

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
имени ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

На правах рукописи

Аникеев Александр Иванович

УДК 631.331

**Обоснование параметров процесса внесения
органических удобрений из куч**

05. 05. 11. — Механизация сельскохозяйственного производства

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

**Научный руководитель
Мельник Виктор Иванович
канд. тех. наук, вед. науч. сотр.**

Харьков – 2005

Содержание.

Введение	5
РАЗДЕЛ 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ ..	14
1.1. Органические удобрения как фактор интенсификации сельскохозяйственного производства	14
1.2. Основные технологические свойства органических удобрений ...	16
1.3. Тенденции механизации внесения органических удобрений	20
1.4. Обзор разбрасывателей твердых органических удобрений зарубежного производства	23
1.5. Технологические схемы доставки и внесения удобрений	26
Выводы и задачи исследований	28
РАЗДЕЛ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ К ВЫБОРУ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РОТОРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ	30
2.1. Выбор способа подачи удобрений на рабочий орган	30
2.2. Описание конструкции рабочего органа	32
2.3. Рабочий процесс, его описание и деление на фазы	33
2.4. Фаза движения удобрений по лопатке ротора	34
2.4.1. Определение величины перемещения, относительной скорости и других параметров взаимодействия с ротором элементарной массы удобрений, скользящей по его лопатке	37
2.4.2. Определение величины абсолютной скорости и направления вылета удобрений с лопатки ротора	46
2.5. Фаза свободного полета удобрений, после их схода с лопатки ротора	52
2.5.1. Изучение законов движения материальной точки в спокойной воздушной среде, в случае, когда ее сопротивление пропорционально квадрату скорости.....	53
2.5.2. Оценка соответствия экспериментальных траекторий полета частиц удобрений с теоретическими	67
2.5.3. Разработка метода восстановления функциональной связи сил сопротивления воздушной среды со скоростью движения комков удобрений в фазе свободного полета	73

2.5.4. Расчет дальности и ширины полосы разброса удобрений роторным рабочим органом	82
Выводы	89
РАЗДЕЛ 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
КОНСТРУКЦИИ РОТОРА РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ И ОЦЕНКА	
АДЕКВАТНОСТИ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПОСЫЛОК	
3.1. Программа и методика лабораторных исследований	90
3.1.1. Программа лабораторных исследований	90
3.1.2. Методика экспериментальных исследований и мерительная техника	91
3.1.3. Выбор материала для экспериментов и методика определения влажности	92
3.1.4. Описание экспериментальной установки	93
3.1.5. Методика определения качественных показателей работы ротора при изменении параметров его рабочих элементов	94
3.1.6. Методика выбора формы лопатки	99
3.1.7. Методика выбора формы и угла установки ножа	100
3.1.8. Методика выбора угла установки лопатки к радиусу ротора	100
3.1.9. Методика определения угла охвата ротора выбросным порогом	102
3.1.10. Методика определения величины подачи удобрений на лопатку ротора	103
3.1.11. Методика оценки характера распределения массы удобрений по углам схода с лопатки ротора к горизонту	103
3.1.12. Методика определения дальности полета частиц удобрений и их количественного распределения по поверхности поля	104
3.1.13. Методика оценки технологического процесса внесения удобрений из куч полунавесным разбрасывателем	104
3.2. Результаты лабораторных исследований	105
3.2.1. Характер распределения удобрений на лопатке ротора при торцевой подаче на нее удобрений	105
3.2.2. Выбор формы ножа и угла его установки на барабане	107
3.2.3. Характер распределения удобрений по углам схода с лопатки в зависимости от величины угла охвата ротора выбросным порогом и ориентации лопатки ротора	108

3.2.4. Характер массового распределения удобрений по углам схода с лопатки и дальности разброса в зависимости от величины подачи удобрений на лопатку ротора	114
3.2.5. Характер массового распределения удобрений по дальности разброса в зависимости от угла установки лопатки	119
3.2.6. Компоновка набора роторов в барабан	121
Выводы	124
РАЗДЕЛ 4. АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПО ПОЛЮ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ	125
4.1. Оценка равномерности распределения органических удобрений по площади внесения при разбрасывании их из куч круговым методом	125
4.2. Устройство полунавесного разбрасывателя твёрдых органических удобрений из куч вкруговую	143
4.3. Схема раскладки куч органических удобрений на поле и методы варьирования нормы их внесения	146
Выводы	150
РАЗДЕЛ 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ПОЛУНАВЕСНОГО РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ ИЗ КУЧ ВКРУГОВУЮ	151
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	156
Список использованных источников	158
Приложение	169

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение производства сельскохозяйственной продукции возможно только на основе последовательной интенсификации отраслей сельского хозяйства. Важным фактором улучшения плодородия почв является применение органических и минеральных удобрений, с помощью которых наиболее быстро можно повысить урожайность сельскохозяйственных культур. Отечественный и зарубежный опыт использования удобрений показывает что, не менее 40% прироста урожая можно получить за счет применения удобрений [1]

Органические удобрения имеют большое значение не только как источник питательных веществ, но и способствуют улучшению водного и воздушного режимов в почве, а также улучшают некоторые тепловые свойства и биологическую активность почвы.

По данным исследований [1, 2, 3] удельный вес факторов роста урожайности сельскохозяйственных культур может быть выражен следующими цифрами (в %): удобрения — 42, гибридные семена — 8, ирригация — 5, погодно-климатические условия — 31. Опыт показывает, что не менее половины прироста урожая может быть получено благодаря правильному применению удобрений.

Органические удобрения являются основным органическим удобрением в степной и лесостепной зонах Украины, и наилучшим образом удовлетворяет комплексу агротехнических и экономических требований. Одной из основных проблем при внесении органических удобрений является качество их распределения по поверхности поля.

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве для внесения органических удобрений применяют прицепы-разбрасыватели грузо-подъемностью 4,0...16 т и валкователи-разбрасыватели роторного типа.

Работы по совершенствованию существующих машин для внесения удобрений следует направить на повышение качества технологического

процесса. Под качеством внесения удобрений необходимо понимать не только равномерное распределение их по поверхности поля, но и внесение заданной дозы в оптимальные агротехнические сроки. Вследствие эффекта последствия внесения органических удобрений с низким качеством работы проявляется негативно в течение нескольких лет.

Использование прицепов-разбрасывателей грузоподъемностью 4000...6000 кг с колесными тракторами класса 9...14 кН на транспортировке и внесении удобрений экономически выгодно при небольших радиусах перевозки до 3,0 км. С увеличением расстояния перевозки эффективно используются прицепы-разбрасыватели повышенной грузоподъемности, в частности 10000...16000 кг в агрегате с тракторами класса 30...50 кН.

Увеличение грузоподъемности прицепов-разбрасывателей привело к увеличению их давления на почву. Давление на почву ходовых систем навозоразбрасывателей возросло до 420 кПа, тракторов до 180 кПа. Это в 3...6 раз превышает допустимый по агротехническим условиям уровень давления. Переуплотнение почвы ухудшает ее структуру, снижает эффективность действия удобрений, способствует эрозии почвы. Все это сказывается на ее плодородии, снижает урожайность сельскохозяйственных культур [4,5,6]

В поисках наиболее эффективных средств механизации возрос интерес к валкователям-разбрасывателям роторного типа [7,8], которые агрегируются с тракторами тягового класса 30 кН. Применение валкователей-разбрасывателей позволяет уменьшить количество проходов агрегата по следу, использовать на вывозке удобрений самосвальные транспортные средства общего назначения, которыми располагают хозяйства, выполнять работы по внесению удобрений в установленные агротехнические сроки меньшим количеством машин.

Интерес к валкователям-разбрасывателям проявляется прежде всего в их высокой производительности, минимальном расходе топлива в

сравнении с прицепами разбрасывателями, однако равномерность распределения удобрений пока не отвечает агротехническим требованиям. Распределение удобрений по поверхности поля роторными разбрасывателями [9 – 14] требуют предварительного формирования куч в валок. Длина валка зависит от нормы внесения удобрений, ширины разбрасывания и массы куч. Ни одна из существующих машин [15 – 26] не может сформировать валок с неравномерностью $\pm 15\%$ соответствующей агротехническим требованиям [27]. Кроме того, разбрасыватель снабжен делителем валка, который при маневрировании трактора во время движения не разделяет валок на равные части, нарушая этим самым распределение удобрений по сторонам.

Анализ исследований [28 – 31] показывает, что главной причиной низкого качества работы валкователей является несовершенство их рабочих органов. Значительная часть мощности трактора (до 39 кВт) затрачивается на процесс валкообразования [32]. При внесении удобрений из куч массой более 4000 кг процесс выполняется в два приёма (прохода агрегата), – формирование валка и разбрасывание удобрений по длине прохода.

Выше изложенное, указывает на перспективность работ, направленных на создание таких конструкций разбрасывателей, которые могли бы разбрасывать удобрения непосредственно из куч без формирования валка.

Актуальность темы. Одной из важных задач сельскохозяйственного производства Украины это повышение урожайности сельскохозяйственных культур путем внедрения комплексных мероприятий по повышению плодородия почвы, в частности, путем применения органических удобрений.

Проанализировав природно-климатические зоны Украины можно отметить, что площади полей размером менее 30 га составляют около 30% в восточном регионе, а также в Житомирской, Волынской, Ровенской и Черниговской областях. В Прикарпатских же областях, средний размер

полевых участков составляет и того меньше (преимущественно 6 га), к тому же, с довольно сложной конфигурацией.

В настоящее время бурными темпами развиваются фермерские хозяйства с площадью земли не превышающих 100 га., поэтому актуальным становится вопрос разработки средств механизации внесения твердых органических удобрений на мелкоплощадных полях со сложной конфигурацией их периметра. Учитывая мелкоплощадность фермерских хозяйств, а также сложность конфигурации полей, применение существующих навозоразбрасывателей становится менее эффективным (кузовных, грузоподъемностью свыше 10000 кг) или вовсе не эффективными (валкователей-разбрасывателей).

Применяемые в настоящее время прицепы-разбрасыватели ПРТ-10, МТО-12, МТО-6, РОУ-6, валкователи-разбрасыватели типа РУН-15 имеют ряд общих недостатков — высокую неравномерность внесения удобрений за счет не равномерного по плотности валка, невысокую надежность работы разбрасывателя.

Работа направлена на совершенствование технологического процесса внесения органических удобрений непосредственно из куч, предварительно разложенных на полях малой площади и сложной конфигурации, путём изыскания средств механизации обеспечивающих качество выполнения работы при минимальных затратах энергии.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Исследования по теме диссертации выполнялись по ведомственному плану НИР МСХ СССР (задание 0.СХ.101, приказ №291 от 24.10.1980 г. ГР810 878 96) и сводному координационному плану НИР ЮО ВАСХНИЛ на 1981-1985 гг. (подраздел 04.05, приказ от 6.10.1981 г. №3).

1991-1995 г.г. тема: «Підвищити ефективність виробництва і якість сільськогосподарської продукції шляхом удосконалення технологічних процесів, підвищення рівня використання і технічного забезпечення машин при механізації і автоматизації операцій прогресивних технологій

виробництва, транспортування і підготовки до зберігання сільськогосподарської продукції».

1996-2000 г.г. тема: «Підвищити рівень землеробства шляхом удосконалення машиновикористання при забезпеченні вимог екології і зменшення енерго- і матеріаломісткості процесів виробництва і транспортування сільськогосподарської продукції».

Тема диссертационной работы согласовывается с Государственной программой «Виробництво технологічних комплексів та обладнання для агропромислового комплексу на 1998-2005 р.р.»; (Розділ 3.4. Машины для внесения органічних добрив), разработанной согласно Постановлению Кабинета Министров от 1 декабря 1997 года №1341 «Про розвиток сільськогосподарського машинобудування та забезпечення агропромислового комплексу конкурентноспроможною технікою.», а также планами научно-исследовательских работ УААН по теме «Встановити особливості формування родючості ґрунтів меліоративного фонду і розробити заходи по її стабілізації і одержанню нормативної урожайності» (ДР №0196U012532.).

Целью исследований является обоснование конструктивной схемы, параметров и режимов работы разбрасывателя твёрдых органических удобрений, обеспечивающего качественное их распределение при движении вкруговую вокруг куч разложенных на полях малой площади и сложной конфигурации.

В соответствии с поставленной целью **намечено решить следующие задачи:**

1. Выбрать способ подачи удобрений на лопатку ротора.
2. Изучить процесс движения массы удобрений по лопатке ротора. Установить закономерности взаимодействия массы удобрений с лопаткой ротора.
3. Изучить процесс свободного полёта удобрений после схода с лопатки ротора. Разработать математическую модель полёта удобрений в

спокойной изотропной воздушной среде. Оценить соответствие экспериментальных и теоретических траекторий полёта частиц удобрений.

4. Изучить характер распределения удобрений по дальности разбрасывания. Обосновать параметры рабочих органов ротора.

5. Оценить качество распределения удобрений по площади поля при различных схемах раскладки куч.

6. Провести полевые испытания опытного образца разбрасывателя и оценить эффективность применения его на полях малой площади и сложной конфигурации.

Объектом исследований является процесс внесения твёрдых органических удобрений по поверхности поля полунавесным разбрасывателем из куч вкруговую.

Предметом исследований является совокупность конструктивных и режимных параметров рабочих органов предназначенных для осуществления процесса внесения твёрдых органических удобрений по полю полунавесным разбрасывателем из куч вкруговую.

Методы исследования. Поставленные цель и задачи достигаются путём теоретических и экспериментальных исследований. Разработки математических моделей технологических процессов, а также последующего экспериментального полного или частичного их подтверждения на основании применения известных и авторских методик и специально созданных технических средств. Расчёты и обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с использованием современных математических методов и вычислительной техники.

Экспериментальные исследования выполнялись по двухуровневой схеме, т.е. сначала на стационарной лабораторной установке, а затем в полевых условиях с применением опытного образца полунавесного разбрасывателя твёрдых органических удобрений из куч вкруговую.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

1) Получены новые функциональные связи, которые определяют

влияние конструктивных параметров рабочего органа разбрасывателя на количественные и качественные показатели распределения удобрений в направлении разбрасывания.

2) На основании уточненной модели процесса взаимодействия элементарных масс удобрений при условиях скольжения, установлено, что наибольшую скорость имеют те элементарные массы, у которых больше длина пути движения по лопатке.

3) На основании математической модели свободного полета элементарных масс удобрений в воздушной среде, разработанной на основе анализа фактических траекторий полета, установлено, что сила сопротивления среды пропорциональна скорости полета, возведенной в степень, которая не фиксирована, а функционально связана с модулем линейной скорости и увеличивается пропорционально его величине.

4) Предложена рациональная схема раскладки куч удобрений на поле на основании математической модели распределения удобрений по полю круговым методом.

5) Новизна конструкции подтверждена авторскими свидетельствами на изобретение №1120931 бюл. №4 от 1983 г., №1172469 бюл. 30 от 1985 г., №1303057 бюл. 14 от 1987 г.

Практическая ценность полученных результатов может рассматриваться, как в теоретическом, так и в прикладном смысле.

Так, уточненная математическая модель процесса скольжения элементарных масс удобрений по рабочим поверхностям рабочего органа, может найти применение в теоретических исследованиях подобных процессов, например, реализуемых машинами для внесения сыпучих минеральных удобрений. Другая разработанная математическая модель свободного полета элементарных масс удобрений после их схода с лопаток рабочего органа имеет более широкое применение. В частности применим подход, когда по фактической траектории полета устанавливаются функциональные связи между скоростью полета и модулем силы сопротивления воздушной среды. Могут также найти применение

отдельные аспекты разработанной математической модели распределения удобрений по полю круговым методом, например при расчетах распределения жидкости по полю установками типа «Фрегат».

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что определены рациональные параметры рабочих органов барабанного типа [37], в частности обоснованы наличие выбросного порога, рациональная ориентация лопаток рабочего органа, а также величина подачи удобрений на рабочий орган. Кроме того, применительно к случаю разброса удобрений из куч круговым методом, обоснована рациональная схема раскладки куч на поле и получены ее рациональные параметры.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований были воплощены в полевых образцах машин для внесения органических удобрений из куч, в частности с участием Белгородского производственного объединения «Облсельхозхимия» в 1988-1990 годах и рекомендуются для использования в проектно-конструкторских организациях при проектировании машин подобного типа.

Личный вклад соискателя. Основные результаты диссертационной работы получены соискателем самостоятельно. В научных трудах, выполненных в соавторстве, ([100,101,102,105,] – результаты экспериментальных исследований, [97,98,106] – разработанные математические модели фазы скольжения элементарных масс удобрений по лопатке ротора, фазы свободного движения элементарных масс удобрений в воздушной среде, распределения удобрений по полю) личный вклад составляет 70%. Экспериментальные лабораторные и полевые исследования выполнены автором самостоятельно [107].

Апробация результатов диссертации. Результаты диссертационной работы докладывались на ежегодных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава ХИМЭСХ, ХГТУСХ и ХНТУСХ (1982-2004 г.г.), на XVI конференции молодых ученых и специалистов (г. Москва, ВИМ, 1984 г.), республиканской научно-технической

конференции «Совершенствование зональных систем машин и пути повышения производительности труда в сельском хозяйстве» (г. Киев, УНИИМЭСХ, 1984 г.), Всесоюзной научно-технической конференции «Пути повышения уровня эксплуатации и эксплуатационной технологичности машин в новых условиях экономического развития агропромышленного комплекса» (г. Харьков, ХИМЭСХ, 1990 г.), республіканської науково-технічної конференції ХДТУСХ «Розвиток тракторобудування України на 1999 – 2005 р.р.» (г. Харків, ХДТУСХ, 2000 р.).

Опытный образец разбрасывателя [36, 37] демонстрировался на ВДНХ СССР в 1984 году и был удостоен бронзовой медали.

Публикация. По результатам исследований опубликовано 9 научных статей в профессиональных изданиях, в том числе 1 самостоятельно, получено 3 авторских свидетельства на изобретение.

На защиту выносятся следующие вопросы:

- изыскание конструкции разбрасывателя органических удобрений из куч круговым методом для распределения удобрений по поверхности поля;

-теоретическое описание движения материальных масс удобрений по лопатки ротора, движения их в воздушной сопротивляющейся среде, равномерности распределения удобрений по поверхности поля при разбрасывании их из куч круговым методом;

-обоснование рациональных значений геометрических и технологических параметров рабочего органа разбрасывателя, раскладки куч органических удобрений на поле;

-эффективность практического использования разбрасывателя.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа изложена на 194 страницах машинописного текста и включает 20 таблиц, 44 рисунка, из которых 9 фотографий. Текст диссертации состоит из введения, пяти разделов. Список использованной литературы включает 113 наименований. Дополнительный материал помещён в 7 приложениях (23 стр.).

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Органические удобрения как фактор интенсификации сельскохозяйственного производства

Главнейшим фактором плодородия является органическая масса почвы, которая возникла, накапливалась и продолжает накапливаться в ходе эволюционного развития жизни на земле. Условие накопления здесь одно: живые организмы, главным образом растительного происхождения, должны оставлять в почве после себя органической массы больше, чем за свою жизнь они успевают взять из нее продуктов разложения под час той же биомассы в качестве питательных веществ.

По этому поводу Вильямс В.Р. писал: «...Задача науки о земледелии – научить работников сельского хозяйства снабжению растений в течении всей их жизни непрерывно одновременно максимальным количеством воды и пищи, и научить способам превращения всех наших земель в высоко плодородные» [39].

Органические удобрения из навоза называют полным удобрением, т.к. в его составе находятся все основные компоненты и питательные вещества, необходимые для повышения общего плодородия почвы.

Указывая на громадное значение навоза в своих трудах, академик Прянишников Д.Н. утверждал: «...Как бы ни было велико производство минеральных удобрений в стране, навоз никогда не потеряет своего значения, как одного из главных удобрений в сельском хозяйстве» [40].

К органическим удобрениям относятся навоз, навозная жижа, птичий помет, торф, различные компосты, зеленые удобрения, дефекация и пр..

Из всех видов органических удобрений наибольшую ценность представляют: навоз, навозная жижа и торф. Накопление навоза во многом зависит от способа содержания скота, в частности от вида используемой

подстилки. Чаще всего для подстилки используется измельченная солома, верховой торф, древесные опилки и пр..

Подстилочный навоз состоит из твердых и жидких выделений животных и собственно подстилки. Его состав и удобрительная ценность главным образом зависят от вида животных, состава кормов, качества и количества подстилки, способа и длительности хранения [41].

Количество и соотношение твердых и жидких выделений животных и их состав значительно различаются у отдельных видов скота. У лошадей в 3,5 раза, а у овец и КРС в 2,5 раза больше твердых, чем жидких выделений, у свиней количество жидких выделений в 2 раза больше чем твердых.

Твердые и жидкие выделения животных неравноценны по составу и удобрительным качествам. В жидких выделениях содержится больше азота (0,4...1,9%) и калия (0,5...2,3%), чем твердых (соответственно 0,3...0,6% и 0,1...0,3%), а фосфора, наоборот, значительно больше в твердых выделениях (0,17...0,41%), чем жидких (0,07...0,1%).

Тонна полуразложившегося навоза, внесённая в почву, содержит от 4,5 до 8 кг азота, 2...3 кг фосфора, калия 5...6 кг [41, 42, 43]. Поскольку именно эти вещества, прежде всего, выносятся с урожаем из почвы, то таким образом удастся компенсировать этот вынос. Считается, что в пересчете на углекислые соединения с 30 тонами навоза на один гектар в среднем вносится: 150 кг азота, 75 кг фосфора, 180 кг окиси калия, 60 г марганца, 10 г бора, 60 г меди, 12 г молибдена, 6 г кобальта, около одной тонны кальция и магния. Отдельные, из упомянутых соединений, не только улучшают питательную среду, а способствуют также снижению кислотности почвы. Это обстоятельство выступает как дополнительная мотивация к применению навоза и приобретает особую важность в связи с широким использованием минеральных удобрений.

Систематическое внесение навоза это нечто большее, чем разовое внесение. Именно таким образом достигается процесс перманентного улучшения почвы, в частности улучшается питание растений кальцием,

магнием, серой, микроэлементами и выделяющейся при разложении навоза углекислотой, а также накапливается гумус. При разложении 30...40 т навоза ежедневно выделяется от 35 до 65 кг CO_2 [41]. Воздух над унавоженным полем содержит в 5 раз больше углекислоты по сравнению с не унавоженным. Наличие углекислоты существенно улучшает углеродное питание растений и в значительной мере положительно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур.

Органические удобрения благодаря большому содержанию органического вещества, наряду с уже перечисленным, также оказывают положительное влияние на реологические, физические, физико – химические и биологические свойства почвы. При систематическом внесении навоза, снижается обменная и гидролитическая кислотность, уменьшается содержание в почве неподвижных форм алюминия и марганца, а также повышается степень насыщенности основаниями последних. Благодаря органике песчаные и супесчаные почвы становятся более связными, повышается их поглотительная способность и буферность, что способствует сохранению в них влаги и питательных веществ.

1.2. Основные технологические свойства органических удобрений

Свойства навоза (влажность, насыпная плотность, липкость, трение скольжения и пр.) весьма неоднородны и зависят от большого количества факторов. Существенное влияние на эти свойства оказывает вид навоза, который определяется тем, от каких животных он получен, на какой подстилке содержались животные, какое соотношение составных частей (твердых и жидких), какой способ и срок хранения. При рассмотрении вопросов механизации применения навоза и выбора рациональных технологий его внесения, а также при подборе системы машин приходится принимать во внимание особенности и закономерности изменения перечисленных свойств.

Влажность и объемная масса. Объемная масса навоза в основном зависит от подстилочного материала, его плотности и влагоемкости. Солома влагоемка, а, значит, хорошо впитывает влагу, но, тем не менее, из-за своей пустотности уменьшает объемную массу. Предварительное измельчение подстилочной соломы увеличивает объемную массу навоза незначительно.

В случае подстилки торфяной крошкой пустот в навозе образуется меньше, жидкость хорошо впитывается и при значительной влажности объемная масса такого навоза будет наибольшей. В табл. 1.1 приведены данные ВИМ по влажности и объемной массе некоторых видов слежавшегося навоза [42, 43].

Таблица 1.1

Влажность и объемная масса некоторых видов слежавшегося навоза.

Вид навоза	Количество подстилочного материала от общей массы навоза, %	Относительная влажность, %	Насыпная плотность, кг/м ³	Примечания
Соломистый	10	65	810	Навоз влажный и мягкий
	10	80	970	
	20	60	720	Навоз средней влажности
	20	75	830	
Торфяной	15	70	920	Навоз влажный и мягкий
	15	86	1010	
	30	64	790	Навоз средней влажности
	30	82	910	

Масса одного кубического метра соломистого торфо-соломистого навоза колеблется в пределах от 780 до 980 кг при влажности 80...87%.

