 + 0,014X_4^2 \quad (4.14)$$

Соответствующие поверхности откликов представлены на рисунках 4.14, 4.15 и 4.16.

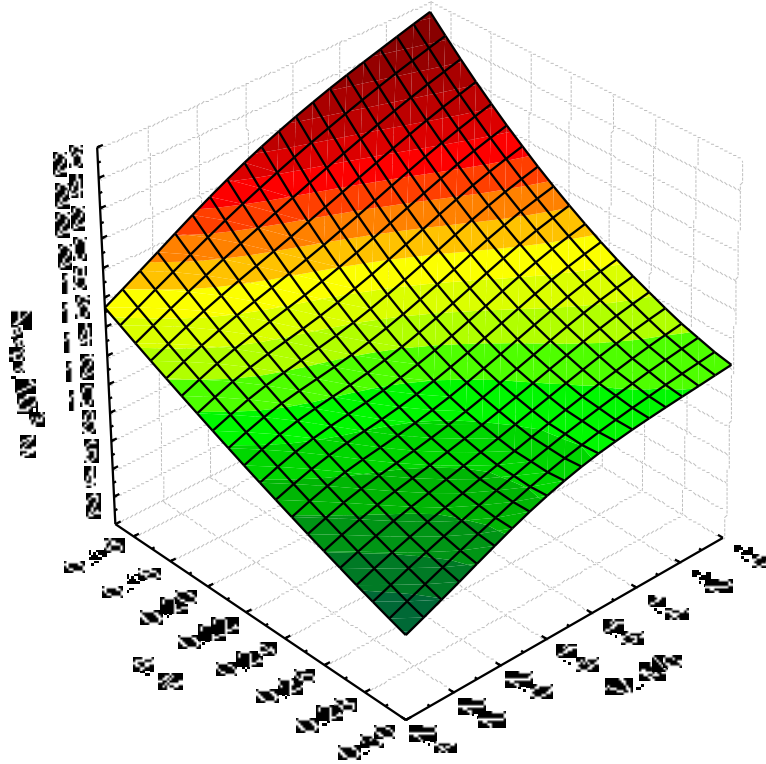


Рисунок 4.14. Поверхность отклика, характеризующая амплитуду вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия от глубины обработки рабочими органами и скорости движения орудия

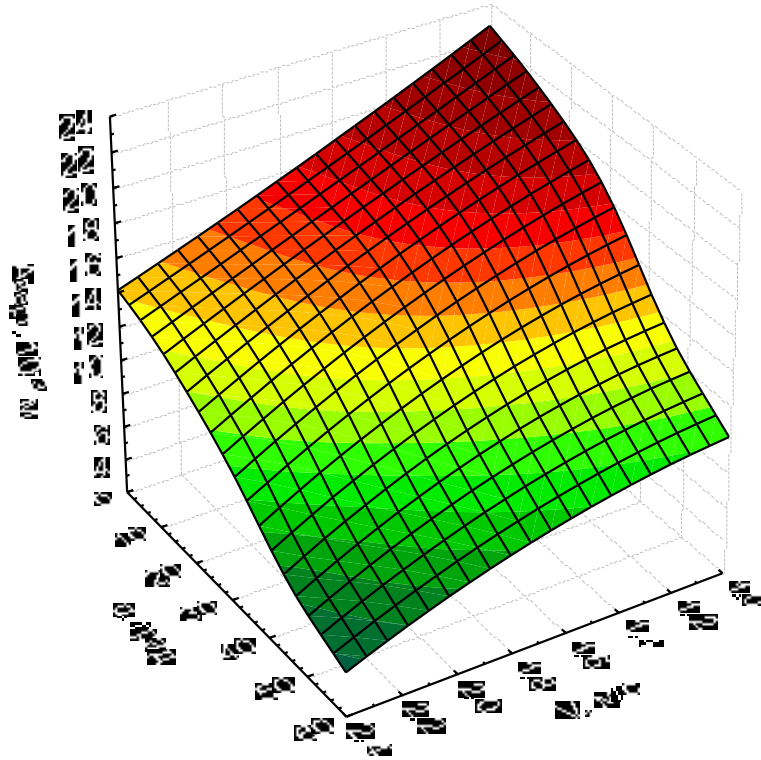


Рисунок 4.15. Поверхность отклика, характеризующая амплитуду вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия от угла наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости и скорости движения орудия

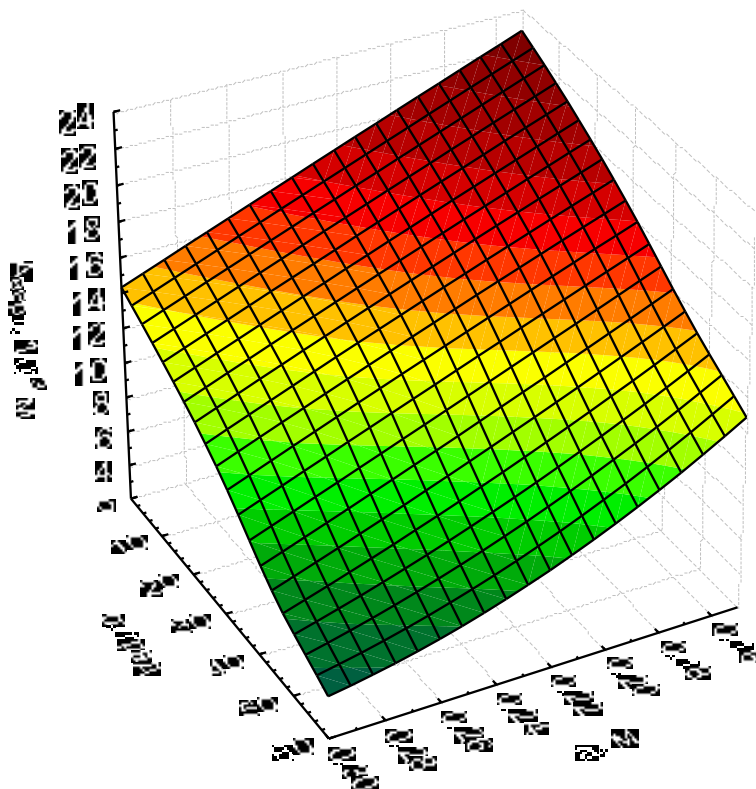


Рисунок 4.16. Поверхность отклика, характеризующая амплитуду вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия от угла наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости и глубины обработки рабочими органами

Представленные на рисунках 4.17-4.20 теоретические и экспериментальные данные, характеризующие зависимость вертикальных колебаний почвообрабатывающего орудия от каждого возмущающего фактора:  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$  показывают близкую сходимость теоретических расчётов с данными опытов.

Анализируя графики, можно отметить, что снижение вертикальных колебаний почвообрабатывающего орудия  $A_{\text{верт}}$  происходит за счёт увеличения скорости движения почвообрабатывающего орудия  $V$ , и увеличения глубины обработки почвы  $a$ , так и снижения частоты вращения дебалансов  $n$ , с увеличением угла наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости.

Зависимость вертикальных колебаний  $A_{\text{верт}}$  почвообрабатывающего орудия от скорости движения агрегата имеет полиномиальный характер (рисунок 4.17)

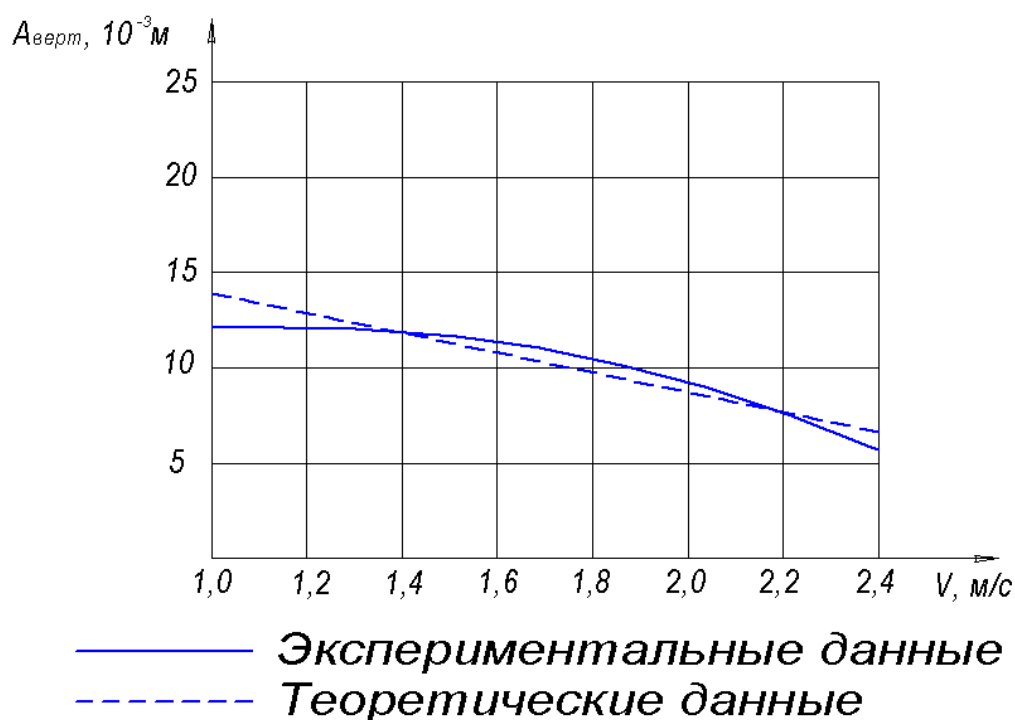


Рисунок 4.17. Зависимость амплитуды вертикальных колебаний почвообрабатывающего орудия от скорости агрегата

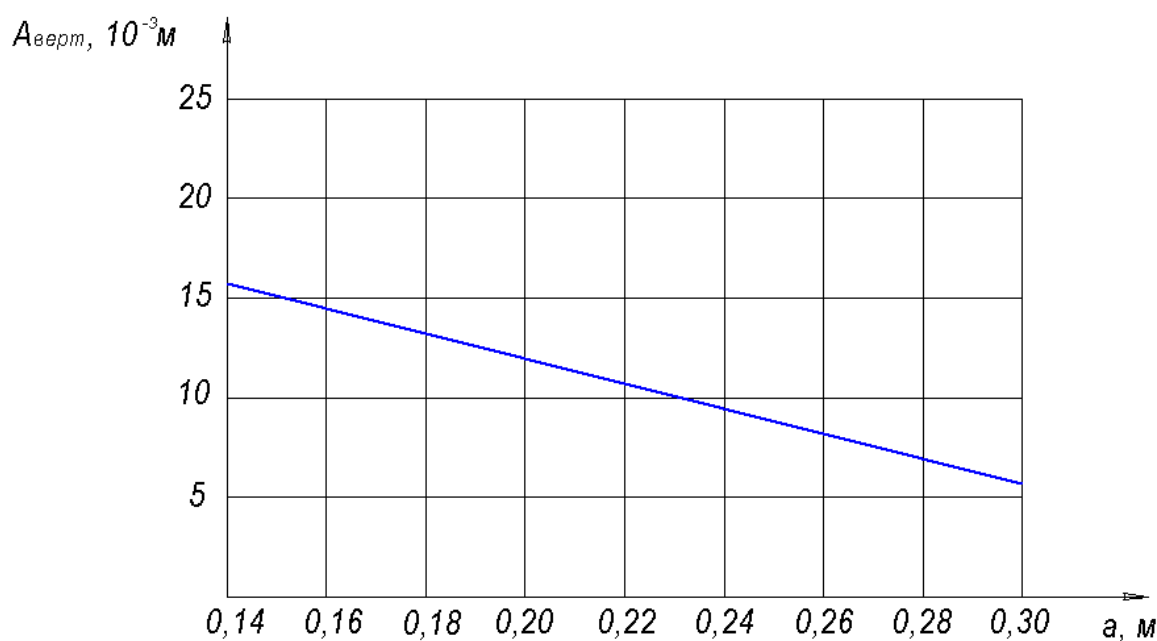
При установленной глубине обработки рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего орудия  $a=0,3$  м, частоте вращения дебалансов  $n=1500$  об/мин, а также угле наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости  $\alpha=45^{\circ}$ , минимальное значение амплитуды колебания почвообрабатывающего орудия в вертикальной плоскости  $A_{\text{верт}}=5,7$  мм составило при скорости  $V=2,4$  м/с. Однако при скорости движения меньше 1,8-2,0 м/с приводит к увеличению вертикальной амплитуды колебания орудия, что не удовлетворяет агротребованиям.

