

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса
Кафедра машин и оборудования в агробизнесе
Направление подготовки – 35.04.06 Агроинженерия
Магистерская программа – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Магистерская диссертация)**

**ТЕМА: Исследование влияния конструктивно-технологических
параметров вертикального разбрасывателя на равномерность
поверхностного внесения минеральных удобрений**

Студент магистратуры _____ Миннебаев Б.А.

Научный руководитель,
к.т.н., доцент _____ Лукманов Р.Р.

Рецензент
д.т.н., профессор _____ Галиев И.Г.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(протокол № 14 от «17» июня 2019 г.)

И.о. заведующего кафедрой машин и
оборудования в агробизнесе _____ Халиуллин Д.Т.

Казань – 2019

АННОТАЦИЯ

К выпускной квалификационной работе (магистерской диссертации) Миннебаева Булата Айратовича на тему: «Исследование влияния конструктивно-технологических параметров вертикального разбрасывателя на равномерность поверхностного внесения минеральных удобрений»

Диссертация состоит из пояснительной записки на 80 страницах машинописного текста. Записка состоит из введения, пяти разделов, выводов и включает 19 рисунков, 4 таблицы и 91 формулы. Список использованной литературы содержит 46 наименований.

В первой главе «СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ» проведен литературно-патентный обзор разбрасывателей минеральных удобрений. Выполнен анализ работ по исследованию процесса разбрасывания минеральных удобрений. Обозначены цель и задачи исследования.

Во второй главе исследована конструктивно-технологическая схема. Обоснованы частоты вращения рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений, а также их параметры.

В третьей главе разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований и их результаты.

В пятой главе проведена технико-экономическая оценка разбрасывателя.

Записка завершается общими выводами по работе и списком использованных литературных источников.

ABSTRACT

To the final qualifying work (master's thesis) Minnebayev Bulat Ayratovich on the topic: "The study of the influence of the constructive-technological parameters of the vertical spreader on the uniformity of surface fertilizer application".

The thesis consists of an explanatory note on 80 pages of typewritten text. The note consists of introduction, five sections, conclusions and includes 19 figures, 4 tables and 91 formulas. The list of references contains 46 items.

In the first chapter "STATUS OF THE QUESTION, PURPOSE AND TASKS OF THE RESEARCH" a literature-patent review of mineral fertilizer spreaders was conducted. The analysis of works on the study of the spreading of mineral fertilizers. Outlined the purpose and objectives of the study.

In the second chapter the constructive-technological scheme is investigated. Substantiated the frequency of rotation of the working body of the fertilizer spreader, as well as their parameters.

The third chapter has developed a program and methodology for conducting experimental research.

The fourth chapter presents the results of experimental studies and their results.

In the fifth chapter, a techno-economic of the spreader is carried out.

The note ends with general conclusions on the work and a list of references used.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.	7
1.1. Анализ конструкции машин с центробежными рабочими органами для внесения минеральных удобрений.....	11
1.2. Анализ теоретических исследований технологического процесса внесения удобрений центробежными дисковыми аппаратами.....	26
1.3 Цель и задачи исследования.	34
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	36
2.1.Обоснование частоты вращения рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений.....	36
3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	46
3.1. Программа экспериментальных исследований.....	46
3.2 Программа экспериментальных исследований.....	47
3.3. Методика экспериментальных исследований.....	47
3.3.1. Разработка схемы экспериментальной установки.....	47
3.3.2. Изготовление экспериментальной установки для исследований.....	49
3.4. Порядок проведения лабораторного опыта.....	51
3.5. Методика обработки опытных данных.....	54
4.РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ.....	56
4.1 Неравномерность распределения удобрений по ширине захвата агрегата.....	56
5.ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ.....	60
5.1 Расчёт массы и стоимости конструкции.....	60
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	66
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	67
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	73

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающая потребность населения в продуктах питания обуславливает необходимость обеспечения повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Один из важных условий в современной технологии является сохранения и повышения плодородия, экономичность продукции и охрана окружающей среды. Поэтому актуальной задачей является исследования высокоэффективных энергосберегающих приемов обработки почвы, доз минеральных удобрений и средства защиты растений в конкретно почвенно-климатических условиях.

Исследованиями установлено, что больше 50% прибавки урожая получают при помощи внесения удобрений.[35] Для получения высокого качество продукции удобрение необходимо внести в определенном соответствии питательных веществ, но при этом необходимо учесть конкретных агрохимических и почвенно- климатических условий.

Средняя урожайность сельскохозяйственных культур зависит от формы распределения доз удобрений. При внесении удобрения неравномерно существенно уменьшается отзывчивость растений на нее. Неравномерное распределение минеральных удобрений по полю влияет на свойства урожая (уменьшает его технологические и биологические достоинства, приводит к накоплению нитратов в сельскохозяйственных культурах), а также содействует к загрязнению среды окружающей ее. В основном дозы минеральных удобрений вносят поверхностно с дальнейшим заделкой их почвообрабатывающими орудиями. Этот способ является наиболее универсальным, и используют его при внесении больших доз. Для поверхностного внесения удобрений большими дозами в основном применяются разбрасыватели с различной конструкции и компоновки. В последние годы широко используется навесные разбрасыватели. Это объясняется тем, что цена на минеральное удобрения в последние время выросла, применения снижалась. Навесные разбрасыватели оборудованы центробежными распределительными рабочими органами, с вертикалью

осью вращения. Они просты в использовании, надежны и правильной настройке и качественно выполняет свою работу.

Многими исследованиями было указано, что качество поверхностного внесения минеральных удобрений этими рабочими органами в большинстве своем не соответствует агротехническим требованиям. При таком разбрасывания удобрений, в один участок попадает больше азотных, в другой – фосфорных, в третье – калийные удобрение. Это приводит к ухудшению нормального роста растений. Следовательно, совершенство конструктивно – технологических параметров центробежных разбрасывающих органов является актуальной задачей.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

снижение использования минеральных удобрений последние годы привела к уменьшению плодородия пашни, ухудшению экологического состояния посевов и в следствие падение урожайности сельскохозяйственных культур. Для выхода из сложившейся ситуации необходимо разумно, научно – обоснованно использовать минеральные удобрения. Один из важных условий современных технологий является сохранение и повышение плодородия почвы, энергосбережение, экологическая чистота продукции и охрана окружающей среды. Поэтому, актуальной задачей является создание эффективных приемов обработки почвы, внесения необходимых доз минеральных удобрений и средств защиты растений.

Важнейшим условием в сельском хозяйстве является равномерное внесение минеральных удобрений на поверхность почвы. При внесении минеральных удобрений центробежными рабочими органами по агротехническими требованиями[30] неравномерность допускается не выше 25%, и в сторону движения агрегата – до 10%. Грузоподъемность машин разбрасывающие минеральные удобрений и их смесей должно составлять 0,05 – 1,0 т/га. Рабочие органы машин должны быть обеспечены быстрой и точной регулировкой дозы внесения, быть надежной и простой в эксплуатации. Дробление разбрасывающими устройствами гранулированных удобрений не должно составлять более 5%. Поверхность машин для внесения минеральных удобрений, которые воздействуют с удобрениями, должен быть покрыт антикоррозийным составом. Перекрытие смежных проходов при внесении всех видов удобрений от установленной нормы не должно превышать. После внесения минеральных удобрений в почву необходимо заделать ее не позже 12 часов.

Каждая сельскохозяйственная культура имеет свою оптимальную дозу внесения минерального удобрения, что в свою очередь приводит к максимальной окупаемости. От того как распределяют дозу зависит и

средняя урожайность наших культур. При большой неравномерности внесения удобрений ухудшается отзывчивость на нее.

Неравномерное распределение минеральных удобрений снижает технологические и биологические достоинства урожая, приводит к накоплению вредных элементов в сельскохозяйственных культурах, также загрязняет окружающую среду.

Доказано, что нарушения режима питания приводит к ухудшению технологических качеств сельскохозяйственной продукции. Это длина и крепость волокна льна, конопли, хлопчатника и других культур, содержание в картофеле крахмала, содержание алкалоидов в лекарственных растениях, количество кислот в растительных жирах. Также, является основной причиной полегания посевов зерновых культур, даже тех культур которые, сравнительно устойчивы к полеганию. Это в свою очередь, приводит к затруднению механизированной уборке зерновых культур, снижает технологические свойства зерна, и, кроме того, полеглые растения сильнее поражаются болезнями.

По значительным опытам проведенной ЦИНАО в девяти областях нашей страны, неравномерное внесение привело к снижению урожайности ярового ячменя, озимой и яровой пшеницы, сахарной свеклы, кукурузы и овса до 13%. Это объясняется тем, что поля неравномерно удобрено и в связи с этим на одном участке поля доза удобрений недостаточно, а в другом превышена. Поэтому, растения развиваются по-разному и дают неодинаковый урожай. Для восприятия более отчетливой картины влияния неравномерного распределения удобрений на издержки можно применить структурную схему, приведенную на рисунке 1.1.

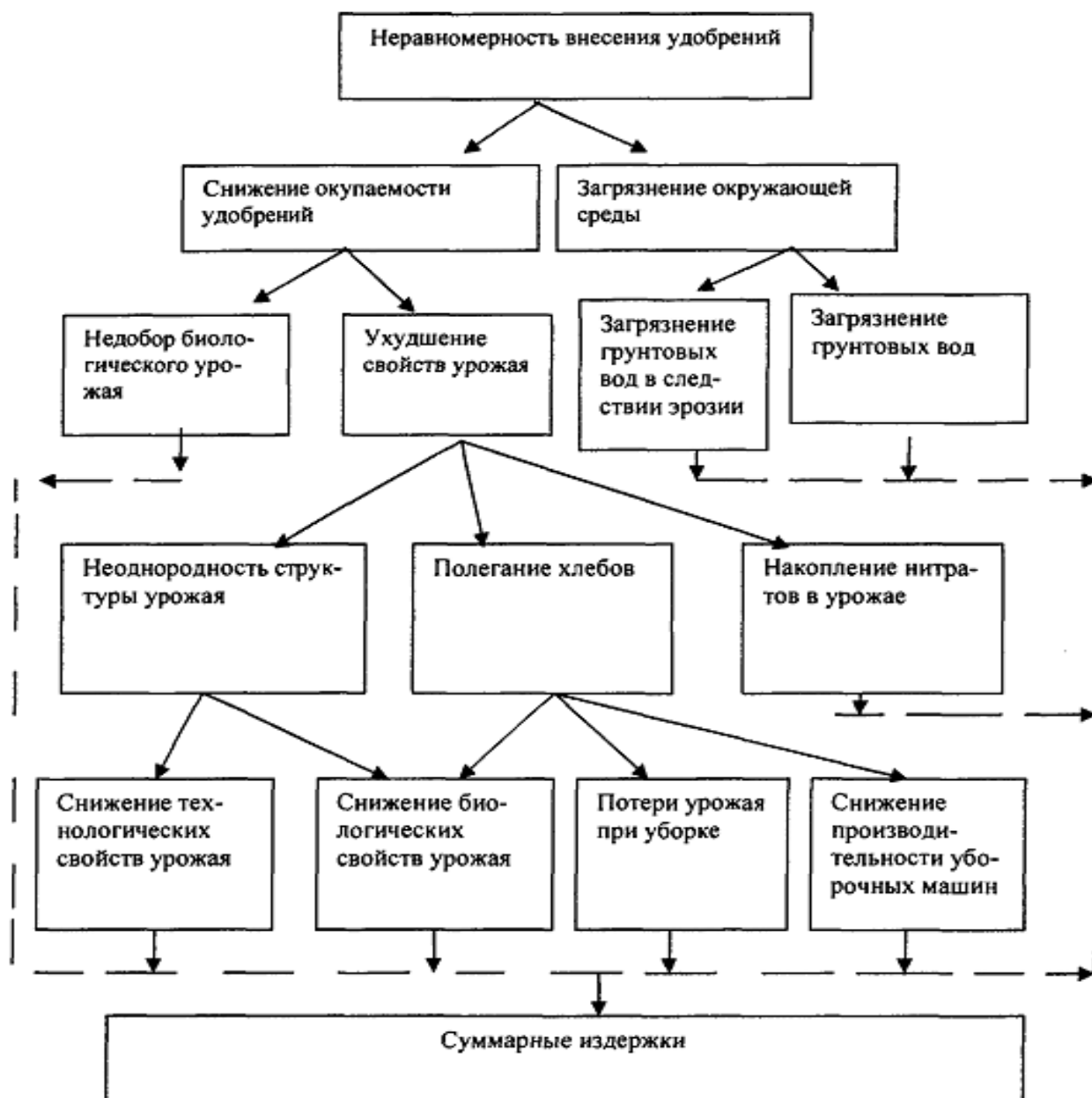


Рисунок 1.1 - структурная схема издержек от некачественного внесения удобрений

Опытами [8,23] было установлено, что от конструктивных особенностей разбрасывателей и качества удобрений зависит его неравномерное распределение в больших пределах от 10% до 165% от средней дозы. Это ведет к потере урожая зерновых до 20%. Полевые опыты проведенные на агротехнических лабораториях [39] указывает на то что неравномерное внесение в пределах 40 – 60% приводит к снижению урожая

зерновых и пропашных культур на 4 – 6%. При неравномерности до 70 – 80% эти цифры достигают 11 – 15%.

Эксперименты, проведенные Осиповым В.Т. и др. [24, 31, 9, 11], указывают на то, что неравномерное внесение нитроаммофоски влияет на урожай ячменя. Если неравномерность внесения 10%, то урожайность составит 26,6 ц/га, а при неравномерности 60% всего 21,5 ц/га.

Исследования, проведенные другим автором, Черниковым Б.П. [37,38,39] показывали то, что разбрасывая нитроаммофоску 5 ц/га с неравномерностью 20-30% урожай получили 25 ц/га, а 50 – 70% соответственно 21,5 ц/га.

Зарубежные исследователи [39,42,43] тоже установили, что урожайность культур зависит от равномерного внесения удобрения, так как, в участках с равномерным распределением удобрений урожай на 15% выше среднего урожая, чем на участках с неравномерным внесением.

Другой зарубежный источник [44] отмечает, что при несоблюдении ширины захвата разбрасывателя на 2,0 м приводит к снижению урожая сахарной свеклы на 18%, сены – на 16%, а картофеля – на 10%.

Проведенные опыты в станциях в Великобритании [42,43] показали, что от неравномерного распределения удобрений ежегодно теряется урожай на 19% у сахарной свеклы, 16% у сены и до 10% у зерна и картофеля.

В результате, после полученных данных можно установить, что неравномерное распределение минеральных удобрений по полю приводит к падению их окупаемости, ухудшению экологического состояния, влияет на технологическую и биологическую достоинства урожая, к неравному созреванию хлебов, поздней уборки, к упадку производительности машин и росту сроков уборки. Вот таким последствиям приводит неравномерное внесение минеральных удобрений по полю. Это указывает на то, что необходимо продолжать исследовательскую работу технологических процессов поверхностного распределения минеральных удобрений, но эти

исследования не должны отклоняться от агротехнических допустимых требований по равномерности внесения по ширине захвата.

1.1. Анализ конструкции машин с центробежными рабочими органами для внесения минеральных удобрений

Первоначальные эксперименты в России по способу внесения удобрений стали проводить в период 1885-1896 гг.. Вначале, эти машины были конструированы по типу разбросных сеялок, но широкого применения они не нашли из-за маленькой производительности, вместимости бункера и большой металлоемкости. В связи с использованием большего количества минеральных удобрений и повышение их физико – механических свойств вырос интерес к машинам с центробежными дисковыми рабочими органами. Разработка машин с дисковыми центробежными рабочими органами началась в нашей стране с 1962 года. Первыми были сконструированы машины РУ-4,0, РМУ-2,0 и устройства ПРИ-8 и РКМ-500. Ширина захвата у этих машин было в 3-4 раза больше, чем у простых туковых сеялок, также у них большая вместимость бункера, простота механизмов, малая металлоемкость и высокая надежность. В будущем эти машины стали развиваться в сторону увеличения грузоподъемности, производительности, улучшения качества технологического процесса распределения минеральных удобрений. Ну, все же, данные машины разбрасывали минеральное удобрение с большой неравномерностью (>25%), из-за высокого давления в шинах они уплотняли почву, тем самым возрастала время работы. Взамен к этим машин были разработаны новые, такие как, РУМ-5, РУМ-8, РУМ16, КсА-3, 1РМГ-4Б, МВУ-8Б, МВУ-0,5, сТТ-10. Они превосходили ранее известных машин по равномерности распределения удобрения, по эксплуатационной и технологической надежности, производительности и по экономическим показателям. Дозирующими устройствами данных машин являются дисковые аппараты центробежного типа с вертикальной осью вращения. Такой тип рабочих органов применяют большинство стран мира.

В США, Польше, Англии, Дании и других стран широкое применение нашли разбрасыватели с большой грузоподъемности и двухдисковыми рабочими органами [7,15,16,18,33,36].

Также применяются большегрузные разбрасыватели фирмы «Diadem - Streumaster и Amos» в Германии с 2-х дисковым разбрасывателем с шириной захвата до 20м.

В Болгарии [40]нашли применение машины с центробежными рабочими органами емкость кузова который является 0,2-8 м³ Производительность и ширина захвата данных машин составляют соответственно 4 га/ч - 8 м, 6 га/ч -12,5 м, и 24 га/ч -25 м.

В настоящее время в нашей стране также выпускаются большегрузные машины для внесения минеральных удобрений и извести, это МВУ-8 (тракторные), МХА-7(автомобильные), АМП-5(самоходные). Данные машины используется для сплошного поверхностного внесения всех видов и форм минеральных удобрений и известковых материалов.

На данный момент известны множество машин для внесения минеральных удобрений. Они в свою очередь классифицируются по следующим признакам.

- по назначению — машины для подготовки удобрений к внесению, погрузки, транспортировки и непосредственного внесения в почву;
- по виду вносимых удобрений — для внесения минеральных, органических удобрений и органо-минеральных смесей;
- по агрегатному состоянию удобрений — машины для внесения жидких, твердых и пылевидных удобрений;
- по способу внесения удобрений — кузовные, навесные и авиационные разбрасыватели, туковые сеялки и машины для внутрипочвенного внесения;
- по способу агрегатирования с трактором — прицепные и навесные.