Относительная влажность слежавшегося навоза крупного рогатого скота находится в пределах 65...85%. Торфо-соломистый навоз при отношении массы торфа к собственно навозу 1:1 содержит 85...90% воды. Если же торфо-соломистый навоз имеет массовое соотношение торфа к навозу 2:1, то содержание воды в нем может достигать 75...88% от общей массы.

Липкость навоза, как способность массы прилипать к различным поверхностям зависит от влажности, а также от количества, качества и вида

подстилочного материала в навозной массе. Данные, сведенные в табл. 1.2, показывают, что наибольшая липкость торфо-соломистого навоза с содержанием торфа 20% достигается при общей влажности 75%. С увеличением относительной влажности на 11% липкость уменьшается на 10 г/см².

Таблица 1.2.

Липкость свежего навоза с металлическими поверхностями.

Вид навоза	Относительная влажность навоза, %	Липкость к стали, г/см ²
Торфяной (торфа 20%)	66	3
	75	25
	86	15
Торфо-соломистый (торфа 10%; соломы 15%)	68	2
	75	5

Наибольшая липкость чисто соломистого навоза соответствует интервалу значений относительной влажности 80...82%. При такой же влажности наибольшая липкость наблюдается и у торфо-соломистых навозов при массовых отношениях торфа к навозу 1:1 и 2:1 [44].

Данные опытов, приведенные Гимейном С.М., показывают, что липкость коровьего навоза 2-месячного хранения в штабелях сравнительно одинаковая относительно дерева и стали различных профилей и различной обработки [45].

Трение скольжения навоза зависит от чистоты поверхности скольжения, вида, влажности навоза и от величины нормального давления. При средней относительной влажности навоза (78...83%) его липкость и, следовательно, коэффициент трения скольжения, достигают максимального значения. Дальнейшее увеличение его влажности сопровождается уменьшением липкости и коэффициента трения скольжения. Эти выводы сделаны на основе анализа экспериментальных данных, которые приведены в табл. 1.3 [44].

При увеличении удельного давления на торфо-соломистый навоз с большим содержанием соломы, коэффициент трения вначале уменьшится до 0,65, а при дальнейшем росте удельного давления увеличивается до 0,80.

Снижение трения при повышенном нормальном давлении объясняется выделением из навозной массы жидких фракций, которые как бы «смазывают» трущиеся поверхности. При дальнейшем повышении нормального давления «смазывающие» компоненты вытесняются за пределы пятна контакта, и поэтому коэффициент трения возрастает.

Таблица 1.3.

Опытные данные определения трения скольжения слежавшегося навоза.

Вид навоза	Относительная влажность, %	Металл	
		Коэффициент трения	Угол трения, град.
Торфо-соломистый навоз с содержанием (от общей массы подстилки): торфа 70%	72	0,89	41,5
	82	0,82	39,5
Торфа 35% Соломы 65%	76	0,85	40,5
	81	0,76	37,6
Соломистый навоз	75	0,71	35,5
	79	0,60	31,0
	69	0,63	32,2

Для торфо-соломистого навоза с большим процентом торфа повышение удельного давления до 30 Н/м^2 сопровождается увеличением коэффициента трения с 0,5 до 0,9. Дальнейшее увеличение удельного давления (до $0,07 \text{ кг/см}^2$) вызывает уменьшение коэффициента трения до 0,7.

Рассматривая физико-механические свойства органических удобрений можно отметить следующее:

- влажность навоза КРС находится в пределах 50...90%;
- объемная масса навоза КРС изменяется в пределах $0,7...1,0 \text{ т/м}^3$;
- липкость навоза зависит от его влажности, вида подстилки и от поверхности трения. Наибольшее значение липкости для торфо-соломистого навоза соответствует диапазону влажности 78...82% и колеблется в пределах от $3,0$ до $8,0 \text{ г/см}^2$;

- Трение скольжения зависит от вида навоза и от поверхности скольжения, с увеличением содержания торфа в навозе трение скольжения становится больше, а с увеличением содержания соломы – уменьшается.

Из рассмотренных в текущем подразделе данных следует, что в процессе даже непродолжительного размещения навоза в куче или штабеле, как минимум, его влажность, а, значит, и все зависящие от нее физико-механические свойства не остаются постоянными ни во времени, ни по высоте слоя размещения. По этой причине разбрасывающие органы должны устойчиво и должным образом распределять удобрения по поверхности поля в не зависимости от упомянутых обстоятельств.

1.3. Тенденции механизации внесения органических удобрений

По общей площади угодий, в нынешнее время хозяйства аграрного сектора Украины образуют достаточно широкий спектр, который можно условно разделить на три области, а относящиеся к ним хозяйства – на три группы: крупноплощадные, среднеплощадные и мелкоплощадные (рис. 1.1).

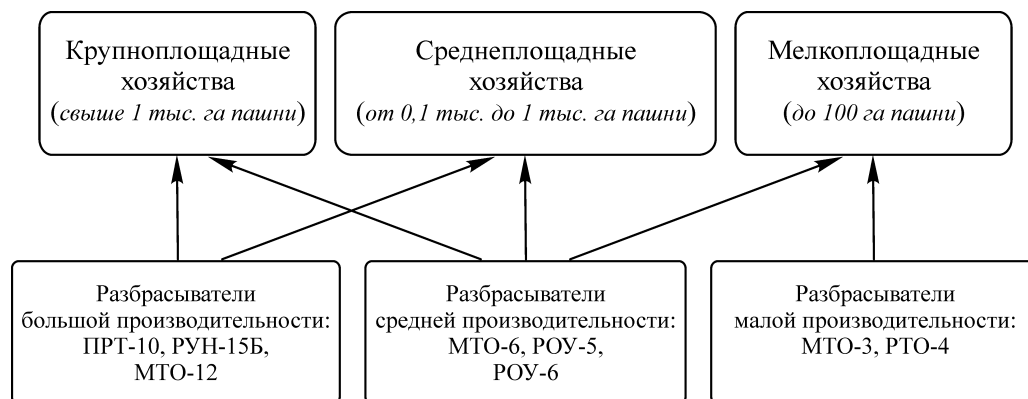


Рис. 1.1. Предпочтительное использование разбрасывателей с различной производительностью в зависимости от площади пашни

В крупноплощадных и среднеплощадных хозяйствах применимы по большей части выпускавшиеся ранее отечественные прицепы-разбрасыватели ПРТ-16, ПРТ-10, КСО-9, РТО-4, РОУ-5, МТО-6, МТО-12 и валкователь-разбрасыватель из куч РУН-15Б. Для мелкоплощадных хозяйств на сегодняшний день можно рекомендовать разбрасыватели РТО-4 и МТО-3, а также их аналоги.

В связи с развитием фермерских хозяйств на Украине актуальным становится вопрос разработки машин для внесения твердых органических удобрений именно для них.

Учитывая мелкоплощадность фермерских хозяйств, а так же сложность конфигурации полей, применение существующих навозоразбрасывателей становится менее эффективным (кузовные разбрасыватели свыше 10000 кг) или вовсе не эффективными (валкователи-разбрасыватели).

Кузовные навозоразбрасыватели получили широкое распространение в нашей стране и за рубежом. Рабочими органами являются метатели (один и более) барабанного типа с горизонтальным и вертикальным расположением.

Недостатком работы таких разбрасывателей является небольшая (до 10 метров) ширина разбрасывания, и достаточно высокая неравномерность распределения удобрений по поверхности поля. Прежде всего, это связано с неравномерной подачей удобрений из кузова на рабочие органы. В процессе разбрасывания уменьшается толщина слоя удобрений в кузове, это приводит к увеличению неравномерности их дозирования по длине прохода. В связи с этим, в технологическом процессе можно выделить три периода: первый – вход в режим; второй – работа в установившемся режиме; третий – выход из установившегося режима [42].

При средней норме внесения навоза 20...30 т/га, длина пути первого периода у прицепов разбрасывателей ПРТ-10, КСО-9 составляет 27...32 м, а длина пути второго – 500...600 м. В течение второго периода средняя неравномерность близка к вершине, указанной в агротехнических требованиях. Длина пути третьего периода опорожнения кузова находится в пределах – 170...200 м. Таким образом, неравномерность внесения удобрений в начале и заключительной части рабочего пути достигает до 60%, что значительно выше агротехнических (нормативных) требований [47 – 51].

Ниже предлагается классификация разбрасывателей (рис. 1.2) по компоновочным и конструктивным признакам. Наиболее хорошо исследованы процессы выполняемые кузовными разбрасывателями с

хвостовыми и боковыми рабочими органами [52, 53], а также разбрасыватели из куч типа валкователей-разбрасывателей [7]. В то же время, разбрасыватели удобрений из куч без формирования валка [54 – 56], остались не достаточно изучены, хотя и представляет определенный интерес как наиболее подходящие машины для применения на полях малой площади и сложной конфигурации. Разбрасыватели удобрений из куч применялись за рубежом в Англии, Франции и Германии. Предназначены они были для разбрасывания удобрений из небольших куч, массой до 400 кг. Некоторые из этих разбрасывателей обеспечивали небольшую ширину разбрасывания.

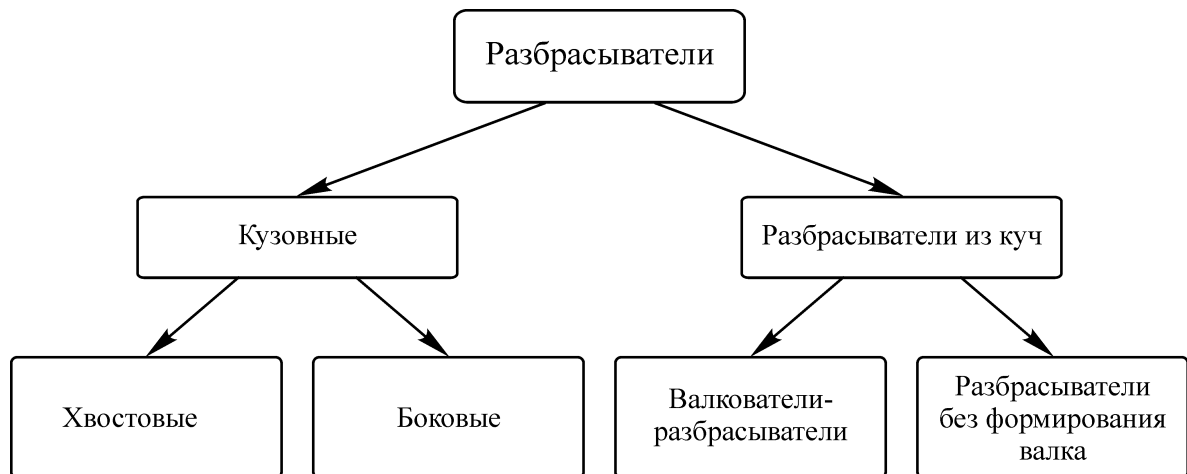


Рис. 1.2. Классификация разбрасывателей для внесения твердых органических удобрений

Процесс распределения удобрений по полю у такого типа разбрасывателей непосредственно зависит от качества работы его рабочего органа. Наиболее работоспособными являются рабочие органы в виде барабана или ротора (рис 1.3).

Процесс отделения порции удобрений и метания лопаткой ротора во многом зависит от направления их подачи. Достаточно подробно изучены рабочие органы с боковой подачей удобрений на лопатку ротора, и с подачей удобрений под углом к лопатке ротора [57 – 62]. А вот торцевая подача удобрений, на предмет отделения порции удобрений от основной их массы, и

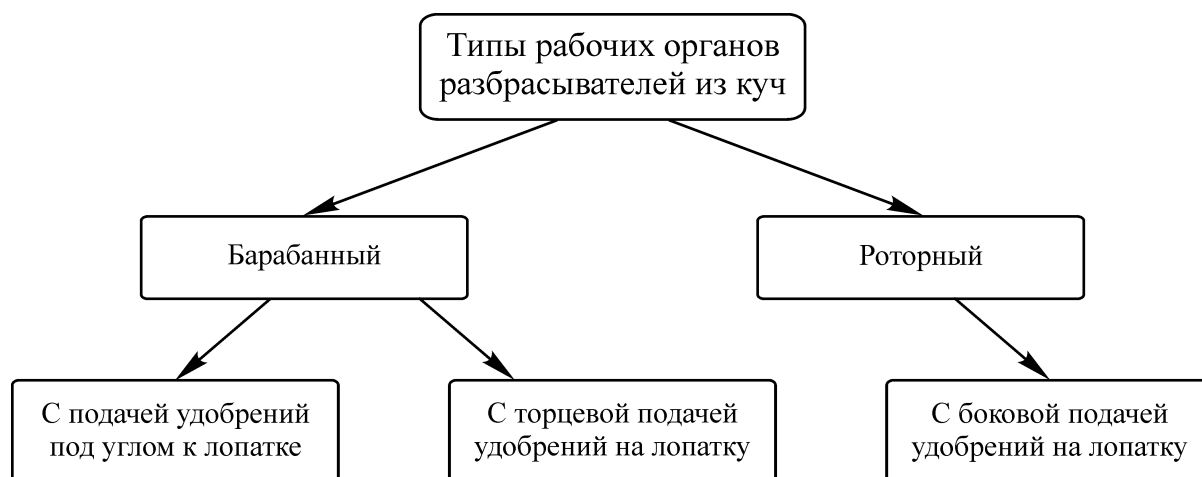


Рис. 1.3. Классификация рабочих органов разбрасывателей из куч

накопления их на своей поверхности, а также характера распределения удобрений по поверхности поля, ещё недостаточно исследована.

1.4. Обзор разбрасывателей твердых органических удобрений зарубежного производства

Наиболее известными зарубежными фирмами по производству разбрасывателей твердых органических удобрений являются такие: германские фирмы – «Бергманн», «Кемпер», «Штраутманн», «Вельгер», «Аннабургер», «Хаве», «Кухманн», «Эбберхардт-Менгеле», «Фрике», «Кеенан»; французские фирмы – «Миро», «Роланд», «Лебоулх», «Джантиль», «Бримонт»; голландские фирмы – «Аг-Хем», «СР»; датские фирмы – «Джи-Еф» и «Самсон»; чешская – «Агрострой-Пельгримов»; словацкая – «Фарматех»; испанская «Агрик-Бемвич»; австрийская – «Поттингер»; польская – «Пол-Мат-Варфарма» и др. [63, 112, 113].

Разбрасыватели, выпускающиеся каждым из производителей, вместе образуют широкие типоразмерные ряды. Количество моделей одной фирмы находится в пределах от 4 до 17, объем их кузова варьирует в пределах от 5,5 до 31 м³, а потребляемая мощность колеблется от 29 до 132 кВт. Ходовая часть изготавливается одноосной, тандемом или тридемом. Практически все

разбрасыватели – прицепные и полунавесные. Появился также и самоходный, но пока производится только одной голландской фирмой «Аг-Хем Ейропе». Такой разбрасыватель имеет одно переднее управляемое колесо и подвеску тандем. Вместимость его кузова составляет 18 м³. Между кузовом и кабиной установлен погрузчик грейферного типа.

Рабочие органы, которыми оснащаются зарубежные разбрасыватели твердых органических удобрений, являются по большей части горизонтальными одновальными и двухвальными с лопастями или с расположенными ниже их двумя разбрасывающими дисками большого диаметра. Одно- и двухвальные с лопастями рабочие органы используют такие фирмы СР – Голландия; «Хаве», «Аннабургер», «Вельгер», «Кохманн», «Эбберхардт-Менгле», «Тebbe», «Сапфир» и др. – Германия; «Джантиль» – Франция, «Агрик» – Испания и др. (табл. 1.4). Разбрасыватели с такими рабочими органами широко используются при внесении солоमистого навоза, ширина разбрасывания составляет от 6 до 8 метров.

Для увеличения ширины разбрасывания удобрений некоторые фирмы в составе рабочих органов устанавливают ниже горизонтальных валов два диска большого диаметра. Это фирмы «Фарматех» – Словакия, СР – Голландия, «Миро» – Франция, «Куксманн» – Германия.

Некоторые зарубежные фирмы, такие как: «Самсон» – Дания, «Лебоулх» – Франция, «Аннабургер», «Штраутманн», «Хаве» – Германия, «Ролланн», «Джантиль», «Миро» – Франция, оборудуют свои разбрасыватели вертикальными двух или четырехлопастными валами, в нижней части которых установлены диски с направляющими лопастями. По оценкам западных специалистов такие рабочие органы предпочтительнее использовать при разбрасывании сыпучего (рассыпчатого) навоза. Немецкая фирма «Кеенан» разработала рабочий орган в виде диска большого диаметра с горизонтальной осью вращения, на котором установлены лопасти и распушиватель. Располагается такой рабочий орган в передней части разбрасывателя. Направление выброса удобрений – боковое.

Таблица 1.4.

Краткая техническая характеристика зарубежных разбрасывателей твердых органических удобрений

Фирма изготовитель и государство	Объем кузова, м ³	Грузоподъемность, т	Тип подвески	Количество модификаций, шт.	Потребляемая мощность, кВт/л.с.
«Бергманн» Германия	10,6...27,5	7...20	одноосная, тандем, тридем	14	55/75...132/180
«Тебе» Германия	—	6...21,6	одноосная, тандем, тридем	8	—
«Штраутманн» Германия	11...14	10,2...18	одноосная, тандем	5	59/80...125/170
«Кемпер» Германия	9,5...31	—	одноосная, тандем	14	—
«Миро» Франция	—	4,75...20	одноосная, тандем, тридем	16	—
«СР» Голландия	8...14	—	одноосная, тандем	5	—
«Джантиль» Франция	8,3...17	6...14	одноосная, тандем	17	—
«Агрострой-Пельгримов»	5,5...14	5,5...14	одноосная, тандем	4	35/47...120/160
«Джи-Еф» Чехия	—	4,8...2	одноосная, тандем	5	30...90
«Фарматех» Словакия	12...16,5	2,8...20	одноосная, тандем	11	—
«Вельгер» Германия	2,7...5,2	4,1...6,7	одноосная, тандем	5	29/40...44/60

Значительная часть фирм производящих разбрасыватели устанавливают перед рабочими органами шибер, который перемещается в вертикальной плоскости. При загрузке шибер находится в нижнем положении и предотвращает попадание навоза на рабочие органы разбрасывателя. При

включении ВОМ трактора шиббер переводится в верхнее положение, после чего обеспечивается подача навоза на рабочие органы разбрасывателя.

1.5. Технологические схемы доставки и внесения удобрений.

Технология внесения органических удобрений предусматривает выполнение комплекса работ: накопление и хранение, погрузка, перевозка, разбрасывание и заделка в почву. Широкое распространение получили три технологические схемы внесения удобрений: прямоточная, перегрузочная и двухфазная. Независимо от схемы внесения удобрений существует две схемы их перевозки: безперевалочная (ферма – поле) и перевалочная (ферма – бурт – поле). [66 – 69].

Сущность прямоточной технологии заключается в том, что из навозохранилища органические удобрения загружают в транспортно-технологические машины, ими доставляют на поле и этими же агрегатами разбрасывают по поверхности поля. При перегрузочной схеме внесения функции перевозки и разбрасывания разделены. Перевозят удобрения автомобилями самосвалами, а разбрасывают прицепами разбрасывателями или разбрасывателем с низко опущенным кузовом РПН-4. Двухфазная схема также предусматривает разделение функций перевозки и внесения удобрений. Заранее, за 5...6 дней до внесения, навоз вывозится на поле и укладывается в обозначенных местах в кучи массой 4000...5000 кг. Перевозка навоза и раскладка в кучи осуществляется автомобилями самосвалами или тракторами с прицепами. Распределяют удобрения валкователями-разбрасывателями или разбрасывателями непосредственно из куч.

Безперевалочная схема доставки удобрений предусматривает перевозку из прифермского навозохранилища непосредственно на поле. При перевалочной схеме удобрения перевозятся заблаговременно из прифермского навозохранилища в бурты, которые формируются на краю удобряемого поля, затем из буртов непосредственно на поле.

Главная цель перевалочной схемы перевозки – сократить расстояние перевозки на маршруте бурт – поле и, выполнить работы в установленные агротехнические сроки меньшим количеством прицепов разбрасывателей. Двукратное выполнение погрузочных работ увеличивает затраты на транспортирование, однако при расстоянии перевозки свыше 5 км перевалочная схема будет энергосберегающей.

Сравнивая прямоточную, перегрузочную и двухфазную схемы внесения удобрений, видим, что при разделении функций перевозки и внесения затраты энергии резко сокращаются. Двухфазная схема внесения при разбрасывании удобрений из куч является энергосберегающей.

Для применения органических удобрений технологические процессы и средства механизации выбирают в зависимости от специализации и размеров животноводческих ферм (как источников поступления органики) и наличия техники. Показатели качества внесения и заделки удобрений должно соответствовать агротехническим требованиям [27, 46, 49, 50].

ВЫВОДЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Органические удобрения являются важным фактором интенсификации сельскохозяйственного производства и улучшения плодородия почв.

2. Физико-механические свойства твёрдых органических удобрений в процессе внесения их в почву могут изменяться в широких пределах и поэтому конструктивные параметры рабочих органов, их режимы работы и технологический процесс разбрасывания удобрений в целом должны обеспечивать устойчивую работоспособность при соблюдении качественных показателей работы в этих условиях.

3. Анализ структуры пахотных угодий Украины показывает, что их значительную часть (около 30%) составляют поля площадью менее 30 га (по большей части в восточных областях). В прикарпатских областях, средний размер полевого участка итоге меньше (около 6 га). Значительная часть полей малых размеров имеют сложную конфигурацию. В настоящее время бурными темпами развивается фермерство, что также способствует появлению полей малого размера. В таких условиях применение существующих навозоразбрасывателей, становится менее эффективным (кузовные разбрасыватели свыше 10 т) или вовсе не эффективным (валкователи-разбрасыватели). Все это существенно актуализирует вопрос разработки и производства средств механизации внесения твёрдых органических удобрений на небольших полях со сложной конфигурацией.

Опираясь на выше изложенные выводы, в настоящей работе были поставлены следующие цель и задачи исследований.

Целью **исследований** является обоснование конструктивной схемы, параметров и режимов работы разбрасывателя твёрдых органических удобрений, обеспечивающего качественное их распределение при движении вкруговую вокруг куч разложенных на полях малой площади и сложной конфигурации.

В соответствии с поставленной целью в дальнейшем **намечено решить следующие задачи:**

1. Выбрать способ подачи удобрений на лопатку ротора.
2. Изучить процесс движения массы удобрений по лопатке ротора. Установить закономерности взаимодействия массы удобрений с лопаткой ротора.
3. Изучить процесс свободного полёта удобрений после схода с лопатки ротора. Разработать математическую модель полёта удобрений в спокойной изотропной воздушной среде. Оценить соответствие экспериментальных и теоретических траекторий полёта частиц удобрений.
4. Изучить характер распределения удобрений по дальности разбрасывания. Обосновать параметры рабочих органов ротора.
5. Оценить качество распределения удобрений по площади поля при различных схемах раскладки куч.
6. Провести полевые испытания опытного образца разбрасывателя и оценить эффективность применения его на полях малой площади и сложной конфигурации.

РАЗДЕЛ 2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ К ВЫБОРУ ОСНОВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ РОТОРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ

2.1. Выбор способа подачи удобрений на рабочий орган

Проанализировав работу известных рабочих органов разбрасывателей твердых органических удобрений роторного типа [56 – 62 и др.], можно прийти к выводу, что подача удобрений на их рабочую поверхность осуществляется преимущественно двумя способами: первый — боковой (рис. 2.1 а), когда удобрения подаются по нормали к плоскости вращения ротора; второй — под некоторым углом к той же плоскости (рис. 2.1 б).