Работа комбинированного почвообрабатывающего орудия на скоростях



$V$  меньше 1,2-1,4 м/с, приводит к неустойчивой работе орудия. При скорости  $V=1,0$  м/с наблюдалось увеличение неравномерности глубины обработки. Данный график свидетельствует о нецелесообразности эксплуатации комбинированного почвообрабатывающего орудия на скоростях меньше  $V < 2,0$  м/с, особенно на пониженных  $V=1,0-1,2$  м/с.

Зависимость амплитуды вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия от глубины обработки почвы  $a$ , носит линейный характер (рисунок 4.18).



**Экспериментальные данные**

Рисунок 4.18. Зависимость амплитуды вертикальных колебаний почвообрабатывающего орудия от глубины обработки почвы

Кривая по теоретическим данным отсутствует, так как в формуле 2.28 отсутствует взаимосвязь между глубиной обработки почвы и амплитудой колебания комбинированного почвообрабатывающего орудия, что нельзя сказать об экспериментальных данных. Причиной этому могут быть неравномерность сопротивления почвы. При движении комбинированного

почвообрабатывающего орудия  $V=2,4$  м/с, частотой вращения дебалансов  $n=1500$  об/мин и угле наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости  $\alpha=45^0$ , абсолютное снижение амплитуды вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия составил  $\Delta A_{\text{верт}}=1,25$  мм с изменением глубины обработки почвы на  $0,02$  м. Максимальное значение амплитуды вертикальных колебаний составило  $A_{\text{верт}}=15,1$  мм, что соответствует глубине обработки почвы  $a=0,15$  м.

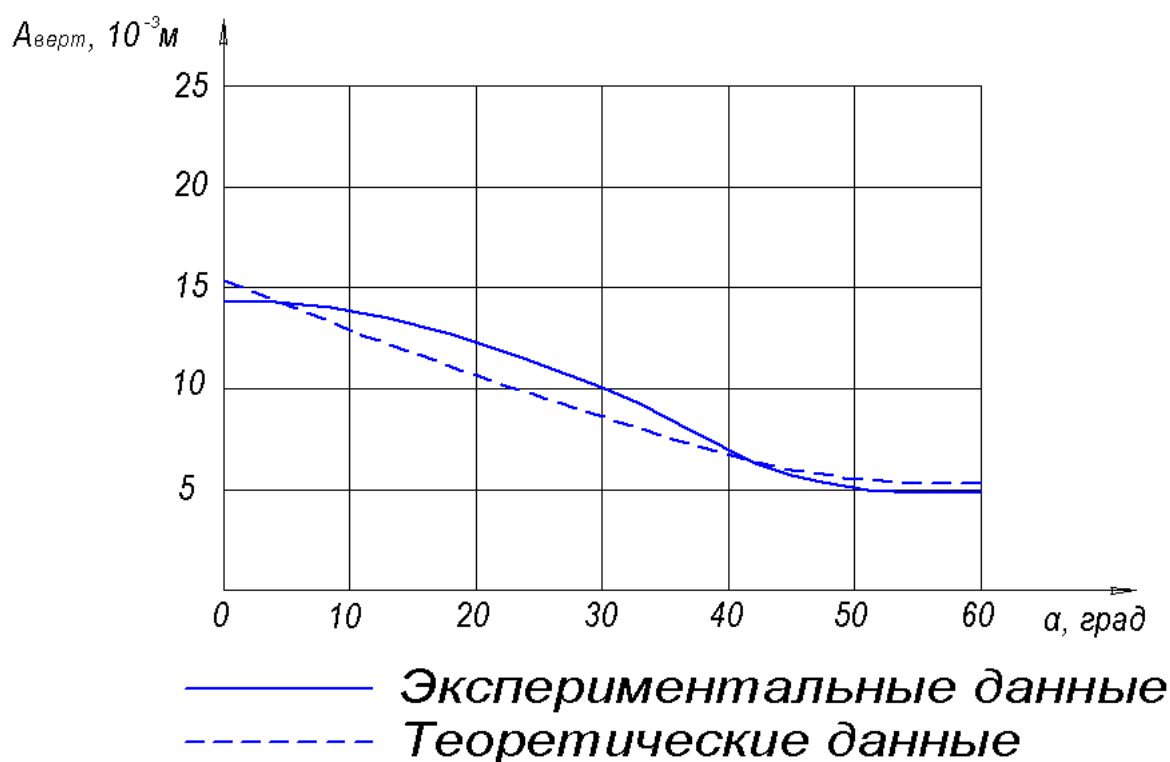


Рисунок 4.19. Зависимость амплитуды вертикальных колебаний почвообрабатывающего орудия от угла наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости

При установленной скорости движения агрегата  $V=2,4$  м/с, глубине обработки почвы  $a=0,3$  м, частоте вращения дебалансов  $n=1500$  об/мин, амплитуда вертикальных колебаний комбинированного почвообрабатывающего орудия с изменением угла наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости  $\alpha$  от  $0^0$  до  $60^0$  изменяется с  $14,3$  мм до  $4,9$  мм (рисунок 4.19).

Эксплуатация комбинированного почвообрабатывающего орудия с установкой маятникового вибратора на угол  $\alpha$  от  $0^{\circ}$  до  $30^{\circ}$  приводит к увеличению амплитуды вертикальных колебаний, что влияет на устойчивость движения орудия.

Увеличение амплитуды вертикальных колебаний  $A_{\text{верт}}$  с увеличением частоты вращения дебалансов обосновывается резким увеличением вертикальной составляющей  $F_y$  по сравнению с весом орудия и вертикальной нагрузкой действующей на рабочие органы (рисунок 4.20).

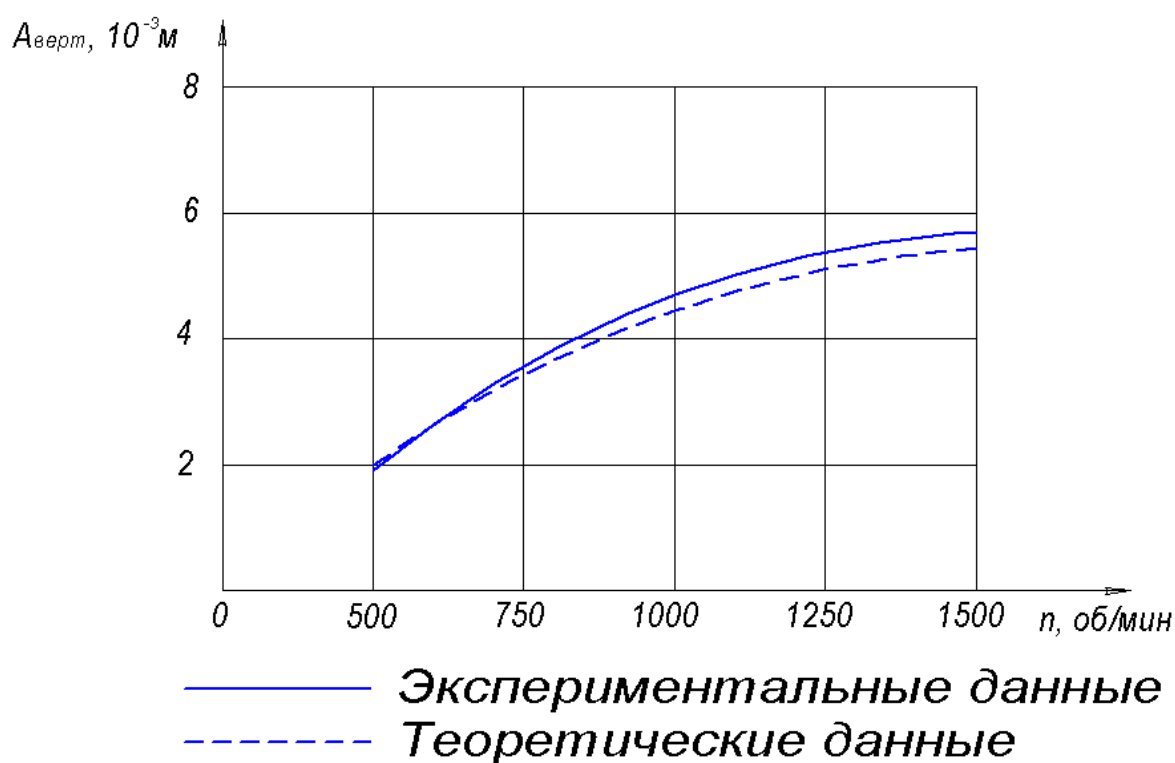


Рисунок 4.20. Зависимость амплитуды вертикальных колебаний почвообрабатывающего орудия от частоты вращения дебалансов

Однако при этом устойчивость комбинированного почвообрабатывающего орудия резко ухудшается.

На основе проведённого анализа зависимостей изменения амплитуды вертикальных колебаний  $A_{\text{верт}}$  ( $Y_2$ ) комбинированного почвообрабатывающего орудия от возмущающих факторов:  $V$  ( $X_1$ ),  $a$  ( $X_2$ ),  $n$

( $X_3$ ),  $\alpha$  ( $X_4$ ) можно рекомендовать следующие оптимальные параметры комбинированного почвообрабатывающего орудия, которые обеспечивают его устойчивую работу: скорость движения почвообрабатывающего агрегата  $V=2,0-2,4$  м/с; глубина обработки почвы  $a=0,26-0,3$  м; частота вращения дебалансов  $n=1300-1500$  об/мин; угол наклона маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости  $\alpha=50-60^\circ$ .

В процессе экспериментальных исследований также определялось влияние четырёх возмущающих факторов:  $V$ ,  $a$ ,  $n$ ,  $\alpha$  на степень крошения почвы, степень сохранности стерни и гребнистость поверхности почвы [26].

По результатам испытаний можно сделать вывод, при всех изменениях возмущающих факторов нарушений технологического процесса визуально не наблюдалось.

Анализ результатов исследований показывает, что устойчивость хода комбинированного почвообрабатывающего орудия по глубине повышается на высоких скоростях и большой глубине обработки почвы.

Результаты экспериментальных исследований комбинированного почвообрабатывающего орудия для основной обработки почвы подтвердили результаты теоретических исследований, энергетических и качественных показателей работы усовершенствованного орудия и свидетельствуют о целесообразности использования нового комбинированного почвообрабатывающего орудия оснащённого механическим вибровозбудителем.

## 5. ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОРУДИЯ С МЕХАНИЧЕСКИМ ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЕМ

Экономическая оценка почвообрабатывающего орудия для основной обработки почвы для нового варианта орудия проводилась по результатам эксплуатационной технологической оценки в производственных условиях хозяйства по сравнению GREGOIRE BESSON HELIOS SP в базовом варианте почвообработки. При проведении экономической оценки использовались известные методики [57, 75, 113].

Основными критериями экономической эффективности применения новой с/х техники являются: получение дополнительной прибыли за счёт снижения себестоимости выполненных операций, при основной обработке почвы.