В настоящее время известны множество конструкций машин разбрасывающих минеральные удобрения. Один из них-разбрасыватель минеральных удобрений представлен на рисунке 1.2. [25]

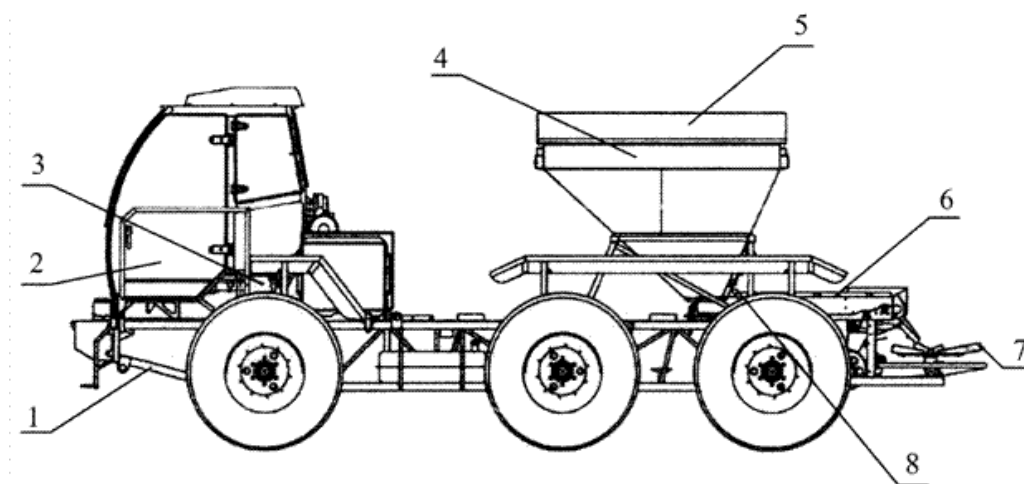


Рисунок 1.2 - Разбрасыватель гранулированных минеральных удобрений

1 – рама; 2 – кабина оператора; 3 – двигатель; 4 – бункер; 5 – закрытая съемная крышка; 6 – транспортер; 7 – 2 рассеивающих диска с лопатками; 8 – шибберные заслонки.

Целью данной разработки является повышение производительности разбрасывателя гранулированных минеральных удобрений и качества разбрасывания, которая достигается тем, что разбрасыватель гранулированных минеральных удобрений, установленный на раму транспортного средства, содержит конический бункер для размещения минеральных удобрений, два рассеивающих диска с лопатками, транспортера, подающего удобрение к дискам и шибберных заслонок установленных в задней части бункера, которые управляются гидроцилиндрами или электрическим актуатором. Привод вращения дисков и движения транспортера может осуществляться либо механически через систему карданов и цепных передач, либо с помощью гидросистемы.

Работа устройства осуществляется следующим образом. Разбрасыватель гранулированных минеральных удобрений выезжает на

край поля. В бункер насыпается сыпучее удобрение. Оператор либо вручную, либо с помощью компьютера выставляет необходимое открытие шиберных заслонок для требуемой нормы внесения удобрения. Далее оператор приводит разбрасыватель в движение и включает систему вращения тарелок и движения транспортера. с помощью навигатора GPS или ГЛОНАСС движение по полю контролируется таким образом, чтобы не было пропусков в разбрасывании и не было двукратного покрытия одного и того же участка поля. После окончания удобрения в бункере необходимо подъехать на край поля для загрузки очередной партии удобрений.

Применение предлагаемого разбрасывателя улучшает качество и равномерность разбрасывания удобрения. Ускоряет работу и позволяет за счет колес низкого давления на грунт рано весной выезжать в поле для максимально эффективного разбрасывания и лучшего усвоения удобрения почвой.

Недостатком машины является то, что рассеивающий диск расположен высоко и, что приводит к несимметричному выбросу удобрения на поле.

Также известен, спирально-шнековый смеситель-разбрасыватель минеральных удобрений представленный на рисунке 1.3.[26].

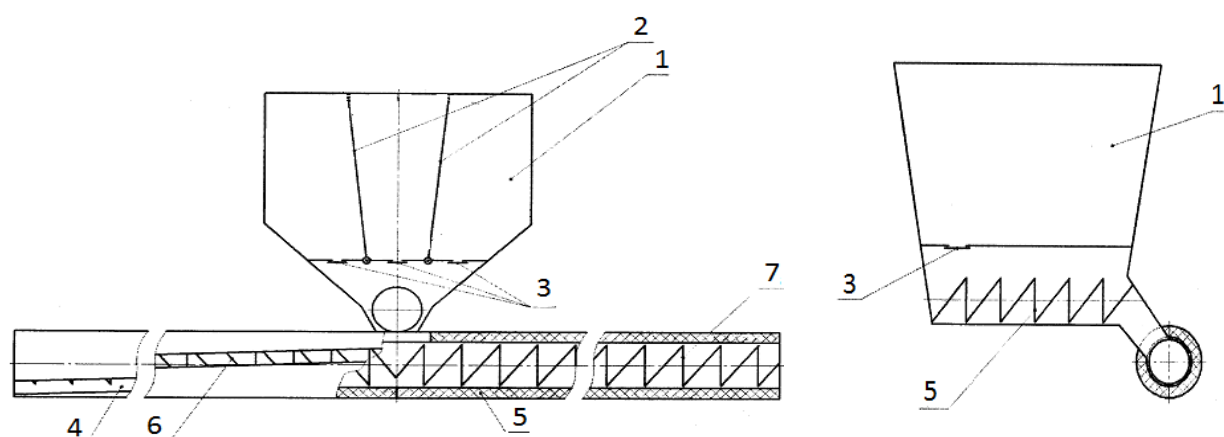


Рисунок 1.3 – спирально-шнековый смеситель-разбрасыватель минеральных удобрений

Данное устройство работает следующим образом: до начала работы, в зависимости от соотношения требуемых норм внесения компонентов, перегородки 2 устанавливаются таким образом, чтобы соотношение объемов отсеков было равно соотношению компонентов смеси, после чего закрепляется фиксаторами. Дозаторы 3 каждого из отсеков бункера 1 путем изменения площади проходного сечения отверстия настраивается на требуемую для обеспечения заданной нормы внесения компонента производительность. Это может быть осуществлено, например, путем использования сменных днищ с различными отверстиями. Удобрения засыпаются в секции бункера 1.

До начала работы устанавливается требуемое для обеспечения равномерного распределения минеральных удобрений по ширине захвата машины расположение высевающих окон 4. Это осуществляется путем скручивания и поворота поворотных кожухов. Вокруг собственных осей, например, вручную.

При движении агрегата по полю компоненты через дозаторы 3 подаются на заборную часть смесительной проволочной спирали 5, которая транспортирует их к выгрузочной части с одновременным перемешиванием. Достигнув выгрузочной части смесительной спирали, готовая смесь по туконаправителю подается в поворотные кожухи, где смесь под действием витков спиралей 6 и 7 транспортируется в противоположные стороны, распределяясь по всей длине кожухов 4 и 6 и распределяется по полю.

Применение данного смесителя – разбрасывателя приводит к расслоению смеси на составляющие компоненты при движении ее по кожуху.

Известен широкозахватный разбрасыватель минеральных удобрений и химикатов (рисунок 1.4). [1]

Разбрасыватель работает следующим образом. Вносимый материал засыпается в бункер 1, откуда попадает в накопитель 5. Пока бункер полон, материал пересыпается из бункера 1 в накопитель 5 под действием

собственного веса, а по мере опорожнения бункера подается ленточным транспортером 4. Из накопителя 5 материал поступает между ведущими шкивами 16 и 17 разделяется делителем 18 на две части и перемещается лопатками 8 транспортеров 6 и 7 от центра разбрасывателя к периферии. Прижимы 19 и 20 лент транспортеров 6 и 7 обеспечивают, прилегание лопаток 9 к пластинам 10 вЂ” 13. При этом лопатки скользят по пластинам, перемещая вносимый материал. Последний при этом последовательно просыпается через щель 15 по всей длине щели. Количественное

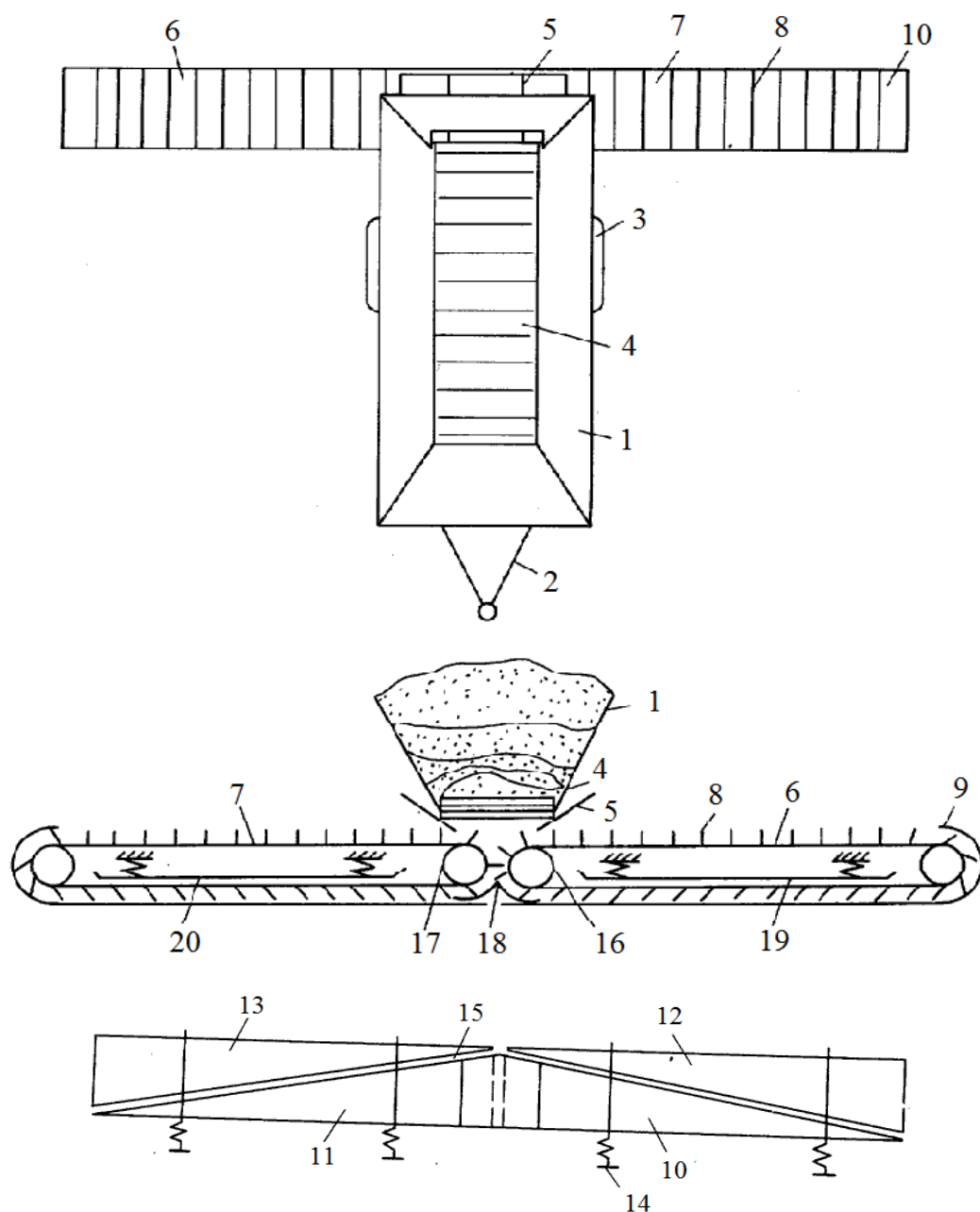


Рисунок 1.4 - Широкозахватный разбрасыватель минеральных удобрений.

распределение вносимого материала по площади внесения может регулироваться изменением ширины щели 15 при помощи регулировочных винтов 14. При увеличении материала вносится меньше. Избыток материала переносится верхними ветвями транспортером 6 и 7 и снова попадает в зону накопителя 5. При увеличении щели материала вносится больше. Изменяя поджатие крайних и средних регулировочных винтов 14, можно несколько поворачивать пластины 10 и II в горизонтальной плоскости и тем самым изменять ширину щели по длине, регулируя распределение вносимого материала по ширине захвата машины. Выполнение кромки пластин заостренными (трапецевидное сечение щели) препятствует залипанию щели. Разбрасыватель может вносить любые виды сыпучих химических материалов.

Применение указанного разбрасывателя позволяет повысить равномерность внесения материалов по ширине захвата и повысить надежность выполнения технологического процесса при работе с порошкообразными материалами.

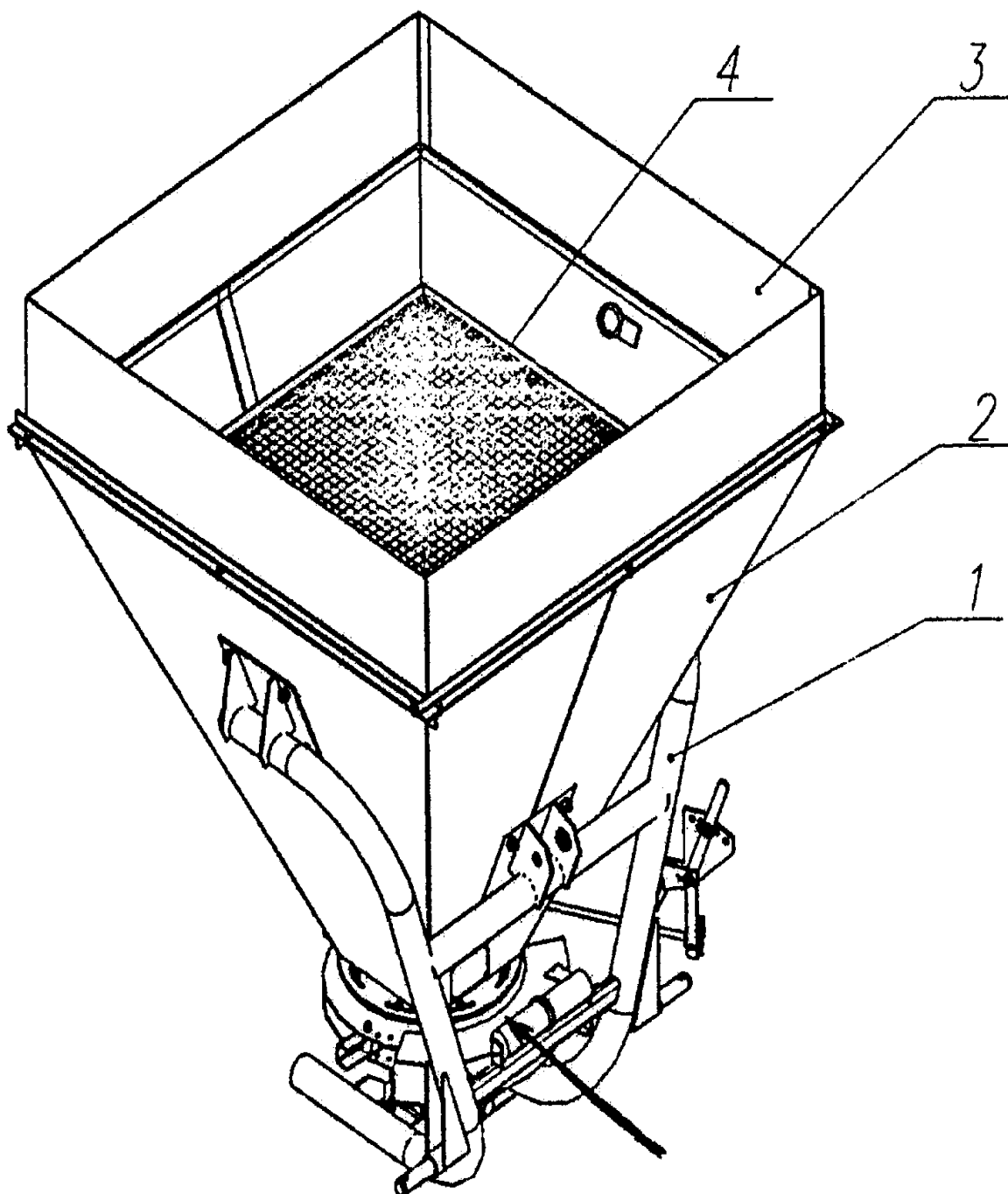
Однако эти разбрасыватели характеризуются недостаточной равномерностью распределения высеваемого материала по всей ширине захвата, обусловленная тем, что наличие продольных уклонов местности и вибрация рабочих органов предполагает возможность высева большей части удобрений с той открытой части сбросных досок, которые расположены ближе к продольной оси разбрасывателя

На рисунке 1.5 представлен навесной разбрасыватель минеральных удобрений [27].

Навесной разбрасыватель минеральных удобрений содержит раму, на которой размещают бункер с предохранительной решеткой и дозирующим отверстием, перемешивающее устройство, рассеиватель удобрения. В качестве перемешивающего устройства используется ворошитель, выполненный в виде четырех изогнутых ворошилок,

симметрично расположенных на эксцентрикe с помощью втулки. Рассеиватель удобрения выполнен в виде двух дисков с четырьмя лопатками, снабженными втулками. Размер дозирующего отверстия регулируется с помощью заслонок днища бункера, управляемых через тягу рычагом. Привод от вала отбора мощности трактора осуществлен путем крепления рассеивателя и ворошителя к валу редуктора с помощью штифтов. Разработанная машина позволяет добиться повышения равномерности распределения сыпучего материала по поверхности почвы и увеличения ширины захвата устройства.

Недостатком указанного устройства является то, что оно не обеспечивает большую ширину посева и достаточную равномерность распределения сыпучего материала по поверхности поля. Это происходит из-за того, что часть материала после соприкосновения с лопаткой отражается от нее и располагается в непосредственной близости от рассеивающего диска. Другая его часть подхватывается лопатками с начальной скоростью вдоль лопаток, близкой к нулю, разгоняется вдоль них и распределяется вокруг рассеивающего диска на небольшое расстояние. При этом дальность полета материала уменьшается из-за преждевременного слета сыпучего материала с верхних кромок плоских лопаток. Кроме того, частицы материала дробятся в зазоре между торцом приемной камеры и поверхностью рассеивающего диска, а также при ударе о лопатки в месте подачи сыпучего материала. Вследствие удара материала о поверхность лопаток происходит их интенсивное залипание, что также приводит к уменьшению ширины захвата разбрасывателя.



1 – рама; 2 – бункер; 3 – наставка; 4 – решето.

Рисунок 1.5 – Навесной разбрасыватель минеральных удобрений

Известен навесной разбрасыватель минеральных удобрений, рисунок 1.6, [28] содержащий бункер с предохранительной решеткой и дозирующими отверстиями, а также перемешивающее устройство и рассеиватель с приводом от вала отбора мощности трактора.