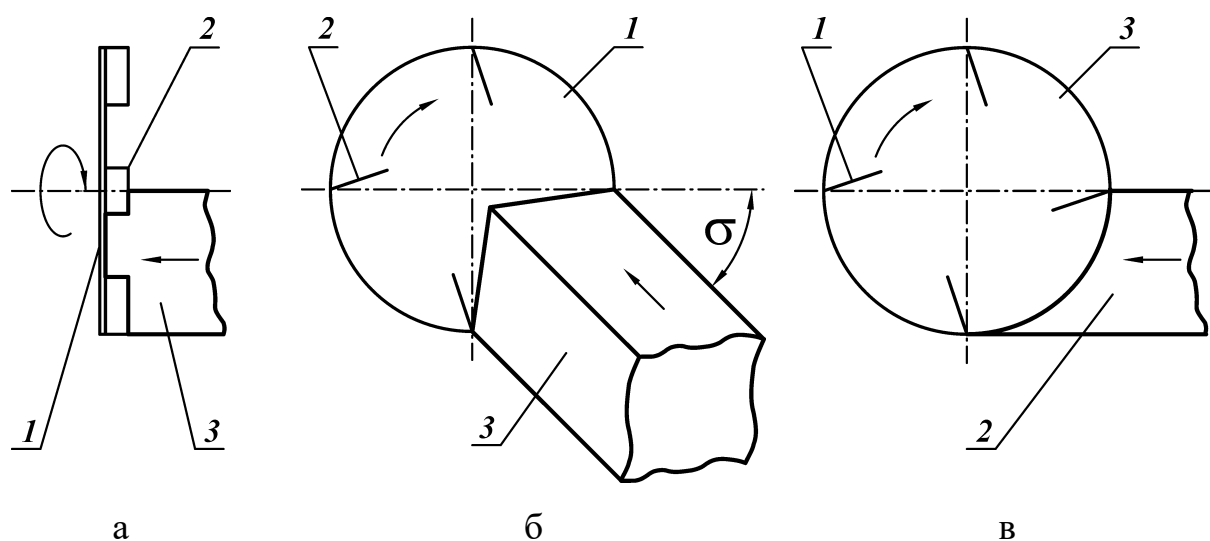


Рис. 2.1. Варианты подачи удобрений на лопатку ротора (1 — диск, 2 — лопатка, 3 — удобрения): а — боковая подача (по нормали к плоскости вращения); б — угловая подача (под углом σ к плоскости вращения); в — торцевая подача (по нормали к оси вращения)

Разбрасыватель твёрдых органических удобрений из куч с угловой их подачей на ротор, ранее уже разрабатывался Лунёвым Ю.И. [56]. Рабочий процесс такого разбрасывателя предполагал круговые движения агрегата

вокруг кучи. Рабочий орган представлял собой ротор диаметром 1,25 м с шестью лопастями. Подача удобрений на лопасть, как уже было сказано, осуществлялась под углом к ней. Ширина захвата такого рабочего органа напрямую зависит от его размеров. Чем больше диаметр ротора, тем больше удобрений он может разбросать за один оборот вокруг кучи. Но чрезмерное увеличение диаметра: во-первых, неизбежно влечет повышенный расход мощности двигателя трактора; во-вторых, приводит к необоснованно большому радиусу разброса. Снижение дальности разброса удобрений таким рабочим органом за счет снижения его скорости вращения приводило к снижению устойчивости технологического процесса.

Таким образом, принятая угловая скорость вращения ротора $\omega = 42,92 \text{ с}^{-1}$ и его диаметр 1,25 м это компромисс между производительностью агрегата и устойчивостью технологического процесса, что безусловно является не столько достижением, сколько недостатком известной конструкции. В конечном итоге такой разбрасыватель все равно имел недостаточную производительность, а, значит, высокие удельные затраты энергии.

В предложенной конструкции рабочего органа предполагается торцевая подача удобрений на лопатку (рис.2.1 в). Эта особенность отличает его от известных рабочих органов разбрасывателей роторного типа.

Мотивацией к выбору такого конструктивного решения в основном послужило то обстоятельство, что известные конструкции роторов не komponуются в барабан, а, значит, собственными размерами, которые выбираются из позиций производительности и работоспособности, ограничивают ширину области забора удобрений. Предлагаемый к применению способ подачи удобрений позволяет создавать рабочие органы, как в виде роторов, так и в виде их наборов, т.е. барабанов.

В самом общем понимании, ротор представляет собой диск с закрепленными на нем подвижными или неподвижными лопатками. Барабан набирается из нескольких таких дисков (роторов). С точки зрения ширины захвата такого рабочего органа его диаметр значения не имеет, ведь ширина

захвата теперь определяется шириной барабана (количеством роторов в наборе) а, значит, путем уменьшения его диаметра открывается возможность снизить энергетические потери. В отношении частоты вращения такого рабочего органа нет оснований изменять выбранное в работе [56] значение, равное $\omega = 42,92 \text{ с}^{-1}$.

2.2. Описание конструкции рабочего органа

Предлагаемый рабочий орган [35] (рис. 2.2) представляет собой барабан, включающий в себя основание с валом 1, на котором смонтированы диски 2. На дисках жестко закреплены при помощи болтов 3 ножи 4 и лопатки 5. Внутренние кромки лопаток удалены от центра диска на расстояние r_{\min} , а внешние — на r_{\max} . Длина рабочей поверхности лопатки определяется параметром l . По отношению к наружной кромке диска, диаметр которого

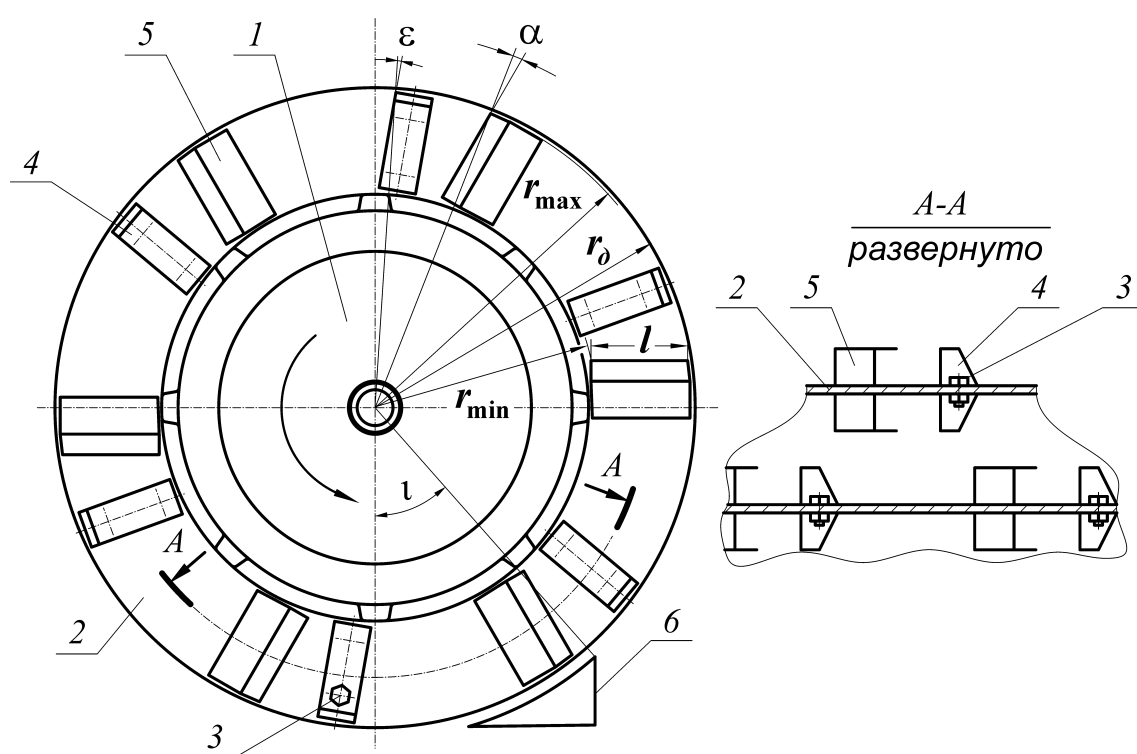


Рис. 2.2. Рабочий орган разбрасывателя органических удобрений

равен r_0 , лопатки расположены таким образом, что $r_{\max} < r_0$. Барабан имеет горизонтальную ось вращения и снабжен нижним выбросным порогом б. Порог охватывает барабан по внешнему контуру в пределах угла охвата ι , тем самым определяет момент начала схода удобрений с лопатки. Ориентация плоскостей каждой лопатки и ножа, по отношению к радиусу диска, задается, соответственно углами α и ε .

Ключевым размером рабочего органа является его радиус r_{\max} , который опираясь на известную работу [56] и выше приведенные рассуждения был принят равным 0,4 м и в опытах не изменялся.

2.3. Рабочий процесс, его описание и деление на фазы

Технологический процесс работы барабана заключается в следующем. При его вращении ножи отделяют слой удобрений от основной их массы, а лопатки захватывают отделенный слой и накапливают на своей поверхности. В это время удобрения движутся по рабочей поверхности лопатки в направлении центра их вращения, распределяясь и заполняя собою всю рабочую поверхность лопатки. Объем накопленных на лопатке удобрений зависит от величины подачи их на лопатку в единицу времени.

При дальнейшем вращении барабана накопленная масса удобрений, сначала, главным образом, под воздействием центробежных сил останавливается, а затем под их же воздействием начинает перемещаться по поверхности лопатки на ее периферию. Одновременно с этим, в своем вращательном движении находясь на лопатке, заодно с ней, порция удобрений перемещается к краю выбросного порога.

Далее под действием инерционных сил, получив начальную скорость, порция удобрений сходит с лопатки. Сам процесс схода удобрений с лопатки протяжен во времени. Удобрения покидают ее не одномоментно, а постепенно, по частям. Та часть порции удобрений, которая была ближе к периферии сходит с лопатки первой. За ней следуют остальные. Направления

отрыва элементарных частей порции удобрений ориентированы веерообразно, под некоторым углом к поверхности поля.

Таким образом, рабочий процесс распределения удобрений по поверхности поля каждой лопаткой ротора, можно условно разделить на три фазы: первая — заполнение лопатки удобрениями (с момента начала процесса отделения порции удобрений от основной их массы и до момента ее остановки на лопатке); вторая — скольжение удобрений на периферию лопаток (начиная с момента их остановки в конце фазы заполнения и включая момент отрыва от лопатки); третья — фаза свободного полета (от момента отрыва частиц удобрений, до момента касания ими поверхности поля). Выполнение рабочего процесса, в пределах каждой названной фазы, подчинено своим специфическим законам.

Первая фаза заполнения лопатки удобрениями изучалась экспериментально и по этому будет проанализирована несколько позднее. Далее, в текущем разделе, рассматриваются оставшиеся две фазы (скольжения и свободного полета) в порядке упоминания.

В конечном итоге, исходя из выше изложенного, касательно параметров предлагаемого рабочего органа разбрасывателя и его рабочего процесса, будут определены следующие величины: а) угол установки лопатки к радиусу ротора; б) путь движения частицы по лопатке ротора; в) направление по отношению к горизонту и скорость схода частиц удобрений с лопатки ротора; г) дальность полета частиц удобрений в направлении разбрасывания.

2.4. Фаза движения удобрений по лопатке ротора

Процесс движения удобрений по лопатке ротора вообще, и скорость схода удобрений с лопатки в частности, зависит от ряда фиксированных и переменных величин. К ним необходимо отнести: во-первых, конструктивные параметры рабочего органа, т.е. уже упоминавшиеся радиусы r_{\min} , r_{\max} , длину рабочей поверхности лопатки l и угол α , а также угол

охвата ротора выбросным порогом ι (рис. 2.2, 2.3); во-вторых, режимные параметры, в частности, подача удобрений на лопатку ротора p ; в-третьих, физико-механические свойства удобрений и материала лопаток, а именно, угол трения удобрений по материалу лопаток φ ; в-четвертых, параметры x_m , y_m и $r_m \in [r_{\min}, r_{\max}]$ начального положения (точка) элементарной порции удобрений (массы m) на рабочей поверхности лопатки M и (рис. 2.3).

Тут порция удобрений, находящаяся на лопатке в начале фазы скольжения рассматривается в виде совокупности элементарных масс, одна из которых равна m и располагается в точке M . Параметры x_m , y_m следует понимать, как координаты точки M в подвижной декартовой системе координат OXY , базисная точка O которой совмещена с осью вращения ротора, а ось абсцисс параллельна (когда $\alpha > \theta$) рабочей поверхности лопатки или совпадает с ней (если $\alpha = \theta$). Таким образом x_m , y_m — всегда положительные фиксированные величины.

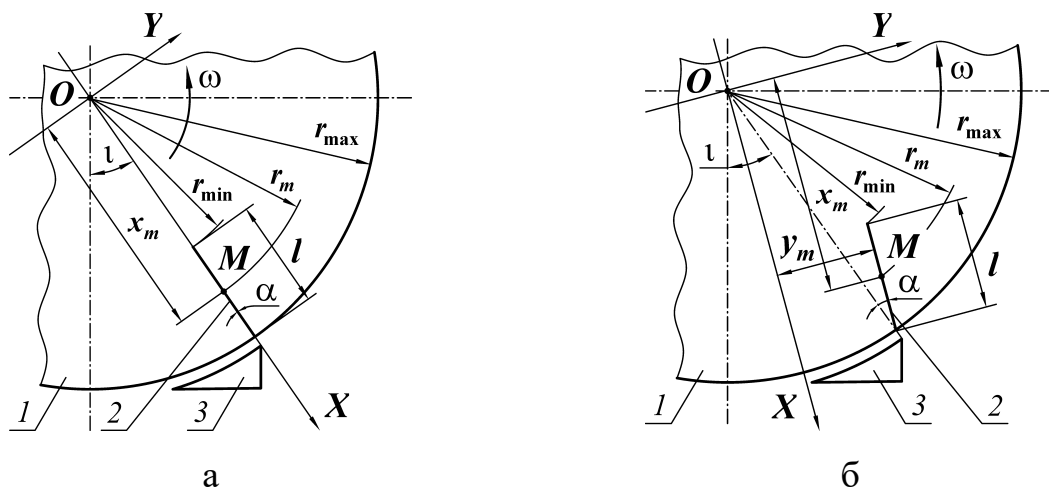


Рис. 2.3. Два варианта ориентации рабочей поверхности лопатки ротора (1 — ротор; 2 — лопатка; 3 — выбросной порог;): а — радиальная ($\alpha = \theta$); б — под углом к радиусу ($\alpha > \theta$)

В общем случае угол α , определяющий наклон лопатки по отношению к радиусу ротора r_{\max} , проведенного в крайнюю точку на рабочей поверхности лопатки, может иметь как отрицательные $\alpha < \theta$, так и положительные,

включая ноль $\alpha \geq 0$, значения. Рис. 2.3 иллюстрирует последние два варианта, которые используются в случае применения нижнего выброса. Эти варианты рассматриваются далее. Случай, когда $\alpha < 0$ — соответствует верхнему выбросу и далее не рассматривается.

В отношении материальной точки M , а, значит, элементарной массы m можно сказать, что, чем дальше от внешнего торца лопатки она находится (чем меньше r_m или чем больше x_m), тем больший разгонный участок она будет иметь, а в итоге и, вероятно, большую скорость схода. Изменение угла наклона лопатки α в значительной мере влияет не только на количественные показатели процесса скольжения удобрений по лопатке, а даже определяет сам характер взаимодействия лопатки с удобрениями. Значительное увеличение α может привести к отрыву удобрений от поверхности лопатки, а, значит, к невозможности скользящего их взаимодействия. В конечном итоге, так или иначе, изменение угла α , соотнесенное со значениями угла охвата барабана выбросным порогом ι и другими перечисленными выше параметрами, влечет изменение скорости и направления вылета удобрений.

Описанная выше фаза скольжения удобрений по поверхности лопатки может быть формализована как процесс движения весомой материальной точки M по вращающейся плоской поверхности. Рассмотрением подобных задач ранее занимались многие ученые: Василенко П.М., Киров В.С., Заика П.М., Шабельник Б.П. и др. [68 – 72 и др.].

В начале фазы скольжение, покоящаяся на лопатке ротора, элементарная масса m , которую мы приписываем физической точке M , в дальнейшем, при вращении ротора, как известно, участвует в сложном движении: переносном — вместе с лопаткой и относительном — вдоль лопатки. Абсолютная скорость \vec{V}_{abc} элементарной массы m в момент схода с лопатки складывается из переносной \vec{V}_{nep} и относительной $\vec{V}_{отн}$ скоростей (в м/с)

$$\vec{V}_{abc} = \vec{V}_{nep} + \vec{V}_{отн}, \quad (2.1)$$

где все три скорости понимаются как векторные величины.

Определение модуля V_{nep} переносной скорости \vec{V}_{nep} выполняется по известной формуле

$$V_{nep} = \omega \cdot r_x, \quad (2.2)$$

где ω — угловая скорость ротора, c^{-1} ; $r_x \in [r_m, r_{max}]$ — радиус текущего положения элементарной массы m на лопатке ротора (рис. 2.4), м.

2.4.1. Определение величины перемещения, относительной скорости и других параметров взаимодействия с ротором элементарной массы удобрений, скользящей по его лопатке

Вопрос определения относительной скорости \vec{V}_{omn} несколько сложнее. Напомним, что точка $M(x_m, y_m)$ начального положения элементарной массы m фиксирована ($x_m = \text{const}$, $y_m = \text{const}$), т.е. неподвижна по отношению к лопатке и, вращающейся заодно с ротором, декартовой системе координат OXY . Поскольку, ось абсцисс этой координатной системы параллельна поверхности лопатки, то, в случае безотрывного скольжения, текущее положение элементарной массы m (точки M') по отношению к точке начального положения M определяется разностью абсцисс $x - x_m$, а текущие относительная скорость V_{omn} и относительное ускорение W_{omn} , соответственно, первой и второй производной x по времени t , т.е.

$$V_{omn} = \frac{dx}{dt} = \dot{x} \quad \text{и} \quad W_{omn} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x}.$$

Рассмотрим схему сил, действующих на элементарную массу m (рис. 2.4): mg — вес, где g — ускорение свободного падения; $m\omega^2 r_x$ — центробежная сила инерции; $2m\omega\dot{x}$ — Кориолисова сила инерции; $F = Nf$ — сила трения, где N — нормальная сила реакции, а $f = \text{tg}\varphi$ — коэффициент трения материала составляющего элементарную массу m по материалу лопатки. При этом упругостью упоминавшихся материалов,

взаимодействием элементарных масс m между собой, а также сопротивлением воздуха, пренебрегаем.

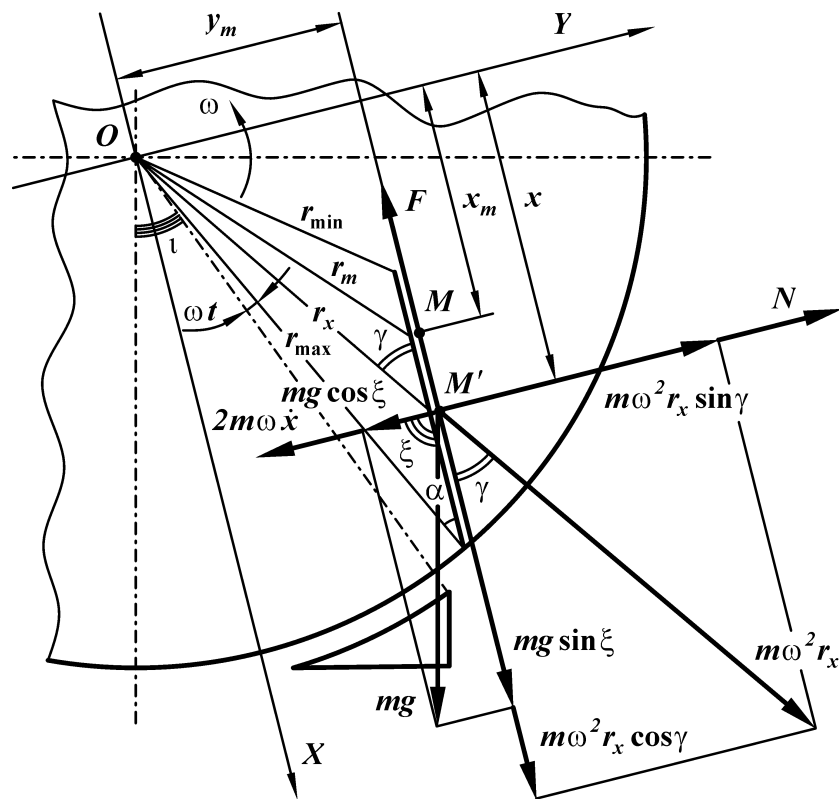


Рис. 2.4. Схема сил, действующих на элементарную массу удобрений m , которая скользит по лопатке, в случае, когда угол наклона лопатки α положительный, т.е. $\alpha > 0$

Далее, имея ввиду относительное движение и раскладывая действующие силы по осям подвижной системы координат OXY , составляем дифференциальные уравнения силового баланса [70]:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = m\omega^2 r_x \cos \gamma + mg \sin \xi - F, \\ m\ddot{y} = m\omega^2 r_x \sin \gamma - mg \cos \xi - 2m\omega \dot{x} + N, \end{cases} \quad (2.3)$$

где: γ — угол между радиусом r_x текущего положения элементарной массы m удобрений на лопатке и плоскостью рабочей поверхности лопатки, град.; ξ — угол между нормалью к рабочей поверхности лопатки и направлением вектора ускорения свободного падения, град.; \ddot{y} — нормальная (по отношению к рабочей поверхности лопатки) составляющая относительного

ускорения $W_{отн}$, которая в данном случае безотрывного движения равна нулю, ($\ddot{y} = 0$), а, значит, $\ddot{x} = W_{отн}$ — полное относительное ускорение.

Поскольку $\ddot{y} = 0$, $r_x \sin \gamma = y_m$, $r_x \cos \gamma = x$, а $F = Nf$, то система (2.3) преобразуется к виду

$$\begin{cases} m\ddot{x} = m\omega^2 x + mg \sin \xi - Nf, \\ -N = m\omega^2 y_m - mg \cos \xi - 2m\omega \dot{x}, \end{cases} \quad (2.4)$$

где

$$\xi = \xi_0 - \omega t, \quad (2.5)$$

а ξ_0 — начальное значение угла ξ , когда $t = 0$, в свою очередь, определяется выражением

$$\xi_0 = \frac{\pi}{2} + \alpha - \iota. \quad (2.6)$$

Из второго уравнения (2.4), после подстановки (2.5) и начального значения времени $t = 0$ следует условие безотрывного скольжения

$$\dot{x}_m \geq \frac{\omega^2 y_m - g \cos \xi_0}{2\omega}, \quad (2.7)$$

где $\dot{x}_m = \dot{x}(t)|_{t=0}$ — начальное значение относительной скорости элементарной массы m . Чтобы отрыв не состоялся позже, необходимо чтобы значение скорости $\dot{x} = \dot{x}(t)$ вплоть до схода элементарной массы с поверхности лопатки удовлетворяло условию $\dot{x}|_{t>0} > \dot{x}_m$. Как мы увидим позднее, условие $\dot{x}|_{t>0} > \dot{x}_m$ выполняется всегда, если выполняется (2.7).

Подстановка второго уравнения (2.4) в первое, а также выражения (2.5) для угла ξ , после формальных преобразований в конечном итоге приводит к обыкновенному линейному неоднородному дифференциальному уравнению второго порядка с постоянными коэффициентами

$$\ddot{x} + 2\omega f \dot{x} - \omega^2 x = \frac{g}{\cos \varphi} \sin(\xi_0 - \varphi - \omega t) + \omega^2 y_m \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.8)$$

Общее решение неоднородного уравнения (2.8) представляется как сумма какого-нибудь частного решения этого уравнения и общего решения

соответствующего однородного уравнения. Алгоритм поиска такого решения хорошо известен [73], на нем мы останавливаться не будем, а приведем лишь конечные выражения:

$$x = \frac{g}{2\omega^2} \sin(\omega t + 2\varphi - \xi_0) - y_m \operatorname{tg} \varphi + C_1 \exp(k_1 t) + C_2 \exp(k_2 t), \quad (2.9)$$

$$V_{\text{отн}} = \dot{x} = \frac{g}{2\omega} \cos(\omega t + 2\varphi - \xi_0) + C_1 k_1 \exp(k_1 t) + C_2 k_2 \exp(k_2 t), \quad (2.10)$$

$$W_{\text{отн}} = \ddot{x} = -\frac{g}{2\omega} \sin(\omega t + 2\varphi - \xi_0) + C_1 k_1^2 \exp(k_1 t) + C_2 k_2^2 \exp(k_2 t), \quad (2.11)$$

где

$$\left. \begin{matrix} k_1 \\ k_2 \end{matrix} \right\} = -\omega \left(f \mp \sqrt{f^2 + 1} \right) = -\omega \frac{\sin \varphi \mp 1}{\cos \varphi}, \quad (2.12)$$

а C_1 и C_2 — постоянные интегрирования, которые находим исходя из принятых начальных условий

$$\begin{aligned} x(t)|_{t=0} &= x_m, \\ \dot{x}(t)|_{t=0} &= \dot{x}_m. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Для этого в выражения (2.9) и (2.10) выполняем подстановку $t = 0$, $x = x_m$, $\dot{x} = \dot{x}_m$. Далее полученные таким образом два уравнения рассматриваем как систему с двумя неизвестными C_1 и C_2 . Решив ее получаем

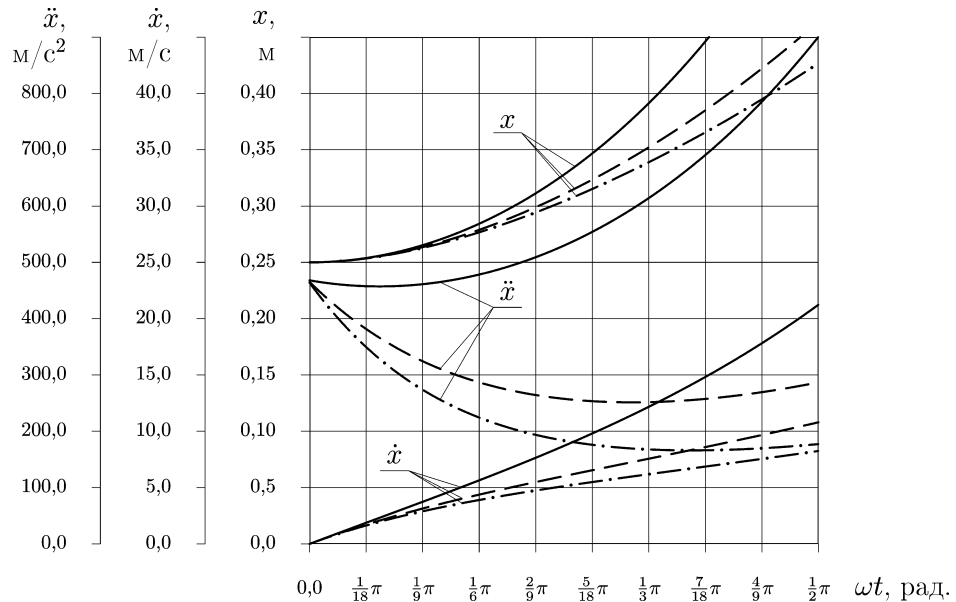
$$\begin{aligned} \left. \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \end{matrix} \right\} &= -\frac{g}{4\omega^2} [\sin(2\varphi - \xi_0) \pm \cos(\varphi - \xi_0)] \pm \\ &\pm \frac{\sin \varphi \pm 1}{2} (x_m + y_m \operatorname{tg} \varphi) \pm \frac{\dot{x}_m \cos \varphi}{2\omega}, \end{aligned} \quad (2.14)$$

где \dot{x}_m — или назначается исходя из априорных соображений, или определяется исходя из условия безотрывного скольжения (2.7) со знаком равенства. Во всех выражениях (2.7), (2.10), (2.11), (2.12) и (2.14), представляющих собою, отвечающее начальным условиям (2.13), искомое общее решение уравнения (2.8), угол ξ_0 заменяется в соответствии с выражением (2.6).