Экономическую эффективность новых технологий и техники устанавливают путём оценки размера экономического эффекта по новому варианту механизации по сравнению с базовым [57, 75, 113].

Расчёт сравнительной экономической эффективности предлагаемого орудия осуществляется по следующему варианту:

- GREGOIRE BESSON HELIOS SP М при выполнении основной обработки почвы в сравнении с GREGOIRE BESSON HELIOS SP.

Балансовая стоимость трактора и модернизированного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем определяется по формуле:

$$B_n = B_T + C_m + C_{п.д.} + C_{з.п.} + C_{о.п.}, \quad (5.1)$$

где  $B_n$ ,  $B_б$  – балансовая стоимость комбинированного почвообрабатывающего орудия GREGOIRE BESSON HELIOS SP в проектируемом варианте с вибровозбудителем и серийном (базовом) исполнениях соответственно, руб.;

$C_m$  – стоимость материалов (основных и вспомогательных), применяемых при изготовлении маятникового вибратора направленного действия, руб.;

$C_{н.д.}$  – стоимость покупных деталей, узлов, агрегатов, руб.;

$C_{з.п.}$  – заработная плата с отчислениями производственных рабочих, занятых изготовлением и сборкой конструкции, руб.;

$C_{р.п.}$  – общепроизводственные (цеховые) накладные расходы, руб.

Стоимость основных материалов определялась по выражению:

$$C_m = \sum M_i \cdot Ц_i, \quad (5.2)$$

где  $M_i$  – масса израсходованных материалов  $i$ -го вида, кг;

$Ц_i$  – цена 1 кг материала  $i$ -го вида, руб.

Масса материала  $M$  (по видам) определяется по формуле:

$$M = A \cdot M_r^n, \quad (5.3)$$

где  $M_r$  – масса готовой детали (деталей), кг;

$A$  и  $n$  – постоянные, зависящие от материала детали, способов и методов её изготовления, наличия механической обработки и т.д. [57].

Заработная плата производственных рабочих  $C_{з.п.}$  рассчитывается по формуле:

$$C_{з.п.} = C_{о.з.п.} + C_{д.з.п.} + C_{соц}, \quad (5.4)$$

где  $C_{о.з.п.}$  – основная заработная плата, руб.;

$C_{д.з.п.}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$C_{соц}$  – отчисления на социальные нужды, руб.

Основная заработная плата определяется произведением:

$$C_{о.з.п.} = (T_{из} + T_{сб}) \cdot C_ч, \quad (5.5)$$

где  $T_{из}$  – трудоёмкость изготовления элементов изделия, чел.-ч.;

$T_{сб}$  – трудоёмкость сборки, чел.-ч.;

$C_ч$  – часовая тарифная ставка рабочих, исчисляемая по среднему разряду.

Трудоёмкость сборки конструкции определяется по выражению:

$$T_{сб} = K_c \cdot \Sigma t_{сб}, \quad (5.6)$$

где  $K_c$  – коэффициент, учитывающий соотношение между полным и оперативным временем сборки;

$t_{сб}$  – трудоёмкость сборки отдельных элементов конструкции, чел.-ч.

Дополнительную заработную плату можно принять в размере 10% от основной.

Отчисления на социальные нужды определяются по формуле:

$$C_{соц} = K_{от} \cdot (C_{о.з.н.} + C_{д.з.н.}), \quad (5.7)$$

где  $K_{от}$  – коэффициент отчислений, равный 0,395.

Общепроизводственные (цеховые) расходы вычисляются по формуле:

$$C_{о.н.} = \frac{R_{о.н.} \cdot C_{о.з.н.}}{100}, \quad (5.8)$$

где  $R_{о.н.}$  – процент общепроизводственных расходов, равный 120% [57].

Средняя часовая производительность машинно-тракторного агрегата определяется выражением:

$$W_{ч} = 0,1 \cdot V_{д} \cdot B_p \cdot K_{мэ}, \quad (5.9)$$

где  $V_{д}$  – действительная средняя скорость движения агрегата, км/ч;

$B_p$  – рабочая ширина захвата культиватора, м;

$K_{мэ}$  – коэффициент, характеризующий отклонение технической производительности агрегата от эксплуатационной.

Так как будет наблюдаться снижение тягового усилия на крюке МЭС, то будет возникать прирост производительности агрегата, определяемый следующим образом:

$$\Delta W_{ч} = \frac{V_T \cdot \lambda_{\delta} \cdot \overline{\delta}_{эксн}^{сер} \cdot B_p \cdot K_{мэ}}{1000}, \quad (5.10)$$

где  $V_T$  – теоретическая скорость поступательного движения трактора, м/с;

$\lambda_{\delta}$  – расхождение среднего значения коэффициента буксования за опыт, %;

$$\lambda_{\delta} = \frac{\overline{\delta}_{\text{эксп}}^{\text{сер}} - \overline{\delta}_{\text{эксп}}^{\text{проект}}}{\overline{\delta}_{\text{эксп}}^{\text{сер}}} \cdot 100, \quad (5.11)$$

где  $\overline{\delta}_{\text{эксп}}^{\text{сер}}$  и  $\overline{\delta}_{\text{эксп}}^{\text{проект}}$  – текущие значения коэффициента буксования в опытах с серийным почвообрабатывающим орудием и проектируемой соответственно.

На основании теории, профессора И.И. Трепененкова [109], зависимость коэффициента буксования от крюковой силы определяется по выражению:

$$\delta = \frac{C \cdot \varphi_{\text{см}}}{1 - d \cdot \varphi_{\text{см}}^k}, \quad (5.12)$$

где  $C$  и  $d$  – постоянные коэффициенты. Для колёсных тракторов  $C=0,246$ ,  $d=3,06$ ;

$\varphi_{\text{см}}$  – текущее значение коэффициента использования сцепной массы;

$k$  – показатель степени,  $k=3$ .

$$\varphi_{\text{см}} = \frac{P_{\text{кр}}}{G}, \quad (5.13)$$

Затраты труда на единицу работ выражаются равенством:

$$T_p = \frac{n}{W_q}, \quad (5.14)$$

где  $n$  – количество рабочих, занятых на операции, чел.

Удельную энергоёмкость можно определить выражением:

$$F = \frac{N_{\text{ен}}}{W_q}, \quad (5.15)$$

где  $N_{\text{ен}}$  – мощность двигателя на номинальном режиме, кВт.

Удельный расход топлива определялся следующим образом:

$$g_{y\delta} = \frac{G_q}{W_q}, \quad (5.16)$$



где  $G_q$  – часовой расход топлива, кг/ч.

Прямые эксплуатационные затраты на единицу объёма работ:

$$I_T = I_{3П} + I_A + I_P + I_G, \quad (5.17)$$

где  $I_{3П}$  – заработная плата производственных рабочих, руб/га;

$I_A$  – амортизационные отчисления, руб/га;

$I_P$  – отчисления в ремонтный фонд, руб/га;

$I_G$  – стоимость горюче-смазочных материалов, руб/га.

Зарботная плата рабочих определяется исходя из часовой тарифной ставки механизатора с учётом отчислений на социальные нужды.

$$I_{3П} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \tau_i \cdot k_3 \cdot \frac{k_n}{W_q}, \quad (5.18)$$

где:  $m_i$  – количество обслуживающего  $i$ -го персонала, чел;

$\tau_i$  – часовая тарифная ставка в соответствии с  $i$ -тарифной сеткой, руб/чел;

$k_3$  – коэффициент начислений на зарплату: натуроплата на готовые отчисления в региональный бюджет, начисляемые от уровня часовой оплаты труда с учётом коэффициента сложности,  $k_3=1,829$ ;

$k_n$  – повышающий коэффициент, учитывающий надбавки, доплаты и премии (классность, стаж, качество работы, доплата за продукцию и т.д.),  $k_n=1,9$ ;

Затраты на реновацию:

$$I_A = \frac{B_i \cdot a}{W_q \cdot T}, \quad (5.19)$$

где:  $B_i$  – балансовая стоимость техники, руб;

$a$  – коэффициент отчисления на амортизацию;

$T$  – годовая загрузка машины, ч.

Отчисления в ремонтный фонд (на капитальный и текущий ремонты и все виды технического обслуживания и хранения машин) рассчитываются по формуле:

$$I_p = \frac{B_i \cdot r}{W_q \cdot T}, \quad (5.20)$$

где  $r$  – коэффициент отчислений в ремонтный фонд.

Стоимость горюче-смазочных материалов определяется по формуле:

$$I_G = g_{y\partial} \cdot Ц_T, \quad (5.21)$$

где  $Ц_T$  – приведённая стоимость единицы ГСМ, руб.

Удельные капитальные вложения определяют по формуле

$$K_{y\partial} = \frac{B_i}{W_q \cdot T}, \quad (5.22)$$

Удельные приведённые затраты рассчитываются по выражению:

$$i_j = I_{Tj} + \varepsilon_m \cdot K_{y\partial j}, \quad (5.23)$$

где  $\varepsilon_m$  – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капиталовложений,  $\varepsilon_m=0,15$ .

Расчёт коэффициента потенциального резерва проекта проводился в следующем порядке:

Граница эффективности

$$\Gamma_{\varepsilon} = \frac{i_n \cdot W_{чп}}{i_б \cdot W_{чб}}, \quad (5.24)$$

где  $i_n$ ,  $i_б$  – соответственно удельные приведённые затраты проектируемого и базового вариантов;

$W_{чп}$ ,  $W_{чб}$  – соответственно часовая производительность проектируемого и базового вариантов.

Фактическое соотношение производительностей

$$B_{\phi} = \frac{W_{чп}}{W_{чб}}, \quad (5.25)$$

Коэффициент потенциального резерва эффективности

$$K_{pz} = \frac{B_{\phi} - \Gamma_{\varepsilon}}{\Gamma_{\varepsilon}}, \quad (5.26)$$

Полученный коэффициент превосходит нормативный, равный 0,1. Это значит, что применение маятникового вибратора направленного действия находится в зоне достаточной эффективности и его можно уверенно внедрять в производство.

Показатель снижения эксплуатационных затрат, %:

$$C_{\text{э}} = \frac{I_{T\delta} - I_{Tn}}{I_{T\delta}}, \quad (5.27)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет

$$T_o = \frac{K_{\text{уд.б.}} - K_{\text{уд.п.}}}{I_{T\delta} - I_{Tn}}, \quad (5.28)$$

Годовая экономия от снижения себестоимости выполненной операции определяется по формуле:

$$\text{Э}_Г = (I_{T\delta} - I_{Tn}) \cdot T, \quad (5.29)$$

Годовая экономия эксплуатационных затрат с единицы объёма работ:

$$\text{Э}_{Г\text{уд}} = \frac{\text{Э}_Г}{T}, \quad (5.30)$$

Показатели сравнительной экономической эффективности экспериментального почвообрабатывающего агрегата с существующим представлены в таблице 5.1.

Расчёты экономической эффективности применения комбинированного почвообрабатывающего агрегата с колебательным контуром показывает снижение эксплуатационных затрат за счёт того, что снижается тяговое сопротивление почвообрабатывающего агрегата. В связи с этим предоставляется возможность сократить затраты на его эксплуатацию.

Комбинированный почвообрабатывающий агрегат с вибровозбудителем позволяет использовать МЭС с меньшим тяговым классом. Применение комбинированного почвообрабатывающего агрегата GREGOIRE BESSON HELIOS SP M позволило снизить тяговое сопротивление на 15-23% в зависимости от почвенных условий, и снизить

удельный расход топлива при основной обработке почвы на 20-25%.

Таблица 5.1.