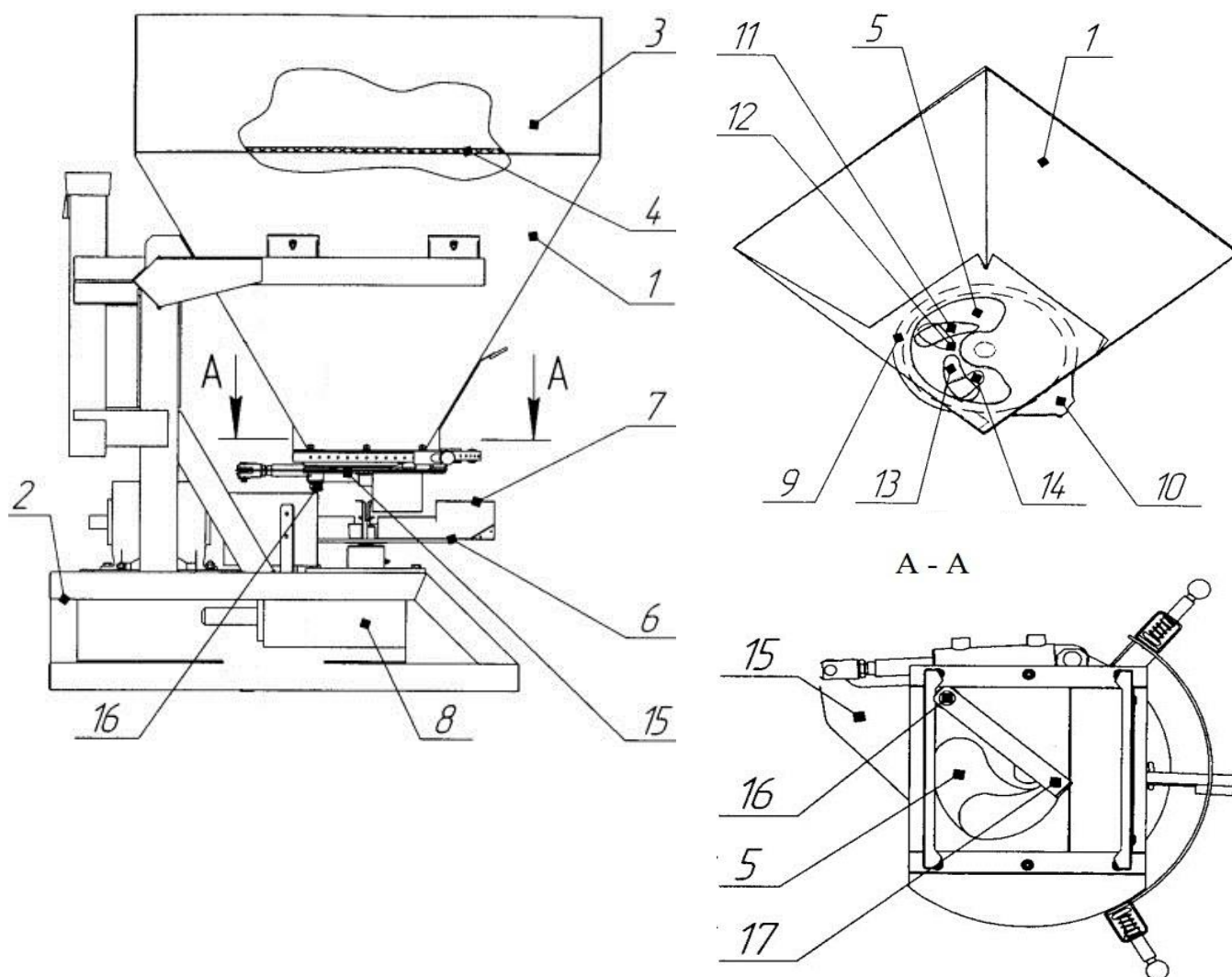


Рисунок 1.6 – Навесной разбрасыватель минеральных удобрений.

Предлагаемый разбрасыватель минеральных удобрений работает следующим образом. Удобрения, находящиеся в бункере 1, через отверстие 5 в его днище и дозирующие отверстия, образованные пересечением дозирующих прорезей 11 и 12 поворотной заслонки 9 с дозирующими прорезями 13 и 14 поворотной заслонки 10, подаются на рассеиватель 6. При этом перемещение поворотной заслонки 9 относительно поворотной заслонки 10 позволяет изменить дозу внесения удобрений, а совместное их синхронное перемещение относительно бункера 1 позволяет регулировать место подачи туков на рассеиватель 6, что влияет на равномерность распределения и дальность полета частиц удобрений. Наличие отдельной отсекающей поворотной заслонки 15 позволяет перекрывать дозирующие

отверстия, образованные пересечением дозирующих прорезей 11 и 12 с дозирующими прорезями 13 и 14, при разворотах агрегата без нарушения предварительных настроек дозы и места подачи удобрений на рассеиватель 6. При закрытии или открытии заслонки 15 также поворачивается закрепленный на поворотной оси 16 сводоразрушитель 17, который, проходя над дозирующими отверстиями, предупреждает образование в этой зоне сводов в находящихся в бункере минеральных удобрениях. Наличие сводоразрушителя 17 позволяет предотвратить зависание минеральных удобрений над дозирующими отверстиями и обеспечить постоянство подачи удобрений на рассеиватель 6 с минимальным уровнем повреждения составляющих их гранул или кристаллов. При этом взаимное расположение кромки поворотной заслонки 15 и сводоразрушителя 17 позволяет избежать фронтального перекрытия дозирующих отверстий сводоразрушителем 17 при открытом положении поворотной заслонки 15 и обеспечить максимальный сектор перемещения сводоразрушителя 17 в зоне дозирующих отверстий при повороте заслонки 15. Пройдя через дозирующие отверстия, материал падает на лопасти 7 рассеивателя 6, которые распределяют удобрения веерообразным потоком по поверхности поля.

Недостатком данного разбрасывателя является высокая степень повреждения гранул или кристаллов вносимых минеральных удобрений перемешивающим устройством.

следующий Разбрасыватель минеральных удобрений представленный на рисунке 1.7 [29] работает следующим образом.

Удобрения загружаются в кузов 1 Дозирующее устройство 22 устанавливается в положение, обеспечивающее подачу транспортером 4 необходимой дозы удобрений на рассеивающие устройства 5 через туконаправитель 6

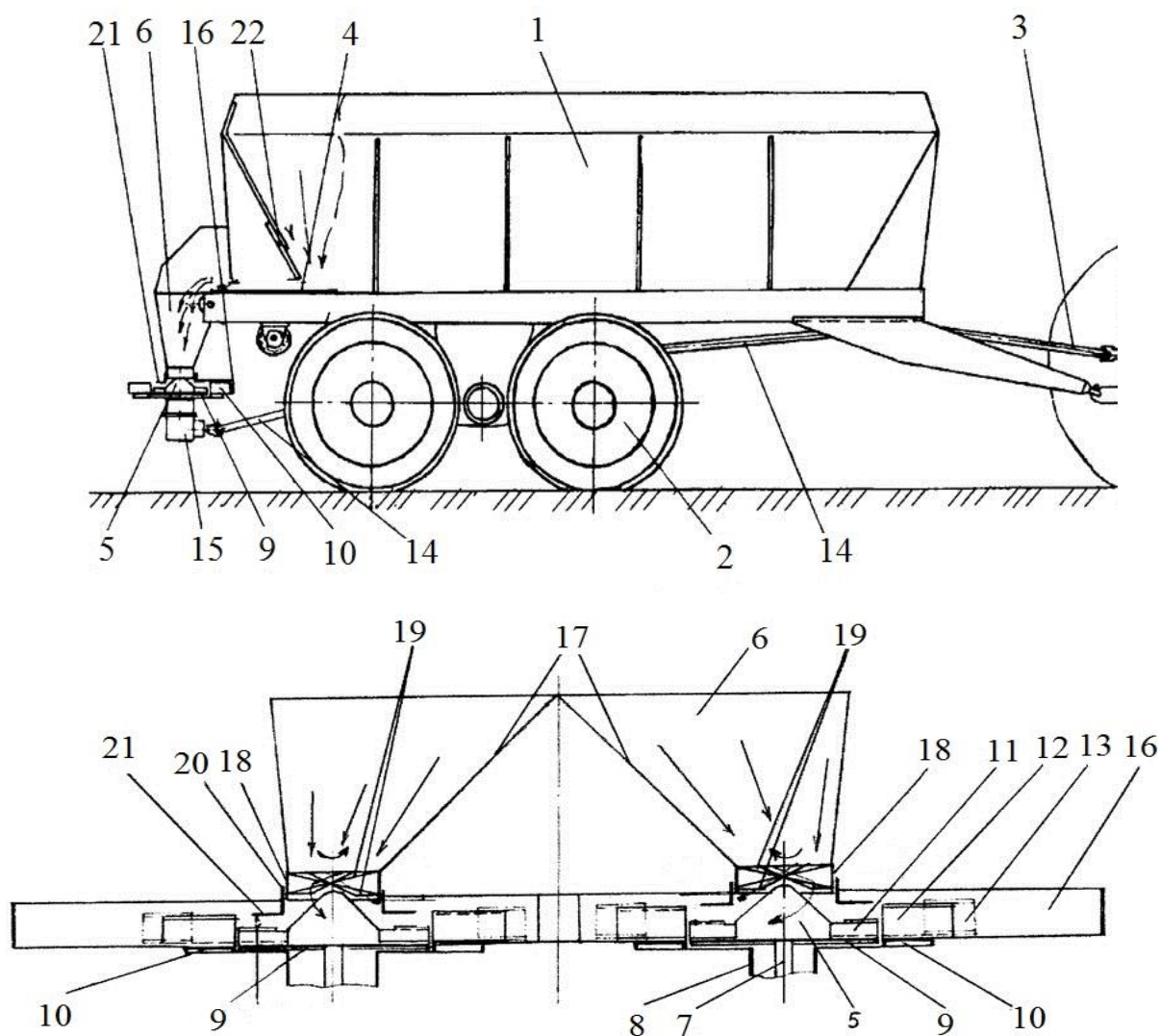


Рисунок 1.7 – Разбрасыватель минеральных удобрений

В зависимости от выбранной ширины разбрасывания удобрения устанавливаются удлинители 13 на лопатках 12 а определенный размер вылета, устанавливается защитно-ограничительный кожух 16 таким образом, чтобы зазор между защитно-ограничительным кожухом 16, и удлинителем 13 лопатки 12 не превышал 4 мм. Включается привод 3 и через трансмиссию 14 и редукторы 15 приводятся во вращение рассеивающие устройства 5 с помощью гидросистемы включается привод транспортера 4 , и разбрасыватель минеральных удобрений начинает двигаться по полю. Удобрения из кузова 1 через дозирующее устройство 22 , туконаправитель 6 , где с помощью спиралей 19 получают предварительное, до попадания удобрений на лопатки 11 дисков 9 вращение, в направлении вращения лопаток 11 , подаются на лопатки 11 Лопатками 11 и 12 , расположенными на

дисках 9 и 10 , и удлинителями 13, установленными на лопатках 12 , удобрения разгоняются до необходимой окружной скорости и, скользя вдоль защитно-ограничительного кожуха 16 , сходят с лопаток 11 и 12 дисков 9 и 10 и рассеиваются по полю.

Недостатком конструкции является размещение редуктора привода рассеивающих органов над рассеивающими дисками, что затрудняет подачу удобрений из туконаправителя на диски, способствует созданию неравномерности, пульсации подачи удобрения на диск, дроблению гранул удобрений, что нарушает фрагментарность удобрений и при направлении вращения дисков к центру машины создает пересечение, столкновение потоков сходящих с лопаток дисков удобрений и приводит к снижению равномерности распределения удобрений по поверхности поля.

Другой центробежный разбрасыватель минеральных удобрений, имеющие широкопрофильные колеса, подающий транспортер, синхронизированный с поступательной скоростью движения разбрасывателя предоставлен на рисунке 1.8 [2]

Центробежный разбрасыватель минеральных удобрений работает следующим образом.

При движении разбрасывателя минеральные удобрения, поступающие с подающего устройства 2, попадают на туконаправитель 3 и далее на центробежные метатели и захватываются лопастями 6, которые приводятся во вращение от ведомого колеса 11 через вал 12 гидромуфты 9. Часть удобрений просыпается на диски 5, а затем подхватывается с диска 5 лопастями 6 и острыми кромками пластин 10 и попадает на лопасти 6, получая при этом энергию, необходимую для распределения удобрений по поверхности поля. Энергия ударов частиц удобрений с лопасти 6 поглощается жидкостью гидромуфты 9. Установка гидромуфты 9 позволяет передавать крутящий момент от привода к центробежному метателю 4, а также гасить инерционные силы при неравномерном поступлении удобрений

на диски 5 во время переменной рабочей скорости машины, и снижать нагрузки в этот период из-за ударов удобрений о лопасти.

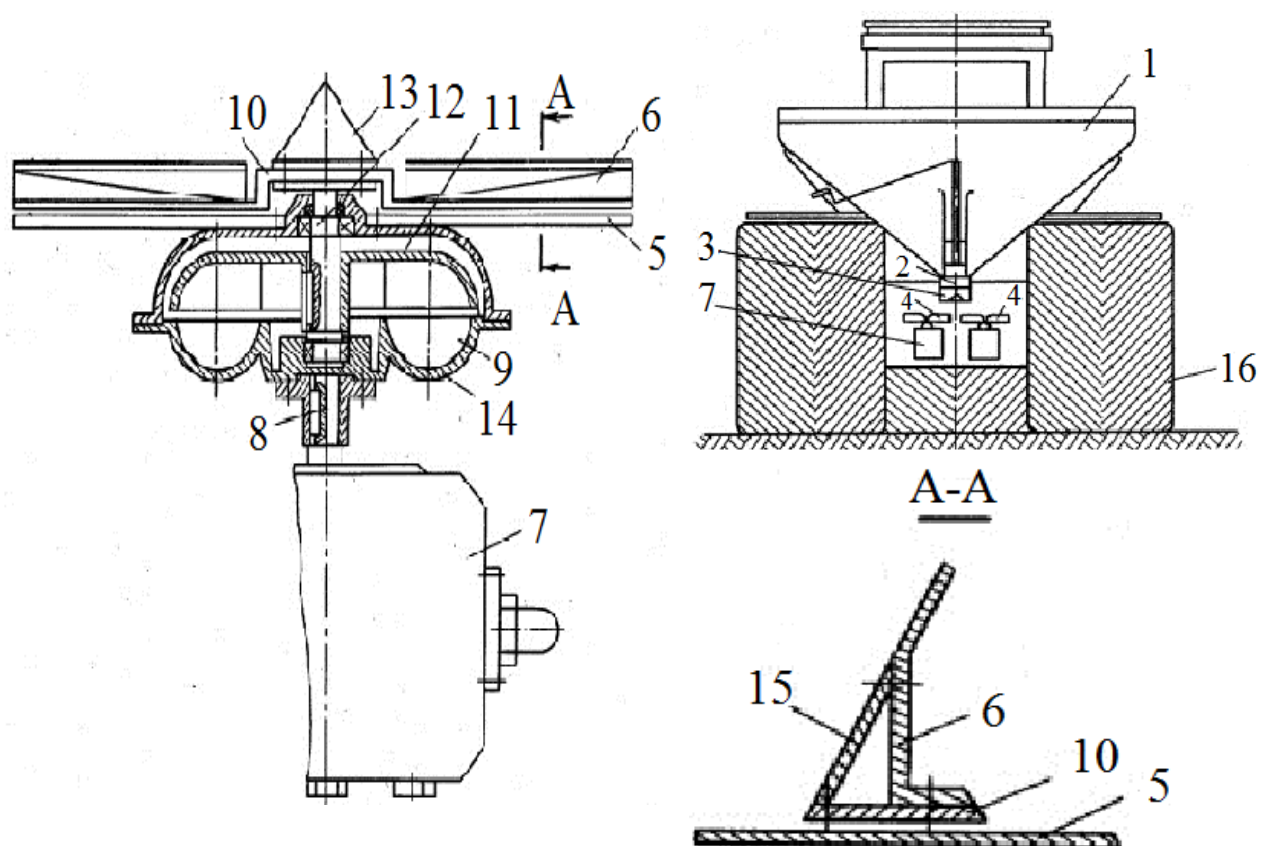


Рисунок 1.8 – Разбрасыватель минеральных удобрений.

Кроме того, при попадании крупных включений удобрений (камней) на диски смягчается сила удара лопасти и они меньше повреждаются. За счет плавного приложения нагрузки в меньшей степени повреждаются гранулы удобрений, что позволяет улучшить качество распределения удобрений. Наличие нижней и боковой пластин, образующих острые углы, позволяет исключить налипание удобрений на диск, так как при различных относительных скоростях диска и лопастей происходит очищение диска рабочими кромками пластин.

Недостатками данного разбрасывателя являются недолговечность метателя и невысокое качество внесения минеральных удобрений, налипание удобрений на рабочую поверхность диска.

Также нам известны машины встроенными транспортерами, который подают высеваемый материал на центробежный рабочий орган порциями. Один из таких машин предоставлен на рисунке 1.9 [3]

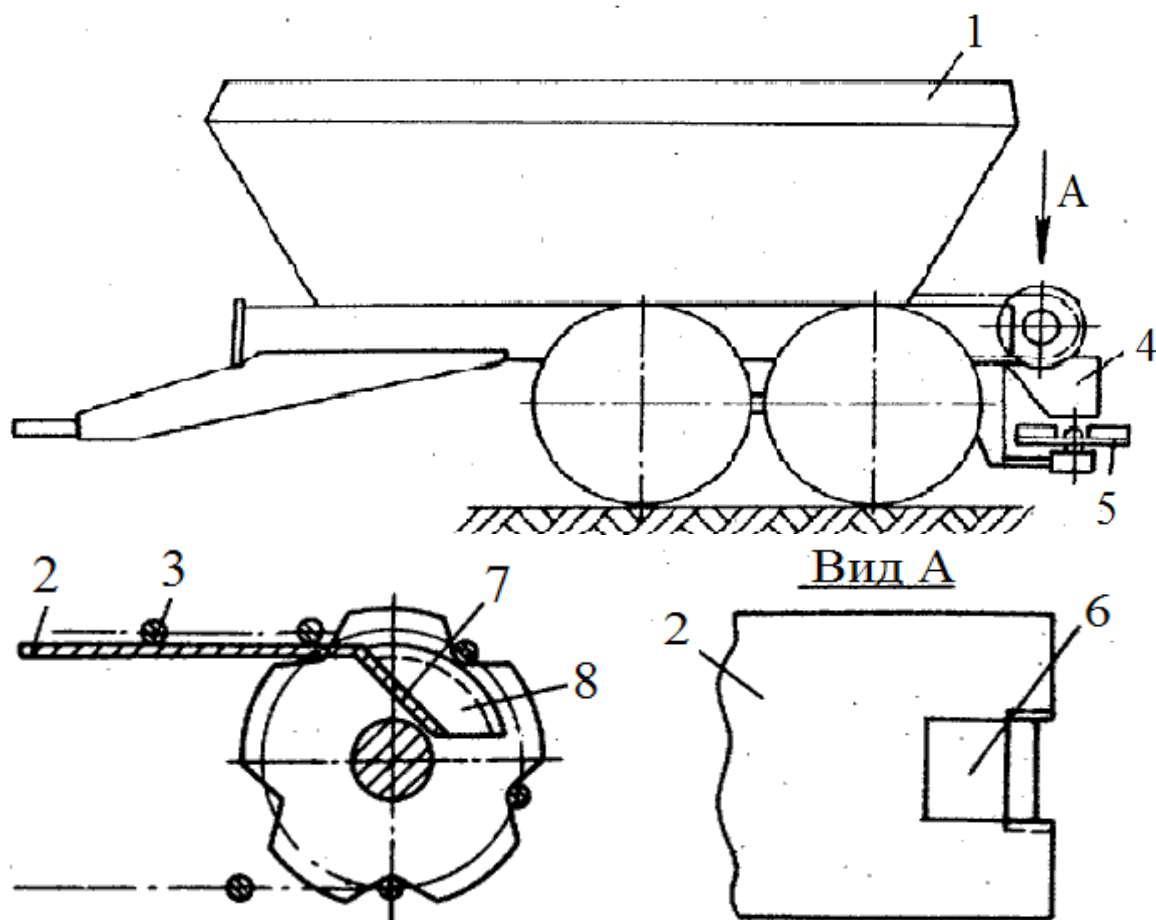


Рисунок 1.9 -Разбрасыватель минеральных удобрений

Разбрасыватель включает бункер 1, установленный на шасси, опорный стол 2 с планчатым транспортером 3, туконаправитель 4, разбрасывающий рабочий орган 5, стабилизатор 6 потока, который образован отогнутым в задней части средним участком 7 опорного стола 2 и вертикальными боковыми стенками 8, при этом ширина отогнутого среднего участка 7 равна половине ширины опорного стола, а его длина половине расстояния между планками транспортера.