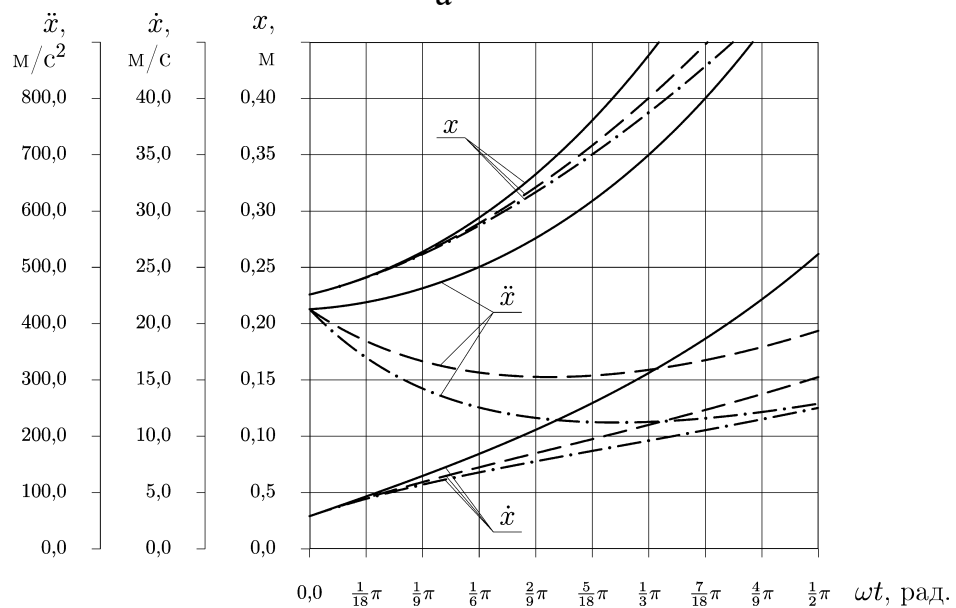
На рис. 2.5 представлены графики, иллюстрирующие общие закономерности скольжения элементарных масс m удобрений по лопатке ротора.

При его построении начальные значения x_m и y_m с учетом (рис. 2.4) рассчитывали по формулам

$$x_m = r_{\max} \cos \alpha - l, \quad \text{и} \quad y_m = r_{\max} \sin \alpha. \quad (2.14)$$



а



б

Рис. 2.5. Закономерности изменения пути x , скорости \dot{x} и ускорения \ddot{x} скольжения элементарной массы m по рабочей поверхности лопатки в зависимости от угла поворота ротора для двух значений угла наклона лопатки (а — $\alpha = 0$; б — $\alpha = \frac{1}{18}\pi$;) и трех значений угла внешнего трения (— — $\varphi = 0,1$; --- — $\varphi = 0,541$; -.- - — $\varphi = 0,7$;) при следующих значениях задействованных параметров: $\iota = 0,611$; $\omega = 42,82 \text{ с}^{-1}$; $r_{\max} = 0,4 \text{ м}$; $l = 0,15 \text{ м}$.

На рис. 2.5 крайние значения угла трения φ взяты нереальными (для органических удобрений), с целью большей иллюстративности в отношении оценки дрейфа исследуемых величин x , \dot{x} , \ddot{x} в случае различных φ .

Если $\alpha \neq 0$ и $\dot{x}_m = 0$, то безотрывное скольжение элементарных масс m по поверхности лопаток ротора возможно не всегда. Но, тем не менее, если в начале взаимодействия условие (2.7) выполняется (за счет смятия порции удобрений в период прохода области охвата барабана выбросным порогом), то в дальнейшем, в процессе скольжения, отрыв элементарной массы от поверхности лопатки возможен только по истечении длины самой лопатки. В таком случае начальное значение относительной скорости \dot{x}_m не равно нулю. Именно этот случай, скользящего движения, отражает рис. 2.5б, которому соответствует $\alpha = \frac{1}{18}\pi$ и $\dot{x}_m = 2,906$ м/с. Момент схода элементарной массы с лопатки на рисунке не контролируется. Предполагается, что длины лопатки хватает вплоть до поворота ротора на одну четверть оборота.

Введем следующие обозначения: t_c — интервал времени в течении которого элементарная масса m сходит с лопатки; l_c — путь который проходит элементарная масса от начала взаимодействия с лопаткой до схода с нее; \dot{x}_c — значение относительной скорости $V_{\text{отн}}$ элементарной массы m в момент схода ее с лопатки; $\theta = \omega t_c$ — угол на который поворачивается ротор в течение времени t_c . В соответствии с принятыми обозначениями

$$l_c = r_{\max} \cos \alpha - x_m, \quad (2.15)$$

где

$$x_m \in [r_{\max} \cos \alpha - l, r_{\max} \cos \alpha].$$

т.е., чем ближе к периферийному краю лопатки располагается элементарная масса m (чем больше x_m), тем меньший путь l_c она проходит в состоянии скольжения по лопатке до момента схода с нее.

На рис. 2.6 приведены зависимости вида $t_c = t_c(l_c, \alpha)$, $\theta = \theta(l_c, \alpha)$ и $\dot{x}_c = \dot{x}_c(l_c, \alpha)$, где t_c , θ и \dot{x}_c представляются как функции двух аргументов.

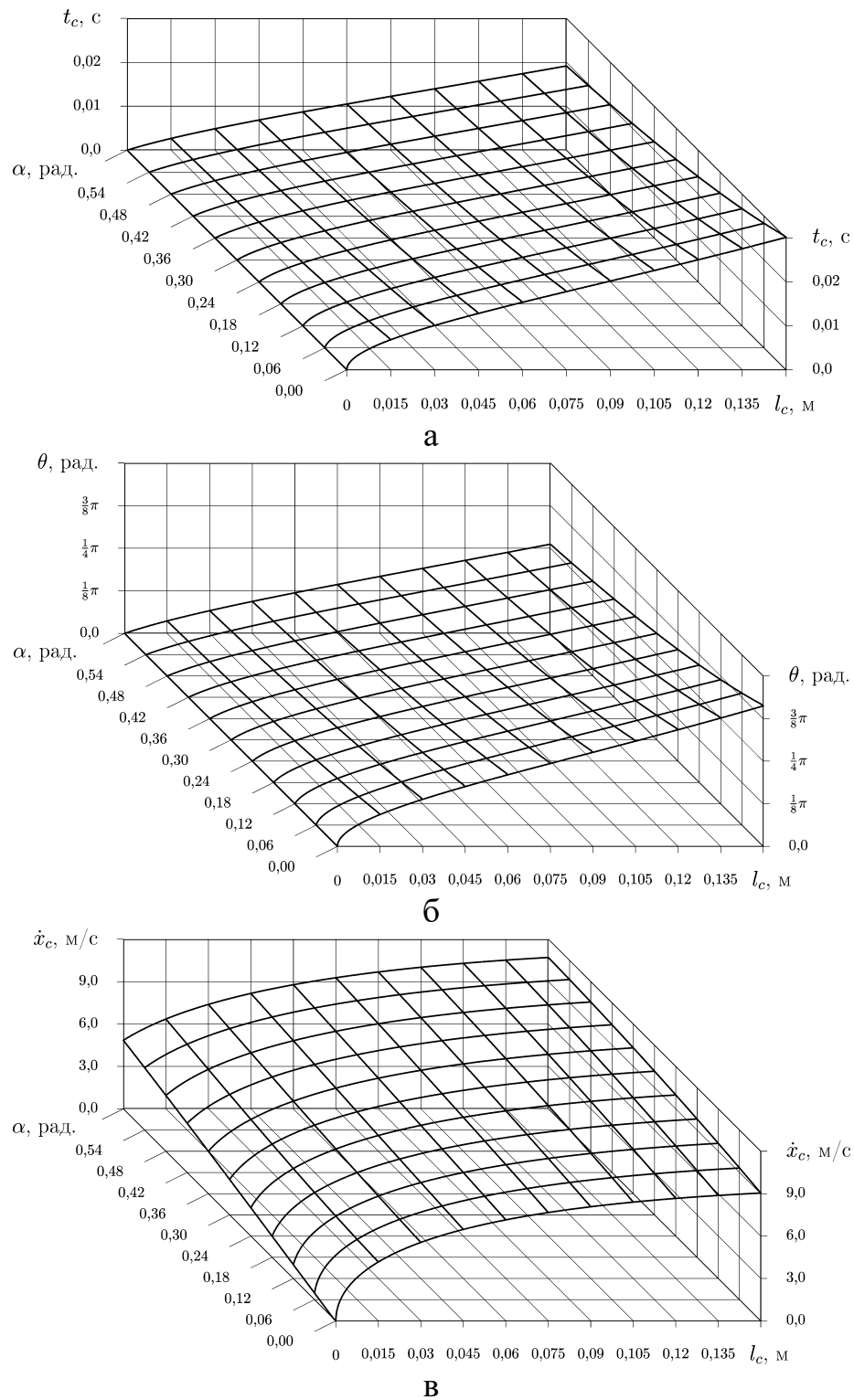


Рис. 2.6. Закономерности изменения интервала времени скольжения t_c , величины угла поворота ротора $\theta = \omega t_c$ и относительной скорости схода \dot{x}_c элементарной массы m , в зависимости от ее начального положения $x_m = r_{\max} \cos \alpha - l_c$ на лопатке и величины угла наклона лопатки α при следующих значениях постоянных параметров: $\varphi = 0,541$; $\iota = 0,611$; $\omega = 42,82 \text{ с}^{-1}$; $r_{\max} = 0,4 \text{ м}$; $l = 0,15 \text{ м}$.

Расчет значения t_c выполнялся из выражения (2.9) методом деления отрезка пополам, время скольжения t подводилось к такому значению t_c , когда выражение (2.9) давало $x|_{t=t_c} = r_{\max} \cos \alpha$.

Этот расчет, в частности, а также построение графиков этой главы и все последующие графики, и расчеты вообще, производились на ЭВМ, путем применения специально написанных на Visual C++ 6.0 программ, которые выполнялись под управлением OS Microsoft Windows 2000.

Имея t_c далее, в соответствии с определением $\theta = \omega t_c$ вычисляли угол θ и строили поверхность рис. 2.6 б. Затем, приняв, что $t = t_c$ и применив выражение (2.10) — поверхность рис. 2.6 в.

Из рис. 2.6 видно, что чем дальше от края лопатки (чем больше l_c) начинает движение элементарная масса m и чем больше α , тем большую относительную скорость $V_{\text{отн}}|_{t=t_c} = \dot{x}_c$ она имеет в момент отрыва от лопатки. Время скольжения t_c и угол поворота барабана θ , напротив, тем больше, чем меньше угол α . В отношении значения l_c характер изменения t_c и θ качественно такой же, как и скорости схода \dot{x}_c . Все это указывает на тот факт, что рассматриваемый рабочий орган способен рассеивать удобрения по углу вылета и начальной скорости, и тем самым влиять на дальность полета элементарных масс удобрений после схода их с лопатки.

В табл. 2.1 для соломистого навоза влажностью 79%, 69% и 75% которому соответствуют следующие углы трения $\varphi \in \{31,0^\circ; 32,2^\circ; 35,5^\circ\}$ приведены конкретные расчетные значения времени скольжения t_c , угла поворота ротора за период скольжения θ и относительной скорости в момент схода элементарной массы с лопатки $V_{\text{отн}}|_{t=t_c} = \dot{x}_c$ в зависимости от первоначального положения элементарной массы на лопатке, т.е. величины пути скольжения l_c и величины угла наклона лопатки $\alpha \in \{0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ\}$. Все другие параметры были приняты следующими: $i = 35^\circ$; $\omega = 42,92 \text{ с}^{-1}$; $r_{\max} = 0,4 \text{ м}$; $l = 0,15 \text{ м}$.

Таблица 2.1

Результаты расчетов времени скольжения t_c , угла поворота барабана θ и относительной скорости $V_{\text{оми}}|_{t=t_c} = \dot{x}_c$ для серии заданных значений длины пути скольжения l_c , угла внешнего трения φ и угла наклона лопатки α

l_c , м	φ , рад	α , рад	t_c , с	θ , рад	\dot{x}_c , м/с
1	2	3	4	5	6
0,03	0,541	0,000	0,0100	0,433	5,540
		0,175	0,0078	0,337	5,969
		0,349	0,0063	0,270	6,507
		0,524	0,0052	0,224	7,116
	0,562	0,000	0,0101	0,435	5,505
		0,175	0,0079	0,338	5,937
		0,349	0,0063	0,270	6,485
		0,524	0,0052	0,225	7,101
	0,62	0,000	0,0103	0,441	5,373
		0,175	0,0079	0,340	5,847
		0,349	0,0063	0,271	6,422
		0,524	0,0052	0,225	7,056
0,06	0,541	0,000	0,0154	0,650	7,144
		0,175	0,0126	0,540	7,649
		0,349	0,0106	0,455	8,139
		0,524	0,0092	0,395	8,596
	0,562	0,000	0,0155	0,664	7,058
		0,175	0,0126	0,543	7,583
		0,349	0,0106	0,455	8,087
		0,524	0,0092	0,395	8,559
	0,62	0,000	0,0158	0,676	6,814
		0,175	0,0128	0,549	7,398
		0,349	0,0107	0,459	7,947
		0,524	0,0093	0,397	8,452
0,09	0,541	0,000	0,0202	0,867	8,074
		0,175	0,0169	0,723	8,660
		0,349	0,0145	0,621	9,140
		0,524	0,0128	0,549	9,543
	0,562	0,000	0,0204	0,874	7,953
		0,175	0,0169	0,727	8,563
		0,349	0,0145	0,624	9,074
		0,524	0,0128	0,551	9,484
	0,62	0,000	0,0209	0,895	7,610
		0,175	0,0172	0,739	8,292
		0,349	0,0147	0,631	8,859
		0,524	0,0129	0,555	9,315

Продолжение табл. 2.1.

1	2	3	4	5	6
0,12	0,541	0,000	0,0251	1,075	8,663
		0,175	0,0210	0,903	9,320
		0,349	0,0183	0,783	9,827
		0,524	0,0163	0,701	10,184
	0,562	0,000	0,0253	1,086	8,511
		0,175	0,0212	0,909	9,197
		0,349	0,0183	0,787	9,726
		0,524	0,0164	0,703	10,104
	0,62	0,000	0,0260	1,117	8,086
		0,175	0,0216	0,927	8,850
		0,349	0,0186	0,798	9,445
		0,524	0,0166	0,710	9,879
0,15	0,541	0,000	0,0302	1,295	9,041
		0,175	0,0253	1,088	9,762
		0,349	0,0221	0,948	10,287
		0,524	0,0199	0,854	10,623
	0,562	0,000	0,0305	1,309	8,863
		0,175	0,0255	1,096	9,614
		0,349	0,0222	0,954	10,166
		0,524	0,0120	0,857	10,525
	0,62	0,000	0,0315	1,354	8,371
		0,175	0,0261	1,122	9,203
		0,349	0,0226	0,970	9,827
		0,524	0,0202	0,868	10,251

Приведенные в табл.2.1 данные в дальнейшем будут использованы для проведения аналитических расчетов, касательно дальности перемещения удобрений после схода их из лопатки, т.е. в течение фазы свободного полета.

2.4.2. Определение величины абсолютной скорости и направления вылета удобрений с лопатки ротора

Известно, что абсолютная скорость \vec{V}_{abc} элементарных масс удобрений в момент их схода с лопатки барабана равна векторной сумме переносной $\vec{V}_{пер}$ и относительной $\vec{V}_{отн}$ скоростей. Чтобы вычислить модуль V_{abc} абсолютной скорости и определить ее направление (угол β_c) обратимся к рис. 2.7.

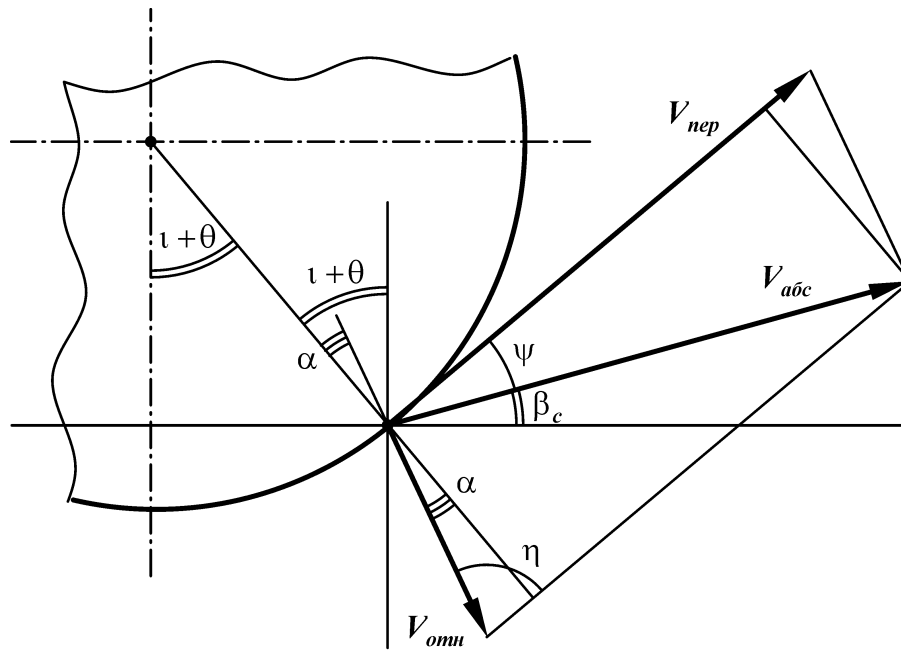


Рис. 2.7. Схема скоростей, с которыми элементарная масса m удобрений покидает лопатку ротора

Имея ввиду, общий случай, (рис. 2.3б) наклонной ориентации лопаток ротора ($\alpha \geq 0$), воспользовавшись законами тригонометрии [75], запишем выражение для вычисления модуля абсолютной скорости

$$V_{абс} = \sqrt{V_{пер}^2 + V_{отн}^2 - 2V_{пер}V_{отн} \cos \eta}, \quad (2.16)$$

где

$$\eta = \frac{\pi}{2} - \alpha. \quad (2.17)$$

Выполнив подстановку (2.17) в (2.16), окончательно имеем

$$V_{абс} = \sqrt{V_{пер}^2 + V_{отн}^2 - 2V_{пер}V_{отн} \sin \alpha}. \quad (2.18)$$

В частном случае (рис. 2.3а), когда лопатки ротора ориентированы радиально ($\alpha = 0$) выражение (2.18) сводится к виду

$$V_{абс} = \sqrt{V_{пер}^2 + V_{отн}^2}. \quad (2.19)$$

Угол β наклона вектора $\vec{V}_{абс}$ к горизонту определим через угол ψ между векторами $\vec{V}_{пер}$ и $\vec{V}_{абс}$. Исходя из геометрических построений (рис. 2.7) записываем

$$\beta_c + \psi = \iota + \theta, \quad (2.20)$$

где

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{V_{\text{отн}} \cos \alpha}{V_{\text{пер}} - V_{\text{отн}} \sin \alpha}. \quad (2.21)$$

Теперь выполнив подстановку ψ (2.21) в (2.20) и решив полученное относительно β_c получаем окончательное выражение

$$\beta_c = \iota + \theta - \operatorname{arctg} \frac{V_{\text{отн}} \cos \alpha}{V_{\text{пер}} - V_{\text{отн}} \sin \alpha}. \quad (2.22)$$

Полученные выражения (2.18) и (2.22) определяют модуль V_{abc} и направление β_c вектора абсолютной скорости \vec{V}_{abc} элементарной массы m в момент ее схода с лопатки ротора.

На рис. 2.8 приведены зависимости вида, $\beta_c = \beta_c(l_c, \alpha)$ и $V_{abc} = V_{abc}(l_c, \alpha)$, где угол β_c и скорость V_{abc} представляются как функции двух аргументов, первый из которых l_c обозначает длину пути, пройденного элементарной массой в состоянии взаимодействия с лопаткой до момента схода с нее, а второй α определяет угол наклона лопатки. Параметр l_c можно также понимать, как расстояние от геометрического центра элементарной массы m до края лопатки в момент начала ее скольжения по лопатке.

Из рис. 2.8 а следует, что чем ближе к периферийному краю лопатки изначально находится элементарная масса удобрений m , тем меньший угол β_c образует с горизонтом вектор ее абсолютной скорости \vec{V}_{abc} в момент схода с лопатки. Увеличение угла наклона α самой лопатки также влечет уменьшение угла β_c . Кроме того, из этого же рисунка можно сделать вывод, что радиально установленная лопатка в большей степени распределяет выбрасываемые удобрения по углу вылета.

Зависимость модуля V_{abc} абсолютной скорости от тех же параметров несколько сложнее. В области больших значений угла α увеличение l_c влечет уменьшение модуля скорости V_{abc} , а в области малых значений α , напротив — увеличение V_{abc} .