## Показатели сравнительной экономической эффективности

| Показатели  | Базовый вариант<br>New Holland<br>T 9040+GREGOIRE<br>BESSON HELIOS SP | Новый вариант<br>New Holland<br>T 9040+GREGOIRE<br>BESSON HELIOS SP M |
|---|---|---|
| Средняя часовая производительность, га/ч.                 | 4,16  | 4,28  |
| Годовой объём работ, га                                   | 2500  | 2500  |
| Затраты труда на единицу работы, чел-ч./га                | 0,24  | 0,23  |
| Удельная энергоёмкость, кВт-ч./га                         | 76,5  | 74,36   |
| Удельный расход топлива, кг/га                            | 22,6  | 17,2  |
| Прямые эксплуатационные затраты, руб/га                   | 441,15  | 362,7   |
| Удельные капитальные вложения, руб/га                     | 125   | 138,3   |
| Удельные приведённые затраты, руб/га                      | 459,9   | 383,44  |
| Коэффициент прогрессивности                               | 0,16  |   |
| Показатель снижения эксплуатационных расходов, %          | 17,78   |   |
| Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет | 0,15  |   |
| Годовая экономия, руб                                     | 143219  |   |

Однако, при определении экономической эффективности по объективным причинам не учитывались вопросы снижения технологической

надёжности почвообрабатывающего орудия и сцепного устройства МЭС, снижения износа шин и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур. В связи с этим полученные экономические показатели, на наш взгляд, являются приближенными и могут не значительно изменяться в одну или другую сторону, что существенно не повлияет на потенциальную эффективность использования вибрационной почвообрабатывающей машины.

Таким образом, методика оценки реализации результатов диссертационных исследований основана на сравнении энергозатрат серийной и экспериментальной моделей комбинированного почвообрабатывающего орудия по усреднённым значениям тягового сопротивления в соответствии с определённым типом почв.

## ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИССЕРТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Проблема большого тягового сопротивления комбинированных почвообрабатывающих орудий для основной обработки почвы является актуальной. Это обосновало необходимость использования в конструкции машины вибровозбудителя, позволяющего за счёт физического эффекта вибрации снизить энергоёмкость процесса.
2. Разработана теоретическая модель силового взаимодействия рабочих органов с почвой комбинированного почвообрабатывающего орудия оснащённого вибровозбудителем, которая позволяет оценить режимно-конструктивную эффективность использования энергии колебаний в зависимости от характеристик агрофона. Полученная модель адекватна для следующих диапазонов обрабатываемого агрофона: твёрдость почвы 1,0-2,3 МПа, вязкость почвы 4500-6000 Н·с/м, упругость почвы 30-60 Н/м, плотность почвы 1800-2000 кг/м<sup>3</sup> при скорости движения агрегата  $V=1,0...2,4$  м/с и глубине обработки почвы  $a=0,15-0,3$  м. Установлено, что для реализации возмущающей силы, компенсирующей силы сопротивления в реологической модели почвы, вибровозбудитель должен иметь следующие выходные характеристики: угол поворота маятникового вибратора в продольно-вертикальной плоскости  $\alpha=0...60^0$ ; частота вращения дебалансов  $n=500-1500$  об/мин; масса дебалансов  $m=4,95$  кг.
3. Обоснованы аналитические закономерности, характеризующие тяговое сопротивление комбинированного почвообрабатывающего орудия с маятниковым вибратором направленного действия в зависимости от его конструктивно-геометрических параметров, физико-механических свойств почвы и агротехнологических параметров работы (формулы (11), (12)).
4. В результате теоретических и экспериментальных исследований обоснована конструкция маятникового вибратора направленного действия которая защищена патентами РФ на изобретения № 2415526 и № 2472328.

5. Проведённый многофакторный эксперимент позволил определить закономерности изменения параметров оптимизации (тягового сопротивления комбинированного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем  $F_T$  и амплитуды вертикальных колебаний  $A_{\text{верт}}$ ) от пяти возмущающих факторов: скорости движения агрегата  $X_1$ , глубины обработки почвы  $X_2$ , частоты вращения дебалансов  $X_3$ , угла наклона корпуса маятникового вибратора к раме машины  $X_4$ , расстояния от сцепки до крепления маятникового вибратора на раме машины  $X_5$ . В результате экспериментальных исследований установлено, что данные, теоретических исследований, обладают высокой сходимостью и с достаточной точностью (2-5%) описывают реальный процесс.

6. Полевыми испытаниями установлены закономерности, характеризующие эффективность использования предлагаемого комбинированного почвообрабатывающего орудия оснащённого механическим вибровозбудителем, которые показали снижение тягового сопротивления орудия на 23%, удельного расхода топлива на 23,8%, при соблюдении агротехнических требований на данный вид обработки почвы.

7. Расчёты экономической эффективности применения маятникового вибратора на комбинированном почвообрабатывающем орудии для основной обработки почвы показали, что годовой экономический эффект составляет 78,45 руб/га при сроке окупаемости дополнительных капитальных вложений 2 года и годовой загрузке 2500 га.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Аджиловский, А.Д. Исследование особенностей основной обработки почвы Северного Зауралья плугами с роликовыми отвалами. Автореф. дис. канд. техн. наук. Челябинск, 1968. – 20 с.
2. Алибаев, А.А. Влияние способов обработки почвы и удобрений на плодородие чернозёма выщелоченного и урожайность зерновых культур [Текст] / А.А. Алибаев, Р.М. Зигануров, Г.И. Назмутдинова // Молодёжная наука в АПК: проблемы и перспективы. Материалы научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов. – Уфа: БГАУ, 2005. – С. 3-4.
3. Анискин, В.И. Новые плуги с активными отвалами [Текст] / В.И. Анискин, П.Н. Бурченко, Н.Г. Березин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. - № 2. – С. 6-8.
4. Анискин, В.И. Почвовлагодерегающая техника для засушливого земледелия [Текст] / В.И. Анискин, В.В.Покровский // Техника и оборудование для села. – М., 2001. - №4.
5. Базаров, М.К. Мах информации при min сложности методов количественного анализа [Текст] / М.К. Базаров, П.И. Огородников // Пособие начинающему исследователю. – Екатеринбург, 2008. – С. 197-205.
6. Барабашюк, В.И. Планирование эксперимента в технике [Текст] / В.И. Барабашюк, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко. – К.: Техника, 1984. – 200 с.
7. Бауман, В.А. Вибрационные машины и процессы в строительстве [Текст] / В.А. Бауман, И.И. Быховский // Учебное пособие для студентов строительных и автомобильно-дорожных вузов. - М.: Высшая школа, 1977. – 255 с.
8. Беляев, Н.М. Технологии разуплотнения почвы [Текст] / Н.М. Беляев, Д.С. Буклагин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. –1991. - №11 – С. 6-8.



9. Бурченко, П.Н. Подготовка почвы для возделывания зерновых культур [Текст] / П.Н. Бурченко, Ю.Н. Кузнецов, Б.А. Кашаев // Техника в сельском хозяйстве. – 1986. - №2. – С. 3-8.
10. Быховский, И.И. Основы теории вибрационной техники [Текст] / И.И. Быховский. М.: Машиностроение, 1969. – 360 с.
11. Быховский, И.И. Центробежный вибрационный привод строительных и дорожных машин [Текст] / И.И. Быховский, А.М. Валенкин. М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1968. – 184 с.
12. Вадюнина, А.Ф., Методы исследований физических свойств почв [Текст] / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина // Учебное пособие для вузов 3-е издание переработанное и дополненное. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
13. Васильев, А.В. Тензометрирования и его применение в исследованиях тракторов [Текст] / А.В. Васильев, Д.М. Раппопорт. – М.: Колос, 1985. – 324 с.
14. Васильев, В.В. Создание почвообрабатывающих машин нового поколения [Текст] / В.В. Васильев, В.Н. Зволинский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. М., 2003. - №11.
15. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.
16. Верняев, О.В. Активные рабочие органы культиваторов [Текст] / О.В. Верняев // М.: Машиностроение, 1983. – С. 3-5.
17. Вилде, А.А. Комбинированные почвообрабатывающие машины [Текст] / А.А. Вилде, А.Х. Цесниекс, Ю.П. Моритис и др. – Л.: Агропромиздат. Ленинград. отд-ние, 1986. – 128 с.
18. Виноградов, В.И. Взаимодействие рабочих органов лемешного плуга с почвой и методы снижения энергоёмкости пахоты [Текст] / В.И. Виноградов // Автореф. дисс. докт. техн. наук. – Саратов, 1967. – 78 с.
19. Влияние жидкостной смазки рабочих органов на тяговое сопротивление культиватора глубокорыхлителя. – В книге: Механизация

- сельскохозяйственного производства. Сб. науч. Трудов ЧИМЭСХ, Вып. 43, ч. 2 – Челябинск, 1969. – 19 - 27 с.
20. Гальперин, М.И. Вибратор на стройке [Текст] / М.И. Гальперин, В.Д. Абезгауз. - М.: Стройиздат, 1964. – 263 с.
21. Гладков, С.Н. Электромеханические вибраторы [Текст] / С.Н. Гладков. М.: Машиностроение, 1966. – 210 с.
22. Горячкин, В.П. Собрание сочинений [Текст] / В.П. Горячкин // Том 1. - М.: Колос, 1968. – 720 с.
23. Горячкин, В.П. Собрание сочинений [Текст] / В.П. Горячкин // Том 2. - М.: Колос, 1968. – 480 с.
24. Горячкин, В.П. Собрание сочинений [Текст] / В.П. Горячкин // Том 3. - М.: Колос, 1968. – 360 с.
25. ГОСТ 10.22 2002 «Испытание сельскохозяйственной техники»
26. ГОСТ 24057-88 Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки машин на этапе испытаний.
27. Гридасов, И.И. Эффективность гектара / И.И. Гридасов. - Челябинск, Южно-Уральское кн. изд-во, 1979. – 170 с.
28. Гридасов, И.И. Система ведения сельского хозяйства Оренбургской области [Текст] / И.И. Гридасов, Н.И. Востриков, М.И. Гурова и др. // Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1981. – 303 с.
29. Долинский, Е.Ф. Обработка результатов измерений [Текст] / Е.Ф. Долинский. – М.: Издательство стандартов, 1973. – 192 с.
30. Дроздов, С.Н. Роль вынужденных гармонических колебаний в совершенствовании современных почвообрабатывающих машин [Текст] / С.Н. Дроздов, Д.П. Юхин // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК. Выпуск №9. Материалы международной научно-технической конференции. – Оренбург, 2009. – С. 116-119.
31. Дроздов, С.Н. Использование вибрации в почвообрабатывающих машинах [Текст] / С.Н. Дроздов // Известия ОГАУ. – 2011. - №4. - С. 94-96.

32. Дроздов С.Н. Использование вынужденных колебаний для снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих машин [Текст] / С.Н. Дроздов, И.З. Аширов, А.А. Сорокин, О.Я. Набокина // Известия ОГАУ. – 2013. - №1. – С. 46-48.
33. Дубровский, А.А. Вибрационная техника в сельском хозяйстве [Текст] / А.А. Дубровский. - М.: Машиностроение, 1968, - 204 с.
34. Дубровский, Н.Г. Строительные машины (в 2-х ч.) [Текст] / Н.Г. Дубровский, М.И. Гальперин // Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по спец. «Строит. и дор. машины и оборуд.». Ч. II. М.: Высшая школа, 1985. – 224 с.
35. Желиговский, В.А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов [Текст] / В.А. Желиговский. – Тбилиси. «Ленинское знамя», 1960. – 148 с.
36. Жук, З.Я. Концепция и возможные направления развития технологии и техники сельскохозяйственного производства будущего [Текст] / З.Я. Жук, А.Ю. Победоносцев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – М., 1992. – №1. – С. 1-6.
37. Жук, А.М. Эффективность комбинированных агрегатов [Текст] / А.М. Жук // Сельский механизатор. – М: 2005. – №10. – С. 12-13.
38. Золотарёв, С.А. Обоснование технологического процесса и параметров плуга для гладкой вспашки [Текст] / С.А. Золотарёв // Автореф. дисс. на соискание уч. степ. канд. техн. наук. – М., 2005. – С. 21.
39. Кислов, А.В. Система обработки южных чернозёмов Оренбургского Предуралья [Текст] / А.В. Кислов // Наука и хлеб. Сборник научных работ. – Оренбург, 2001. – № 7. – С. 102-109.
40. Клёнин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Н.И. Клёнин, В.А. Сакун - М.: Колос, 1994 - 751 с.
41. Ковриков, И.Т. Силовой анализ шарнирных плугов [Текст] / И.Т. Ковриков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М., 1969. - №12.