Удобрения из бункера 1 подаются транспортером 3 в туконаправитель 4 и далее к разбрасывающему рабочему органу 5.

При этом, при подходе планки транспортера с очередной порцией удобрений к задней части опорного стола происходит сначала ссыпание в туконаправитель 4 через стабилизатор 6 потока средней части порции удобрений, затем по мере дальнейшего движения транспортера осыпаются крайние участки. Так как средняя часть порции удобрения, то есть ее половина, ссыпается раньше, чем крайние, пульсация потока сглаживается, за счет чего повышается равномерность распределения.

Недостатком разбрасывателя является низкая равномерность распределения удобрений из-за пульсирующего потока удобрений на разбрасывающий рабочий орган, пульсации которого возникают в результате сгуживания удобрений на опорном столе перед планками транспортера.

1.2. Анализ теоретических исследований технологического процесса внесения удобрений центробежными дисковыми аппаратами

Для создания центробежных органов и обоснования их теоретически огромный вклад внес своими основополагающими работами академик П.М. Василенко. [6]. Он рассмотрел такие критерии как, передвижение частиц удобрений по плоскости центробежного рабочего органа, силы, влияющие на частицу материала. Василенко отмечает, в зависимости от условий, как будут двигаться частицы удобрений зависит применение поверхности, это Архимедова спираль, логарифмическая спираль или развертка окружности. Исходя из этого, траекторию движения частиц по гладкому диску можно описать следующим уравнением:

$$R = R_0 e^{aq}, \quad (1.1)$$

где R_0 и a - данные полярные координаты;

a - угол между касательной к спирали и радиусом, град.

Данное выражение является, уравнением логарифмической спирали. Также мы можем убедиться, что развитие теории центробежного устройства получила и в работах других авторов [34,16,13,4,33].

Например, с.И. Назаров [20,21,22] с учетом конструктивных параметров центробежного диска получил общую дифференциальную формулу движения частиц туков относительно лопасти, фрикционно-аэродинамических свойств удобрений при сопротивлении среды. Данное уравнение представлено в виде:

$$Y'' + aY' - bY + A = 0. \quad (1.2)$$

Значение A определяется из следующего выражения

$$a = k_n + 2f\omega, \quad (1.3)$$

где a и b - соответствующие значения дифференциального уравнения;

Y - данные координаты, мм;

k_n - показатель парусности;

f - показатель трения скольжения;

ω - угловая скорость рабочего органа, c^{-1}

После полученного анализа автор установил, что угол сброса возрастает с ростом показателя трения и парусности частиц туков, а также снижением угловой скорости и расстояния точки поступления удобрений на диск от его центра. Исходя из этого, с.А. Тыльным [34] было получено относительная V_r и абсолютная V_a скорость для движения частиц удобрений по центробежному диску:

Относительная скорость движения будет:

$$V_r = \omega r (\sqrt{1 + f^2} - f), \quad (1.4)$$

а абсолютная

$$V_a = \omega r \sqrt{2[1 - f(1 + f^2 - f)]}, \quad (1.5)$$

где ω - угловая скорость, рабочего органа, c^{-1} ;

r - радиус диска рабочего органа, мм.

Он отмечает, что уменьшая окружную скорость и увеличивая коэффициент трения, величина этих скоростей уменьшается, причем

быстрее уменьшается относительная, чем абсолютная скорость. После проведения исследований автор сделал вывод, что для уменьшения степени силы трения удобрений о лопасти, необходимо увеличить производительность центробежного устройства. Для этого лопасти должны иметь вид переменной кривизны, зависящая от отношения скоростей:

$$\sin \psi = 2 \frac{V_r}{V_a}. \quad (1.6)$$

Учитывая, что ассортимент удобрений очень большой, а также их гранулометрический состав и влажность разная, то показатель их трения колеблется в значительных пределах. Исходя из этого, для отдельного вида удобрений криволинейная форма лопасти может увеличить производительность центробежного рабочего органа, а для другого наоборот уменьшить. А.А. Кукибный [17], отмечает, что на скорость метания, на угол метания и на показатель парусности частиц влияет траектория и дальность свободного полета частиц удобрений.

Изучив влияние данных величин, автор предложил определять максимальную дальность полета частиц следующей формулой:

$$X_{\max} = \frac{0.75}{k_n} \sqrt{0.272 k_n V_a^2 \sin 2a + 1}, \quad (1.7)$$

где V_a - скорость метания, м/с;

k_n - показатель парусности;

a_0 - угол метания, град.

Тем не менее, он здесь не рассматривает некоторые конструктивные параметры центробежного диска, которые могут оказать влияние на дальность полета частиц.

Другой автор, Б.А Кушилкин [13] предложил общее решение для уравнения движения частиц вдоль лопаток, который наклонен вперед по направлению вращения рабочего центробежного органа. Также, он отметил, что образующийся сильный воздушный поток между лопаток на центробежных устройствах при работе двухдискового аппарата не

рассматривается в текущем уравнении. Общее решение уравнения, для диска с лопатками, согнутыми вперед по направлению вращения, в развернутом виде показано ниже:

$$S = \frac{(f + \sqrt{f^2 + 1})(S_0 - f_a)}{2\sqrt{f^2 + 1}} e^{(\sqrt{f^2 + 1} - f)\omega t} + \frac{(f - \sqrt{f^2 + 1})(S_0 - f_a)}{2\sqrt{f^2 + 1}} e^{-(\sqrt{f^2 + 1} + f)\omega t}, \quad (1.8)$$

где S - путь, пройденный частицей по лопасти, мм;

f - коэффициент трения удобрений по лопасти;

S_0 - расстояние до точки встречи частиц с лопастью, мм;

a - расстояние от центра диска до лопасти по нормали, мм;

ω - угловая скорость рабочего органа

t - время прохождения частиц по лопасти, с.

Можно заметить, что в этой формуле изначальная скорость поступающих частиц удобрений на рабочий орган не учитывается. В своих работах В.В. Адамчук (4) порекомендовал поворачивающиеся в вертикальной и горизонтальной плоскостях лопатки, движение частиц вдоль лопатки определить следующим уравнением:

$$\Omega = \frac{1}{1 - f_l \operatorname{tg} a_{л\partial}} \left[\frac{g(f_l + \operatorname{tg} a_{л\partial})}{\omega^2} \pm \frac{(f_l R \sin a_l)}{\cos a_{л\partial}} \right] - r_0 \cos \left[\arcsin \left(\frac{R}{r_0} \sin a_l \right) \right], \quad (1.9)$$

где f_l - показатель сопротивления движению частиц вдоль лопасти;

$a_{л\partial}$ - угол действия по нормали к днищу лопасти, град.

a_l - угол установки лопасти относительно радиуса, град.

R - радиус диска, мм.

Данное уравнение позволяет найти особое решение с учетом формы рабочего центробежного диска, но тут не рассматривается ее кинематические параметры.

Так как, центробежный рабочий орган горизонтального и закрытого типа с эксцентричной поступлением удобрений, обычно встречается с большим частотой вращения, это допускает получить необходимой напор воздушной струи. Недостаток напора ухудшает равномерность

разбрасывания минеральных удобрений, так как лопатки будут подхватывать частицы тука во время полета, и они сойдут с верхней ее части направляющей струей. Для устранения этого Н.И. Евтухов [34] предлагает, сходящиеся из патрубка тукопровода частиц удобрений были распределены ровно по всему сечению струи, то есть по высоте лопатки, который добивается путем использования лопаток переменной высоты. Данный путь прохождения частиц вдоль лопасти можно определить следующим уравнением:

$$y = \frac{g \left(\arcsin \frac{x}{r_o} \right)^2}{2\omega^2} + \frac{V_o}{\omega} \arcsin \frac{x}{r_o}, \quad (1.10)$$

где V_o - изначальная скорость поступления частицы на лопасть, м/с;

r_o - расстояние место подачи удобрений, мм;

ω - угловая скорость рабочего органа, c^{-1} ;

g - ускорение свободного падения, м/с².

Анализируя данную формулу можно указать на то, что траектория криволинейного начального участка быстро переходит в прямой горизонтальный. У частиц тука попавшие на край диска, наблюдается низкая скорость отлета с лопаток, т.к центробежная сила здесь большая. Частицы, попавшие в центр диска вылетают с лопатки на высокой скорости, потому что тут центробежная сила относительно малая и траектория движения этих частиц имеет вид выпуклой кривой.

$$V_k V' + 2 f_n \omega V^2 - \omega^2 r r' + f_n \omega^2 r^2 \varphi' + f_1 g V = 0. \quad (1.11)$$

Вышеуказанную формулу Е.с. Когелес [13] описал как относительное движение туков по криволинейной лопаток центробежного рабочего органа,

где V_r - относительная скорость движения тука вдоль лопасти, м/с;

f_n - показатель трения тука по лопасти.

ω - угловая скорость рабочего органа, c^{-1} ;

r - полярный радиус;

$\dot{\varphi}$ - производная во времени полярного угла;

- f_n - коэффициент трения тука по диску.

Для выбора формы лопаток и параметров диска нужен универсальный расчетный аппарат, как утверждает сам автор. Чтобы получить приемлемое \ решение данного уравнения можем использовать метод линейного возмущения. Коэффициент трения f можно применить в качестве "возмущающего" аргумента.

Чтобы определить движения частиц по лопасти центробежного диска, вращающегося вокруг горизонтальной оси с постоянной угловой скоростью, М.Г. Догоновский [12] предложил следующее уравнение:

$$X' = \frac{\omega r \cos(\varphi \pm a_r)}{2} (A - B), \quad (1.12)$$

где φ - угол трения частиц о лопасть, рад.;

a_r - угол наклона лопасти к радиусу вектору, рад.;

A и B - соответствующие значения составных частей дифференциального уравнения.

Это уравнение позволит определить состояние частиц на лопатке и относительную скорость в любой момент времени, но для этого необходимо использовать сложные и неудобные для практических расчетов методы. Для того чтобы найти угол ωt поворота лопасти в момент схода с нее частиц, по которому можно рассчитать все остальные параметры, характеризующие условие вылета частиц из ротора, необходимо либо строить для каждого случая графики $x = f(t)$, либо пользоваться при решении данного уравнения трудоемким методом последовательного приближения. Еще М.Г. Догоновский предложил уравнение для определения скорости, направления полета и угла разбрасывания удобрений, сброшенных с лопасти рабочего органа. скорость выбрасываемых удобрений можно определить как абсолютную скорость частиц в момент ее схода с лопасти.

$$V_n = \sqrt{V_n^2 + U_r^2 \pm 2V_n U_r \sin a_1}, \quad (1.13)$$

где V_r - переносная скорость частиц удобрений, м/с;

U_r - относительная скорость схода удобрений с лопасти, м/с.

Если лопатки расположены радиально, то эта скорость будет:

$$V_a = k_v \omega r, \quad (1.14)$$

где k_v - показатель, зависящий от угла трения материала о лопатки.

Направление полета материала, сошедшего с лопатки, определяется углом между вектором абсолютной скорости частиц и горизонтом. Этот угол может быть найден по уравнению.

$$\beta_o = \frac{3\pi}{2} \omega t_i - \arcsin \frac{V_n \cos \alpha o}{V_o} \pm \alpha_r, \quad (1.15)$$

где β_o - угол полета частиц к горизонту, град;

ωt_c - наименьший угол схода, град;

ωt_a - наибольший угол схода, град.

Однако удобрения поступают на рабочий орган в некоторой зоне диска, причем материал, поданный в точку этой зоны, имеет наименьший угол схода. Чтобы материал был выброшен из ротора за один оборот, угол разгрузочного окна необходимо выбрать исходя из соотношения $\omega t_p \geq \omega t_a - \omega t_c$, т.е. для полного очищения диска независимо от места подачи. смещение зоны подачи ближе к центру вращения рабочего органа или дальше от него вызывает соответственно увеличение или уменьшение углов ωt_p и β_o .

В исследованиях о влияние радиуса и скорости вращения диска на качество распределения удобрений преуспел В.В.Рядных [32]. Он выявил, что для получения наилучшего качества распределения удобрений с преобладающим содержанием крупных частиц необходимо рассеивать веерообразной струей. А удобрения, состоящие преимущественно из легких фракций, соответственно высевать плотной струей. Зависимость между

полной шириной рассева удобрений L и дальностью полета частиц средних размеров, можно выразить соотношением:

$$L = k_M \cdot \chi_{\text{max}}, \quad (1.16)$$

где L - ширина рассева удобрений, м;

χ_{max} - дальность полета частиц, м;

k_M - коэффициент зависящий от величины подачи удобрений.

Эффективная ширина рассева удобрений, при котором неравномерность разбрасывания не превышает 25%, составляет в среднем $(0,6-0,7) L$.

Для случая выброса удобрений веером, окружную скорость ротора с радиальными лопастями можно определить из следующего соотношения.

$$\omega R = \frac{V_a}{\sqrt{1 + \left(\frac{\cos \varphi}{1 + \sin \varphi} \right)^2}} \quad (1.17)$$

где R - радиус диска, рабочего органа, мм;

V_a - абсолютная скорость вылета удобрений с диска, м/с.

Теории движения частиц минеральных удобрений по вращающемуся горизонтальному диску, дальности полета и равномерности распределения туков по поверхности поля посвящены работы ряда зарубежных авторов [41,42,43].

Исследовав процесс движения тука при поступлении на поверхность центробежного диска разбрасывателя Д.Е. Patterson и А.Р. Recce [41] убедились, что на равномерность распределения влияет частота вращения и радиус диска.

После проведенных полевых испытаний Д.Е. Patterson и А.Р. Recce предполагают, что при изменении частоты вращения увеличивается неравномерность разбрасывания на поверхность поля.

По мере того, как расстояние загрузки от центра диска растет, эффект удара и отскакивания частиц становится более значительным.

После исследования F.M. Jnns и A.R. Recse [42] были получены закономерности размещения для частиц правильной сферической формы.

В реальных формах использовать эти теоретические исследования для частиц очень сложно.

В работах других двух зарубежных авторов, W. Hollmann и A. Mathes [43], было выявлено влияние размера частиц удобрений на среднюю дальность выброса, так как это указывала на зависимость между равномерностью распределения удобрений

Можно заметить из ранее изложенных работ, что авторы в своих теоретических исследованиях для определения конструктивных и кинематических параметров центробежных рабочих органов не учитывали всех особенностей. Таких как: отсутствие удара и начальной скорости при поступлении частиц удобрений на центробежный рабочий орган, что частица тука скользит по плоскости диска, а также частицы не перекатываются и имеют сферическую форму и т.д. Конечно же, все это изменяет правдивую картину выполнения технологического процесса центробежным рабочим органом.

После обзора теоретических исследований приведенными вышеуказанными авторами можно рассмотреть, что они исследовали вопросы, которые обосновывают технологические процессы поверхностного внесения минеральных удобрений машинами с центробежными рабочими органами. Но эти исследования не дают нам ответы на все вопросы, связанные с разработкой и использованием центробежных дисков, а именно, здесь не учтено факторы влияющие на качество разбрасывания материала, которые трудно теоретически исследовать и требующие специальных экспериментов.

1.3.Цель и задачи исследования

Исходя из рассмотренных вышеуказанных конструкции машин, цель работы будет следующим, разработка и изготовление рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений с более точной равномерностью

внесения и изучение влияния конструктивных и технологических параметров на равномерность внесения туков.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Теоретически обосновать параметры разбрасывателя минеральных удобрений.
2. Разработать экспериментальную схему и изготовить конструкцию разбрасывателя минеральных удобрений.
3. Провести необходимые технологические и конструктивные расчеты разработанной конструкции разбрасывателя минеральных удобрений.
4. Исследовать процесс разбрасывания минерального удобрения на разработанной конструкции.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1.Обоснование частоты вращения рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений

На дне бункера разбрасывателя расположена заслонка, которая регулирует подачу удобрений на разбрасывающий диск. Норма высева может быть отрегулирована размером щели на заслонки и скоростью установки.

Из бункера высеваемый материал попадает на разбрасывающий орган, являющимся обычно диском с вертикальной осью. На диске установлены лопасти, расположенные радиально. Как мы знаем, у такого аппарата двухфазная система работы: первая, передвижения частиц удобрений относительно по диску и вторая, свободный полет под действием сообщенной или кинетической энергии и силы тяжести. Неравномерность разбрасывания удобрений по ширине захвата является недостатком центробежного разбрасывающего устройства.

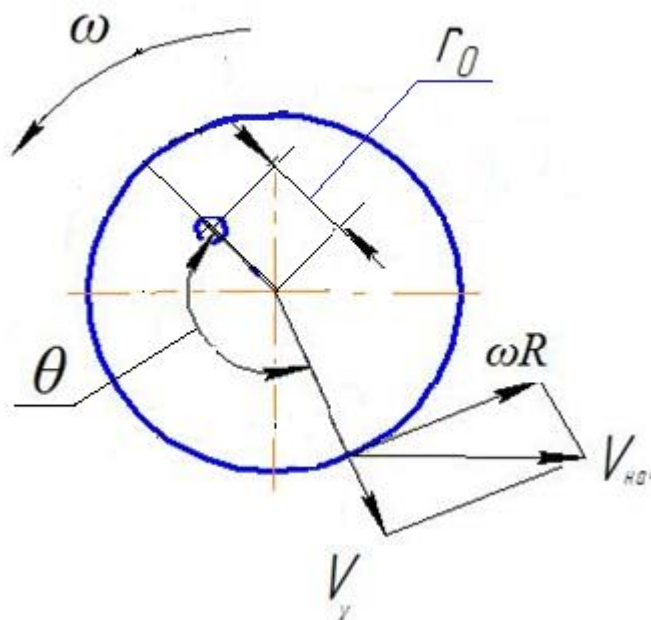


Рисунок 2.1 – схема взаимодействия центробежного диска

Изменение места подачи на диск частиц удобрений (рисунок. 2.1) влияет на время пребывания их на диске T , угол поворота диска Θ , величина и направляющие скорости схода их с диска.