Установленные закономерности изменения угла β_c и скорости V_{abc} не дают основания сформулировать вывод касательно обоснования длины и угла установки лопатки. Пока нет возможности говорить о том, какой вариант сочетания этих параметров должен быть, чтобы обеспечить более

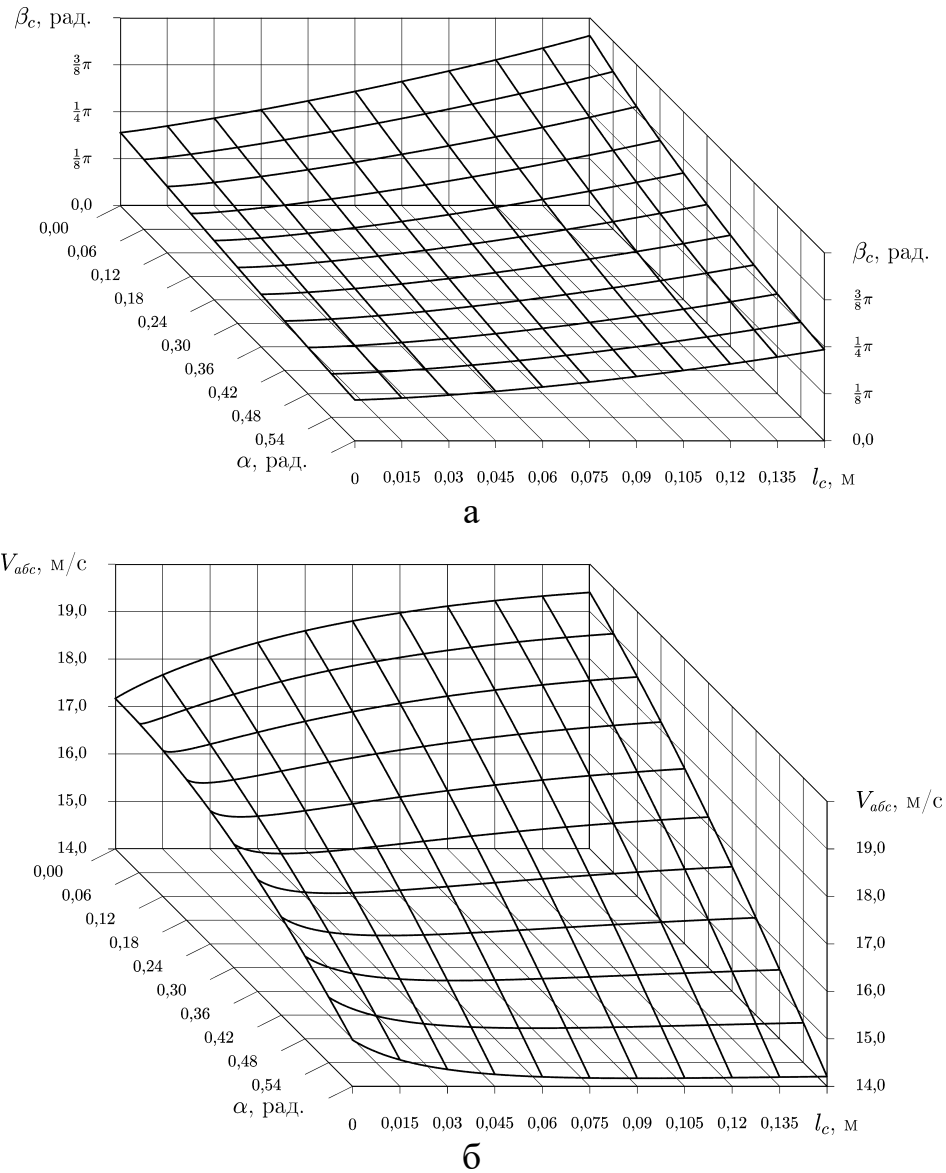


Рис. 2.8. Закономерности изменения величины угла наклона β вектора абсолютной скорости \vec{V}_{abc} элементарной массы m в момент ее схода с лопатки ротора и модуля V_{abc} абсолютной скорости, в зависимости от ее начального положения $x_m = r_{\max} \cos \alpha - l_c$ на лопатке и величины угла наклона лопатки α при следующих значениях постоянных параметров: $\varphi = 0,541$; $t = 0,611$; $\omega = 42,92 \text{ c}^{-1}$; $r_{\max} = 0,4 \text{ м}$; $l = 0,15 \text{ м}$; $V_{\text{нер}} = 17,168 \text{ м/с}$.

широкую полосу распределения удобрений по полю и каким при этом будет характер конечного распределения удобрений. Чтобы ответить на этот вопрос необходимо проанализировать следующую фазу движения элементарных масс удобрений (фазу свободного полета), для которой значения угла β_c и модуля абсолютной скорости V_{abc} (табл. 2.2) являются исходными данными.

Таблица 2.2

Определения абсолютной скорости V_{abc} и угла вылета β_c элементарной массы удобрений в момент их схода с лопатки ротора

l_c , м	φ , рад	α , рад	β_c , рад	V_{abc} , м/с
1	2	3	4	5
0,03	0,541	0,000	0,732	18,043
		0,175	0,598	17,169
		0,349	0,492	16,145
		0,524	0,410	14,940
	0,562	0,000	0,736	18,029
		0,175	0,601	17,164
		0,349	0,494	16,144
		0,524	0,411	14,942
	0,62	0,000	0,748	17,989
		0,175	0,608	17,148
		0,349	0,499	16,142
		0,524	0,415	14,946
0,06	0,541	0,000	0,876	18,595
		0,175	0,707	17,540
		0,349	0,577	16,291
		0,524	0,481	14,868
	0,562	0,000	0,885	18,562
		0,175	0,713	17,522
		0,349	0,581	16,284
		0,524	0,484	14,868
	0,62	0,000	0,909	18,471
		0,175	0,730	17,475
		0,349	0,593	16,266
		0,524	0,494	14,869
0,09	0,541	0,000	1,039	18,972
		0,175	0,836	17,835
		0,349	0,682	16,462
		0,524	0,572	14,899

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5
0,09	0,562	0,000	1,051	18,921
		0,175	0,845	17,805
		0,349	0,689	16,447
		0,524	0,578	14,895
	0,62	0,000	1,089	18,779
		0,175	0,871	17,722
		0,349	0,709	16,407
		0,524	0,594	14,886
0,12	0,541	0,000	1,219	19,230
		0,175	0,981	18,057
		0,349	0,805	16,610
		0,524	0,681	14,954
	0,562	0,000	1,237	19,162
		0,175	0,993	18,014
		0,349	0,814	16,587
		0,524	0,815	14,994
	0,62	0,000	1,288	18,977
		0,175	1,029	17,897
		0,349	0,842	16,524
		0,524	0,711	14,924
0,15	0,541	0,000	1,421	19,403
		0,175	1,143	18,216
		0,349	0,943	16,726
		0,524	0,805	15,007
	0,562	0,000	1,444	19,321
		0,175	1,159	18,162
		0,349	0,955	16,694
		0,524	0,815	14,994
	0,62	0,000	1,511	19,100
		0,175	1,206	18,016
		0,349	0,991	16,611
		0,524	0,843	14,961

Данные табл. 2.2 V_{abc} и β_c были рассчитаны при тех же значениях постоянных параметров, как и табл.2.1, т.е.: $l_c \in \{0,03; 0,06; 0,09; 0,12; 0,15\}$ м; $\varphi \in \{31,0^\circ; 32,2^\circ; 35,5^\circ\}$; $\alpha \in \{0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ\}$; $\iota = 35^\circ$; $\omega = 42,92$ с⁻¹; $r_{\max} = 0,4$ м; $l = 0,15$ м. Переносная скорость составила $V_{nep} = 17,168$ м/с. Рассчитана V_{nep} по формуле (2.2) при условии когда $r_x = r_{\max}$.

2.5. Фаза свободного полета удобрений, после их схода с лопатки ротора

После схода элементарных масс удобрений с лопатки ротора наступает фаза их свободного полета. Чтобы изучить закономерности перемещения удобрений в состоянии свободного полета и при этом задействовать имеющийся исследовательский опыт других авторов [79 – 83], формализуем некоторые основные понятия.

Органические удобрения по своему фракционному составу относятся к категории насыпных грузов. Они представляют собой бесформенную массу, из которой объективно невозможно выделить некую «представительную» частицу, характеризующую всю массу удобрений целиком. Тем не менее, воспользовавшись методом усреднения, в дальнейшем, перемещение элементарных масс удобрений в состоянии свободного полета условимся понимать как движение весоных частиц органических удобрений в сопротивляющейся (воздушной) среде.

Основной, интересующий нас вопрос, это дальность полета элементарных масс органических удобрений после их схода с лопатки ротора. Раньше мы выяснили, что в конце фазы скольжения и, соответственно, в начале фазы свободного полета элементарные массы удобрений имеют различную абсолютную скорость перемещения V_{abc} и, к тому же, различные, задаваемые углом β_c направления перемещения (табл. 2.2). Все это, безусловно, через различную дальность полета непосредственно влияет на характер конечного распределение удобрений по поверхности поля в зоне разбрасывания. Таким образом, для того, чтобы проследить за распределением частиц удобрений в направлении разбрасывания, необходимо определить их дальность полета.

Решение этой задачи осложняется тем, что движение частиц происходит в сопротивляющейся среде (воздухе), которая оказывает на распределение удобрений по поверхности поля существенное влияние.

В числе новых факторов, которые нам придется учитывать в дальнейшем, это сопротивление воздуха, которое испытывают летящие частицы удобрений в течение свободного полета. Численно характеризовать это сопротивление можно параметрами, определяющими их парусность.

Профессор Н.Е. Жуковский, Г.В. Оппоков и ряд других авторов считают, что величины сил сопротивления воздуха зависят от скорости движения частицы и что их необходимо учитывать даже при скорости 0,1 м/с как главную и наиболее важную силу [84, 85]

При скорости более 0,1 м/с силу сопротивления среды рекомендуется принимать пропорционально квадрату скорости [86, 87].

2.5.1. Изучение законов движения материальной точки в спокойной воздушной среде, в случае, когда ее сопротивление пропорционально квадрату скорости

Рассмотрим свободное движение материальной частицы M , которая имеет конечные малые размеры и массу m и перемещается в спокойной изотропной газообразной среде, характеризующейся плотностью ρ . Ограничимся случаем, когда модуль R_c силы сопротивления газообразной среды \vec{R}_c , которую испытывает частица M , пропорционален квадрату модуля \mathcal{V} ее линейной скорости $\vec{\mathcal{V}}$. Для этого случая известны два метода определения силы сопротивления среды \vec{R}_c . В соответствии с первым, используется коэффициент сопротивления $\varepsilon = \varepsilon(\mathfrak{R}_e)$, зависящий от значения числа Рейнольдса \mathfrak{R}_e [88], но не связанный с линейной скоростью \mathcal{V} .

$$R_c = \varepsilon \rho F \frac{\mathcal{V}^2}{2}, \quad (2.23)$$

где F — площадь проекции материальной частицы M на плоскость, перпендикулярную к вектору $\vec{\mathcal{V}}$. Во втором случае силу

$$R_c = k_n m \mathcal{V}^2 \quad (2.24)$$

определяют через коэффициент парусности k_n [89]

$$k_n = \frac{k\rho F}{mg}, \quad (2.25)$$

где k — коэффициент сопротивления среды [89], окружающей частицу M .

В работе [90] трактовка коэффициентов k_n и k , несколько иная $k_n = k\rho F/m$, но в любом случае сила сопротивления среды R_c рассматривается как функция только одной переменной величины — линейной скорости \mathcal{V} . Отсюда следует, что выбор выражения для R_c — вопрос не принципиальный.

В каждом случае предполагается использование экспериментально определяемых коэффициентов ε или k и k_n . Далее покажем, что на рассматриваемую задачу это обстоятельство дополнительных ограничений не накладывает и проявляется лишь в определении коэффициента пропорциональности между квадратом линейной скорости \mathcal{V} и силой R_c .

Если вектор линейной скорости $\vec{\mathcal{V}}$ частицы M понимать как функцию времени t ($\vec{\mathcal{V}} = \vec{\mathcal{V}}(t)$), то вектор $\vec{\omega}$ ее полного линейного ускорения можно представить в виде производной $\vec{\omega} = \frac{d}{dt}\vec{\mathcal{V}}$. Напомним, что первая производная от модуля линейной скорости \mathcal{V} по времени t дает касательную компоненту линейного ускорения [91].

Силовой баланс. Обозначив \vec{g} — вектор ускорения свободного падения и $m\vec{g}$ — сила веса частицы M , запишем для этой частицы уравнение ее силового баланса

$$m\vec{\omega} = m\vec{g} + \vec{R}_c, \quad (2.26)$$

которое, путем использования замены (в зависимости от выбранного варианта формулы для силы сопротивления среды R_c (2.23) или (2.24))

$$\gamma = \frac{1}{2mg}\varepsilon\rho F \quad \text{или} \quad \gamma = \frac{k_n}{g} \quad (2.27)$$

и, соответствующего ей (2.27), нового представления вектора силы

сопротивления \vec{R}_c

$$\vec{R}_c = -\gamma m g \mathfrak{g} \vec{\mathfrak{g}}, \quad (2.28)$$

приводится к виду

$$m \vec{\omega} = m \vec{g} - m \gamma g \mathfrak{g} \vec{\mathfrak{g}}. \quad (2.29)$$

Знак “–” в “новом” выражении для \vec{R}_c (2.28) указывает на противоположную ориентацию совпадающих по линии действия векторов \vec{R}_c и $\vec{\mathfrak{g}}$.

С учетом малости объема и сферичности формы частицы M , а также требований на отсутствие внешних возмущающих факторов и на изотропность как материала частицы так и газообразной среды, в которой частица движется в состоянии свободного полета, можно однозначно утверждать, что такое движение всегда остается плоским, а сама плоскость перемещения определяется векторами: начальной скорости $\vec{\mathfrak{g}}_0$ и ускорения свободного падения \vec{g} . В таком случае для описания траектории движения частицы M удобно воспользоваться декартовой системой координат OXY . Ее точка приложения совпадает с началом вектора $\vec{\mathfrak{g}}_0$, ось ординат (OY) — параллельна вектору \vec{g} ускорения свободного падения, а ось абсцисс (OX) и вектор начальной скорости $\vec{\mathfrak{g}}_0$ — лежат в одной плоскости и ориентированы в одну сторону. Если под x и y понимать координаты (абсциссу и ординату) точки текущего положения частицы M , а в качестве параметра выбрать время $t \in [0, \infty]$, то уравнение траектории движения частицы M можно представить в параметрическом виде [76 – 78, 92, 93]

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad (2.30)$$

когда координаты x и y рассматриваются как функции времени t .

Рассмотрим другую подвижную систему координат, базисный репер которой $(0, \vec{\tau}, \vec{n})$ совмещен с центром тяжести частицы M и перемещается относительно исходной системы координат OXY вместе с частицей M , а орты $\vec{\tau}$ и \vec{n} соответственно совпадают с касательной и нормалью к траектории полета частицы M в точке ее текущего положения, причем

$\vec{\tau} = \vec{\mathcal{G}}/\mathcal{G}$, т.е. ориентирован в сторону положительного направления $\vec{\mathcal{G}}$, а \vec{n} — к центру кривизны траектории полета частицы M (параметрической кривой (2.30)). Теперь представим векторы $\vec{\omega}$, \vec{g} и $\vec{\mathcal{G}}$ из уравнения силового баланса (2.29) в виде разложения на орты $\vec{\tau}$ и \vec{n}

$$\vec{\omega} = \left(\vec{\tau} \frac{d\mathcal{G}}{dt}, \vec{n} \frac{\mathcal{G}^2}{r} \right), \quad \vec{g} = (-\vec{\tau}g \sin \beta, \vec{n}g \cos \beta), \quad \vec{\mathcal{G}} = (\vec{\tau}\mathcal{G}, \vec{n}\theta), \quad (2.31)$$

где $\frac{d\mathcal{G}}{dt}$ и \mathcal{G}^2/r — касательная и нормальная компоненты линейного ускорения частицы M ; r — радиус кривизны ее траектории полета (положительная величина), а

$$\beta = \beta(t) = \arctan \left(\frac{\frac{d}{dt} y(t) dt}{\frac{d}{dt} x(t) dt} \right) = \arctan \left(\frac{dy}{dx} \right) \quad (2.32)$$

— угол между касательной к траектории и осью абсцисс (OX) в точке текущего положения частицы M . Исходя из физической сути рассматриваемой задачи и оговоренной привязки системы координат OXY к вектору $\vec{\mathcal{G}}$, заключаем, что угол β с течением времени $t \in [t_0, \infty]$ монотонно убывает ($\beta_0 \geq \beta(t) \geq -\frac{1}{2}\pi$). Тут t_0 — время на момент начала движения, а $\beta_0 = \beta(t_0)$. Интервал возможных значений β_0 следующий — $\beta_0 \in [+ \frac{1}{2}\pi, - \frac{1}{2}\pi]$. Поскольку β — угол между осью абсцисс OX и вектором линейной скорости $\vec{\mathcal{G}}$, то β_0 — это угол между осью OX и $\vec{\mathcal{G}}_0 = \vec{\mathcal{G}}(t_0)$.

С учетом разложения векторов $\vec{\omega}$, \vec{g} и $\vec{\mathcal{G}}$ на компоненты (2.31), уравнение силового баланса (2.29) дает систему скалярных уравнений

$$\begin{cases} \frac{d\mathcal{G}}{dt} = -g \sin \beta - \gamma g \mathcal{G}^2, \\ \mathcal{G}^2 = r g \cos \beta. \end{cases} \quad (2.33)$$

Последняя содержит три неизвестные функции от параметра t (от времени): $\mathcal{G} = \mathcal{G}(t)$, $\beta = \beta(t)$, $r = r(t)$ и не является определенной. Добиться ее определенности можно, применив развернутое представление радиуса кривизны траектории r

$$r = -\frac{dS}{d\beta} = -\frac{\mathcal{G}dt}{d\beta}, \quad (2.34)$$

где S — длина дуги траектории от начала до текущей точки.

Тут предполагается, что $S = S(t)$ и $\mathcal{G} = \mathcal{G}(t)$ рассматриваются как сложные функции $S = S(\beta(t))$ и $\mathcal{G} = \mathcal{G}(\beta(t))$, в которых связь со временем t опосредствована через угол $\beta = \beta(t)$. Знак “минус” обусловлен тем, что в рассматриваемой задаче радиус — величина положительная, а знаки $d\beta$ и dt в пределах оговоренных выше физически осмысленных интервалов всегда разные. Этим из равенства (2.34) корректно исключается знак модуля. Подстановка r (2.34) во второе уравнение системы (2.33) дает

$$dt = -\frac{\mathcal{G}d\beta}{g \cos \beta}. \quad (2.35)$$

Теперь, выполнив подстановку дифференциала dt (2.35) в первое уравнение системы (2.33), приходим к дифференциальному уравнению Бернулли [92]

$$\frac{d\mathcal{G}}{d\beta} - \mathcal{G} \tan \beta = \frac{\gamma}{\cos \beta} \mathcal{G}^3. \quad (2.36)$$

Решение уравнения (2.36) дает выражение для скорости $\mathcal{G}(\beta)$ как функции угла β

$$\mathcal{G}(\beta) = \left\{ -2\gamma \cos^2 \beta \left[\frac{\sin \beta}{2 \cos^2 \beta} + \frac{1}{4} \ln \left(\frac{1 + \sin \beta}{1 - \sin \beta} \right) - C_{\mathcal{G}} \right] \right\}^{-\frac{1}{2}}. \quad (2.37)$$

тут $C_{\mathcal{G}}$ — постоянная интегрирования, которую находим из этого же уравнения (2.37), имея в виду начальные значения $\beta_0 = \beta(t_0)$, $\mathcal{G}_0 = \mathcal{G}(t_0)$

$$C_{\mathcal{G}} = \frac{1}{2\gamma \cos^2 \beta_0 \mathcal{G}_0^2} + \frac{\sin \beta_0}{2 \cos^2 \beta_0} + \frac{1}{4} \ln \left(\frac{1 + \sin \beta_0}{1 - \sin \beta_0} \right). \quad (2.38)$$

Из анализа выражения для линейной скорости (2.37) видно (рис. 2.9), что функция $\mathcal{G} = \mathcal{G}(\beta)$ в случае большого значения начальной скорости \mathcal{G}_0 в физически осмысленном интервале изменения угла $\beta \in [-\frac{1}{2}\pi, +\frac{1}{2}\pi]$ может иметь только ниспадающую ветвь (участок замедления). В случае малого значения начальной скорости \mathcal{G}_0 и положительного начального угла $\beta_0 > 0$,

наблюдается два участка: первый — замедление (подъем), второй — разгон, до определенного предельного значения $\mathcal{G}_{кр}$ — именуемого критической скоростью [89, 90]. Если же $\beta_0 < 0$, то кривая $\mathcal{G}(\beta)$ очевидно будет иметь опять только один участок, но или разгонный (при малом $\mathcal{G}_0 < \mathcal{G}_{кр}$), или участок замедления (при $\mathcal{G}_0 > \mathcal{G}_{кр}$). Изучим это обстоятельство, для чего возвратимся к определению силы сопротивления среды R_c . В случае если R_c (2.24) выражается через коэффициент парусности k_n , то автоматически подразумевается существование критической скорости [89, 90]

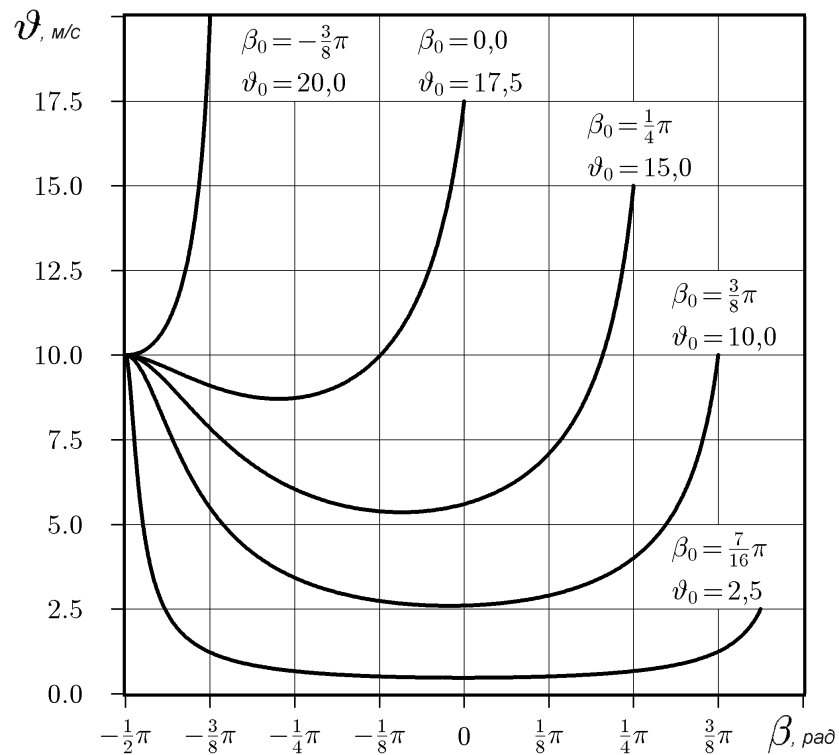


Рис. 2.9. Связь модуля линейной скорости \mathcal{G} частицы M с величиной угла β для различных начальных условий

$$\mathcal{G}_{кр}^2 = \frac{g}{k_n}, \quad (2.39)$$

а значит должен существовать предел $\lim_{\beta \rightarrow -\frac{1}{2}\pi} \mathcal{G}(\beta) = \mathcal{G}_{кр}$. Раскрыв скобки в

(2.37) и памятуя о том, что $\lim_{\beta \rightarrow -\frac{1}{2}\pi} \cos^2(\beta) = 0$, получаем $\lim_{\beta \rightarrow -\frac{1}{2}\pi} \mathcal{G}(\beta) = \gamma^{-\frac{1}{2}}$.

Подстановка сюда γ из замены (2.27) дает (2.39). Так подтверждается правильность предложенных выше выкладок.

Функциональную связь $t = t(\beta)$ (времени с углом) (2.35) иллюстрирует рис. 2.10. Чем больше способность среды оказывать сопротивление движению частицы M (чем больше γ), тем быстрее β стремится к своему пределу $-\pi/2$ или, что то же самое, тем быстрее искривляется траектория.

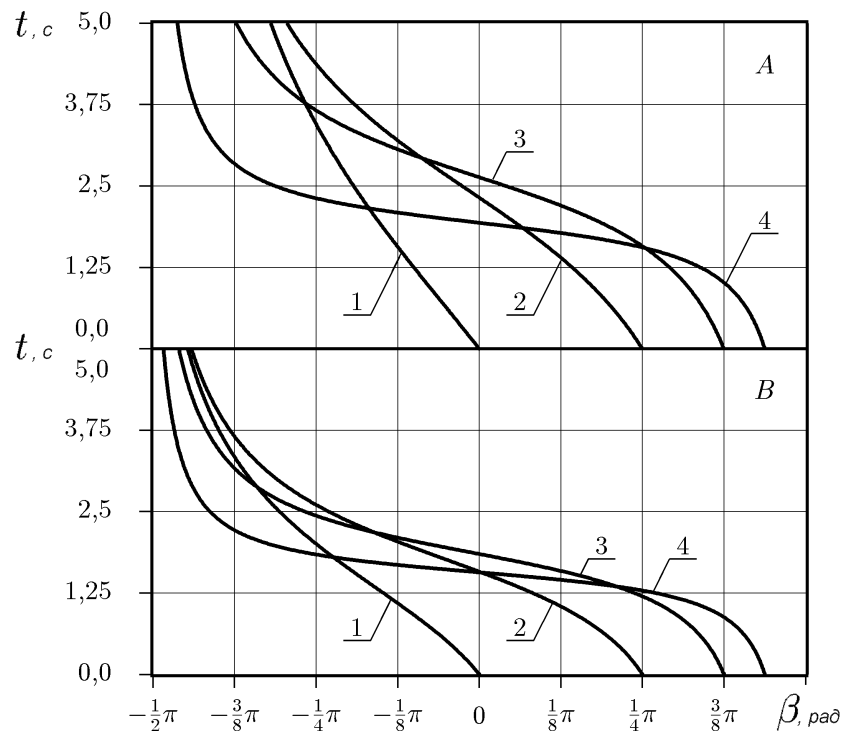


Рис. 2.10. Продолжительность движения $t = t(\beta)$. Графикам A и B соответствуют два значения коэффициента γ (0,001 и 0,01), а кривым 1, 2, 3 и 4 — разные значения начального угла β_0 ($0, \frac{1}{4}\pi, \frac{3}{8}\pi, \frac{7}{16}\pi$) и начальной скорости \mathcal{V}_0 (20,0; 17,5; 15,0; 10,0)

Понимая декартовы координаты (2.30) как сложные функции, у которых связь с параметром t опосредствована через угол $\beta(t)$, т.е. что

$$y = y(\beta(t)), \quad x = x(\beta(t)), \quad (2.40)$$

исключив из (2.40) параметр (время) t , гипотетически можно получить непосредственную связь типа $y = y(\beta)$ и $x = x(\beta)$. Выполним эту задачу.