42. Ковриков, И.Т. Определение тягового сопротивления ассиметричного разуплотнителя [Текст] / И.Т. Ковриков, И.В. Попов, А.А. Митин // Труды сотрудников и преподавателей факультета механизации сельского хозяйства. Том 2. Труды Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург: ОГАУ, 1998. – С. 49-52.
43. Ковриков, И.Т. Совершенствование технологических процессов и средств механизации при возделывании зерновых культур в засушливых условиях восточных районов Оренбуржья [Текст] / И.Т. Ковриков, В.Д. Хопернинов. - Земледелье, 1975. - №8.
44. Ковриков, И.Т. Основы научных исследований [Текст] / И.Т. Ковриков. – Оренбург, 1999. – 208 с.
45. Коган, А.Б. Исследование плуга с вибрирующими долотами [Текст] / А.Б. Коган, А.П. Швейкин // Состояние и перспективы развития почвообрабатывающих машин, фрез и культиваторов. Материалы НТС ВИСХОМ, вып. 25. – М., 1968. – С. 157-161.
46. Колесников, Л.Д. Особенности земледелия на Южном Урале (прошлое, настоящее, будущее) [Текст] / Л.Д. Колесников. – Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1992. – 230 с.
47. Константинов М.М. Снижение тягового сопротивления почвообрабатывающих машин с использованием вибрации [Текст] / М.М. Константинов, С.Н. Дроздов // Агроинженерная наука – сельскохозяйственному производству. Сборник докладов международной научно-практической конференции Ч.П. - Костанай, 2012. – С. 41-46.
48. Константинов, М.М. Обоснование параметров вибрационных почвообрабатывающих машин [Текст] / М.М. Константинов, С.Н. Дроздов, Д.П. Юхин // Известия ОГАУ. – 2012. - №5. - С. 77-80.
49. Константинов, М.М. Снижение тягового сопротивления комбинированных широкозахватных машин [Текст] / М.М. Константинов, С.Н. Дроздов // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. - №6. – С. 34-36.

50. Корляков, Н.А. Агрономия с основами ботаники [Текст] / Н.А. Корляков. – М.: Колос, 1980. – 423 с.
51. Крючков, А.Г. Проблемы агроэкологического районирования зерновых культур [Текст] / А.Г. Крючков // Наука и хлеб. Сборник научных работ. – Оренбург, 2001. – №7. – С. 102-109.
52. Ксенович, И.П. Ходовая система – почва – урожай [Текст] / И.П. Ксенович, и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.
53. Кузнецов, П.И. Яровая пшеница в Зауралье [Текст] / П.И. Кузнецов. – Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1980. – 127 с.
54. Кучеренко, В.Д. Почвы Оренбургской области [Текст] / В.Д. Кучеренко. – Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 1972. – 120 с.
55. Лавендела, Э.Э. Вибрации в технике [Текст] / Э.Э. Лавендела // Справочник в 6-ти томах. – М.: Машиностроение, 1981. – Том 4. - Вибрационные процессы и машины. - 509 с.
56. Лашко, А.Г. Обоснование рациональных параметров вибрационного катка с пневмошинным рабочим органом для уплотнения грунтов [Текст] / А.Г. Лашко // Автореф на соиск. Учён. степ. канд. техн. наук. – Омск, 2012. – 23 с.
57. Лебедянец, В.В. Экономическая оценка эффективности мероприятий по совершенствованию ремонтно-обслуживающего производства в агропромышленном комплексе / В.В. Лебедянец. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2002. – 34 с.
58. Левитский, Н.И. Колебания в механизмах [Текст] / Н.И. Левитский // Учеб. пособие для вузов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 336 с.
59. Летошнев, М.Н. Сельскохозяйственные машины [Текст] / М.Н. Летошнев // Теория, расчёт, проектирование и испытание. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 764 с.

60. Маматов, Ф.М. Комбинированный фронтальный плуг с активными рабочими органами [Текст] / Ф.М. Маматов, И.Т. Эргашев, С.И. Исломов. – МЭСХ – М., 2001. – №8. – С. 28-29.
61. Макаров, И.П. Ресурсосберегающие системы обработки почвы [Текст] / И.П. Макарова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 242 с.
62. Максютлов, Н.А. Минимализация основной обработки почвы в полевых севооборотах степной зоны Оренбуржья [Текст] / Н.А. Максютлов, В.М. Жданов Г.А. Кремер, Л.Ф. Мотвиенко // Наука и хлеб. Сборник научных трудов. – Оренбург, 2001. – №7. – С. 110-133.
63. Мазитов, Н.К. Усовершенствование культиваторов КПС-4 [Текст] / Н.К. Мазитов, Г.В. Хаецкий, Д.З. Файрушин, И.Э. Гарипов, И.Т. Хлызов, И.Р. Рахимов, Р.Р. Халиуллин, В.Р. Алфеев // Достижения науки и техники. Теоретический и научно-практический журнал. – 2007. - №3.
64. Мазитов, М.А. Маятниковый вибратор на почвообрабатывающем орудии [Текст] / М.А. Мазитов, А.С. Подуруев, С.Н. Дроздов // – Сельский механизатор, 2011. - №10. – С. 8-9.
65. Миклашевский, Е.П. Распространение колебаний при внутреннем вибрировании [Текст] / Е.П. Миклашевский // Труды ВИА им. В.В. Куйбышева, вып. 177, 1961.
66. Мильцев, А.И. Результаты испытаний пластмассовых отвалов [Текст] / А.И. Мильцев // Состояние и перспективы развития почвообрабатывающих машин, фрез и культиваторов. Материалы НТС ВИСХОМ, вып. 25. – М., 1968. – С. 241-250.
67. Митин, А.А. Условия работы и обоснование параметров плуга-рыхлителя [Текст] / А.А. Митин // Труды сотрудников и преподавателей факультета механизации сельского хозяйства. Том 3. Труды Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург: ОГАУ, 1999. – С. 47-48.
68. Муха, В.Д. Агрономия [Текст] / В.Д. Муха. – М.: Колос, 2001. – 504 С.

69. Научное обеспечение инновационного развития АПК. Материалы посвященной 90 летию государственности Удмуртии 16-19 февраля 2010 года. Том 1. ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА 2010.
70. Научные труды ЧИМЭСХ. Динамика почвообрабатывающих агрегатов и рабочие органы для обработки почвы. – Челябинск, 1982. – 99 с.
71. Немец, И. Практическое применение тензорезисторов [Текст] / И. Немец. - Пер. с чешск. – М.: Энергия, 1970. – 144 с.
72. Нечаева, Е.Х. Влияние систем удобрения и основной обработки почвы на симбиотическую активность и урожайность гороха в условиях лесостепи Заволжья [Текст] / Е.Х. Нечаева // Повышение устойчивости биоресурсов на адаптивно-ландшафтной основе. - Ч.1. Материалы международной научно-практической конференции. – Оренбург, 2003. – С. 155-159.
73. Обработка почвы с помощью сжатого воздуха: Экспресс информация ЦНИИТЭН. – М., 1984. - №3.
74. Орлов, В.А. Как наливаются колос [Текст] / В.А. Орлов. – Челябинск, Южно-Уральское кн. изд-во, 1978. – 181 с.
75. ОСТ 10 2.18 – 2001. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки.
76. ОСТ 10 2.2 – 2002. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы энергетической оценки.
77. ОСТ 10 4.1 – 2001. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей.
78. Панов, И.М. Механико-технологические основы расчёта и проектирования почвообрабатывающих машин с ротационными рабочими органами [Текст] / И.М. Панов // Автореф. дисс. докт. техн. наук. Челябинск, 1984. – 36 с.
79. Панов, И.М. Почвообрабатывающая техника: состояние и проблемы развития [Текст] / И.М. Панов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – М., 2003. – №11. – С. 9-11.

80. Пановко, Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем [Текст] / Я.Г. Пановко, И.И. Губанова // Современные концепции, парадоксы и ошибки. – М.: Наука, 1967. – 420 с.
81. Пархоменко, Г.Г. Комбинированные агрегаты для основной обработки почвы в засушливых условиях [Текст] / Г.Г. Пархоменко, В.Б. Рыков // – Достижения науки и техники АПК, 2005. - №7. – С. 38-39.
82. Патент РФ №2169998 А01В15/00. Корпус плуга. / В.М. Бойков, А.Н. Беднов, С.В. Старцев, С.А. Бобков, В.М. Бойков. Заяв. 18.04.2000. Опубл. 10.07.2001. Бюл. №19.
83. Патент РФ №2415526 А01В35/32, А01В39/28. Почвообрабатывающий агрегат. / М.М. Константинов, Д.П. Юхин, С.Н. Дроздов. Заяв. 09.10.2009. Опубл. 10.04.2011. Бюл. №10.
84. Патент РФ №2472328 А01В35/32, А01В39/28. Устройство для автоматического регулирования технологического процесса почвообрабатывающей машины. / С.Н. Дроздов. Заяв. 20.05.2011. Опубл. 20.01.2013. Бюл. №2.
85. Печерцев, Н.А. Исследование процесса взаимодействия рабочих органов культиватора-плоскореза с почвой [Текст] / Н.А. Печерцев // Автореф. Дис. ...канд.техн.наук. – Челябинск: ЧИМЭСХ, 1975.
86. Плюснин, А.П. Обработка почвы чизельными плугами [Текст] / А.П. Плюснин, А.Н. Кравченко, Ю.К. Гридина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М., 1988. – №5. – С. 22-23.
87. Подскребко, М.Д. Влияние скорости деформации на сопротивление почвы растяжению [Текст] / М.Д. Подскребко // Научн. тр. ЧИМЭСХ, вып. 56. – Челябинск, 1970. – С. 126-136.
88. Позняков, Ю.В. Изменение коэффициента трения почвы при гидродинамическом скольжении [Текст] / Ю.В. Позняков, В.Ф. Сичкарь // Земледелие Заралья: Сб. научных работ Курганского СХИ вып. 13. – Курган, 1968. – С. 161-169.