Возрастание концентрации по краям засеиваемой полосы, зависит от подачи разбрасывающего материала к центру диска, а средняя часть полосы в большей мере засеивается при поступлении разбрасывающего материала дальше от центра, т.е. ближе к краю.

Значение скорости, с которой частицы удобрений поступают на диск и после чего начинают свободный полет $V_{Нач}$ (рисунок 2.1) зависит от окружной ωR и линейной V_x составляющих этого вектора.

На движение частиц по диску прежде всего действует сила, определяемой на них со стороны лопастей. Выходя из выше изложенного, на частицу, находящуюся на некотором расстоянии x от центра диска действует ряд сил

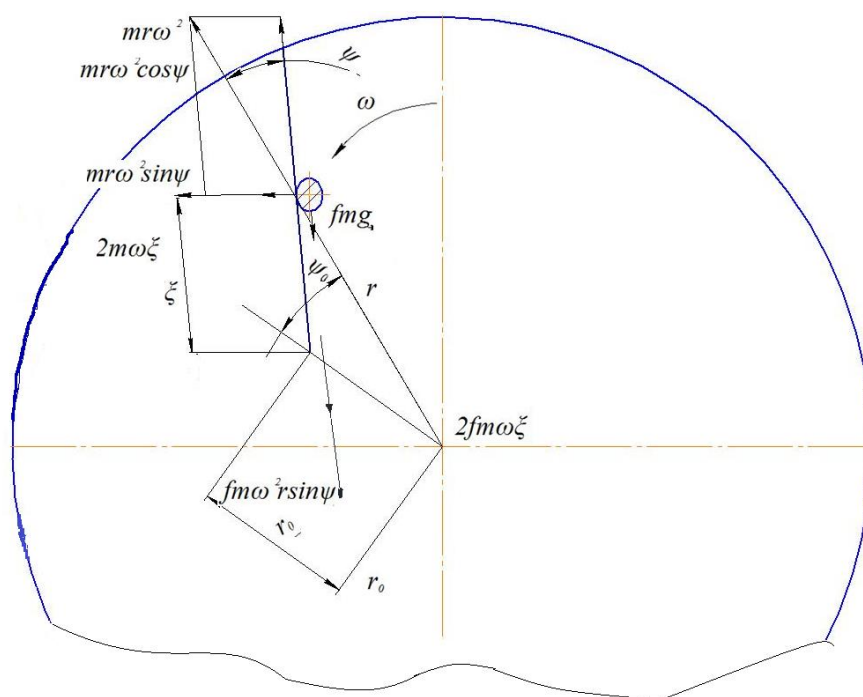


Рисунок 2.2 – схема сил, действующих на частицу удобрений, движущуюся вдоль по горизонтальному диску с прямолинейными радиальными лопастями

с точки зрения, идеализированной модели технологического процесса (если считать, перемещающееся удобрение как некая материальная точка с массой m , т.е. сыпучесть среды не учитывается, также пренебрегается влияние возможных колебаний и стохастического характера всех его составляющих) можно выделить следующие силы:

- центробежной, $\omega^2 x$, действующей вдоль лопасти;
- кориолисовой, $2m\omega\dot{x}$, направленной перпендикулярно к лопасти;
- тяжести, mg , прижимающей частицы к горизонтальному диску;
- трения удобрений о диск fmg , где f - коэффициент трения;
- трения удобрений о лопасть $2fm\omega\dot{x}$.

Исходя из этого, необходимо составить дифференциальное уравнение движения частицы. Для этого воспользуемся принципом Д.Аламбера, т.е. сумму проекций всех сил на направление движения (вдоль лопасти) приравнять силе инерции движущейся массы:

$$m\ddot{x} = m\omega^2 x - 2fm\omega\dot{x} - fmg. \quad (2.1)$$

Переводя x и его производных с права на левую часть уравнения и сокращая всех членов на m можно получить:

$$\ddot{x} + 2f\omega\dot{x} - \omega^2 x = -fg, \quad (2.2)$$

т.е. линейные неоднородные дифференциальные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами.

Для решения этого дифференциального уравнения, необходимо составить из общей части и частного интеграла

$$x = u + x_1. \quad (2.3)$$

Общее решение зависит от значения корней характеристического уравнения λ .

Для составления характеристического уравнения, неизвестную величину заменяют единицей ее производной - соответствующими

степенями корней λ , сохраняют все коэффициенты и отбрасывают правую часть.

Применительно к уравнению (2.2) характеристическое уравнение примет вид

$$\lambda^2 + 2f\omega\lambda - \omega^2 = 0. \quad (2.4)$$

Решением этого квадратного уравнения являются:

$$\lambda = -f\omega \pm \sqrt{f^2\omega^2 + \omega^2}. \quad (2.5)$$

$$\lambda_1 = \omega\sqrt{f^2 + 1} - 1. \quad (2.6)$$

$$\lambda_2 = -\omega\left(\sqrt{f^2 - 1} + 1\right). \quad (2.7)$$

Так как корни характеристического уравнения оказались действительными числами и отличными друг от друга, то общее решение будет следующим образом:

$$U = c_1 \cdot l^{\lambda_1 t} + c_2 \cdot l^{\lambda_2 t}, \quad (2.8)$$

где c_1 и c_2 - постоянные, которые определяют по начальным условиям.

Частный интеграл x_1 зависит от вида правой части.

Если постоянные числа находятся в правой части, то и частный представит собой тоже постоянное число, допустим A , т.е. $x_1 = A$

В исходное дифференциальное уравнение определяют подстановкой значение величины A (2.2)

$$0 + 2f\omega \cdot 0 - \omega^2 A = -fg, \quad (2.9)$$

откуда

$$A = \frac{fg}{\omega^2} . \quad (2.10)$$

В соответствии с (2.4), (2.8) и (2.10) решением уравнения (2.2) будет:

$$x = c_1 \cdot l^{\lambda_1 t} + c_2 \cdot l^{\lambda_2 t} + \frac{fg}{\omega^2} . \quad (2.11)$$

Значения постоянных c_1 и c_2 , могут быть определены из начальных условий, как уже было отмечено ранее,

При $t = 0$

$$\left. \begin{aligned} x &= r_0 \\ x' &= 0 \end{aligned} \right\} . \quad (2.12)$$

Уравнение по первому условию (2.2) примет вид:

$$r_0 = c_1 \cdot l^{\lambda_1 0} + c_2 \cdot l^{\lambda_2 0} + \frac{fg}{\omega^2} , \quad (2.13)$$

откуда

$$c_1 + c_2 = r_0 - \frac{fg}{\omega^2} . \quad (2.14)$$

Для использования второго условия (при $t = 0$, $x' = 0$) необходимо уравнение скорости перемещения частиц удобрений вдоль по лопасти.

Продифференцировав (2.2) можно найти:

$$x' = c_1 \cdot \lambda_1 \cdot l^{\lambda_1 t} + c_2 \cdot \lambda_2 \cdot l^{\lambda_2 t} . \quad (2.15)$$

При подстановке второго начального условия получается:

$$c_1 \cdot \lambda_1 + c_2 \cdot \lambda_2 = 0 . \quad (2.16)$$

Решением системы уравнений (2.14) и (2.16) находят c_1 и c_2

$$\left. \begin{aligned} c_1 + c_2 &= \frac{r_0 \cdot \omega^2 - fg}{\omega^2} \\ \lambda_1 \cdot c_1 + \lambda_2 \cdot c_2 &= 0 \end{aligned} \right\} , \quad (2.17)$$

$$\left. \begin{aligned} c_1 + c_2 &= \frac{r_0 \cdot \omega^2 - fg}{\omega^2} \\ c_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot c_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

$$0 + c_2 \left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) = \frac{r_0 \omega^2 - fg}{\omega^2} \quad (2.19)$$

или

$$c_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot \frac{r_0 \omega^2 - fg}{\omega^2} \quad (2.20)$$

Постоянная c_1 окажется равной

$$c_1 = -\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot \frac{r_0 \omega^2 - fg}{\omega^2} \quad (2.21)$$

Итак

$$x = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot l^{\lambda_{2t}} \cdot \frac{r_0 \omega^2 - fg}{\omega^2} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot l^{\lambda_{1t}} \cdot \frac{r_0 \omega^2 - fg}{\omega^2} + \frac{fg}{\omega^2} \quad (2.22)$$

или

$$x = \frac{r \cdot \omega^2 - fg}{\omega^2 (\lambda_1 - \lambda_2)} (\lambda_1 \cdot l^{\lambda_{2t}} - \lambda_2 \cdot l^{\lambda_{1t}}) + \frac{fg}{\omega^2} \quad (2.23)$$

скорость частиц вдоль лопасти будет равна:

$$x = \frac{r_0 \cdot \omega^2 - fg}{\omega^2} \cdot \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)} (l^{\lambda_{2t}} - l^{\lambda_{1t}}) \quad (2.23)$$

После вылета частиц удобрений с диска координат $x = R$. При подстановке этого значения в уравнении (2.23) можно получить

$$R = \frac{r_0 \omega^2 - fg}{\omega^2 (\lambda_1 - \lambda_2)} (\lambda_1 \cdot l^{\lambda_{2t}} - \lambda_2 \cdot l^{\lambda_{1t}}) + \frac{fg}{\omega^2} \quad (2.24)$$

или

$$\frac{R \omega^2 - fg}{r_0 \omega^2 - fg} (\lambda_1 - \lambda_2) = \lambda_1 \cdot l^{\lambda_{2t}} - \lambda_2 \cdot l^{\lambda_{1t}} \quad (2.25)$$

Решив это уравнение относительно времени t , то можно вычислить время пребывания удобрения на диске T (от момента попадания на диск до схода с кромки диска) и подставив это значение в уравнение скорости (2.23) можно найти V_x (2.1).

$$V_x = x = \frac{r_0 \omega^2 - fg}{\omega^2} \cdot \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)} \cdot (l^{\lambda_2 t} - l^{\lambda_1 t}) \quad (2.26)$$

Можно найти начальную скорость полета частиц после схода их с диска сложением векторов $\bar{V}_x$ и $\bar{\omega}R$ (2.2) например

$$V_{нач} = \sqrt{V_x^2 + \omega^2 R^2} \quad (2.27)$$

При сходе с диска на частицу удобрений будут действовать силы тяжести и сопротивления воздуха (рисунок 2.3).

В диапазоне скоростей 20...30 м/с сила сопротивления воздуха R_x может определяться по известной формуле Ньютона:

$$R_x = k \cdot \frac{\gamma_B}{g} \cdot F \cdot V^2 \quad (2.28)$$

где k - коэффициент сопротивления, зависящий от свойств поверхности частиц;

γ_B - удельный вес воздуха;

F - Миделево сечение (проекция поперечного сечения тела в данный момент на плоскость, перпендикулярную к скорости воздуха);

V - скорость частицы относительно воздуха.

Дифференциальное уравнение полета частиц в направлении оси x , совпадающей с направлением начальной скорости $V_{нач}$, может быть записано как $m\ddot{x} = -R_x$.

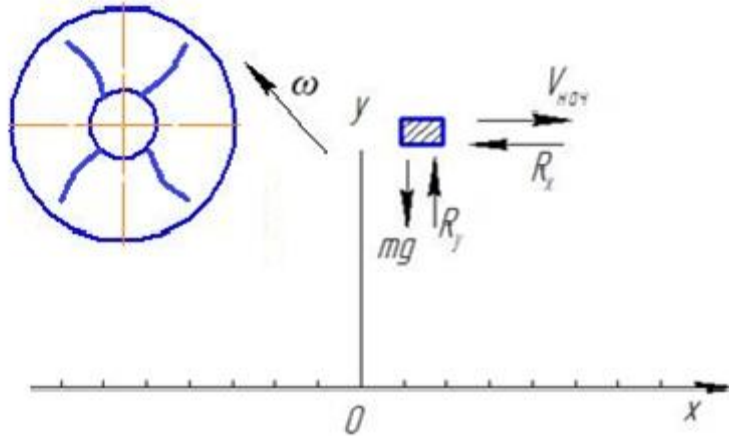


Рисунок 2.3 - схема сил, действующих на частицу удобрений
после схода с диска

Учитывая значение R_x по уравнению (2.23), получим

$$\ddot{x} = -\frac{k \cdot \gamma_B \cdot F}{mg} \cdot x^2 \quad (2.29)$$

Если коэффициенты перед x^2 обозначить k_n ,

$$k_n = \frac{k \cdot \gamma_B \cdot F}{mg} \quad (2.30)$$

то

$$\ddot{x} = -k_n \cdot x^2 \quad (2.31)$$

где k_n - коэффициент парусности частиц удобрений.

Решение уравнения (2.31) можно осуществить методом понижения порядка:

$$x = V_x, \ddot{x} = \frac{dV_x}{dt} \quad (2.32)$$

тогда

$$\frac{dV_x}{dt} = -k_n \cdot V_x^2 \quad (2.33)$$

или

$$dV_x = -k_n \cdot V_x^2 \cdot dt, \quad (2.34)$$

но

$$V_x \cdot dt = dx, \quad (2.35)$$

тогда

$$\frac{dV_x}{V_x} = -k_n \cdot dx. \quad (2.36)$$

Интегрируя уравнение, можно получить

$$\ln V_x = -k_n \cdot x + \ln c_1 \quad (2.37)$$

или

$$\ln V_x = \ln e^{-k_n \cdot x} + \ln c_1. \quad (2.38)$$

Если потенцировать это выражение, можно определить

$$V_x = c_1 \cdot e^{-k_n \cdot x}. \quad (2.39)$$

Постоянную интегрирования c_1 находят из начальных условий: при $x=0$ скорость $V_x = V_{нач}$

Таким образом, $c_1 = V_{нач}$.

следовательно, уравнение полета частицы будет представлено экспонентой

$$V_x = V_{нач} \cdot e^{-k_n \cdot x}. \quad (2.40)$$

Чтобы определить дальность полета полученное уравнение необходимо проинтегрировать по времени, предварительно вновь разделив переменные

$$\frac{dx}{dt} = V_{нач} \cdot e^{-k_n \cdot x} \quad (2.41)$$

или

$$e^{k_n \cdot x} \cdot dx = V_{нач} dt. \quad (2.42)$$

Интегралы от правой и левой частей окажутся равными

$$\frac{1}{k_n} \cdot e^{k_n \cdot x} = V_{нач} \cdot t + c \quad (2.43)$$

Постоянную интегрирования определяем из начальных условий при

$$\frac{l}{k_n} \cdot l = 0 + c \quad c = \frac{l}{k_n}, \quad (2.44)$$

$$t = 0; x = 0;$$

с учетом этого

$$\frac{l}{k_n} \cdot e^{k_n \cdot x} = V_{нач} \cdot t + \frac{l}{k_n}. \quad (2.45)$$

Если умножить обе части уравнения, можно получить

$$k_n \cdot x = \ln(k_n \cdot V_{нач} \cdot t + l). \quad (2.46)$$

Логарифмируя обе части уравнения можно получить

$$k_n \cdot x = \ln(k_n \cdot V_{нач} \cdot t + l). \quad (2.47)$$

Дальность полета частиц в функции времени получит следующий вид:

$$x = \frac{\ln(k_n \cdot V_{нач} \cdot t + l)}{k_n}. \quad (2.48)$$

Во время падения тела с высоты расположения диска от поверхности почвы H , можно найти время полета части t . Поскольку скорость движения частиц по вертикали и высота падения небольшие, то сопротивлением воздуха в этом направлении обычно пренебрегают, тогда

$$H = \frac{gt^2}{2}, \text{ откуда } t = \sqrt{\frac{2H}{g}}. \quad (2.49)$$

Если полученное значение t подставить в уравнение (2.48), то

$$x_{пол} = \frac{\ln\left(k_n \cdot V_{нач} \sqrt{\frac{2H}{g}} + l\right)}{k_n}. \quad (2.50)$$

Дальность полета удобрений $x_{пол}$ определяет одну из важнейших характеристик машины - ширину захвата, которая у большинства разбрасывателей равняется 10...14 м.

3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Задачи экспериментальных исследований

В результате проведенных теоретических исследований технологического процесса поверхностного внесения минеральных удобрений, обоснованы параметры и режимы работы аппарата, повышающего как производительность, так и качество внесения минеральных удобрений.

Однако, только теоретические исследования не позволяют сделать окончательный вывод о том, что предлагаемая лабораторная установка обеспечивает расчетные эксплуатационные характеристики работы, так как при теоретическом исследовании трудно учесть все факторы, влияющие на процесс внесения удобрений. Поэтому нами проводились экспериментальные исследования.

Основной задачей экспериментальных исследований является изготовление экспериментальной установки и выявление оптимального положения окна и частоты вращения на равномерность внесения удобрений.

Кроме того:

- определение места подачи удобрений, а также влияние конструктивных и кинематических параметров на угол схода туков с рабочего органа;
- установление математической зависимости неравномерности поверхностного распределения минеральных удобрений от конструктивных и кинематических режимов работы рабочего органа;
- установление рациональных режимов работы агрегата на внесении минеральных удобрений, их смесей и известковых материалов в производственных условиях;
- определение влияния качественных показателей технологического процесса внесения минеральных удобрений и их смесей в почву на урожайность сельскохозяйственных культур.

3.2 Программа экспериментальных исследований

Исходя из цели и задач исследований, нами разработана программа экспериментальных исследований, которая предусматривает выполнение следующего объема работ:

а) Изготовление экспериментальной установки и приспособлений для проведения опытов в лабораторных условиях.

б) Исследование модели рабочего органа в лабораторных условиях проводилось с целью:

- определения места подачи удобрений на рабочий орган и его влияние на угол схода туков с вертикального рабочего органа;
- определения влияния частоты вращения рабочего органа на угол схода удобрений;
- определения влияния формы выбросных лопастей на сектор рассева удобрений.