Исходя из физической сути, запишем

$$dy = \mathcal{V} \sin \beta dt, \quad dx = \mathcal{V} \cos \beta dt. \quad (2.41)$$

Теперь, выполнив подстановку дифференциала dt из (2.35), получим

$$y = -\frac{1}{g} \int \mathcal{V}^2 \operatorname{tg} \beta d\beta, \quad x = -\frac{1}{g} \int \mathcal{V}^2 d\beta. \quad (2.42)$$

Рассмотрим первый интеграл (для $y(\beta)$) из выражений (2.42). Выполнив подстановку в него развернутого выражения скорости $\mathcal{V}(\beta)$ из (2.37), имеем

$$y = \frac{1}{2\gamma g} \int \left[\frac{\sin \beta}{2 \cos^2 \beta} + \frac{1}{4} \ln \left(\frac{1 + \sin \beta}{1 - \sin \beta} \right) - C_g \right]^{-1} \frac{\sin \beta}{\cos^3 \beta} d\beta. \quad (2.43)$$

Применим замену переменных

$$u = \ln \left(\frac{1 + \sin \beta}{1 - \sin \beta} \right). \quad (2.44)$$

Из (2.44) следует:

$$du = \frac{2}{\cos \beta} d\beta; \quad \sin \beta = \frac{e^u - 1}{e^u + 1}; \quad \cos^2 \beta = 1 - \left(\frac{e^u - 1}{e^u + 1} \right)^2; \quad \frac{\sin \beta}{\cos^2 \beta} = \frac{1}{2} \operatorname{sh}(u). \quad (2.45)$$

С применением выражений (2.44), (2.45) интеграл (2.43) записывается так

$$y = \frac{1}{2\gamma g} \int \frac{\operatorname{sh}(u)}{\operatorname{sh}(u) + u - 4C_g} du. \quad (2.46)$$

Рассмотрим второй из интегралов (2.42) (для $x(\beta)$). Подставляя в него выражение скорости $\mathcal{V}(\beta)$ из (2.37), имеем

$$x = \frac{1}{2\gamma g} \int \left[\frac{\sin \beta}{2 \cos^2 \beta} + \frac{1}{4} \ln \left(\frac{1 + \sin \beta}{1 - \sin \beta} \right) - C_g \right]^{-1} \frac{1}{\cos^2 \beta} d\beta. \quad (2.47)$$

Теперь, используя уже известную замену переменных (2.44), (2.45), получим окончательное интегральное выражение для $x(u(\beta))$

$$x = \frac{1}{\gamma g} \int \frac{\operatorname{ch}(\frac{1}{2}u)}{\operatorname{sh}(u) + u - 4C_g} du. \quad (2.48)$$

Длину пути $S = S(\beta)$, пройденного частицей M от начала движения до точки ее текущего положения, можно найти, воспользовавшись вторым уравнением системы (2.33) и уравнением для определения радиуса r кривизны траектории (2.34)

$$S = -\frac{1}{g} \int \frac{\mathcal{G}^2}{\cos \beta} d\beta. \quad (2.49)$$

После подстановки в (2.49) \mathcal{G} из (2.37)

$$S = \frac{1}{2\gamma g} \int \left[\frac{\sin \beta}{2 \cos^2 \beta} + \frac{1}{4} \ln \left(\frac{1 + \sin \beta}{1 - \sin \beta} \right) - C_g \right]^{-1} \frac{1}{\cos^3 \beta} d\beta, \quad (2.50)$$

и использования замены

$$v = \frac{\sin \beta}{2 \cos^2 \beta} + \frac{1}{4} \ln \left(\frac{1 + \sin \beta}{1 - \sin \beta} \right) - C_g, \quad dv = \frac{1}{\cos^3 \beta} d\beta, \quad (2.51)$$

получаем интеграл вида

$$S = \frac{1}{2\gamma g} \int \frac{1}{v} dv. \quad (2.52)$$

Его интегрирование и затем подстановка v в соответствии с (2.51) дает

$$S = \frac{1}{2\gamma g} \ln \left| \frac{\sin \beta}{2 \cos^2 \beta} + \frac{1}{4} \ln \left(\frac{1 + \sin \beta}{1 - \sin \beta} \right) - C_g \right| - C_s, \quad (2.53)$$

где постоянная интегрирования C_s определяется исходя из

$$S(\beta(t_0)) = S(\beta_0) = 0$$

$$C_s = \frac{1}{2\gamma g} \ln \left| \frac{\sin \beta_0}{2 \cos^2 \beta_0} + \frac{1}{4} \ln \left(\frac{1 + \sin \beta_0}{1 - \sin \beta_0} \right) - C_g \right|. \quad (2.54)$$

Опираясь на известный опыт [93, 94], со значительной вероятностью можно утверждать, что для неопределенных интегралов (2.46) и (2.48) путем конечного числа преобразований подынтегральной функции получить аналитические выражения первообразных невозможно. Поэтому взамен (2.46) и (2.48) для практических целей следует рекомендовать определенные интегралы как функции верхнего предела [95]

$$y = -\frac{1}{g} \int_{\beta_0}^{\beta} \mathcal{G}^2 \tan \beta d\beta, \quad x = -\frac{1}{g} \int_{\beta_0}^{\beta} \mathcal{G}^2 d\beta, \quad (2.55)$$

или

$$y = \frac{1}{2\gamma\beta} \int_{u(\beta_0)}^{u(\beta)} \frac{\text{sh}(u)}{\text{sh}(u) + u - 4C_g} du, \quad x = \frac{1}{\gamma\beta} \int_{u(\beta_0)}^{u(\beta)} \frac{\text{ch}(\frac{1}{2}u)}{\text{sh}(u) + u - 4C_g} du. \quad (2.56)$$

Результаты численного интегрирования выражений (2.56) методом парабол Симпсона [96], а также расчетов длины пути S по (2.53) представлены на рис. 2.11. Расчеты тут также проводились только для физически осмысленного интервала изменения угла $\beta_0 \geq \beta \geq -\frac{1}{2}\pi$ при $\beta_0 \in]0, \frac{1}{2}\pi[$. Значение высоты (ординаты y) текущего положения частицы M в процессе ее движения сначала достигает своего максимального значения $y_{\max} = y|_{\beta=0}$, а затем монотонно убывает до $-\infty$. Горизонтальное удаление (абсцисса x) частицы M от начальной точки в пределах всего обозначенного интервала изменения угла β монотонно возрастает до предельного значения $x_{кр} = x|_{\beta=-\frac{1}{2}\pi}$. Принятый тут индекс соответствует критической скорости $\mathcal{G}_{кр}$, поскольку и то ($x_{кр}$) и другое ($\mathcal{G}_{кр}$) наступает одновременно (при $\beta \rightarrow -\frac{1}{2}\pi$). Функция $S(\beta)$ (путь) монотонно возрастает во всем интервале вплоть до бесконечности $\lim_{\beta \rightarrow -\frac{1}{2}\pi} S(\beta) = +\infty$.

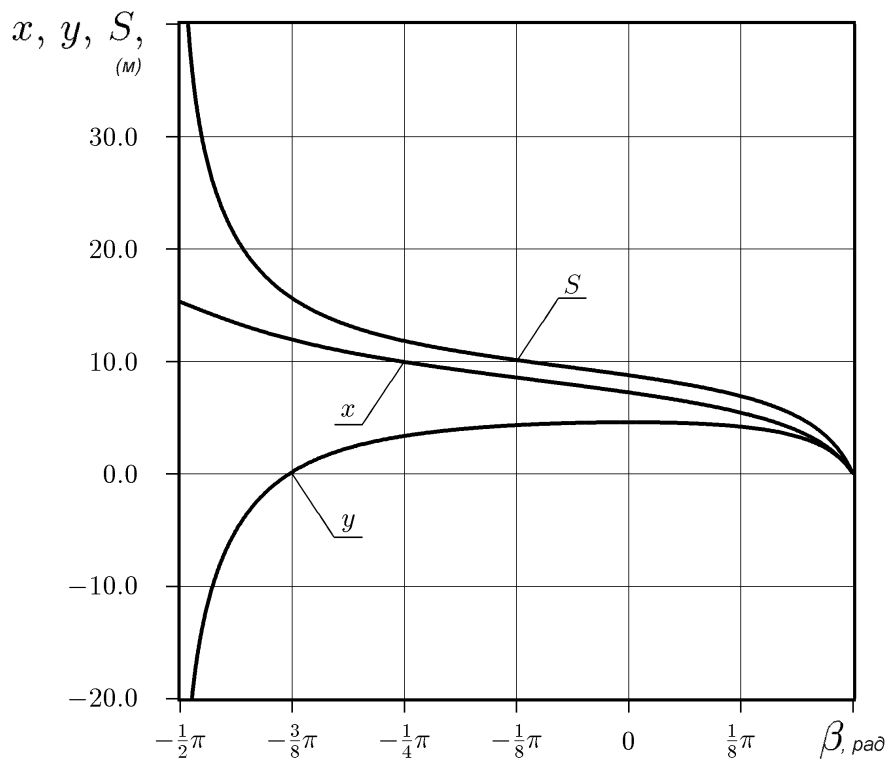


Рис. 2.11. Связь координат x , y и длины пути S , пройденного частицей M с величиной угла β между касательной к траектории полета и осью абсцисс

Интегралы декартовых координат x , y (2.56) можно рассматривать как параметрическое уравнение траектории полета частицы (в качестве параметра выступает функция $u(\beta)$ (2.47)) и, выполнив численное интегрирование [96], построить их графики (рис. 2.12.).

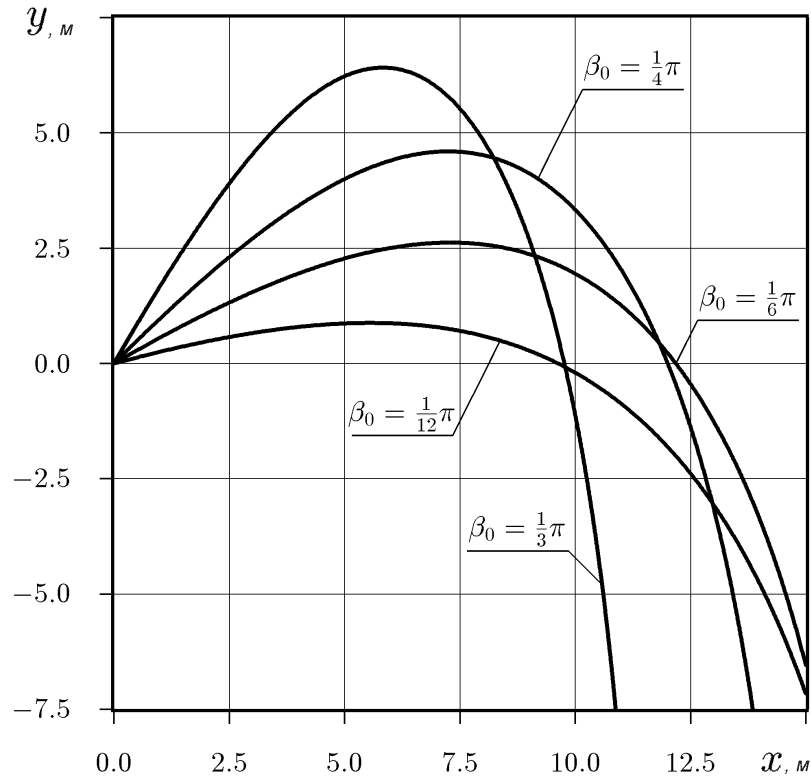


Рис. 2.12. Траектория полета частицы для различных значений угла β_0

Наибольший интерес представляют расчеты максимальной дальности x_{\max} полета частицы и максимальной высоты y_{\max} ее подъема (рис. 2.13). Тут под максимальной дальностью x_{\max} условимся понимать расстояние от начальной точки до точки на траектории полета частицы M , расположенной на высоте начала движения y_0 ($x_{\max} = x|_{y(\beta \neq \beta_0) = y_0}$). На рис. 2.13 в качестве аргумента рассматривается начальный угол β_0 . Естественно, наибольшая высота подъема достигается в случае изначально вертикального движения. Экстремум функциональной связи $x_{\max}(\beta_0)$ лежит в интервале $\beta_0 \in]0, \frac{1}{4}\pi[$. Причем смещается влево ($\beta_0 \rightarrow 0$) пропорционально росту коэффициента γ (2.27) из выражения силы сопротивления R_c (2.28), т.е. сопротивляемости

среды. Увеличение γ приводит также к снижению максимальной высоты подъема y_{\max} и максимальной дальности полета x_{\max} частицы.

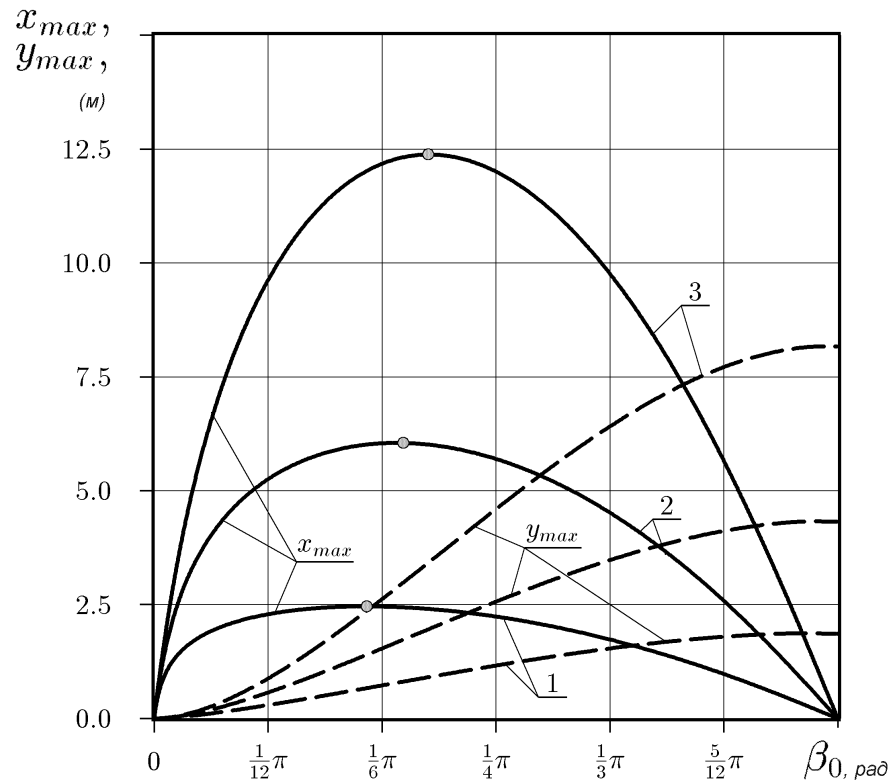


Рис. 2.13. Связь максимальной высоты подъема y_{\max} и дальности пролета x_{\max} частицы M с величиной угла β_0 . Знаком “ \circ ” отмечены экстремумы

$x_{\max} = x_{\max}(\beta_0)$. Кривые 1, 2 и 3 соответствуют значениям

$$\gamma — 0,1; 0,03 \text{ и } 0,01$$

Энергетический баланс. Кинетическая энергия E_k частицы M в момент отрыва равна $m \mathcal{G}_0^2 / 2$. В процессе свободного полета эта энергия расходуется, во-первых, на изменение потенциальной энергии $E_p = mgy$ (в начале движения $y = y_0 = 0$) и, во-вторых, на преодоление (работу) сил сопротивления газообразной среды

$$A_c = \int R_c dS. \quad (2.57)$$

Текущий остаток кинетической энергии $E_k = m \mathcal{G}^2 / 2$. С учетом сказанного, уравнение энергетического баланса частицы M можно записать так

$$\frac{m\mathcal{G}_0^2}{2} = mgy + A_c + \frac{m\mathcal{G}^2}{2}. \quad (2.58)$$

Далее запишем интеграл A_c (2.57) в развернутом виде, используя R_c из выражения (2.23), γ из (2.27) и дифференциал dS в соответствии с подынтегральной функцией (2.49)

$$A_c = -\gamma m \int \frac{\mathcal{G}^4}{\cos \beta} d\beta. \quad (2.59)$$

После подстановки в (2.59) \mathcal{G} из (2.37) имеем

$$A_c = -\frac{m}{4\gamma} \int \left[\frac{\sin \beta}{2 \cos^2 \beta} + \frac{1}{4} \ln \left(\frac{1 + \sin \beta}{1 - \sin \beta} \right) - C_g \right]^{-2} \frac{1}{\cos^5 \beta} d\beta. \quad (2.60)$$

Теперь, применив замену (2.44), (2.45), получаем

$$A_c = -\frac{m}{2\gamma} \int \frac{(\operatorname{ch}(u) + 1)^2}{(\operatorname{sh}(u) + u - 4C_g)^2} du. \quad (2.61)$$

Умножив интегральное выражение A_c (2.61) на $2\gamma/m$, а выражение для y (2.47) — на $2\gamma g$, и, затем, сложив результаты, имеем

$$2\gamma g y + \frac{2\gamma A_c}{m} = \int \frac{\operatorname{sh}(u)(\operatorname{sh}(u) + u - 4C_g) - (\operatorname{ch}(u) + 1)^2}{(\operatorname{sh}(u) + u - 4C_g)^2} du. \quad (2.62)$$

Под знаком интеграла (2.62) производная от дроби, поэтому записываем

$$2\gamma g y + \frac{2\gamma A_c}{m} = \frac{\operatorname{ch}(u) + 1}{\operatorname{sh}(u) + u - 4C_g} + C_a, \quad (2.63)$$

где

$$C_a = \frac{\operatorname{ch}(u_0) + 1}{4C_g - \operatorname{sh}(u_0) - u_0}, \quad (2.64)$$

— постоянная интегрирования. Тут принято, что $u_0 = u(\beta_0)$ в соответствии с (2.44). Решаем уравнение (2.63) относительно A_c работы силы сопротивления среды

$$A_c = \frac{m}{2\gamma} \left[\frac{\operatorname{ch}(u) + 1}{\operatorname{sh}(u) + u - 4C_g} - 2\gamma g y + C_a \right], \quad (2.65)$$

и получаем выражение для оценки энергетических потерь летящей частицы M , обусловленных сопротивлением окружающей среды.

Энергетический баланс (2.58) иллюстрирует рис. 2.14. На нем последовательно представлены два момента процесса движения частицы: первый (рис. 2.14.А) — соответствует достижению частицей высоты начала движения $y = y_0 = 0$; а второй (рис. 2.14.В) — максимальной высоты подъема $y = y_{\max}$. В качестве переменного аргумента взят угол $\beta_0 \in [0, \frac{1}{2}\pi]$. В первом случае (рис. 2.14.А) потенциальная энергия E_p равна нулю, а графики полной E и кинетической E_k энергий совпадают. Во втором случае (рис. 2.14.В) на высоте максимального подъема $y = y_{\max}$ потенциальная энергия E_p достигает своего максимума, а кинетическая E_k — минимума. Если движение изначально вертикальное ($\beta_0 = \frac{1}{2}\pi$), то кинетическая E_k энергия полностью переходит в потенциальную E_p . В ином случае всегда проявляются оба вида энергий.

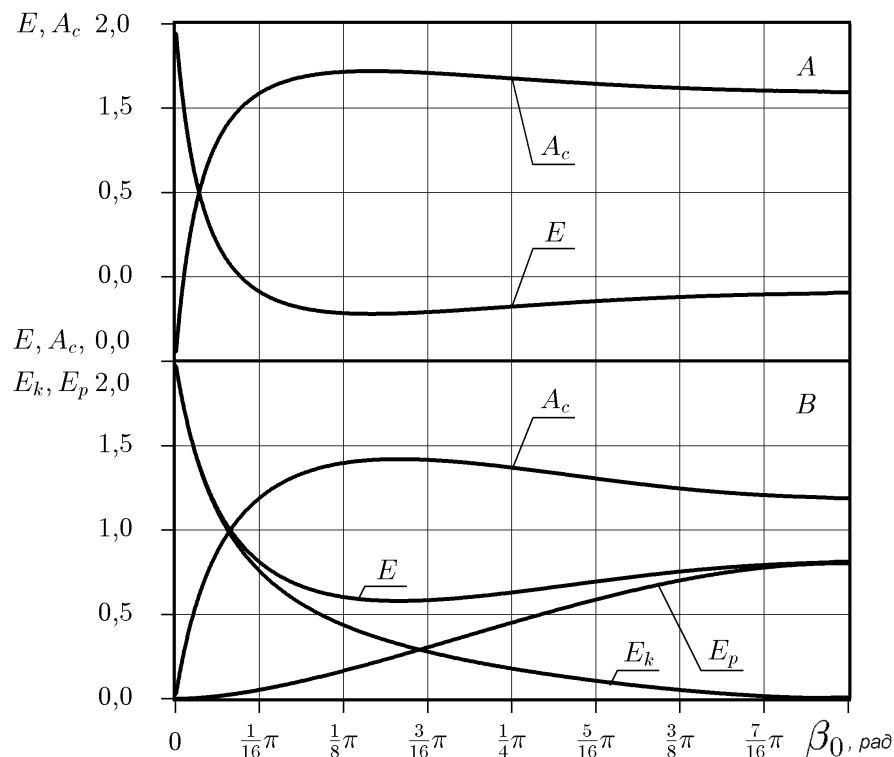


Рис. 2.14. Энергетический баланс летящей частицы M , как функция начального угла β_0 : A — в момент пересечения уровня начальной высоты ($y = y_0 = 0$); B — в момент максимального подъема ($\beta = 0$)

В результате в текущем параграфе, для случая, когда сила сопротивления среды пропорциональна квадрату линейной скорости, впервые получены интеграл (2.53) длины пути $S(\beta)$, пройденного частицей от начала движения до текущей точки, и уравнение (2.65) работы A_c сил сопротивления R_c . Определенные интегралы (2.55) текущих координат $x(\beta)$, $y(\beta)$ путем предложенной замены независимой переменной (2.44) приведены к компактной форме (2.56).

С помощью выше приведенных уравнений, зная, определенные в предыдущем параграфе (табл. 2.2), скорость схода $\mathcal{G}_0 = V_{abc}$ и угол вылета (по отношению к горизонту) частиц удобрений с лопатки барабана $\beta_0 = \beta_c$, можно определить дальность их полета и тем самым оценить закономерности распределения удобрений в направлении разбрасывания. Но прежде следует убедиться в адекватности предложенных выше теоретических выкладок экспериментальным закономерностям полета удобрений. Главный вопрос — правомерно ли считать, что сопротивление воздушной среды пропорционально квадрату скорости движения реальных комков удобрений в состоянии их свободного полета.

2.5.2. Оценка соответствия экспериментальных траекторий полета частиц удобрений с теоретическими

Решение будем искать путем анализа и сравнения известных моделей [56, 88 – 90, 97] свободного движения материальной частицы M конечно малых размеров массой m в спокойной изотропной газообразной среде, характеризующейся плотностью ρ , с имеющимися экспериментальными данными (рис. 2.12) [56]. В отношении силы сопротивления среды R_c обычно считают, что ее величина пропорциональна модулю \mathcal{G} линейной скорости $\vec{\mathcal{G}}$, возведенного в целую степень $a \in \{0, 1, 2, \dots\}$.

$$\vec{R}_c = -\gamma m g \mathcal{G}^{a-1} \vec{\mathcal{G}}, \quad (2.66)$$

где γ определяется выражениями (2.27) и все вошедшие в (2.27) и (2.66) величины соответствуют определениям предыдущего параграфа. В частном случае, когда $a = 2$ выражение (2.66) сводится к ранее рассмотренному представлению (2.28).

Теперь предположим, что показатель степени a не является постоянным и зависит от модуля \mathcal{G} линейной скорости $a = a(\mathcal{G})$, и ниже покажем, как, имея экспериментальные траектории движения частицы M (рис. 2.12, где: L — дальность полета; H — высота подъема), можно восстановить функцию показателя степени $a(\mathcal{G})$. Разумеется, применительно к конкретному материалу, размеру и форме частиц, траектории полета которых известны и использовались в расчетах. Восстановив $a(\mathcal{G})$, мы тем самым ответим на вопрос адекватности экспериментальных траекторий, а, значит, и общих фактических закономерностей, теоретическим, для случая, когда показатель степени $a = \text{const} = 2$.