89. Покровский, В.В. Многофункциональный глубокорыхлитель [Текст] / В.В. Покровский // Техника в сельском хозяйстве. – М., 2004. - №2.
90. Попов, И.В. Разработка и обоснование параметров машины для плоскорезной обработки почвы с одновременным разуплотнением подпахотного слоя [Текст] / И.В. Попов // Атореф на соиск. Учён. степ. канд. техн. наук. – Оренбург, 1996. – 20 с.
91. Программа «Испытания» (версия 3.4): руководство по эксплуатации. РосНИИТиМ, 19 с.
92. Проспект ООО «Агро» (Россия).
93. Проспект фирмы «AMAZONE» (Германия).
94. Проспект фирмы «Агромир» (Россия).
95. Проспект фирмы «АгроСоюз» (Россия).
96. Проспект фирмы «ЛЕМКЕН» (Германия).
97. Проспект фирмы «Хатценбилер» (Германия).
98. Проспект фирмы «Gregoire Besson» (представительство в Украине), 2005.
99. Протокол 08 58 93 (980 00076) государственных приемочных испытаний плуга-рыхлителя ПРНС-5/ Поволжская МИС. г. Кинель, 1993. – 34 с.
100. Прымов, Р.Я. Экспериментальное обоснование параметров полевой доски плуга [Текст] / Р.Я. Прымов // В книге: Усовершенствование почвообрабатывающих машин. Материалы НТС ВИСХОМ. – М.: ОНТИ ВИСХОМ, 1963. – 91-99 с.
101. Редакция НСХ. Техника и агрохимия – рука об руку. /Новое сельское хозяйство №1. – М.: 1990. – 53-55 с.
102. Рекомендации по применению новой техники для освоения солонцовых почв. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1987. – 40 с.
103. Рыжих Н. Пахотный агрегат не уступает дисковым боронам [Текст] / Н. Рыжих // Сельский механизатор. – М., 2003. – №8. – С. 8-9.
104. Рыков, В.Б. Широкозахватные комбинированные почвообрабатывающие агрегаты [Текст] / В.Б. Рыков, Н.И. Василенко, В.И. Таранин // Вестник российской академии наук сельскохозяйственных наук. Всероссийский

- научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – 2003. - №1.
105. Сборник научных трудов. Почвообрабатывающие машины и динамика сельскохозяйственного агрегата. – Челябинск, 1989. – 113 с.
106. Синеоков, Г.И. Проектирование почвообрабатывающих машин [Текст] / Г.И. Синеоков. – М.: Машиностроение, 1965. – 311 с.
107. Совельев, И.В. Общий курс физики [Текст] / И.В. Совельев // Учебник в 5 томах. Том 1 «Механика». – АСТ, 2003. – 336 с.
108. Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле [Текст] / С.П. Тимошенко. – М.: Наука, 1967. – 444 с.
109. Трепененков, И.И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов / И.И. Трепененков. – М.: Машгиз, 1963. - 271 с.
110. Тяговые характеристики сельскохозяйственных тракторов. Альбом-справочник. – Москва, Россельхозиздат, 1979. – 240 с.
111. Фролов, К.В. Теория механизмов и машин [Текст] / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов, Д.М. Лукичев, Н.А. Скворцов и др. – М.: Высшая школа, 1987. – 496 с.
112. Хархута, Н.Я. Дорожные машины [Текст] / Н.Я. Хархута // Теория, конструкция и расчет. Учебник для вузов. изд. 2-е, доп. и переработ. Л.: Машиностроение, 1976.
113. Хижняк, А.А. Экономическая эффективность новой сельскохозяйственной техники / А.А. Хижняк, А.С. Зинякин, Е.В. Шеврина. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 1997. – 38 с.
114. Хопренинов, В.Д. Сила целинного колоса [Текст] / В.Д. Хопренинов // Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1984. – 71 с.
115. Шаталина, Л.П. Влияние систем обработки почвы, удобрений и гербицидов на фитосанитарное состояние посевов в зернопаровом звене полевого севооборота [Текст] / Л.П. Шаталина // Повышение устойчивости биоресурсов на адаптивно-ландшафтной основе. Ч.1. Материалы

- международной научно-практической конференции. – Оренбург, 2003. – С. 271-277.
116. Швец, А.В. Повышение эффективности безотвальной обработки почвы путём применения приставки-рыхлителя. / Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Белгород, 2005. – 180 с.
117. Эльсгольц, Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление [Текст] / Л.Э. Эльсгольц. – М.: Наука, 1969. – 424 с.
118. Юхин, Д.П. Разработка и обоснование основных параметров комбинированного плуга [Текст] / Д.П. Юхин // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук Оренбургский ГАУ Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства.
119. Юхин, Д.П. Альтернативный машинотракторный агрегат для основной обработки почвы в условиях сухостепной зоны Южного Урала [Текст] / Д.П. Юхин, А.А. Сорокин, И.Т. Ковриков // Молодёжная наука в АПК: проблемы и перспективы. Материалы научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов. – Уфа: БГАУ, 2005. – С. 158-161.
120. Юхин, Д.П. Обоснование параметров энергосберегающей почвообрабатывающей машины с колебательным контуром [Текст] / Д.П. Юхин, С.Н. Дроздов // Роль науки в инновационном развитии АПК. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 80-летию со дня рождения известного учёного, профессора А.П. Иофинова. – Уфа БГАУ, 2012. – С. 90-93.
121. Яблонский, А.А. Курс теории колебаний [Текст] / А.А. Яблонский, С.С. Норейко // Учеб. пособие для студентов вузов. Изд. 3-е, испр. и доп. М.: Высшая школа, 1975. – 248 с.
122. <http://www.pk-agromaster.ru>.
123. Bauern in Bayern – Leistung für alle. / Neuauflage, 1997. - С. 4-5.

124. Hübner E. Technische Schwingungslehre in ihren Grundzügen. – Berlin – Göttingen – Heidelberg, 1957.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

## Приложение № 1

Таблица 1.1. Физико-химические и агрохимические свойства чернозема  
выщелоченного.

| Горизонт  | Гумус %     | pH <sub>n2o</sub> | S                  | N <sub>г</sub> | E           | V, %        | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
|---|-------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------|-------------|-------------------------------|------------------|
|   |             |                   | Мг.экв/100 г почвы |                |             |             | Мг/1 кг почвы                 |                  |
| Классическая (отвальная) обработка почвы  |             |                   |                    |                |             |             |                               |                  |
| А <sub>пах</sub>  | 4,58...5,77 | 5,20...5,24       | 23,7...27,5        | 4,6...6,4      | 28,3...34,1 | 76,5...84,9 | 46...165                      | 90...230         |
|   | 5,17        | 5,22              | 25,6               | 5,5            | 31,2        | 80,7        | 105                           | 160              |
| А   | 4,30...5,48 | 5,00...5,60       | 23,7...27,5        | 3,9...5,7      | 27,6...33,2 | 82,8...85,9 | 29...65                       | 55...100         |
|   | 4,89        | 5,3               | 25,6               | 4,8            | 29,7        | 84,3        | 42                            | 77               |
| АВ  | 2,20...3,08 | 5,60...6,20       | 20,6...24,5        | 3,0...4,4      | 23,6...28,9 | 84,8...87,3 | -                             | -                |
|   | 2,64        | 5,90              | 22,5               | 3,7            | 26,2        | 86,0        | -                             | -                |
| В   | 2,00...2,20 | 5,60...5,80       | -                  | -              | -           | -           | -                             | -                |
|   | 2,10        | 5,7               | -                  | -              | -           | -           | -                             | -                |
| ВС  | 0,40...0,46 | 5,80...7,40       | -                  | -              | -           | -           | -                             | -                |
|   | 0,43        | 6,60              | -                  | -              | -           | -           | -                             | -                |
| Поверхностная обработка почвы   |             |                   |                    |                |             |             |                               |                  |
| А <sub>пах</sub>  | 5,74...6,52 | 5,53...5,89       | 23,9...27,4        | 5,3...6,2      | 29,2...33,6 | 81,5...81,8 | 106...15<br>1                 | 123...15<br>7    |
|   | 6,13        | 5,71              | 25,6               | 5,7            | 31,3        | 81,6        | 128                           | 140              |
| А   | 5,74...6,46 | 5,41...5,60       | 24,8...27,1        | 4,2...5,5      | 29,0...32,6 | 83,1...85,5 | 83...97                       | 78...124         |
|   | 6,10        | 5,50              | 25,9               | 4,3            | 30,8        | 84,3        | 90                            | 100              |
| АВ  | 3,68...4,90 | 6,11...6,19       | 19,0...22,3        | 2,2...2,6      | 21,2...24,9 | 89,5...89,7 | -                             | -                |
|   | 4,22        | 6,15              | 20,6               | 2,4            | 23,0        | 89,6        | -                             | -                |
| В   | 2,20...2,88 | 6,50...6,58       | -                  | -              | -           | -           | -                             | -                |
|   | 2,54        | 6,54              | -                  | -              | -           | -           | -                             | -                |
| ВС  | 2,20...2,24 | 6,39...7,29       | -                  | -              | -           | -           | -                             | -                |
|   | 2,22        | 6,84              | -                  | -              | -           | -           | -                             | -                |
| А <sub>пах</sub> =15...28 см; А=12...14 см; АВ=25...30 см; В=35...45 см; ВС=60см.     |             |                   |                    |                |             |             |                               |                  |
| Примечание: числитель - минимум и максимум, знаменатель - среднее значение показателя |             |                   |                    |                |             |             |                               |                  |

Таблица 1.2. Сравнительная экономическая эффективность способов посева  
ячменя.

| Сеялки       | Урожайность,<br>ц/га | Производственные<br>затраты, руб | Стоимость<br>продукции,<br>руб. | Рентабельность, % | Себестоимость<br>1 кг<br>продукции,<br>руб |
|--------------|----------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------|--|
| СЗП-3,6      | 17,9                 | 7680                             | 8950                            | 16,5              | 4,29                                       |
| «Флексикойл» | 18,3                 | 6920                             | 9150                            | 32,2              | 3,78                                       |
| «Хорш»       | 19,4                 | 6875                             | 9700                            | 41,0              | 3,54                                       |
| Среднее      | 18,5                 | 7158                             | 9267                            | 29,5              | 3,87                                       |

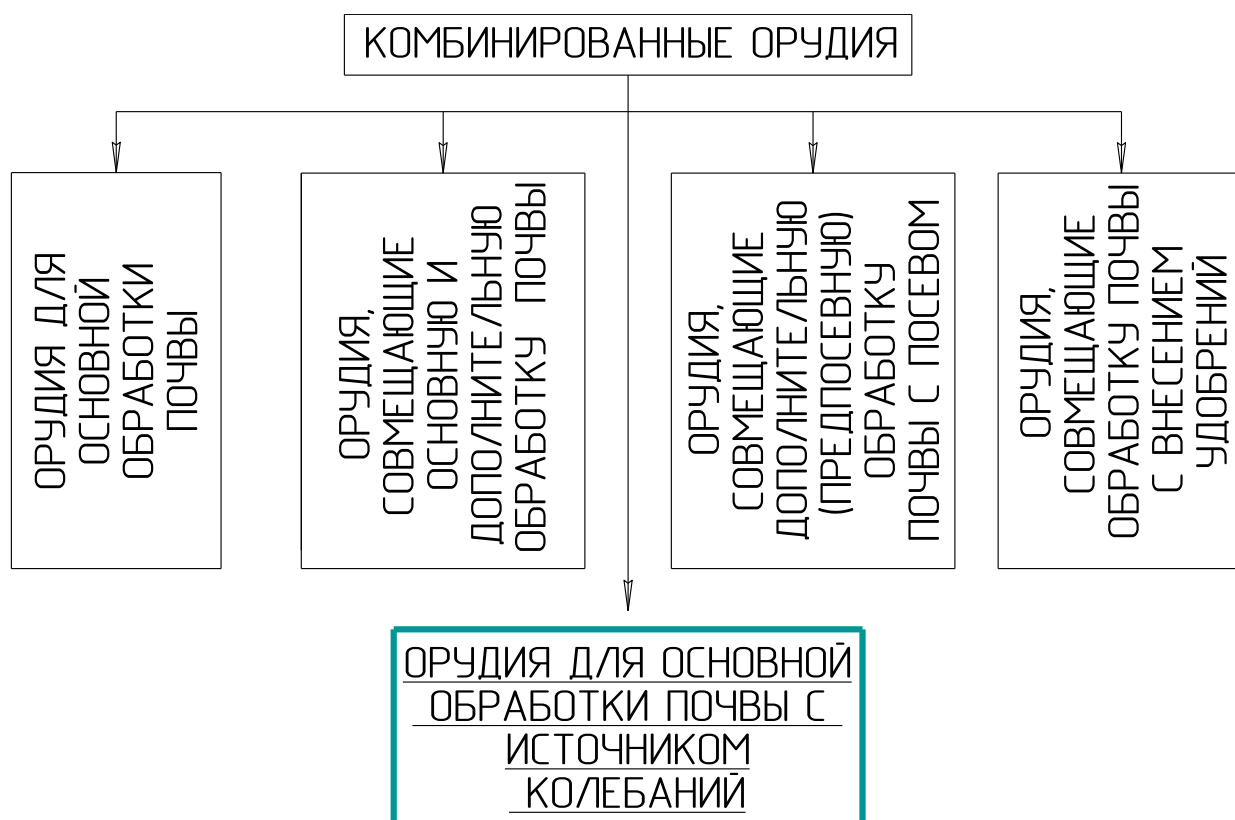
## Продолжение приложения № 1

Таблица 1.3. Урожайность с.х. культур по вариантам опыта за три года.