Лабораторно исследования проводились с целью:

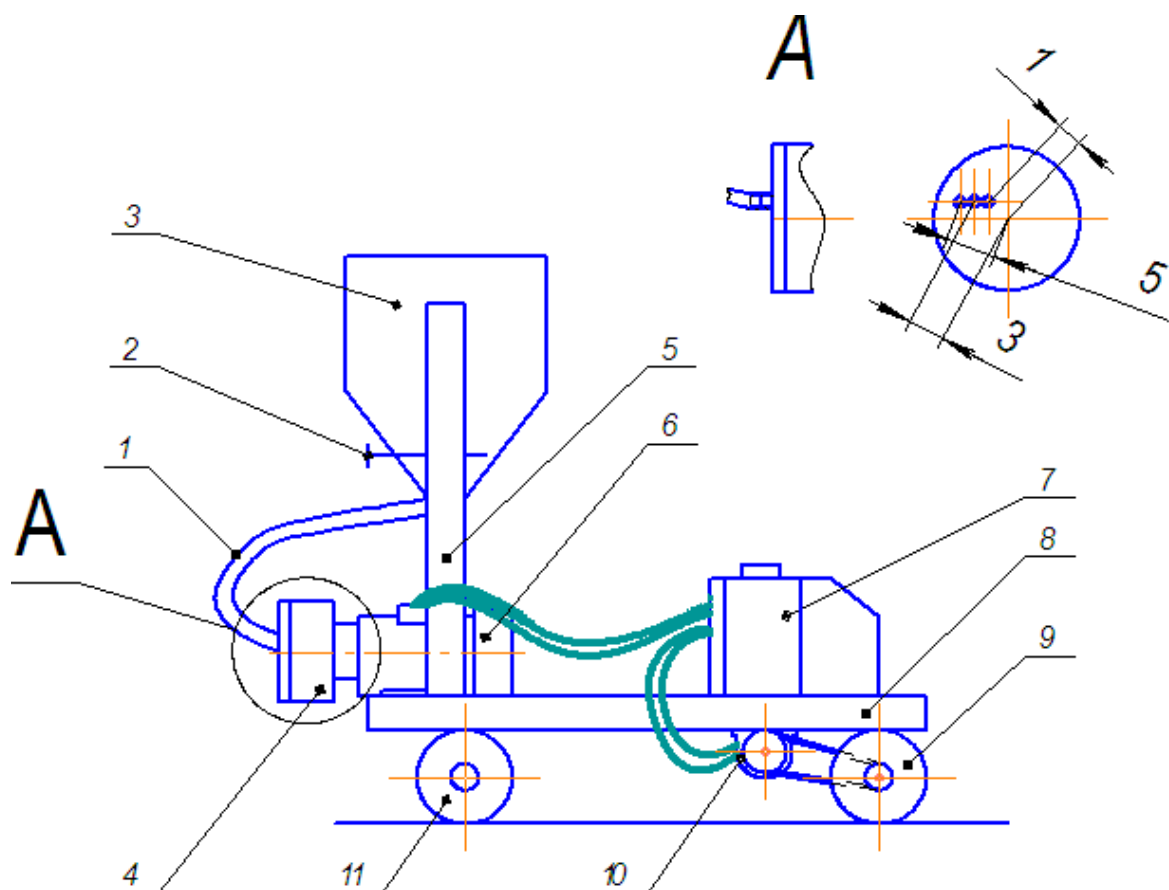
- определения качества поверхностного внесения минеральных удобрений, их смесей при различных режимах работы экспериментального агрегата;
- проведения сравнительного анализа по качеству внесения минеральных удобрений.

3.3. Методика экспериментальных исследований.

3.3.1 Лабораторные исследования

Для выполнения программы экспериментальных исследований была изготовлена лабораторная установка (рисунок 3.1).

Разбрасыватель состоит из рамы 8, которая опирается на опорные колеса 11. В раме установлены направляющие 8 для перемещения бункера 6 вверх-вниз и в продольном направлении. Для регулирования подачи удобрения на разбрасывающий диск имеется заслонка 2. Разбрасывающий диск приводится в движение с помощью электродвигателя привода 10, частота вращения регулируется ЛАТРом 7.



1 – шланг; 2 – заслонка (дозатор); 3 – бункер; 4 – разбрасывающий орган;
5 – направляющие; 6 – электродвигатель разбрасывателя; 7 – ЛАТР; 8 – рама,
9 – ведущее колесо; 10 – электродвигатель привода; 11 – ведомое колесо

Рисунок 3.1 – Экспериментальная установка разбрасывателя минеральных удобрений

Разбрасывающий орган 4 состоит из конусной части. На конусной части установлены криволинейные лопасти. Количество лопастей четыре. Зона разбрасывания разбита на 3 секторов, через 1, 3 и 5 см.

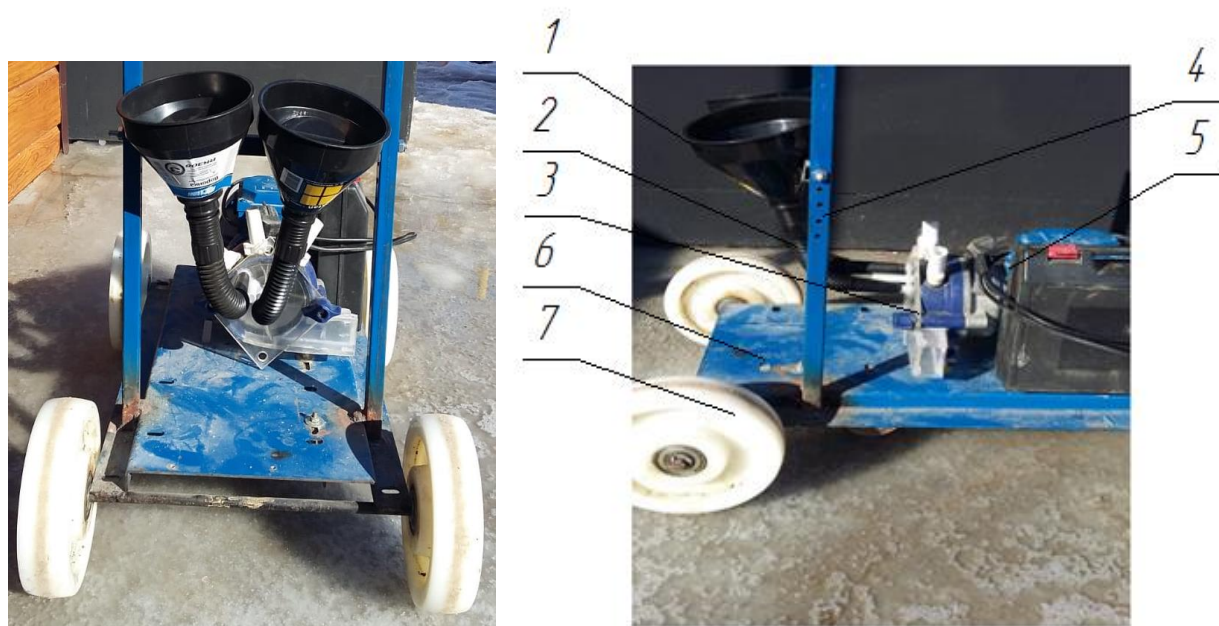
Для предотвращения раскидывания удобрений за пределы установки, зона разбрасывания во время опыта закрыта стеклом. При проведении опыта, удобрения засыпаются в бункер, в котором находится шланг регулируемая для подачи удобрений на рабочий орган. Частота вращения рабочего органа регулируется изменением напряжения на электродвигателе с помощью ЛАТРа. Для определения места подачи удобрений на коническую поверхность рабочего органа нами определено минимальное расстояние до оси вращения диска и высота подачи туков.

Минимальное расстояние и высота поступления удобрений фиксируется при различных частотах вращения разбрасывающего диска 5. На лабораторной установке используются разбрасывающие диски с разными криволинейными формами лопасти. При этом изгиб лопастей монтируется как по ходу, так и против вращения ротора.

После проведения лабораторных исследований, можно уточнить некоторые технологические параметры работы предлагаемого вертикального рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений.

3.3.2 Изготовление экспериментальной установки для исследований

В соответствии с методикой экспериментальной исследований была изготовлена экспериментальная установка общий вид, которого представлена на рисунке 3.2.



1 – бункер; 2 – шланг; 3 – разбрасывающий орган; 4 – направляющие; 5 – электродвигатель разбрасывателя; 6 – рама; 7 – ведомое колесо;

Рисунок 3.2 – Экспериментальная установка разбрасывателя минеральных удобрений

Экспериментальная установка состоит из рамы 6, которая опирается на опорные колеса. В раме установлены направляющие 4 для закрепления бункера 1. Для регулирования подачи удобрения на разбрасывающий орган 3 имеется заслонка. Разбрасывающий орган вращается за счет асинхронного электродвигателя 5. сам разбрасыватель приводится в движение с помощью электродвигателя.

Принцип работы установки заключается в следующем. В бункер 1 загружаются удобрения, при этом заслонка полностью закрыта. Включается электродвигатель 5, устанавливается определенная частота вращения с помощью ЛАТРа и открывается заслонка после чего начинается разбрасывание. Путем вращения крышки вокруг оси можно регулировать место подачи удобрений на разбрасывающий диск, и тем самым определить рациональное положение окна.

Рациональное значение равномерности распределения удобрений при разбрасывании принимается при различных частотах вращения разбрасывающего диска 4, который регулируется с помощью ЛАТРа. На лабораторной установке используются разбрасывающий диск криволинейной формой лопасти. Рабочий процесс установки складывается из трех фаз: подачи удобрений, относительного их перемешивания по диску, сбрасывания с диска и распределения удобрений по поверхности поля. Окно изготовлено в 3х вариантах исполнения от которого зависит равномерность внесения минеральных удобрений. Расстояние окна от центра крышки 1, 3 и 5 см.(рис 2) Это позволит, по нашему мнению, определить оптимальное положение при котором достигнет равномерное распределение удобрений при внесении.

Данная экспериментальная установка позволит определить рациональные параметры установки: частоту вращения диска, высоту расположения диска, точку падения минеральных удобрений на диск, скорость движения установки и т.д. для достижения равномерности внесения удобрений.

3.4. Порядок проведения лабораторного опыта.

Проведя экспериментальные исследования в лабораторных условиях, нами было принято использовать методику испытания машин для внесения твердых минеральных удобрений.[19]

Для оценки равномерности поверхностного распределения минеральных удобрений экспериментальной установкой по ширине захвата и сбор удобрений производили в древесине разделенный размером 10 x 10см.

Для вычисления неравномерности разбрасывания удобрений на общей и рабочей ширине берут показатель вариации количества удобрений на отдельных участках древесины. Участки древесины в свою очередь размещены в общую ширину в сплошной ряд перпендикулярно по направлению движения установки. Опыт проводился в трехкратной повторности (рисунок 4.3).

с каждого разделенного размером участка древесины взвешивали гранулы удобрения с весами ВЛКТ – 500 (рисунок 3.3) погрешностью не более ± 10 мг. Частоту вращения регулировали с помощью ЛАТРа (рисунок 3.4) Для определения необходимого нам частоту вращения применяли тахометр DT – 2234C⁺ (рисунок 3.5)



Рисунок 3.3 – Весы ВЛКТ – 500.

Весы лабораторные ВЛКТ-500 предназначены для взвешивания веществ при проведении лабораторных анализов в различных отраслях промышленности.

Представляет собой двухпризменные весы с верхним расположением грузоприемной чашки и полным механическим гиреуловложением. Весы имеют специальный механизм для автоматической компенсации негоризонтальности установки, а также делительное устройство, которое позволяет исключить субъективные ошибки при отсчете.

Технические характеристики весов лабораторных ВЛКТ-500:

Предел взвешивания, г: 500.

Цена деления шкалы, г: 1.

Класс точности: 4.

Погрешность взвешивания по шкале, мг: ± 10

Размер платформы, мм: д. 130

Электропитание: 220V/50Hz



Рисунок 3.4 - Лабораторный трансформатор



Рисунок 3.5 – Тахометр DT – 2234C⁺

Технические характеристики тахометра DT – 2234C⁺:

Диапазон измерения: от 2.5 до 99 999 об/мин

Шаг измерения: 0.1 об/мин для диапазона 2.5 ~ 999.9 об / мин; 1 об/мин при показаниях свыше 1000 об/мин

Погрешность: $\pm 0.05\% + 1$ знак

Расстояние до измеряемой поверхности: 50-500мм

Время измерения: 0.5 секунды

Питание: 1 x 9 V / 6F22 батарея (крона, в комплекте)

Окружающая среда: от 0 °C до 50 °C

Дисплей LCD 0.7", 5 цифр

Размеры: 131x70x29 мм Вес: 160 г

За равномерность распределения удобрений по ходу движения машины принимают коэффициент вариации массы удобрений, попавшей в отдельные участки, установленные по ходу движения агрегата на длине 6 м. При этом располагались справа от центральной линии на расстоянии 1/4 общей ширины внесения удобрений. Повторность опытов была также трехкратная на каждом режиме. После прохода разбрасывателя массу удобрений в участках определяли с погрешностью ± 20 мг. Данные заносили в ведомости.

Неравномерность распределения удобрений по ходу движения машины определяли аналогично неравномерности внесения по ширине.

Нестабильность дозы внесения удобрений λ , % вычисляли по формуле:

$$\lambda = \frac{D_H - D_K}{D_H} \cdot 100 \%, \quad (3.3)$$

где D_H - доза внесения удобрений в начале рабочего хода, кг/га;

D_K - доза внесения удобрений в конце рабочего хода, кг/га.

Нестабильность дозы внесения удобрений определяли по данным, полученным в процессе работы разбрасывателя в начале и конце рабочего хода. Для этого до начала опыта машину устанавливали на заданную дозу внесения удобрений, затем загружали бункер удобрениями до номинальной грузоподъемности. Затем на оптимальной скорости производили внесение удобрений на контрольном проходе до опорожнения емкости. Определяли длину и отмечали кольшками начало и конец учетного пути. До прохода установки первую группу участков древесины располагали по ширине внесения удобрений на расстоянии 4 м от начала рабочего хода и вторую группу - на расстоянии 4 м от конца рабочего хода. После прохода агрегата пробы удобрений, собранные в участках древесины взвешивали с погрешностью не более ± 20 мг. Данные заносили в ведомость и вычисляли дозу внесения удобрений в начале и в конце опыта.

3.5. Методика обработки опытных данных.

Результаты полученные при взвешивания в первый очередь находили среднее арифметическое значение массы удобрений в участках древесины, отклонение от среднего, сумму отклонений и среднее отклонение. Неравномерность разбрасывание минеральных удобрений экспериментальной установкой вычисляли отношения среднего отклонения к среднему арифметическому массы удобрений в участках в процентах

$$H = \frac{m}{g_{cp}} \cdot 100\% \quad (3.4.)$$

Но данный показатель неравномерности не рассматривает величину наибольшего отклонения и не является критерием для оценки качества разбрасывания минеральных удобрений устройствами вертикального типа.

Исходя из этого был принят математический метод в следующей последовательности:

среднее значение массы удобрений в противне g_{cp} вычисляли по уравнению:

$$g_{cp} = \frac{\sum g_i}{n} \quad (3.5)$$

среднеквадратическое отклонение массы удобрений в противнях σ_{cp} , г:

$$\sigma_{cp} = \pm \sqrt{\frac{\sum (\Delta g_i)^2}{n-1}}. \quad (3.6)$$

Неравномерность разбрасывания удобрений H_k (коэффициент вариации) вычисляем уравнением:

$$H_{k(v)} = \frac{\sigma_{cp}}{g_{cp}}. \quad (3.7)$$

Ошибку среднего арифметического находим уравнением:

$$\lambda = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (3.8)$$

Относительную ошибку среднего арифметического - коэффициент точности опыта находим уравнением:

$$\rho = \frac{\lambda}{g_{cp}} 100\%. \quad (3.9)$$

Вычисляем фактическую норму внесения удобрений в почву по среднему арифметическому массы удобрений в противне и площади противня.

$$Q_{фак} = \frac{g_{cp} \cdot 10}{0.25}. \quad (3.10)$$

Качества поверхностного разбрасывания минеральных удобрений по ширине захвата следует сказать хорошим, если максимальная неравномерность не превышает $\pm 15\%$, средним - если $15\% < H < 25\%$, а более $\pm 25\%$. По ходу движения агрегата разбрасывания удобрений можно считать хорошим, если неравномерность рассева не более $\pm 5\%$, средним, если $5\% < H < 10\%$ и плохим, более $\pm 10\%$.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

4.1 Неравномерность распределения удобрений по ширине захвата агрегата

От вида гранулометрического состава туков, от правильной регулировки и установки ширины разбрасывания зависит качественное разбрасывание удобрений по поверхности почвы вертикальными устройствами. Так как минеральные удобрения отличаются своими свойствами, гранулометрическим составом, заранее невозможно определить необходимую рабочую ширину захвата устройства. Чтобы получить неравномерность в пределах допустимой величины ($\pm 25\%$) рекомендуется очередные расстояния между смежными проходами машин.

При разбрасывании нитрофоски и суперфосфата в больших гранулах - 12м, а аммиачной селитры в гранулах размером 1-2мм - 8м, мелкокристаллического хлористого калия - 5-6 м. Частицы имеют различный гранулометрический размер и при помощи рабочего органа получают различный скорость схода. Затем после вылета из рабочего органа на скорость их движения действует коэффициента парусности. Из-за этого частицы улетают на различные расстояния: так как, большие дальше, а маленькие ближе к центру прохода машины. Это заметно проявляется при внесении тукосмесей.

Нами был проведен опыт по установлению неравномерности разбрасывание удобрений по ширине захвата установки при внесении их экспериментальным разбрасывателем. Для опыта применялась аммиачная селитра. Разбрасывание аммиачной селитры по ширине захвата экспериментальной установкой показано на рисунке 4.1.