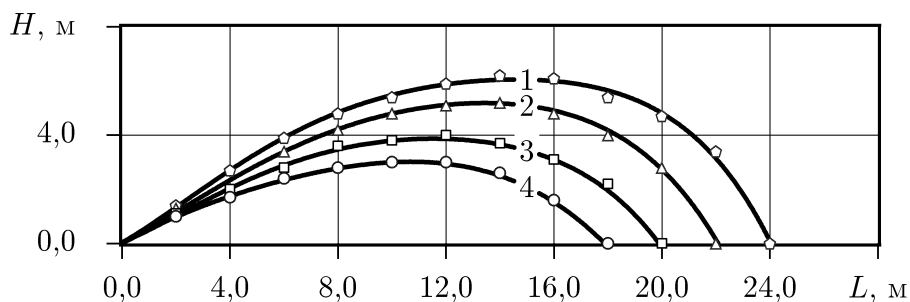


Рис. 2.15. Экспериментальные траектории полета частиц удобрений для различных начальных условий [54]

Задачу решаем в неподвижной декартовой системе координат OXY . Ее точка приложения совпадает с таковой для вектора $\vec{\mathcal{G}}_0$ — начальной линейной скорости частицы M . Ось ординат (OY) параллельна вектору \vec{g} , а ось абсцисс (OX) и вектор $\vec{\mathcal{G}}_0$ лежат в одной плоскости и ориентированы в одну сторону. Тогда x и y — координаты текущего положения частицы M , которые, в частности, могут рассматриваться как функции времени $x = x(t)$,

$y = y(t)$ и вместе являют собой параметрическое уравнение траектории (2.30). Абсцисса x , в таком случае. Соответствует дальности полета L , а ордината y — высоте подъема H . Угол между вектором $\vec{\mathcal{G}}$ или касательной к траектории полета и осью абсцисс обозначим $\beta = \beta(t) = \arctan(dy/dx)$ (2.32). С течением времени $t \in [t_0, \infty]$ угол β монотонно убывает ($\beta_0 \geq \beta(t) \geq -\frac{1}{2}\pi$). Тут t_0 — время на момент начала движения, а $\beta_0 = \beta(t_0)$ — угол начала движения или отрыва. Возможный интервал значений β_0 , составляет — $\beta_0 \in [+\frac{1}{2}\pi, -\frac{1}{2}\pi]$.

Применив методику предыдущего параграфа и работы [97], получаем систему скалярных уравнений, подобную (2.33)

$$\begin{cases} \frac{d\mathcal{G}}{dt} = -g \sin \beta - \gamma g \mathcal{G}^a, \\ \mathcal{G}^2 = r g \cos \beta, \end{cases} \quad (2.67)$$

где, как и прежде, скорость \mathcal{G} и угол β рассматриваются как функции времени, а $r = -\mathcal{G} dt/d\beta$ — радиус кривизны траектории (2.34), причем $r > 0$ всегда, поскольку $\mathcal{G} > 0$ и $dt > 0$, в то время как $d\beta < 0$. Система (2.67) приводится к одному дифференциальному уравнению [95]

$$\frac{d\mathcal{G}}{d\beta} - \mathcal{G} \tan \beta = \frac{\gamma}{\cos \beta} \mathcal{G}^{a+1}. \quad (2.68)$$

Памятуя о том, что в общем случае показатель степени a есть произвольная функция скорости \mathcal{G} , т.е. $a = a(\mathcal{G})$, последнее уравнение (2.68) назовем обобщенным уравнением свободного движения материальной точки в изотропной газообразной среде. Его вывод практически полностью повторяет рассмотренный в предыдущем параграфе случай, когда $a = 2 = \text{const}$ [97]. Если a целое фиксированное число, отличное от нуля и единицы, в математике уравнение (2.68) именуют дифференциальным уравнением Бернулли.

Для любого фиксированного $a = a^*$, где a^* — не обязательно целое, можно провести линеаризацию системы (2.68) [92, 95, 97] и далее получить

ее решение. В общем виде такое решение (для дробных a^*) не может быть проинтегрировано [92, 95] и поэтому, ориентируясь на численные методы, записываем его через определенный интеграл

$$\mathcal{G}(\beta, a^*) = \frac{1}{\cos \beta} \left\{ (\mathcal{G}_0 \cos \beta_0)^{-a^*} - a^* \gamma \int_{\beta_0}^{\beta} \frac{d\beta}{\cos^{a^*+1} \beta} \right\}^{-1/a^*}. \quad (2.69)$$

Путем численного решения было показано, что для $a^* > 0$ существует предел

$$\mathcal{G}_{кр} = \lim_{\beta \rightarrow -\frac{1}{2}\pi} \mathcal{G}(\beta, a^*) = \gamma^{-1/a^*}. \quad (2.70)$$

Для любого $a(\mathcal{G})$ справедливо (2.41) — параметрическое уравнение траектории полета в виде двух дифференциальных уравнений [92]

$$dy = \mathcal{G} \sin \beta dt, \quad dx = \mathcal{G} \cos \beta dt, \quad (2.71)$$

или (2.55) — их интегральной формы [5]

$$y = -\frac{1}{g} \int_{\beta_0}^{\beta} \mathcal{G}^2 \tan \beta d\beta, \quad x = -\frac{1}{g} \int_{\beta_0}^{\beta} \mathcal{G}^2 d\beta. \quad (2.72)$$

В первом случае (2.71) параметр — время t . Во втором (2.72) — угол β .

Используя интегралы координат (2.72) и выражение скорости (2.69), путем их численного интегрирования, например, методом парабол Симпсона [96], можно убедиться, что величина показателя степени a^* существенно влияет на скоростной режим и дальность полета. По скорости движения это влияние сильнее всего проявляется на ниспадающей ветви траектории, когда $\beta < 0$. А дальность полета меняется в несколько раз, если a^* пробегает интервал $a^* \in [1, 2]$. В процессе расчетов авторами было принято: $\mathcal{G}_0 = 20,0$ м/с; $\gamma = 0,01$; $\beta_0 \in \left\{ \frac{1}{12} \pi, \frac{1}{6} \pi, \frac{1}{4} \pi, \frac{1}{3} \pi \right\}$.

Далее была предпринята попытка путем численных расчетов подобрать такие параметры a^* и γ , которые дадут возможность максимально точно повторить экспериментальную траекторию 4 (рис. 2.15). Для последней известны начальная скорость $\mathcal{G}_0 = 25,116$ м/с и угол начала движения

$\beta_0 = 0,463648$. В качестве критерия степени соответствия экспериментальной и расчетной траекторий использовалась сумма квадратов отклонений Ω экспериментальных точек от расчетной кривой. Чем меньше Ω , тем выше соответствие между траекториями. В расчетах был пройден интервал $a^* \in [0,3]$ и построены графики (рис. 2.16).

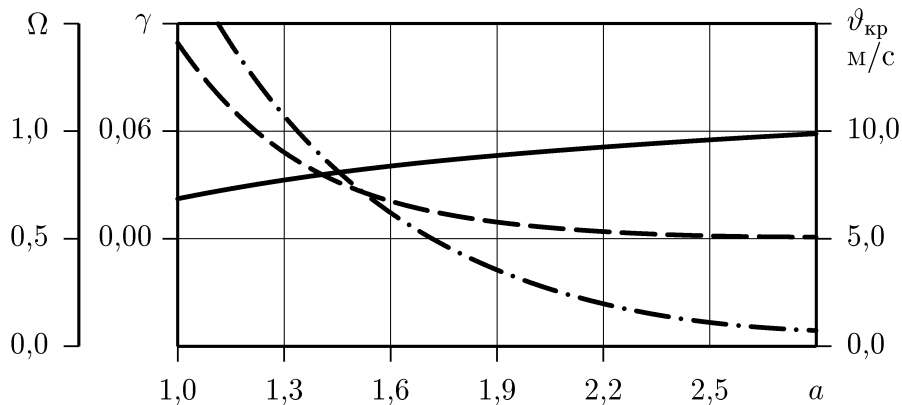


Рис. 2.16. Степень не согласия (— · —) Ω экспериментальной и расчетной траекторий полета частицы M : (---) — лучшее по степени согласия значение коэффициента γ (2.27); (—) — критическая скорость $v_{кр}$ (2.70) частицы в зависимости от показателя степени $a = a^*$. Начальные данные: $v_0 = 25,116$ м/с, $\beta_0 = 0,463648$.

Установлено, что с увеличением показателя степени a^* сумма квадратов отклонений Ω уменьшается, а, значит, увеличивается соответствие между траекториями. На рисунке изображены также кривые наиболее подходящих значений коэффициента пропорциональности γ и соответствующей ему и a^* — критической скорости $v_{кр}$. Но, несмотря на значительное соответствие между траекториями (для $a^* = 3,0$ и $\gamma = 0,00041875$ сумма квадратов отклонений Ω составляет $0,0642502$), глобальный минимум Ω не обнаружен. Следовательно, нет оснований полагать, что параметры a^* и γ полета комков органических удобрений найдены.

Подтверждает этот тезис (рис. 2.17). На нем на расчетные траектории, соответствующие $a^* = 2$ и $\gamma = 0,00694141$ наложены точки экспериментальных данных из рис. 2.15. Поскольку в отличие от траектории № 4, для которой известны все начальные условия $\mathcal{G}_0 = 25,116$ м/с и $\beta_0 = 0,463648$, а для остальных есть только значения начального угла β_0 [56], то для них наиболее подходящие значения \mathcal{G}_0 были найдены расчетным путем, минимизировав функцию Ω . Случай, когда $a^* = 3$ и $\gamma = 0,00041875$ был отвергнут, поскольку, применительно к кривым № 1, и 2 наиболее подходящие значения начальной скорости \mathcal{G}_0 превысили возможные в эксперименте значения.

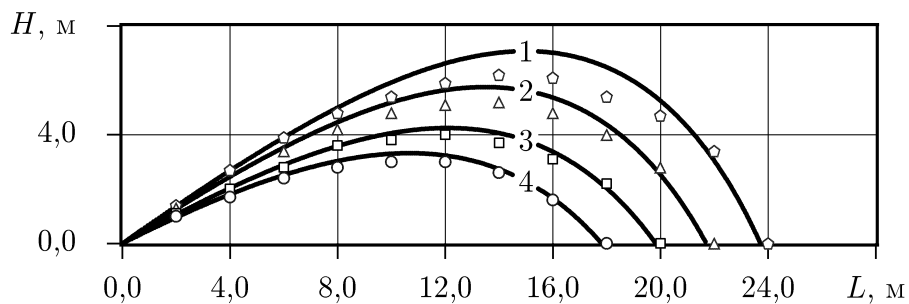


Рис. 2.17. Расчетные траектории полета частицы: $\gamma = 0,00694141$; $a^* = 2,0$; $\mathcal{G}_0 \in \{35,5438; 31,1201; 28,0313; 25,116\}$ м/с; $\beta_0 = \{0,610726; 0,576375; 0,502843; 0,463648\}$; $\Omega \in \{4,31577; 1,96147; 0,426255; 0,288993\}$.

Номера кривых рис. 2.17 соответствуют рис. 2.15 и порядку следования элементов множеств подрисуночной надписи рис. 2.17.

Визуальная оценка расчетных траекторий (рис. 2.17) показывает, что, несмотря на малые значения сумм квадратов отклонений Ω , например, для кривой № 4 $\Omega = 0,288993$, налицо закономерное несовпадение экспериментальных точек с расчетными кривыми. Уровень несогласованности растет с увеличением значения начального угла β_0 . Следовательно, в общем случае показатель степени a^* не остается

фиксированным и меняется соразмерно скорости движения. Т.е. замену $a = a^* = \text{const}$ можно рекомендовать только в случае настильного полета [89]. Существование аналитического представления (2.70) предела линейной скорости $\mathcal{G}_{кр}$, а также методик [89, 90] по определению $\mathcal{G}_{кр}$ на вопрос о том, какой является функция $a(\mathcal{G})$, ответа не дает. Из выражения (2.70) и соответствующего ему рис. 2.18 вытекает, что каждому значению $\mathcal{G}_{кр}$

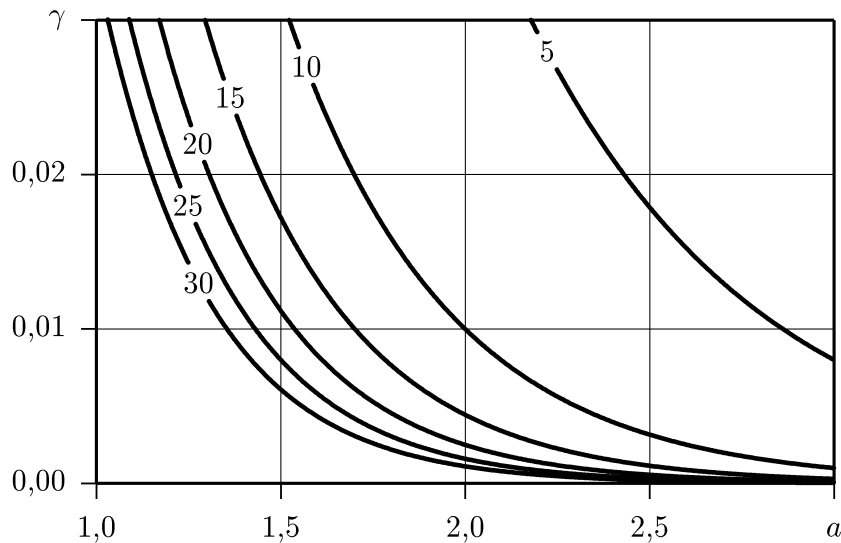


Рис. 2.18. Расчетные изолинии (значения 5, 10, 15, 20, 25 и 30) критической скорости $\mathcal{G}_{кр}$ (м/с) в пространстве переменных γ и $a = a^*$.

соответствуют бесконечное множество пар значений $a = a^*$ и γ . По этому для поиска $a(\mathcal{G})$ используем сами экспериментальные траектории (рис. 2.15).

2.5.3. Разработка метода восстановления функциональной связи сил сопротивления воздушной среды со скоростью движения комков удобрений в фазе свободного полета

Выполним полиномиальную аппроксимацию совокупностей экспериментальных точек траекторий $y = y(x)$ из рис. 2.15

$$y = Y_j(x) = \sum_{i=0}^5 A_i x^i, \quad (j = 1, 2, 3, 4), \quad (2.73)$$

где A_i — коэффициенты полинома; j — номер траектории.

Далее, предполагая подстановку во второе уравнение системы (2.67), применив (2.73) запишем

$$r = \frac{(1 + (Y_j')^2)^{3/2}}{|Y_j''|}, \quad \cos \beta = \sqrt{1 + (Y_j')^2}, \quad (2.74)$$

Теперь применив замену (2.74) из второго уравнения системы (2.67) получаем уравнение скорости \mathcal{G} , как функции абсциссы (табл. 2.3)

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}(x) = g \left(\frac{1 + (Y_j')^2}{|Y_j''|} \right)^{1/2}. \quad (2.75)$$

Из табл. 2.1 видно, что полученные цифры корректно отображают по меньшей мере качественную сторону изучаемого процесса.

Таблица 2.3

Расчетные (по формуле (2.75)) значения скорости движения \mathcal{G} (м/с) комков удобрений в зависимости от удаления (значение абсциссы x (м)) от исходной точки, применительно к экспериментальным траекториям рис. 2.15

Номер траектории	Значение абсциссы x , в м												
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	10,96	35,50	17,74	13,52	12,53	12,79	13,57	13,54	11,74	9,42	8,03	8,08	9,54
2	11,30	32,04	19,24	14,42	13,10	12,71	12,28	11,15	9,56	8,38	8,25	9,31	
3	11,09	54,66	16,40	13,15	12,49	12,58	12,24	10,78	9,02	8,12	8,54		
4	25,16	19,15	16,68	15,05	13,52	11,91	10,40	9,27	8,81	9,16			

Примечание: число — значения, не подчиняющиеся физическому смыслу.

Исключение составляет начало полета (до 2 м по абсциссе), где результаты расчетов (в рамках) явно противоречивы. Но, тем не менее, если известна \mathcal{G}_0 , то, подкорректировав положение первой точки, можно добиться

соответствия скоростей и в начале движения. Для оценки точности выражения скорости \mathcal{V} (2.75) использовали расчетные траектории, для которых известны все параметры полета в любой момент времени (рис. 2.19).

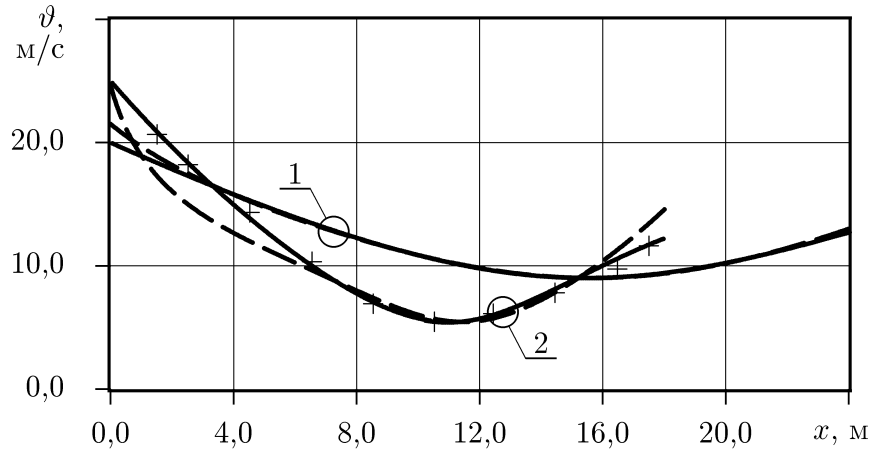


Рис. 2.19. График скорости движения $\mathcal{V} = \mathcal{V}(x)$ (—) в соответствии с выражениями (2.104) и (2.101), а также (— —) восстановленной по траектории движения с использованием аппроксимации точек всей траектории по выражениям (2.105), (2.107). «+» — значения \mathcal{V} в конкретных точках, восстановленные путем скользящей аппроксимации.

Начальные данные: 1) — $\mathcal{V}_0 = 20,0$ м/с, $\beta_0 = \pi/4$, $\gamma = 0,01$, $a^* = 1,5$;

2) — $\mathcal{V}_0 = 25,0$ м/с, $\beta_0 = \pi/3$, $\gamma = 0,01$, $a^* = 1,75$

Установлено, что для низких траекторий, когда $\beta_0 \leq \pi/4$ (кривые № 1), выражение (2.75) применимо без ограничений. Если $\beta_0 \geq \pi/4$, то приемлемая точность определения скорости \mathcal{V} приходится лишь на «сердину» траектории, т.е. окрестности точки ее максимальной кривизны. Причиной тому — высокие требования на точность аппроксимации, вплоть до второй производной Y_j'' , что тем меньше вероятно, чем больше $\beta_0 > \pi/4$. Обойти эту проблему можно, применив метод скользящей аппроксимации, предполагающий аппроксимацию не всей траектории целиком, а лишь ее коротких участков, границы которых затем перемещают. Значения скорости,

полученные таким путем на рис. 2.19 помечены знаком «+». Точность этого метода меньше зависит от формы траектории.

Теперь скорость \mathcal{G} представим как сложную функцию $\mathcal{G} = \mathcal{G}(x(t))$ и учитывая, что $\frac{d}{dt} \mathcal{G} = \frac{d}{dx} \mathcal{G} \frac{dx}{dt}$, перепишем первое уравнение системы (2.67)

$$\gamma \mathcal{G}^a = -\frac{1}{g} \frac{d\mathcal{G}}{dx} \frac{dx}{dt} - \sin \beta. \quad (2.76)$$

Поскольку интересует $a(\mathcal{G})$, то все другие компоненты уравнения (2.76) выразим через полином (2.73) и его производные. Сначала выражение скорости \mathcal{G} (2.75) дифференцируем по x . А затем во второе уравнение (2.71) подставляем \mathcal{G} (2.75) и $\cos \beta$ (2.74).

$$\frac{d\mathcal{G}}{dx} = \left(\frac{g |Y_j''|}{1 + (Y_j')^2} \right)^{1/2} \times \left\{ Y_j' - \frac{(1 + (Y_j')^2) Y_j''}{2(Y_j'')^2} \right\}, \quad \frac{dx}{dt} = \left(\frac{g}{|Y_j''|} \right)^{1/2}. \quad (2.77)$$

Теперь, используя (2.74), записываем выражение для $\sin \beta$

$$\sin \beta = Y_j' [1 + (Y_j')^2]^{-1/2} \quad (2.78)$$

и выполняем подстановку синуса (2.78) и производных (2.77) в уравнение (2.76). После нескольких формальных преобразований имеем

$$\gamma \mathcal{G}^a = \frac{Y_j''' \sqrt{1 + (Y_j')^2}}{2(Y_j'')^2} - \frac{2Y_j'}{\sqrt{1 + (Y_j')^2}}. \quad (2.79)$$

Чтобы решить уравнение (2.79) относительно a его сначала логарифмируем, а затем подставляем выражение скорости \mathcal{G} (2.75)

$$a = \ln \left\{ \frac{Y_j''' \sqrt{1 + (Y_j')^2}}{2\gamma (Y_j'')^2} - \frac{2Y_j'}{\gamma \sqrt{1 + (Y_j')^2}} \right\} / \ln \left\{ g \left(\frac{1 + (Y_j')^2}{|Y_j''|} \right)^{1/2} \right\}. \quad (2.80)$$

Теперь для каждого значения абсциссы (x) и скорости \mathcal{G} (табл. 2.4), применительно к траектории № 4 ($j = 4$), по (2.80) просчитаем значение показателя степени a (табл. 2.4). Полученные цифры не полностью согласуются с известным утверждением — чем больше скорость движения \mathcal{G} , тем больше значение показателя степени a . В конце траектории падение

скорости \mathcal{V} сопровождается ростом a . Проблема — в неточности аппроксимации экспериментальной траектории посредством полинома (2.73). Требования на точность аппроксимации, а в идеале интерполяции, у выражения (2.80) для показателя степени a , из-за третьей производной, существенно выше. Далее мы не будем останавливаться на разработке и выборе специальных методов интерполяции, а решим проблему путем вычислительного эксперимента.

Таблица 2.4

Расчетные значения скорости движения \mathcal{V} (2.75) и показателя степени a (2.80) для различных значений абсциссы x , (траектория № 4 рис. 2.15)

x (м)	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0
\mathcal{V} (м/с)	25,16	19,15	16,16	15,05	13,52	11,92	10,40	9,27	8,81	19,6
a при $\gamma = 0,5 \times 10^{-1}$	1,680	1,223	0,795	0,694	0,923	1,130	1,300	1,463	1,597	1,647
a при $\gamma = 0,1 \times 10^{-1}$	2,179	1,768	1,367	1,288	1,542	1,780	1,987	2,186	2,337	2,373
a при $\gamma = 0,1 \times 10^{-2}$	2,893	2,548	2,185	2,137	2,426	2,709	2,971	3,220	3,395	3,413
a при $\gamma = 0,5 \times 10^{-3}$	3,108	2,783	2,431	2,393	2,692	2,989	3,266	3,531	3,713	3,726

Метод последовательного приближения. Рассматриваем траекторию № 4. Опираясь на выводы по рис. 2.15, касательно того, что любому значению критической скорости $\mathcal{V}_{кр}$ соответствует бесконечное множество значений пар a^* и γ , выберем фиксированное $\gamma = 0,01$. Возможный интервал изменения угла $\beta \in [\beta_0, -\pi/2]$. Разбиваем его на множество элементарных участков $\Delta\beta$. Для первого из них известны β_0 , и \mathcal{V}_0 . Затем, используя параметрическое уравнение траектории полета (2.72) и скорости (2.69), подбираем такое значение a для которого, соответствующие $\Delta\beta$ приращения абсциссы Δx и ординаты Δy максимально точно удовлетворяют аппроксимационный полином (2.73). Далее рассчитываем \mathcal{V} (2.69) и $\beta = \beta_0 + \Delta\beta$. Эти новые \mathcal{V} и β в следующей итерации принимаем в качестве

начальных ϑ_0 и β_0 . Итерации продолжаем, пока $y \geq 0$. По найденным значениям ϑ и a строим график (рис. 2.20) функции $a(\vartheta)$ (сплошная линия).