| Вариант   | Урожайность<br>зеленой<br>массы рапса,<br>ц/га 2006 г. | Отклонение +/-,<br>ц/га | Урожайность<br>яровой<br>пшеницы,<br>ц/га 2007 г. | Отклонение +/-,<br>ц/га | Урожайность<br>ячменя,<br>ц/га 2008 г. | Отклонение +/-,<br>ц/га |
|---|--|-------------------------|---|-------------------------|--|-------------------------|
| Прямой посев<br>без внесения<br>удобрений   | 225,0  | -                       | 19,5  | -                       | 17                                     | -                       |
| Прямой посев<br>без внесения<br>удобрений,<br>но с<br>глубоким<br>рыхлением                     | 276,0  | +51                     | 20,4  | 0,9                     | 19,6                                   | 2,6                     |
| Прямой посев<br>с внесением<br>удобрений<br>без<br>глубокого<br>рыхления                        | 332,0  | +107                    | 26,3  | 6,8                     | 21,2                                   | 4,2                     |
| Прямой посев<br>без<br>глубокого<br>рыхления,<br>но с<br>внесением<br>комплексны<br>х удобрений | 374,0  | +149                    | 34,3  | 8,6                     | 22,6                                   | 5,6                     |

## Приложение № 2

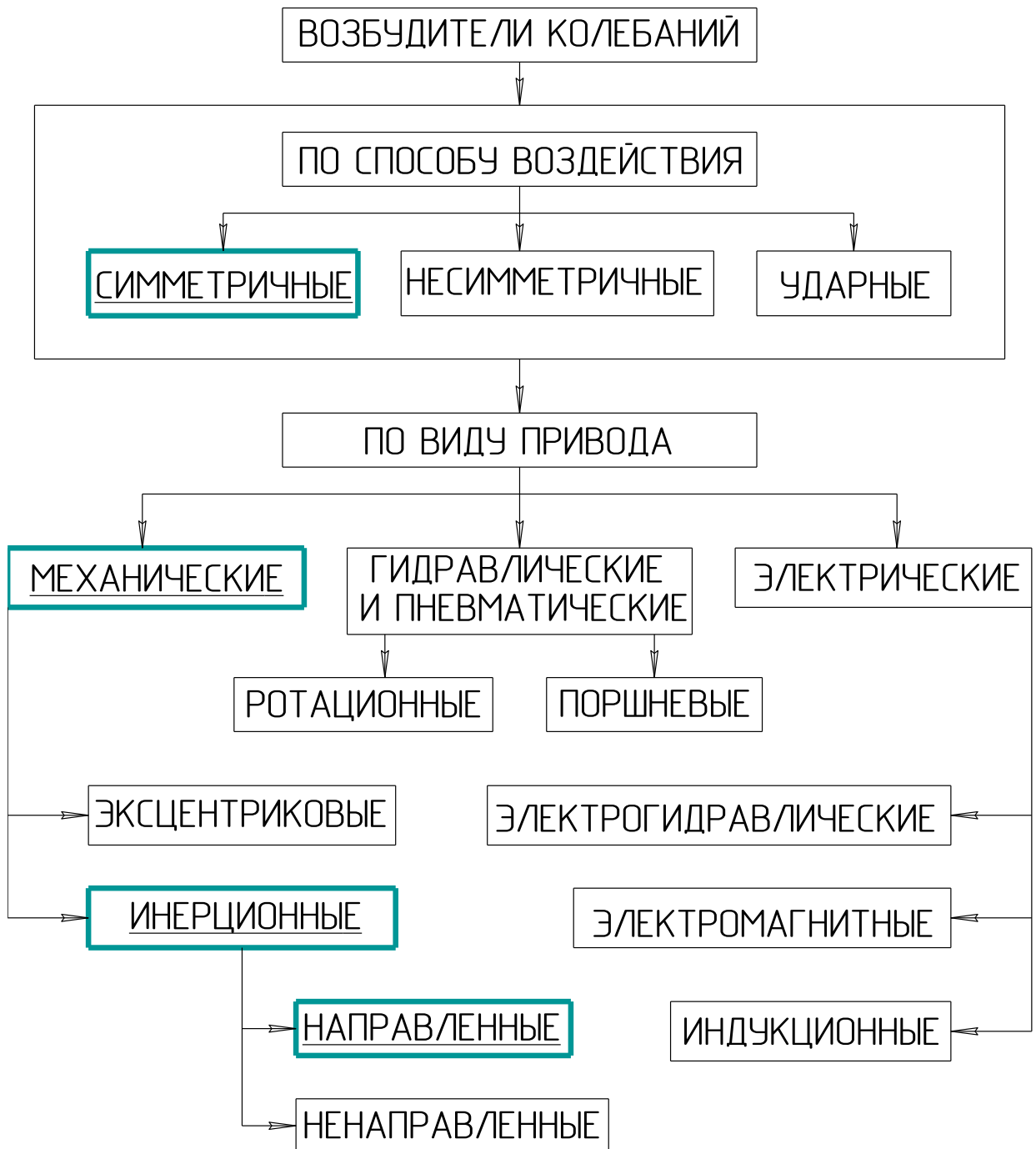
## Классификация способов комбинированной обработки почвы





## Приложение № 3

## Классификация возбудителей колебаний



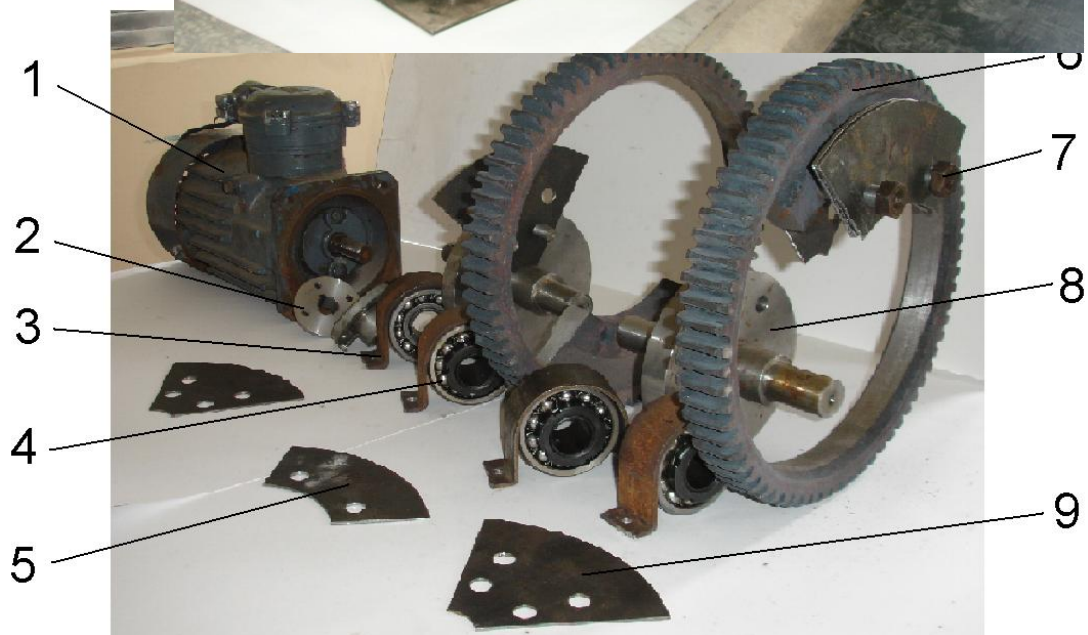
## Приложение № 4

Таблица 3.1 Условия проведения экспериментальных исследований.

| <b>I этап экспериментальных исследований</b> |   |
|--|---|
| <b>Показатели</b>                            | <b>Значения показателей</b>   |
| Место проведения эксперимента                | Опытное поле с.<br>Владимировка,<br>Тюльганского района<br>Оренбургской области |
| Рельеф                                       | Всхолмленная равнина  |
| Характер покрова                             | Стерня кукурузы   |
| Тип почвы                                    | Чернозем обыкновенный.  |
| Толщина гумусного горизонта                  | 35 см.  |
| Твердость почвы (МПа) в слоях (м):           |   |
| 0 – 0,1                                      | 2,3   |
| 0,1 – 0,2                                    | 2,1   |
| 0,2 – 0,3                                    | 1,7   |
| 0,3 – 0,4                                    | 1,0   |
| Влажность почвы (%) в слоях (м):             |   |
| 0 – 0,1                                      | 1,1   |
| 0,1 – 0,2                                    | 1,2   |
| 0,2 – 0,3                                    | 1,8   |
| 0,3 – 0,4                                    | 2,3   |

## Приложение № 5

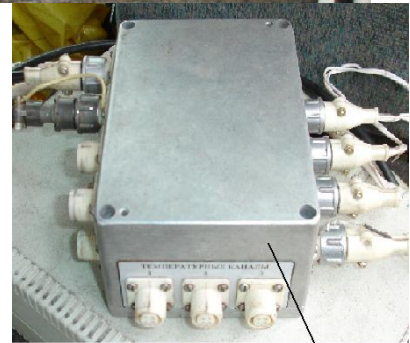
## Устройство маятникового вибратора направленного действия



где: 1 – электродвигатель, 2 – муфта, 3 – хомут, 4- подшипник, 5 – груз добавочный, 6 – зубчатое колесо выполненное в виде дебаланса, 7 – шпилька, 8 – вал, 9 - пластина