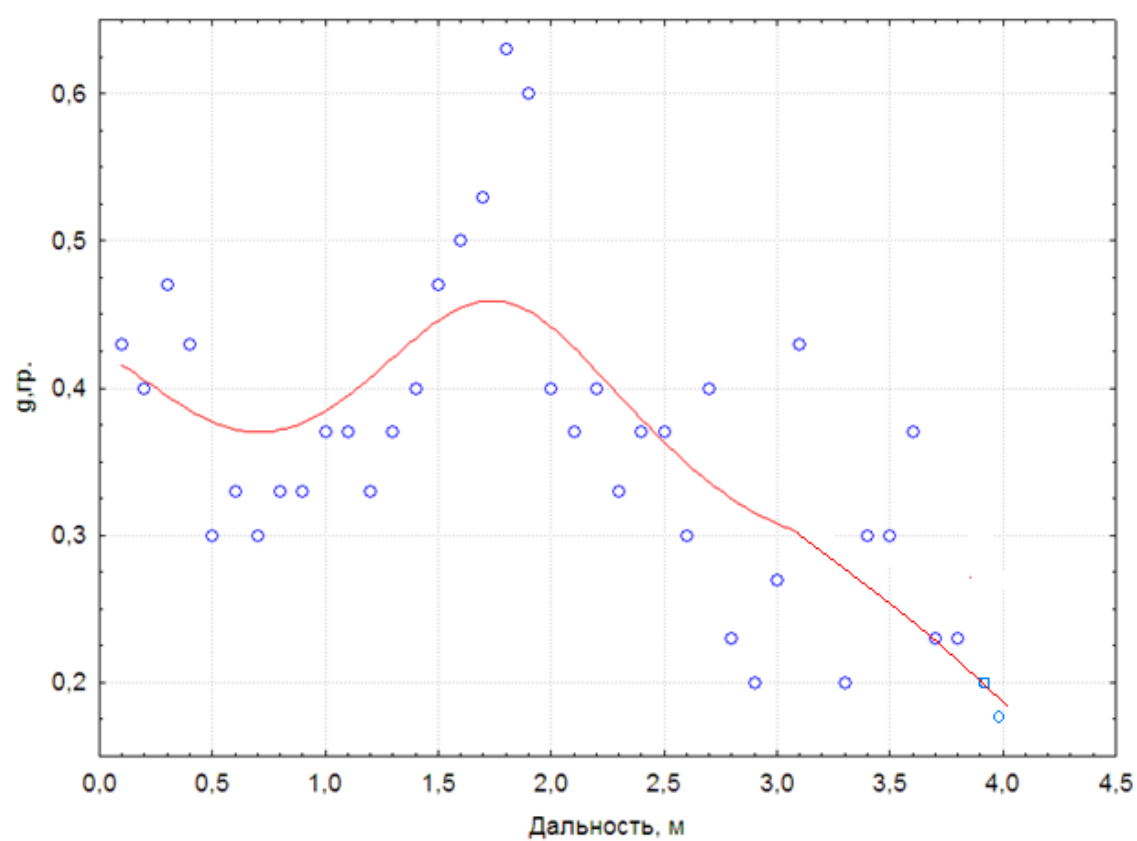


Рисунок 4.1 - Лабораторная экспериментальная установка при исследовании равномерности внесения удобрений

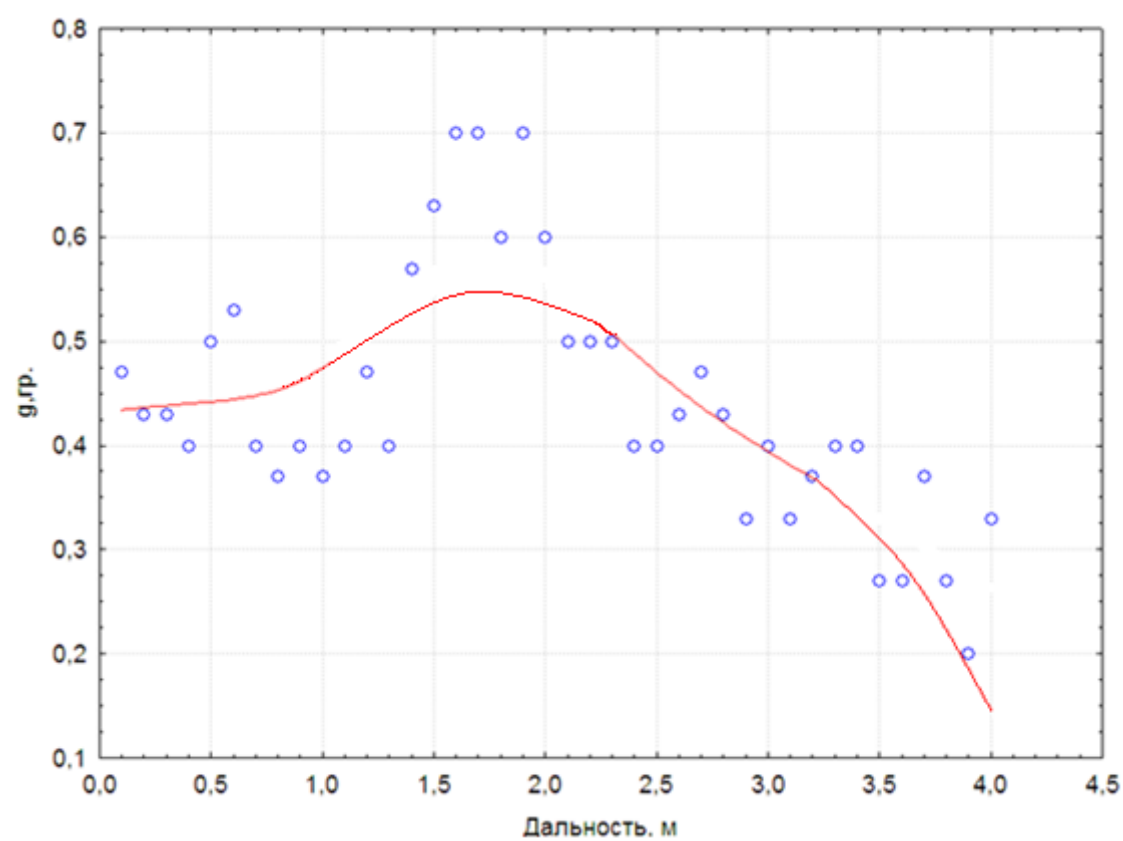
Порядок проведения опыта.

Перед началом опыта устанавливаем противни с левой стороны экспериментальной установки. Затем включаем лабораторную установку. с помощью ЛАТРа устанавливаем необходимую частоту вращения вертикального диска. После установки заданной частоты вращения открываем заслонку на 5мм и производя внесения минеральных удобрений на оптимальной скорости разбрасыватель движется до опорожнения бункера. После прохода экспериментальной установки пробы удобрений, собранные в противнях, взвешивали с погрешностью ± 10 мг. Опыт для каждой частоты вращения проводили с трехкратной повторности. Данные записывали.

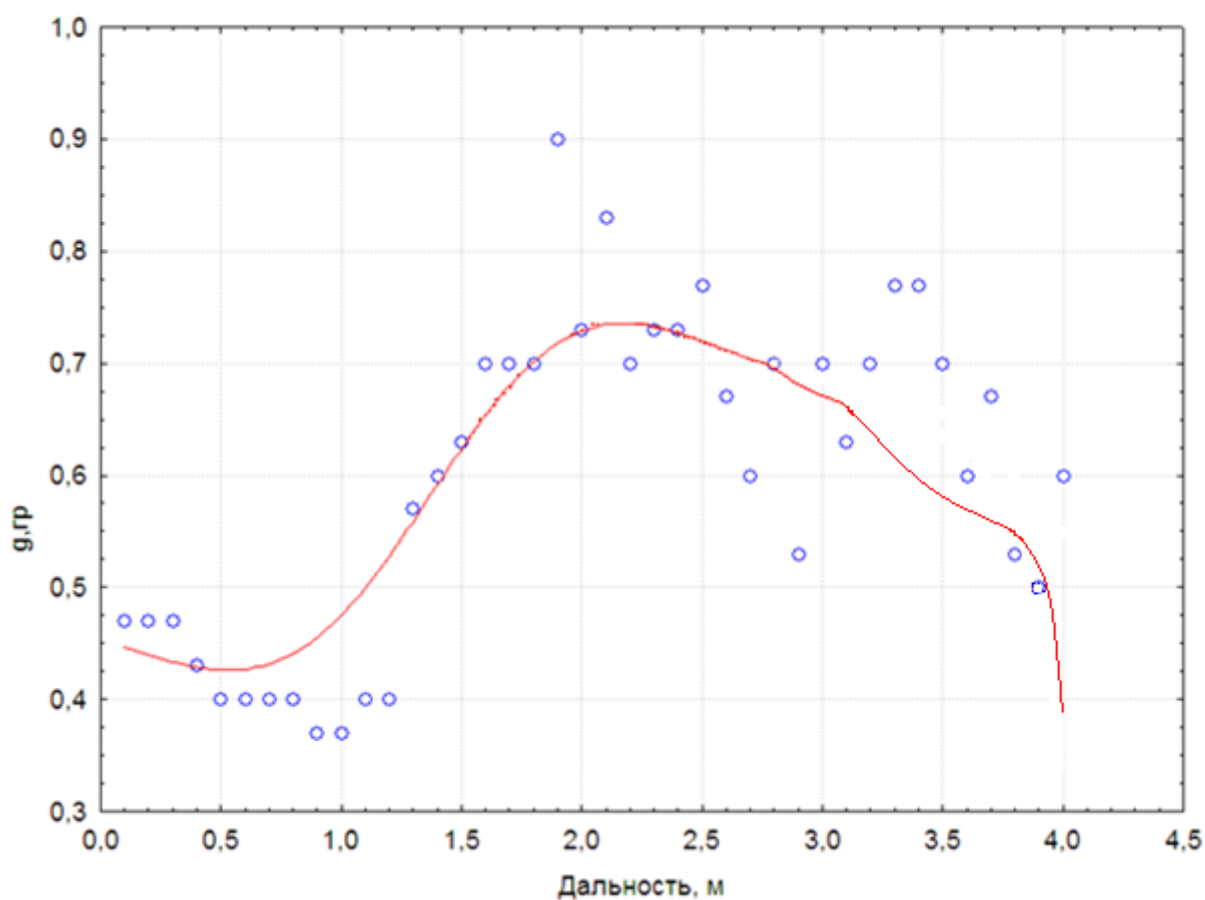
В результате проведенных экспериментов и обработки их результатов, был построен график зависимости неравномерного внесения минерального удобрения (рисунок 4.2).



a)



б)



в)

а) при 800 мин⁻¹ б) при 1000 мин⁻¹ в) при 1200 мин⁻¹

Рисунок 4.2 – Графики зависимости разбрасывания минерального удобрения при различных частотах вращения диска

Исходя из полученных графиков можно сделать вывод, что при увеличении частоты вращения диска разбрасывателя внесение удобрений происходит более равномерно, но увеличение частоты вращения приводит к увеличению дальности полета частиц удобрений, тем самым снижается доза внесения удобрения. При больших частотах вращения, также наблюдается разбивание частиц удобрения. Это в свою очередь приводит к изменению физико – химических свойств удобрений, тем самым мало оказывает влияние на нормальный рост сельскохозяйственных культур.

5. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ

5.1 Расчёт массы и стоимости конструкции

Масса конструкции определяется по формуле:

$$G = (G_k + G_g) \cdot K \quad (5.1.1)$$

где G_k – масса сконструированных деталей, узлов и агрегатов, кг;

G_g – масса готовых деталей, узлов и агрегатов, кг;

K – коэффициент, учитывающий массу расходуемых на изготовление конструкции монтажных материалов ($K=1,05 \dots 1,15$).

Масса сконструированных деталей, узлов и агрегатов представлена в таблице 5.1.1.

Таблица 5.1.1 - Расчёт массы сконструированных деталей

№ пп	Наименование деталей.	Масса одной детали, кг.	Количество деталей.	Общая масса деталей, кг
1	2	5	6	7
1	Загрузочная горловина	0,5	2	1
2	Разбрасывающий диск	2	1	2
3	Рама	10	1	10
4	Ведомое колесо	4	4	16
5	Направляющие	2	2	4
Итого:				33

Масса покупных деталей и цены на них представлены в таблице 5.1.2.

Таблица 5.1.2 - Масса покупных деталей и цены

№ пп	Наименование деталей	Количество	Масса, кг		Цены, руб	
			Одной	Всего	Одной	Всего
1	2	3	4	5	6	7
3	Болты М12	4	0,02	0,08	50	200
6	Гайка М12	4	0,01	0,04	20	80
9	Шкив ведущий	1	0,5	0,5	1000	1000
10	Шкив ведомый	1	0,4	0,8	800	1600
11	Шайбы	4	0,005	0,02	15	60
15	Электродвигатель	1	10	10	10000	10000
16	Электродвигатель	1	5	5	2000	2000
21	Ремень	1	0,1	0,1	300	300
22	Вал	2	5	10	150	150
Итого:			26,84		15000	

Определим массу конструкции по формуле 5.1.1, подставив значения из таблицы 5.1.1:

$$G = (33+27) \cdot 1,05 = 63 \text{ кг}$$

Определение балансовой стоимости новой конструкции производится на основе сопоставления ее отдельных параметров по расчетно-конструктивному способу с использованием среднеотраслевых нормативов затрат на 1 кг. массы:

$$C_{\bar{o}} = [G_k \cdot (C_z \cdot E + C_m) + C_{\text{н\ddot{o}}}] \cdot K_{\text{нац}} \quad (5.1.2)$$

где G_k – масса конструкции без покупных деталей и узлов, кг;

c_z – издержки производства, приходящиеся на 1 кг, массы конструкции, руб. ($c_z=0,02\dots0,15$);

E – коэффициент измерения стоимости изготовления машин в зависимости от объема выпуска (принимаем $E=1,5$);

c_m – затраты на материалы, приходящиеся на 1 кг массы машин, руб./кг.
($c_m=0,68...0,95$);

$c_{пд}$ – дополнительные затраты на покупные детали и узлы, руб.;

$K_{нац}$ – коэффициент, учитывающий отклонение прейскурантной цены от балансовой стоимости ($K_{нац} = 1,15...1,4$).

5.2.2 Расчёт технико-экономических показателей эффективности конструкции и их сравнение

Прежде чем приступить к расчету технико-экономических показателей, приведём исходные данные.

Таблица 5.2.3 - Исходные данные сравниваемых конструкций

Наименование	Проектируемой	Базовой
1	2	3
Масса конструкции, кг	63	100
Балансовая стоимость, руб.	20000	35000
Потребная мощность, кВт	1	3
Часовая производительность, кг/ч	3	3
Количество обслуживающего персонала, чел.	1	1
Разряд работы	IV	IV
Тарифная ставка, руб./га	3	3
Норма амортизации, %	12,5	14
Норма затрат на ремонт ТО, %	10	10
Годовая загрузка конструкции, ч	1000	1000

с помощью этих данных рассчитываются технико-экономические показатели эффективности конструкции триера, и дается их сравнение.

Энергоемкость процесса определяют из выражения:

$$\mathfrak{D}_e = \frac{N_e}{W_z} \quad (5.2.3)$$

где N_B – потребляемая конструкцией мощность, кВт;
 W_z – часовая производительность конструкции; кг/ч.

Металлоемкость процесса определяют по формуле:

$$M_e = \frac{G}{W_z \cdot T_{год} \cdot T_{сл}} \quad (5.2.4)$$

где G – масса конструкции, кг;
 $T_{год}$ – годовая загрузка конструкции, час;
 $T_{сл}$ – срок службы конструкции, лет.

Фондоёмкость процесса определяют по формуле:

$$F_e = \frac{C_6}{W_z \cdot T_{год}} \quad (5.2.5)$$

где c_6 – балансовая стоимость конструкции, руб.

Трудоёмкость процесса определяют по формуле:

$$T_e = \frac{n_p}{W_z} \quad (5.2.6)$$

где n_p – количество рабочих, чел.

себестоимость работы определяют по формуле:

$$S = C_{зн} + C_3 + C_{pmo} + A \quad (5.2.7)$$

где $c_{зн}$ – затраты на оплату труда, руб/кг;
 c_{pmo} – затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб/кг;

c_3 – затраты на электроэнергию, руб/кг;
 A – амортизационные отчисления, руб/кг.

Затраты на заработную плату определяют по формуле:

$$C_{зн} = Z \cdot T_e \quad (5.2.8)$$

где Z – часовая тарифная ставка, руб/ч:

Затраты на электроэнергию определяют по формуле:

$$C_э = Ц_э \cdot Э_э \quad (5.2.9)$$

где $Ц_э$ - комплексная цена за электроэнергию, руб/кВт.

Затраты на ремонт и техническое обслуживание определяют по формуле:

$$C_{пто} = \frac{C_б \cdot H_{пто}}{100 \cdot W_ч \cdot T_{год}} \quad (5.2.10)$$

где $H_{пто}$ - суммарная норма затрат на ремонт и техобслуживание, %.

Полученные значения подставим в формулу 3.4.10:

Затраты на амортизационные отчисления определяют по формуле:

$$A = \frac{C_б \cdot a}{100 \cdot W_ч \cdot T_{год}} \quad (5.2.11)$$

где a - норма амортизации, %.

Полученные значения подставим в формулу 3.4.7:

Приведённые затраты определяют по формуле:

$$C_{прив} = S + E_н \cdot F_н \cdot k \quad (5.2.12)$$

где $E_н$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_н = 0,1$);

$F_н$ – фондоемкость процесса, руб./кг;

k – удельные капитальные вложения, руб./кг.

Годовую экономию определяют по формуле:

$$Э_{год} = (S_0 - S_1) \cdot W_ч \cdot T_{год} \quad (5.2.13)$$

Годовой экономический эффект определяют по формуле:

$$E_{год} = (C_{прив}^0 - C_{прив}^1) \cdot W_ч \cdot T_{год} \quad (5.2.14)$$

срок окупаемости капитальных вложений определяют по формуле:

$$T_{ок} = \frac{C_{61}}{\Xi_{zod}} \quad (5.2.15)$$

Коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений определяют по формуле:

$$E_{эф} = \frac{\Xi_{zod}}{C_6} \quad (5.2.16)$$

сравнительные технико-экономические показатели эффективности конструкции показаны в таблице 5.2.4.

Таблица 5.2.4 - сравнительные технико-экономические показатели эффективности конструкции

№ пп	Наименование показателей	Базовый	Проект
1	2	3	4
1	Часовая производительность, кг/с	0,3	1,2
2	Фондоёмкость процесса, руб./кг	5,4	7,7
3	Энергоёмкость процесса, кВт./кг	0,3	0,7
4	Металлоёмкость процесса, кг/т	0,003	0,005
5	Трудоёмкость процесса, чел*ч/кг.	0,35	0,55
6	Уровень эксплуатационных затрат, руб./кг	60	50
8	Годовая экономия, руб.	25000	
9	Годовой экономический эффект, руб.	30000	
10	срок окупаемости капитальных вложений, лет	3	
11	Коэффициент эффективности капитальных вложений	2,12	

Как видно из таблицы 5.2.4 спроектированная конструкция разбрасывателя является экономически эффективной, так как срок окупаемости равен 3 годам и коэффициент эффективности равен: 2,12

ОБЩИЕ ВЫВОодЫ ПО РАБОТЕ

1. При выполнении данной научно-исследовательской работы были проанализированы ряд существующих, используемых в сельскохозяйственном производстве машин для разбрасывания минеральных удобрений. На основе литературно - патентного анализа существующих конструкций разбрасывателей минеральных удобрений, применяемых в сельском хозяйстве нами были выделены основные их преимущества и недостатки.

2. В процессе выполнения выпускной квалификационной работы приведены необходимые конструктивно-технологические расчеты процесса разбрасывания минеральных удобрений

3. На основе анализа классификации машин для разбрасывания минеральных удобрений разработана экспериментальная установка для разбрасывания минеральных удобрений обладающий широкими технологическими возможностями.

4. Исследован процесс разбрасывания минерального удобрения (аммиачная селитра) на экспериментальной установке и определены зависимости разбрасывания минерального удобрения при различных частотах вращения диска. В результате проведенных экспериментов и обработки их результатов, был построен график зависимости равномерного внесения минерального удобрения от частоты вращения диска.