## Приложение № 6

## Вид измерительного комплекса





## Продолжение приложения № 6

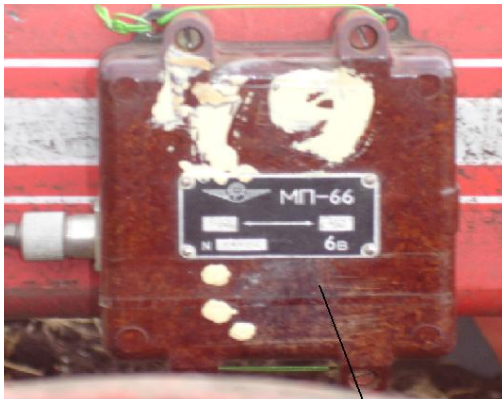
## Вид измерительного комплекса



5



6



7

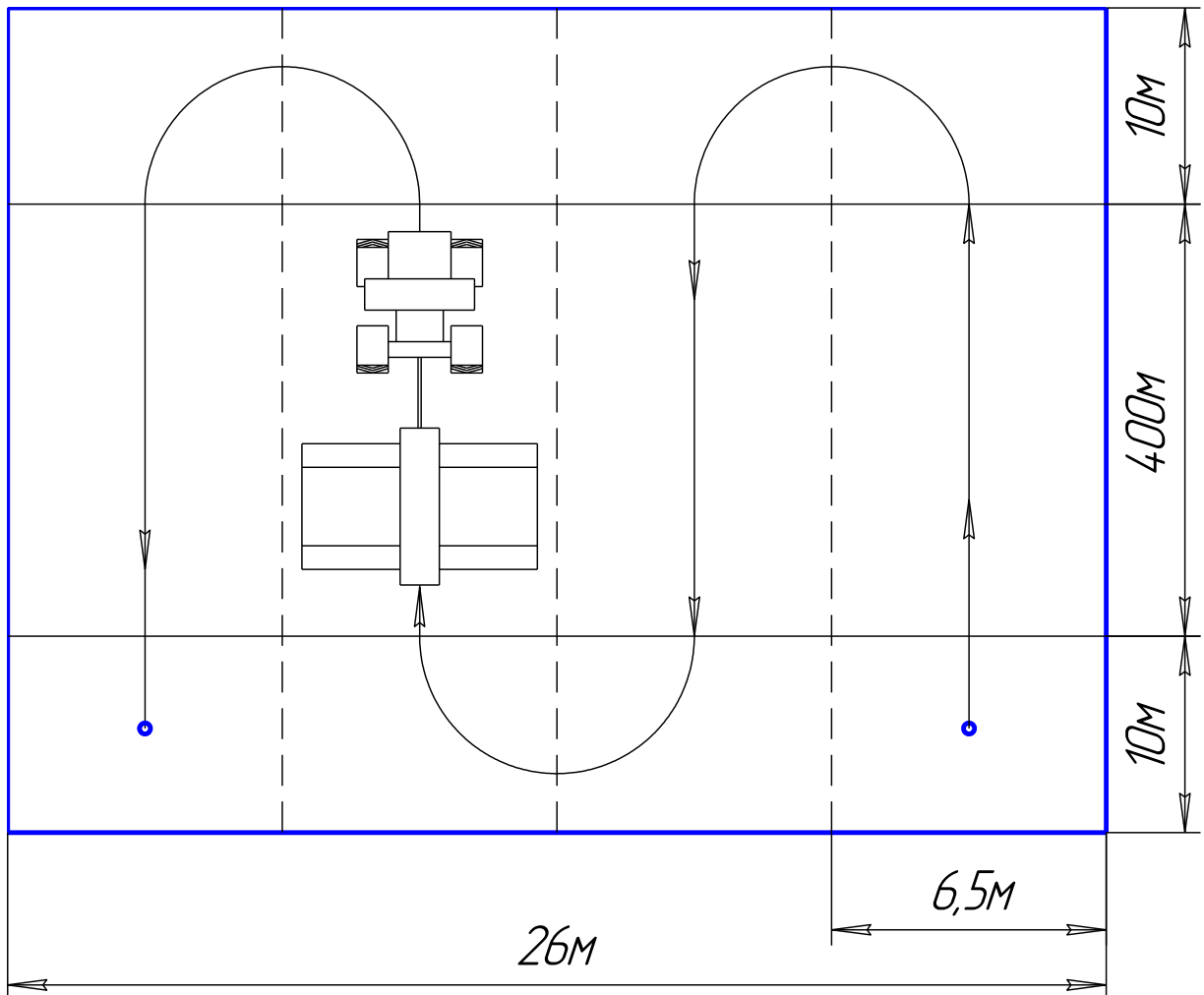


8

где: 1 – notebook, 2 и 3 – измерительная информационная система ИП 264, 4 – частотный преобразователь, 5 – тензометрическое звено СТ-10А, 6 – путеизмерительное колесо FENOX, 7 и 8 – вибродатчики МП-66 и МП-69

## Приложение № 7

Схема движения комбинированного почвообрабатывающего агрегата по  
опытному участку



## Приложение № 8

План-матрица эксперимента для проектируемой конструкции орудия

| №  | x <sub>1</sub> | x <sub>2</sub> | x <sub>3</sub> | x <sub>4</sub> | x <sub>5</sub> |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|    | V, м/с         | a, м           | n, об/мин      | α, град        | L, м           |
| 1  | 2,4            | 0,3            | 1500           | 60             | 1,65           |
| 2  | 1,0            | 0,3            | 1500           | 60             | 1,65           |
| 3  | 2,4            | 0,15           | 1500           | 60             | 1,65           |
| 4  | 1,0            | 0,15           | 1500           | 60             | 1,65           |
| 5  | 2,4            | 0,3            | 500            | 60             | 1,65           |
| 6  | 1,0            | 0,3            | 500            | 60             | 1,65           |
| 7  | 2,4            | 0,15           | 500            | 60             | 1,65           |
| 8  | 1,0            | 0,15           | 500            | 60             | 1,65           |
| 9  | 2,4            | 0,3            | 1500           | 0              | 1,65           |
| 10 | 1,0            | 0,3            | 1500           | 0              | 1,65           |
| 11 | 2,4            | 0,15           | 1500           | 0              | 1,65           |
| 12 | 1,0            | 0,15           | 1500           | 0              | 1,65           |
| 13 | 2,4            | 0,3            | 500            | 0              | 1,65           |
| 14 | 1,0            | 0,3            | 500            | 0              | 1,65           |
| 15 | 2,4            | 0,15           | 500            | 0              | 1,65           |
| 16 | 1,0            | 0,15           | 500            | 0              | 1,65           |
| 17 | 2,4            | 0,3            | 1500           | 60             | 1,15           |
| 18 | 1,0            | 0,3            | 1500           | 60             | 1,15           |
| 19 | 2,4            | 0,15           | 1500           | 60             | 1,15           |
| 20 | 1,0            | 0,15           | 1500           | 60             | 1,15           |
| 21 | 2,4            | 0,3            | 500            | 60             | 1,15           |
| 22 | 1,0            | 0,3            | 500            | 60             | 1,15           |
| 23 | 2,4            | 0,15           | 500            | 60             | 1,15           |
| 24 | 1,0            | 0,15           | 500            | 60             | 1,15           |
| 25 | 2,4            | 0,3            | 1500           | 0              | 1,15           |
| 26 | 1,0            | 0,3            | 1500           | 0              | 1,15           |
| 27 | 2,4            | 0,15           | 1500           | 0              | 1,15           |
| 28 | 1,0            | 0,15           | 1500           | 0              | 1,15           |
| 29 | 2,4            | 0,3            | 500            | 0              | 1,15           |
| 30 | 1,0            | 0,3            | 500            | 0              | 1,15           |
| 31 | 2,4            | 0,15           | 500            | 0              | 1,15           |
| 32 | 1,0            | 0,15           | 500            | 0              | 1,15           |

Приложение № 9  
Полевые испытания





## Приложение № 10

## Результаты эксперимента

| №  | Y <sub>1</sub>      | Y <sub>2</sub>                           |
|----|---------------------|--|
|    | F <sub>T</sub> , кН | A <sub>вертик</sub> , 10 <sup>-3</sup> м |
| 1  | 70,3                | 3,8                                      |
| 2  | 41,5                | 5,2                                      |
| 3  | 49,7                | 8,2                                      |
| 4  | 17,5                | 17,7                                     |
| 5  | 80,5                | 0,1                                      |
| 6  | 35,1                | 2,0                                      |
| 7  | 51,2                | 2,1                                      |
| 8  | 15,0                | 4,6                                      |
| 9  | 73,0                | 15,1                                     |
| 10 | 35,6                | 20,3                                     |
| 11 | 46,9                | 20,2                                     |
| 12 | 14,0                | 34,3                                     |
| 13 | 77,7                | 4,0                                      |
| 14 | 36,4                | 8,6                                      |
| 15 | 48,9                | 10,2                                     |
| 16 | 14,6                | 13,2                                     |
| 17 | 63,2                | 4,9                                      |
| 18 | 35,1                | 10,4                                     |
| 19 | 43,2                | 13,2                                     |
| 20 | 14,6                | 23,4                                     |
| 21 | 74,25               | 1,3                                      |
| 22 | 35,9                | 2,8                                      |
| 23 | 48,3                | 2,5                                      |
| 24 | 14,5                | 6,2                                      |
| 25 | 69,8                | 14,3                                     |
| 26 | 33,4                | 22,8                                     |
| 27 | 45,9                | 22,8                                     |
| 28 | 14,0                | 34,1                                     |
| 29 | 74,5                | 6,4                                      |
| 30 | 36,0                | 7,9                                      |
| 31 | 48,4                | 9,0                                      |
| 32 | 14,3                | 12,2                                     |

## Приложение № 11

## Акт внедрения

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной  
работе ФГБОУ ВПО ОГАУ,  
д.с-х.н., профессор  
\_\_\_\_\_ Г.В. Петрова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор ООО «СПК имени  
Чкалова»  
\_\_\_\_\_ В.Н. Быстроновский  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Акт внедрения**

научно-исследовательской работы

**Наименование работы.** Комбинированное почвообрабатывающее орудие оснащённое вибровозбудителем.

14 августа 2013 г. комиссия в составе: директора ООО «СПК имени Чкалова»

В.Н. Быстроновского и представителей кафедры «Механизация технологических процессов в АПК» ФГБОУ ВПО Оренбургский государственный аграрный университет: доктора технических наук, профессора М.М. Константинова и соискателя С.Н. Дроздова составила настоящий акт в том, что в ООО «СПК имени Чкалова» внедрено комбинированное почвообрабатывающее орудие оснащённое механическим вибровозбудителем.

**1. В процессе внедрения выполнены следующие работы.**

В 2012 году на базе комбинированного почвообрабатывающего орудия GREGOIRE BESSON HELIOS SP было изготовлено комбинированное почвообрабатывающее орудие с установленным на нём маятниковым вибратором направленного действия. Во время летне-осенней (зяблевой) обработки почвы этим плоскорезом-глубококорыхлителем было обработано 750 га.

**2. Техничко-экономические показатели внедрения.**

Применение комбинированного почвообрабатывающего орудия с вибровозбудителем для основной безотвальной обработки позволило увеличить степень крошения почвы на 7 – 10%, производительность – на 7,5 – 10% при возрастании фактической скорости почвообрабатывающего агрегата из-за снижения буксования колёс МЭС, уменьшить тяговое сопротивление – на 19 – 24 %. Амплитуда вертикальных колебаний орудия увеличилась на 25 – 30%.

**3. Предложения о дальнейшем внедрении работы и др. замечания.**

Комбинированное почвообрабатывающее орудие, оснащённое вибровозбудителем предлагается для более широкого внедрения в хозяйствах и районах с почвами, подверженными ветровой эрозии, а также засоренными корневищными сорняками. Однако наблюдается не устойчивость работы орудия, на полях имеющие уклон в продольном направлении более 15-20<sup>0</sup>.

\_\_\_\_\_ В.Н. Быстроновский

\_\_\_\_\_ М.М. Константинов

\_\_\_\_\_ С.Н. Дроздов

## Приложение № 12

## Патент

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2415526

## ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЙ АГРЕГАТ

Патентообладатель(ли): **Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)**

Автор(ы): **см. на обороте**

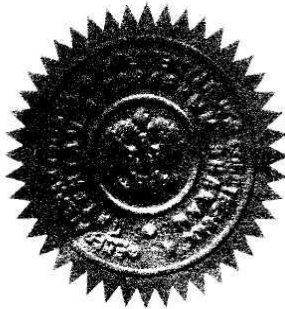
Заявка № **2009137428**

Приоритет изобретения **09 октября 2009 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **10 апреля 2011 г.**

Срок действия патента истекает **09 октября 2029 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам*



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2472328

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *Дроздов Сергей Николаевич (RU)*

Заявка № 2011120672

Приоритет изобретения 20 мая 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 января 2013 г.

Срок действия патента истекает 20 мая 2031 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