5. Изготовленная конструкция разбрасывателя является экономически эффективной, так как срок окупаемости равен 3 годам и коэффициент эффективности равен 2,12.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миннебаев Б.А. Анализ машин для внесения минеральных удобрений / Миннебаев Б.А. Лукманов Р.Р. // Агроинженерная наука XXI века: сборник научных трудов по материалам региональной научно-практической конференции. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2018. – с. 134-137.
2. Миннебаев Б.А. Обзор рабочих органов разбрасывателей минеральных удобрений / Миннебаев Б.А. Лукманов Р.Р. Нафиков И.Р. Хусаинов Р.К. // Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы: сборник научных трудов по материалам II международной научно-практической конференции. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2017. – с. 62-67.
3. А.с. 904543 сссР. А 01 с 15/00 Широкозахватный разбрасыватель минеральных удобрений и химикатов / В. А. Дьяченко, Г. Д. Белов, А. И. Стефанович, В. Д. Липин, А. Д. Ефимов. – № 2983437/30-15; заявл. 12.09.80; опубл. 15.02.82. Бюл. №6.
4. А.с. 1011072 сссР. А 01 с 17/00 Центробежный разбрасыватель минеральных удобрений / А.И. Бобровник, А.Т. Скобейда, В.В. Яцкевич, В.с. Чешун – № 3271672/30-15; заявл. 09.04.88; опубл. 15.04.83. Бюл. №14.
5. А.с. 791291 сссР. А 01 с 17/00 Разбрасыватель минеральных удобрений / А.А. Докучаев, И.В. Довгожий, Н.М. Федотов, А.М. Кадилов, Ю.А. Каюшников, А.В. Лурье, Е.А. Готлиб. – № 2778317/30-15; опубл. 15.04.83. Бюл. №48.
6. Адамчук В. В., Моисеенко В. К. Технические средства нового поколения для посева минеральных удобрений / В. В. Адамчук, В. К. Моисеенко. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2004. - № 2. - с. 15 -19.
7. Бабенко Н. В. К вопросу о способах внесения сухих тукосмесей / Н. В. Бабенко // Химия в сельском хозяйстве - 1970. - № 1. с. 20 - 22.
8. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. Киев. : Изво, УАСХН, 1960.с.244-263

9 .Винтер П. и Румплер И Какой разбрасыватель лучше / П. Винтер, И. Румплер // Новое сельское хозяйство. - 2001. - X» 1. - с.42 – 44.

10. Войтов П. И. Эффективно использовать минеральные и известко-вые удобрения / П. И. Войтов. // Техника в сельском хозяйстве. - 1973. - № 4. - с. 1-3.

11 .Войтов П. И. Неравномерность внесения удобрений, как ее избежать? / П. И. Войтов. //Земледелие. -1974. - № 9. - с. 62 - 65.

12. Грачев Д. Г., Бабенко Н. В. смешанные удобрения / Д. Г. Грачев, Н.В. Бабенко. М.: Колос, 1970. - 159 с.

13. Дорофеев В. Ф., Понамарев В. И. Проблемы полегания пшеницы и пути ее решения / В. Ф. Дорофеев, В. И. Понамарев. // Обзор литературы ВНИИТЭИсХ. М.: 1970.3 с.

14. Догоновский М Г. Козловский Е. В. Машины для внесения удобрений / М. Г. Догоновский, Е. В. Козловский. М. :Машиностроение, 1972. 272 с.

15. Кушилкин Б. А. Исследование процесса высева минеральных удобрений горизонтальным роторным аппаратом : Б. А. Кушилкин : автореф. дис.... канд. техн. наук. - Воронеж, 1966. 18 с.

16. Кругляков М. Л. Машины для внесения удобрений в почву / М. Л. Кругляков. М.: Маш газ, 1953,232 с.

17. Костандов Л. А. Возрастающая роль в химической промышленности в деле химизации сельского хозяйства / Л. А. Костандов. // Химия в сельском хозяйстве, 1977. № 11 - с. 6 - 11.

18. Войтов П. И. Эффективно использовать минеральные и известко-вые удобрения / П. И. Войтов. // Техника в сельском хозяйстве. - 1973. - № 4. -с. 1-3.

19. Кукибный А. А. Метательные машины / А. А. Кукибный. М. : Машиностроение, 1964. 26 с.

20 .Кулавская Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулавская. Минск.: Урожай, 1978. 272 с.

21. Машины для внесения твердых минеральных удобрений, известковых материалов и гипса, // Методы оценки функциональных показателей. ОСТ. 107.1 - 2000. Минсельхоз. России. 2000. 46 с.

22. Назаров с.И. Основные направления развития средств механизации внесения минеральных удобрений. //Механизация и электрификация социалистического хозяйства. - 1977. - №1. - с. 10 -13.

23. Назаров с. И. Экспериментально-теоретические основы механизации процесса сплошного внесения минеральных удобрений: / с. И. Назаров, автореф. дис.... докт. техн. наук. - Минск, 1970. 48 с.

24. Назаров с. И., Докучаев А. А. Дальность полета и распределения минеральных удобрений по ширине захвата аппарата метательного типа при работе на склонах / с. И. Назаров, А. А. Докучаев. // Труды ЦНИИМЭсХ. 1975. Т. 12.-с. 58-74.

25. Останин А. И., Злобина Л. с. О равномерности внесения минеральных удобрений / А. И. Останин, Л. с. Злобина. // Агрохимия. - 1971. - № 3.-45 с.

26. ОСТ. 70.71 -2000. Машины для внесения минеральных удобрений, известковых материалов и гипса, // Программа и методика испытаний. Минсельхоз. России. 2000. 46 с.

27. Пат. 2349070 Российская Федерация, МПК А 01 с 15/00. смеситель-разбрасыватель минеральных удобрений / В.А. Рычков, В.А. Макаров, А.А. Катаев. - № 2007135501/12; Заявлено 24.09.2007; Оpubл. 20.03.2009. – 9 с.

28. Пат. 2533909 Российская Федерация, МПК А 01 с 15/00. спирально-шнековый смеситель-разбрасыватель минеральных удобрений / И.Г. Пономаренко, В.П. Забродин, А.Ф. Бутенко, М.М. Алькерем. - № 2012158277/13; Заявлено 29.12.2012; Оpubл. 27.11.2014. – 7 с.

29. Пат.2442308 Российская Федерация, МПК А 01 с 17/00, А 01 с 15/00. Разбрасыватель минеральных удобрений и мелиорантов / Г.А. Окунев, Н.А. Кузнецов, М.А. Юлсанов, А.А. Бражников. - №2010122089/13; Заявлено 31.05.2010; Оpubл. 20.02.2012. – 8 с.

30. Пат 2541393 Российская Федерация, МПК А 01 с 17/00,. Разбрасыватель минеральных удобрений /А.Ю.Ермолин, В.И.Хижняк, А.Ю.Несмиян, И.Г.Пономаренко, В.В.Щиров, Ф.В.Авраменко, Д.Е. Шаповалов - № 2013145471/13; Заявлено 10.10.2013; Опубл. 10.02.2015. – 7 с.
31. Пат 2323563 Российская Федерация, МПК А 01 с 17/00, А 01 с 15/00. Разбрасыватель минеральных удобрений /Ю.Н.Волгин, Е.Б.Демина. - №2006133799/12; Заявлено 21.09.2006; Опубл. 10.05.2008.Бюл. №13. – 7 с.
32. Перегудов В. Н., Овчинников Н. Г. Действия на урожай неравномерного распределения туков / В. Н. Перегудов, Н. Г. Овчинников. //Вест, сельскохозяйств. наук. - 1970. - № 1. - с. 11 -17.
33. Протокол № 12763. Испытания разбрасывателя минеральных удобрений 1РМГ-4. ЦМИС. солнечногорск, 1970.8 с.
34. Рядных В. В. Исследование рабочего процесса роторного разбрасывающего механизма к машинам по внесению минеральных и известковых материалов: автореф. Дис. канд. техн. наук. Л., 1966. 19 с.
35. Технология внесения минеральных удобрений в ГДР. //Экспресс информация. сер. сельскохозяйственные машины и орудия. - 1976. -№46-с. 9-10.
36. Тыльный с. А. Теоретическое и экспериментальное исследование работы центробежных метательных аппаратов минеральных удобрений с вертикальной осью вращения: автореф. дис. канд. техн. наук / с. А. Тыльный. 1970. 22 с.
37. Черников Б. П., Щемелинский Л. А. Повысить качество внесения минеральных удобрений / Б. П. Черников, Л. А. Щемелинский. // Техника в сельском хозяйстве. 1983. - № 2. - с. 13 - 14.
38. Якубаускас В. И. Технологические основы механизированного внесения удобрений В. И. Якубаускас. М.: Колос, 1973.231 с
39. Якобсон А. Р. Исследование способов оценки технологического процесса рассева минеральных удобрений: автореф. дис. канд. техн. наук. / А. Р. Якобсон. - Каунас 1978. 19 с.

40. Якимов Ю. И. Исследование факторов, влияющих на распределение минеральных удобрений горизонтальными центробежными аппаратами: автореф. дис. канд. техн. наук. / Ю. И. Якимов. - Краснодар, 1968. 22 с.

41. Якимов Ю. И., Волосников С. И. Экспериментальные исследования распределения удобрений центробежными аппаратами / Ю. И. Якимов, С. И. Волосников. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1967. - № 12. - с. 27-28.

42. Янишевский Ф. В. Эффективность основного минерального удобрения при разбросном внесении / Ф. В. Янишевский, А. И. Останин. // Бюллетень ВИУА. 1974. - № 19. - с. 19 - 21.

43. Wiemann K. Richtiy Verteiet wirkt Dunger besser / K. Wiemann. // Übersicht. - 1973. g 24. - № 10. - S. 765 - 769.

44. Mitchell D. Uneven applikation leads to clacre gran losses / D. Mitchell. // Power Farmg. - 1974. № 5. - S. 8 - 9.

45. Himon J. Uneven distributon can no longer be baken for granted / J. Thimon. // Fertilirer Solution. - 1974. № 18. - 6 s.

46. Mitchell D. Accracy counts / D. Mitchell. // Power Farming. - 1975. - № 2. - S. 14 -15.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Лабораторные исследования разбрасывателя минеральных удобрений при частоте вращения $n=800 \text{ мин}^{-1}$

№ участка древесины	Масса удобрений на участках, гр.	сумма	среднее по повторностям, гр.	Отклонение от среднего, Δg_1
1	0,4	1,3	0,43	0,07
	0,5			
	0,4			
2	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
3	0,5	0,4	0,47	0,11
	0,4			
	0,5			
4	0,4	1,3	0,43	0,07
	0,4			
	0,5			
5	0,3	0,9	0,30	0,06
	0,3			
	0,3			
6	0,3	1,0	0,33	0,03
	0,4			
	0,3			
7	0,3	0,9	0,30	0,06
	0,3			
	0,3			
8	0,3	1,0	0,33	0,03
	0,3			
	0,4			
9	0,4	1,0	0,33	0,03
	0,3			
	0,3			
10	0,3	1,1	0,37	0,00
	0,4			
	0,4			
11	0,4	1,1	0,37	0,00
	0,4			
	0,3			
12	0,4	1,0	0,33	0,03
	0,3			
	0,3			

13	0,4	1,1	0,37	0,00
	0,3			
	0,4			
14	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
15	0,5	1,4	0,47	0,11
	0,5			
	0,4			
16	0,6	1,5	0,50	0,14
	0,3			
	0,6			
17	0,6	1,6	0,53	0,17
	0,6			
	0,4			
18	0,5	1,9	0,63	0,27
	0,7			
	0,7			
19	0,6	1,8	0,60	0,24
	0,6			
	0,6			
20	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
21	0,4	1,1	0,37	0,00
	0,3			
	0,4			
22	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
23	0,3	1,0	0,33	0,03
	0,3			
	0,4			
24	0,4	1,1	0,37	0,00
	0,3			
	0,4			
25	0,4	1,1	0,37	0,00
	0,3			
	0,4			
26	0,4	0,9	0,30	0,06
	0,2			
	0,3			
27	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
28	0,3	0,7	0,23	0,13
	0,2			
	0,2			

29	0,2	0,6	0,20	0,16
	0,2			
	0,2			
30	0,3	0,8	0,27	0,10
	0,2			
	0,3			
31	0,4	1,3	0,43	0,07
	0,5			
	0,4			
32	0,3	0,9	0,30	0,06
	0,3			
	0,3			
33	0,2	0,6	0,20	0,16
	0,2			
	0,2			
34	0,3	0,9	0,30	0,06
	0,3			
	0,3			
35	0,2	0,9	0,30	0,06
	0,3			
	0,4			
36	0,3	1,1	0,37	0,00
	0,5			
	0,3			
37	0,4	0,7	0,23	0,13
	0,2			
	0,1			
38	0,2	0,7	0,23	0,13
	0,2			
	0,3			
39	0,2	0,9	0,30	0,06
	0,3			
	0,4			
40	0,3	0,8	0,27	0,10
	0,2			
	0,3			
Σ сред.			14,47 0,36	2,94 0,07

**Лабораторные исследования разбрасывателя минеральных удобрений
при частоте вращения $n=1000 \text{ мин}^{-1}$**

№ участка древесины	Масса удобрений на участках, гр	сумма	среднее по повторностям, гр.	Отклонение от среднего, Δg_1
1	0,4	1,4	0,47	0,03
	0,5			
	0,5			
2	0,5	1,3	0,43	0,01
	0,4			
	0,4			
3	0,4	1,3	0,43	0,01
	0,4			
	0,5			
4	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
5	0,5	1,5	0,50	0,06
	0,5			
	0,5			
6	0,5	1,6	0,53	0,09
	0,5			
	0,6			
7	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
8	0,4	1,1	0,37	0,07
	0,4			
	0,3			
9	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
10	0,4	1,1	0,37	0,07
	0,4			
	0,3			
11	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
12	0,5	1,4	0,47	0,03
	0,5			
	0,4			
13	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
14	0,6	1,7	0,57	0,13

	0,5			
	0,6			
15	0,6	1,9	0,63	0,19
	0,6			
	0,7			
16	0,7	2,1	0,70	0,26
	0,7			
	0,7			
17	0,7	2,1	0,70	0,26
	0,7			
	0,7			
18	0,7	1,8	0,60	0,16
	0,7			
	0,4			
19	0,7	2,1	0,70	0,26
	0,7			
	0,7			
20	0,7	1,8	0,60	0,16
	0,4			
	0,7			
21	0,4	1,5	0,50	0,06
	0,7			
	0,4			
22	0,4	1,5	0,50	0,06
	0,4			
	0,7			
23	0,7	1,5	0,50	0,06
	0,4			
	0,4			
24	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
25	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
26	0,4	1,3	0,43	0,01
	0,4			
	0,5			
27	0,5	1,4	0,47	0,03
	0,5			
	0,4			
28	0,4	1,3	0,43	0,01
	0,5			
	0,4			
29	0,3	1,0	0,33	0,11
	0,4			
	0,3			
30	0,4	1,2	0,40	0,04

	0,5			
	0,3			
31	0,3	1,0	0,33	0,11
	0,3			
	0,4			
32	0,4	1,1	0,37	0,07
	0,4			
	0,3			
33	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,4			
	0,4			
34	0,4	1,2	0,40	0,04
	0,5			
	0,3			
35	0,2	0,8	0,27	0,17
	0,2			
	0,4			
36	0,2	0,8	0,27	0,17
	0,3			
	0,3			
37	0,4	1,1	0,37	0,07
	0,3			
	0,4			
38	0,2	0,8	0,27	0,17
	0,3			
	0,3			
39	0,3	0,6	0,20	0,24
	0,2			
	0,1			
40	0,3	1,0	0,33	0,11
	0,3			
	0,4			
Σ сред.			17,63 0,44	3,64 0,09

**Лабораторные исследования разбрасывателя минеральных удобрений
при частоте вращения $n=1200 \text{ мин}^{-1}$**

№ участка древесины	Масса удобрений на участках, гр	сумма	среднее по повторностям, гр.	Отклонение от среднего, Δg_1
1	0,4	1,4	0,47	0,13
	0,5			
	0,5			
2	0,5	1,4	0,47	0,13
	0,5			
	0,4			
3	0,5	1,4	0,47	0,13
	0,4			
	0,5			
4	0,4	1,3	0,43	0,16
	0,5			
	0,4			
5	0,4	1,2	0,40	0,20
	0,4			
	0,4			
6	0,4	1,2	0,40	0,20
	0,4			
	0,4			
7	0,4	1,2	0,40	0,20
	0,4			
	0,4			
8	0,4	1,2	0,40	0,20
	0,4			
	0,4			
9	0,4	1,1	0,37	0,23
	0,4			
	0,3			
10	0,4	1,1	0,37	0,23
	0,4			
	0,3			
11	0,4	1,2	0,40	0,20
	0,4			
	0,4			
12	0,4	1,2	0,40	0,20
	0,4			
	0,4			
13	0,5	1,7	0,57	0,03
	0,6			
	0,6			
14	0,6	1,8	0,70	0,10
	0,6			
	0,6			

15	0,6	1,9	0,63	0,04
	0,6			
	0,7			
16	0,7	2,1	0,70	0,10
	0,7			
	0,7			
17	0,7	2,1	0,70	0,10
	0,7			
	0,7			
18	0,7	2,1	0,70	0,10
	0,7			
	0,7			
19	0,7	2,1	0,70	0,10
	0,7			
	0,7			
20	0,7	2,7	0,90	0,30
	1,0			
	1,0			
21	0,7	2,2	0,73	0,14
	0,7			
	0,8			
22	1,0	2,5	0,83	0,24
	0,5			
	1,0			
23	0,7	2,1	0,70	0,10
	0,7			
	0,7			
24	0,7	2,2	0,73	0,14
	0,7			
	0,8			
25	0,7	2,2	0,73	0,14
	0,7			
	0,8			
26	0,8	2,3	0,77	0,17
	0,7			
	0,8			
27	0,7	2	0,67	0,07
	0,7			
	0,6			
28	0,6	1,8	0,70	0,10
	0,6			
	0,6			
29	0,5	2,1	0,70	0,10
	0,8			
	0,8			
30	0,4	1,6	0,53	0,06
	0,6			

	0,6			
31	0,7	2,1	0,70	0,10
	0,7			
	0,7			
32	0,7	1,9	0,63	0,04
	0,5			
	0,7			
33	0,7	2,1	0,70	0,10
	0,7			
	0,7			
34	0,8	2,3	0,77	0,17
	0,8			
	0,7			
35	0,7	2,1	0,70	0,10
	0,7			
	0,7			
36	0,6	1,8	0,70	0,10
	0,6			
	0,6			
37	0,7	2	0,67	0,07
	0,6			
	0,7			
38	0,4	1,6	0,53	0,06
	0,5			
	0,7			
39	0,5	1,5	0,50	0,10
	0,5			
	0,5			
40	0,7	1,8	0,60	0,10
	0,6			
	0,5			
Σ сред.			23,87 0,60	4,89 0,12