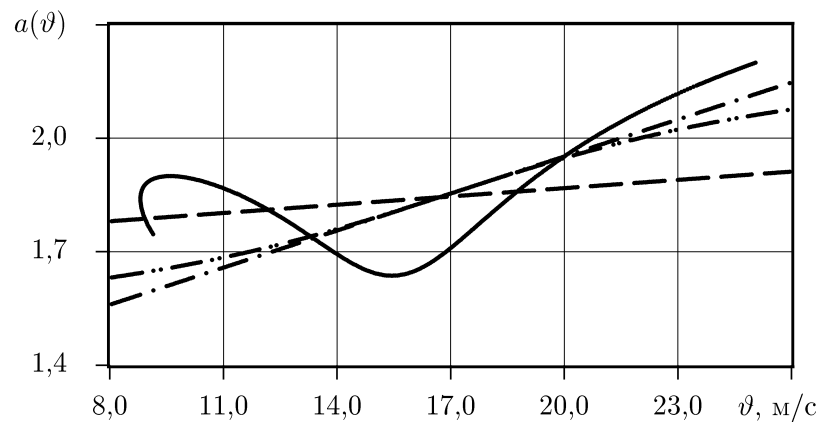


Рис. 2.20. График (—) показателя степени $a(\vartheta)$, рассчитанного методом последовательного приближения (для траектории № 4, рис. 2.15), когда $\vartheta_0 = 25,116$ м/с; $\beta_0 = 0,4636$; $\gamma = 0,01$. (— —) — результат линейной аппроксимации по выражению (2.81) ($C_{a0} = 1,722244$; $C_{a1} = 0,007297$) оригинальной функции $a(\vartheta)$. (— · —) — функция $a(\vartheta)$ (2.81), скорректированная на максимум соответствия экспериментальной кривой № 4 ($C_{a0} = 1,299$, $C_{a1} = 0,032644$, $\Omega = 0,0481452$). (· · ·) — кривая $a(\vartheta)$ (2.82), в максимальной степени приближающая все экспериментальные траектории ($C_{a0} = 1,299$; $C_{a1} = 0,032644$; $V_{cp} = 17,0$; $D_g = 0,0$; $K_x = 8,1875$; $\Omega = 0,052476$ — для траектории № 4)

Полагая, что значительная кривизна графика $a(\vartheta)$, опять таки связана с погрешностями аппроксимации, ведь на всю траекторию № 4 известно только 10 точек, аппроксимируем эту функцию прямой

$$a = C_{a0} + C_{a1}\vartheta \quad (2.81)$$

где C_{a0} и C_{a1} — постоянные коэффициенты ($C_{a0} = 1,722244$; $C_{a1} = 0,007297$). Далее значения этих коэффициентов оптимизируем по критерию Ω . В процессе оптимизации значения $C_{a0} \in [0,5; 2]$ с мелким

шагом перебирались в цикле и каждому из них подбирались такие значения второго коэффициента C_{a1} , для которого достигается минимум Ω . Одновременно рассчитывали и критическую скорость $\mathcal{V}_{кр}$. Из полученных кривых (рис. 2.21), следует, что абсолютный оптимум существует. На это указывает явно выраженный минимум критерия $\Omega = \Omega(C_{a0}, C_{a1}(C_{a0}))$. Ему соответствуют: $C_{a0} = 1,299$; $C_{a1} = 0,032644$; $\Omega = 0,0481452$.

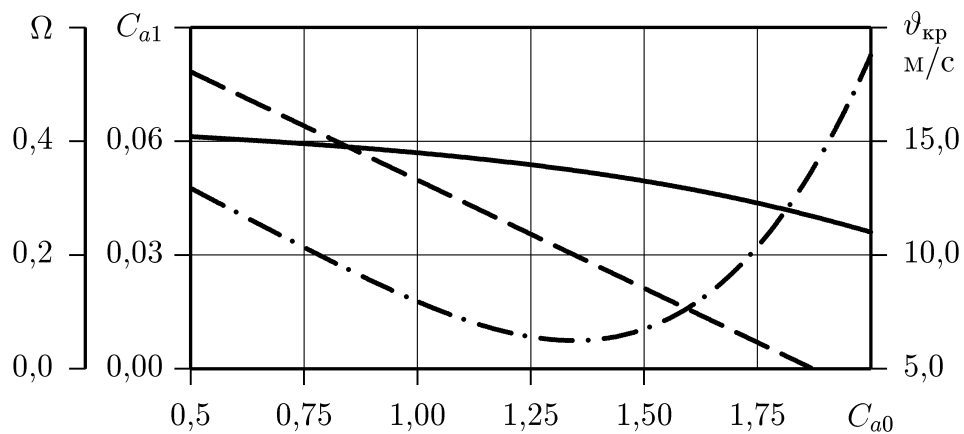


Рис. 2.21. Степень несогласия экспериментальной и расчетной траекторий полета частицы M ((-.-.-)) — сумма квадратов отклонений Ω ; лучшее по степени согласия значение коэффициента C_{a1} (—) и критическая скорость $\mathcal{V}_{кр}$ (— · —) частицы в зависимости от величины C_{a0} . Все применительно к линейному уравнению (2.81) показателя степени $a(\mathcal{V})$. Начальные данные: $\mathcal{V}_0 = 25,116$ м/с; $\beta_0 = 0,4636$; $\gamma = 0,01$

Все применительно к линейному уравнению (2.81) показателя степени $a(\mathcal{V})$. Начальные данные: $\mathcal{V}_0 = 25,116$ м/с; $\beta_0 = 0,4636$; $\gamma = 0,01$.

Теперь, используя полученные значения коэффициентов C_{a0} , C_{a1} и применив выражение для показателя степени a (2.81), скорости \mathcal{V} (2.69) и координат (2.72), строим (рис. 2.22) расчетные аналоги экспериментальных траекторий № 1 – 4 из рис. 2.15. При этом, учитывая, что начальная скорость \mathcal{V}_0 известна только касательно траектории № 4, для остальных \mathcal{V}_0 подбираем

в соответствии с уже описанной выше методикой, минимизировав Ω . Даже визуальная оценка кривых № 3 и 4 (соответственно, $\Omega = 0,131447$ и $0,0481452$) позволяет заключить, что для них линейная функция показателя степени $a(\vartheta)$ (2.81) вполне корректно отражает реальный процесс. Для остальных кривых этого сказать нельзя, поскольку по дальности полета они вообще не достигают экспериментальных отметок.

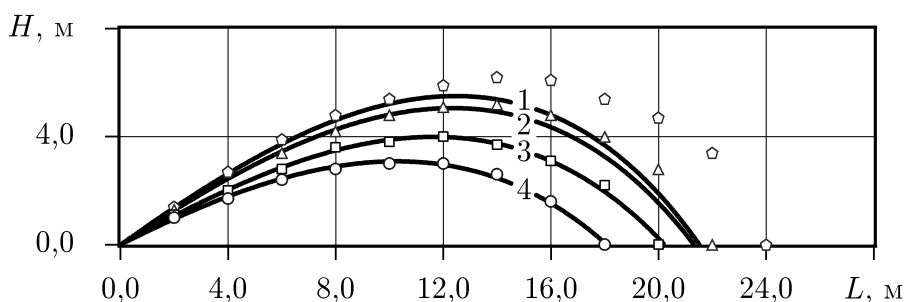


Рис. 2.22. Расчетные траектории полета частицы M ($a(\vartheta)$ вычисляется по формуле (2.81)). Начальные данные: $C_{a0} = 1,299$; $C_{a1} = 0,032644$; $\gamma = 0,01$; $\vartheta_0 \in \{51,1781; 48,7258; 34,6062; 25,116\}$ м/с; $\beta_0 \in \{0,610726; 0,576375; 0,502843; 0,463648\}$. Степень соответствия кривых $\Omega \in \{54,0354; 4,28447; 0,131447; 0,0481452\}$. Номера траекторий соответствуют рис. 2.15 и порядку следованию значений в множествах.

Причин тут несколько: во-первых, возможно, что линейная функция $a(\vartheta)$ (2.81) достаточно адекватно отражает реальный процесс только в ограниченном диапазоне скоростей, которому соответствуют кривые 3 и 4; а, во-вторых, экспериментальные данные по остальным траекториям возможно не столь точны, как необходимо. Проблема в пластичности материала, полет которого изучается, и в том, что характер предваряющего отрыв движения комка удобрений по лопатке ротора для различных кривых не одинаков. Для нижней траектории (№ 4) предваряющего отрыв, скользящего движения вообще нет. Чем меньше номер кривой, тем больше участок скольжения. В силу пластичности материала в процессе такого скользящего движения

комков вытягивается и затем отрывается от лопатки, ориентируясь вдоль вектора скорости отрыва \vec{g}_0 . Все это, в конечном итоге, приводит к тому, что в рассматриваемом случае можно только с некоторой натяжкой утверждать, что фиксированное $\gamma = 0,01$ в равной степени удовлетворяет все траектории (рис. 2.15). Но, тем не менее, попробуем уточнить выражение (2.81) для показателя степени a , расширив его применимость на более широкий диапазон скоростей.

Рассмотрим следующее выражение

$$a = C_{a0} + C_{a1} \left[V_{cp} + D_g + K_x \arctan \left(\frac{g - V_{cp}}{K_x} \right) \right], \quad (2.82)$$

где V_{cp} — среднее значение интервала скоростей; D_g — смещение; K_x — коэффициент нелинейности. Оно характерно тем, что в пределах $g \in [8, 26]$ м/с практически полностью совпадает с (2.81) (рис. 2.20), но чем больше удаление от середины интервала V_{cp} , тем меньше интенсивность изменения a . Параметр D_g определяет величину смещения кривой (2.82) относительно своего линейного аналога (2.81), а коэффициент K_x регулирует линейность (2.82) в окрестностях V_{cp} . Чем больше D_g , тем выше значение a , а с ростом K_x расширяется диапазон скоростей, в пределах которых функция (2.82) почти линейна. [98]

Оптимизировав (по ранее описанной методике) значения параметров D_g и K_x по критерию максимального суммарного соответствия четырех экспериментальных кривых (№ 1 – 4) расчетным (рис. 2.23), получаем значения: $D_g = 0,0$; $K_x = 8,1875$. Исходя из полученных значений сумм квадратов отклонений Ω или оценив визуально (рис. 2.17, 2.22 и 2.23), можно убедиться, что в наибольшей мере экспериментальным данным соответствуют кривые, рассчитанные с применением выражения (2.82).

Рассмотренные методики по определению параметров свободного полета комков органических удобрений выходят за рамки частного

эксперимента и могут быть применены в других подобных теоретических и практических задачах. Показано, что рассмотренные методики весьма требовательны к точности оценок экспериментальных данных (особенно в начале траектории) и самих численных методов по их обработке.

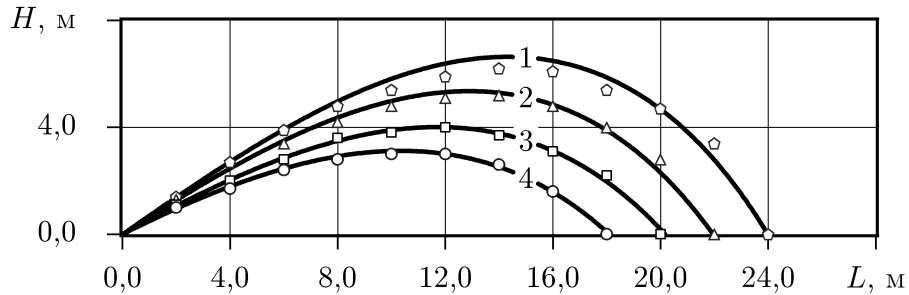


Рис. 2.23. Расчетные траектории полета частицы M в случае, когда показатель степени $a(\vartheta)$ вычисляется по формуле (2.114). Начальные данные: $C_{a0} = 1,299$; $C_{a1} = 0,032644$; $V_{cp} = 17,0$; $D_g = 0,0$; $K_x = 8,1875$; $\gamma = 0,01$; $\vartheta_0 \in \{49,8406; 35,8937; 30,3338; 25,116\}$ м/с; $\beta_0 \in \{0,610726; 0,576375; 0,502843; 0,463648\}$. Степень соответствия кривых $\Omega \in \{1,40333; 0,710056; 0,118162; 0,052476\}$. Номера траекторий соответствуют рис. 2.13 и порядку следования значений в множествах.

Показатель степени в выражении для определения силы сопротивления газообразной среды не остается фиксированным и меняется в функциональной связи с модулем линейной скорости тела, свободное движение которого изучается.

2.5.4. Расчет дальности и ширины полосы разброса удобрений роторным рабочим органом

Проиллюстрируем изложенную выше методику на примере расчета основных параметров разброса удобрений по полю роторным рабочим органом. Прежде всего, остановимся на дальности разброса удобрений.

Расчеты дальности полета L (табл. 2.5) выполнялись по той же методике, по которой ранее были рассчитаны и построены траектории полета рис. 2.22 и 2.23. Во всех случаях применяли интегральные выражения (2.72). Они представляют собой параметрическое уравнение траектории полета комков удобрений ($L = x = x(\beta)$, $H = y = y(\beta)$) с параметром β . Вошедшую в них (2.72) скорость \mathcal{V} вычисляли в соответствии с выражением $\mathcal{V} = \mathcal{V}(\beta, a^*)$ (2.69). Все интегралы считали методом Симпсона [96].

Сложность состояла в том, что выражение $\mathcal{V} = \mathcal{V}(\beta, a^*)$ (2.69) предполагает использование фиксированного значения показателя степени a^* , в то время как изложенные в предыдущем параграфе выкладки требуют положить, что показатель степени функционально зависим от величины скорости \mathcal{V} , т.е., что $a^* = a = a(\mathcal{V})$ (2.82).

Обойти такую коллизию можно, если весь максимально возможный интервал изменения угла $\beta \in [\beta_0, -\frac{1}{2}\pi[$ разделить на большое множество весьма малых, но, фиксированных интервалов шириной $\Delta\beta$.

Для первого такого интервала и начальная скорость $\mathcal{V}_0 = V_{abc}$, и начальное значение угла $\beta_0 = \beta_c$ известны. По этому, положив, что $\mathcal{V} = \mathcal{V}_0$ и, что $a^* = a$, воспользовавшись выражением (2.82) можно получить текущее значение показателя степени a^* , а, значит, воспользовавшись выражениями (2.69) и (2.72) рассчитать скорость \mathcal{V} и координаты x , y в конце интервала изменения угла β , т.е. в точке, где $\beta = \beta_0 + \Delta\beta$. Далее, полученные конечные значения скорости \mathcal{V} , угла β и координат x , y , следует принять, как начальные для последующего интервала, т.е. приращения $\Delta\beta$ угла β . Итерации следует повторять до тех пор, пока $y > 0$.

Как только будет достигнуто нулевое значение y , итерации следует прекратить. В физическом смысле эта точка ($L = x$, $H = y = 0$) соответствует моменту касания комка удобрений с поверхностью поля. Именно такое значение L занесено в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Определения дальности полета L комков удобрений в зависимости от их начального положения на лопатке l_c , угла наклона лопатки α и угла внешнего трений удобрений φ

l_c , м	φ , рад	α , рад	β_c , рад	$V_{абс}$, м/с	L , м
1	2	3	4	5	6
0,03	0,541	0,000	0,732	18,043	18,840
		0,175	0,598	17,169	17,386
		0,349	0,492	16,145	15,072
		0,524	0,410	14,940	12,378
	0,562	0,000	0,736	18,029	18,817
		0,175	0,601	17,164	17,406
		0,349	0,494	16,144	15,095
		0,524	0,411	14,942	12,403
	0,62	0,000	0,748	17,989	18,758
		0,175	0,608	17,148	17,442
		0,349	0,499	16,142	15,156
		0,524	0,415	14,946	12,467
0,06	0,541	0,000	0,876	18,595	18,681
		0,175	0,707	17,540	18,294
		0,349	0,577	16,291	16,195
		0,524	0,481	14,868	13,386
	0,562	0,000	0,885	18,562	18,563
		0,175	0,713	17,522	18,273
		0,349	0,581	16,284	16,221
		0,524	0,484	14,868	13,436
	0,62	0,000	0,909	18,471	18,224
		0,175	0,730	17,475	18,233
		0,349	0,593	16,266	16,306
		0,524	0,494	14,869	13,558
0,09	0,541	0,000	1,039	18,972	16,675
		0,175	0,836	17,835	18,255
		0,349	0,682	16,462	17,014
		0,524	0,572	14,899	14,430
	0,562	0,000	1,051	18,921	16,385
		0,175	0,845	17,805	18,163
		0,349	0,689	16,447	17,011
		0,524	0,578	14,895	14,471
	0,62	0,000	1,089	18,779	15,489
		0,175	0,871	17,722	17,876
		0,349	0,709	16,407	16,993
		0,524	0,594	14,886	14,582

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6
0,12	0,541	0,000	1,219	19,230	12,488
		0,175	0,981	18,057	16,896
		0,349	0,805	16,610	17,096
		0,524	0,681	14,954	15,115
	0,562	0,000	1,237	19,162	11,919
		0,175	0,993	18,014	16,663
		0,349	0,814	16,587	17,020
		0,524	0,815	14,994	15,133
	0,62	0,000	1,288	18,977	10,251
		0,175	1,029	17,897	15,952
		0,349	0,842	16,524	16,799
		0,524	0,711	14,924	15,139
0,15	0,541	0,000	1,421	19,403	5,808
		0,175	1,143	18,216	13,834
		0,349	0,943	16,726	16,096
		0,524	0,805	15,007	15,140
	0,562	0,000	1,444	19,321	4,928
		0,175	1,159	18,162	13,416
		0,349	0,955	16,694	15,917
		0,524	0,815	14,994	15,088
	0,62	0,000	1,511	19,100	2,347
		0,175	1,206	18,016	12,112
		0,349	0,991	16,611	15,340
		0,524	0,843	14,961	14,903

В качестве исходных значений величин при расчете L (табл. 2.5) использовались данные табл. 2.2. Полученные цифры соответствуют реальным значениям угла внешнего трения $\varphi \in \{0,541; 0,562; 0,62\}$ органических удобрений, могут быть использованы в дальнейших расчетах и для сравнения с исследовательскими экспериментальными данными (будет выполнено ниже), но они не удобны для анализа. По этой причине, чтобы усилить иллюстративность и, следовательно, легче оценить влияние свойств удобрений (угла φ) и параметра ориентации лопатки ротора (угла α) на дальность полета комков удобрений в зависимости от их начального положения на лопатке обратимся к графическим материалам (рис. 2.24), где диапазон изменения угла φ существенно расширен за пределы реальных свойств удобрений и составил $\varphi \in \{0,1; 0,541; 0,7\}$.

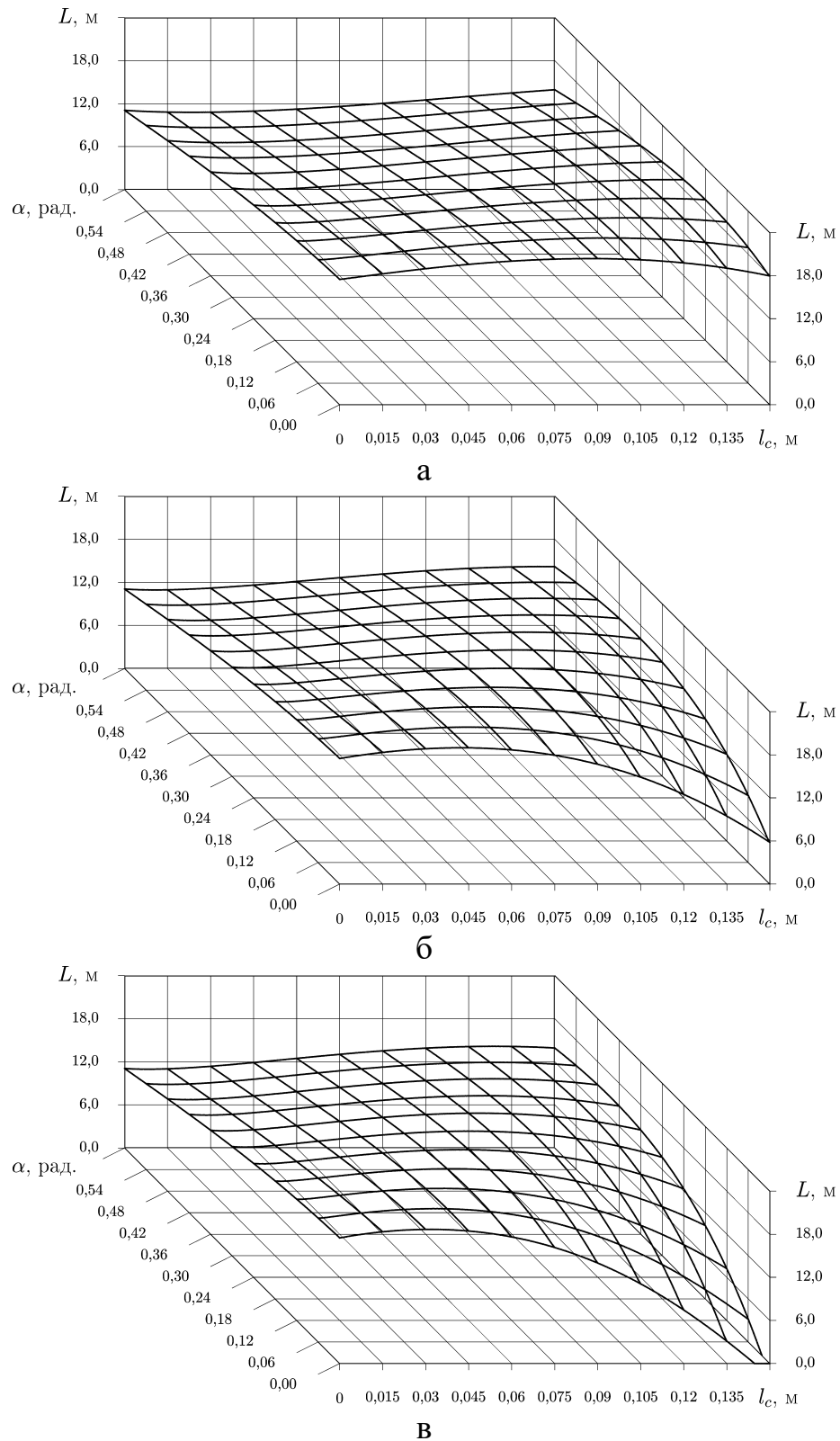


Рис. 2.24. Закономерности функциональной связи дальности полета L элементарных масс m от их начального положения на лопатке ротора $x_m = r_{\max} \cos \alpha - l_c$ и угла α установки лопатки для трех значений угла внешнего трения: а) — $\varphi = 0,1$; б) — $\varphi = 0,541$; в) — $\varphi = 0,7$.

Из анализа рис. 2.24 и 2.25 видно, что радиальная или установленная под небольшим углом ($\alpha \in [0; 0,175]$) лопатка ротора, обеспечивает наиболее широкий диапазон изменения дальностей L разброса комков удобрений, или, что то же, ширину полосы разброса удобрений ΔL

$$\Delta L = L_{\max} - L_{\min}, \quad (2.83)$$

где L_{\max} и L_{\min} — соответственно, максимальное и минимальное значение L . Но с другой стороны (рис. 2.24), чем меньше угол установки лопатки ротора α , тем сильнее ширина полосы разброса комков удобрений ΔL зависит от их физико-механических свойств (от угла внешнего трения φ).

Другими словами, если в устройстве ротора использовать лопатки с углом установки $\alpha \in [0; 0,175]$ (до 10°), то, во-первых, он обеспечит наиболее широкую полосу разброса ΔL , что безусловно положительно, а, во-вторых, работать будет крайне нестабильно. С последним обстоятельством согласиться нельзя, а, значит, угол α должен быть больше 10° ($\alpha > 0,175$).

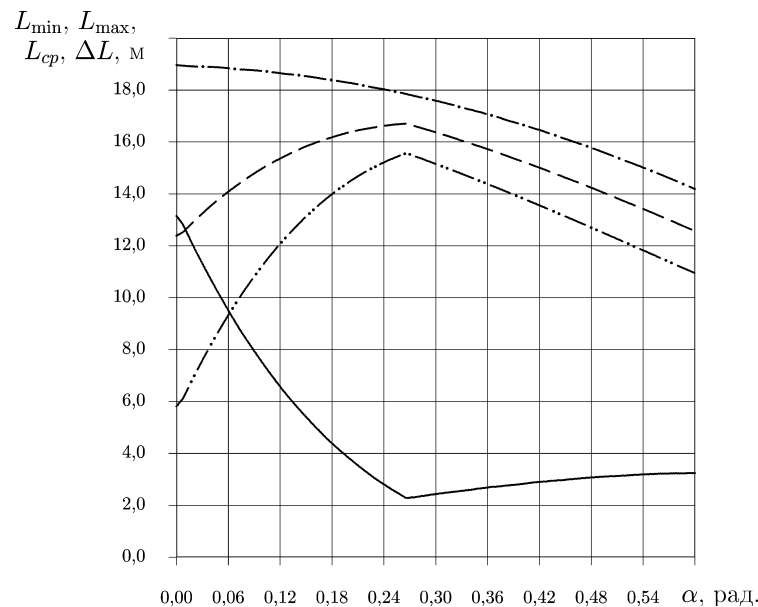


Рис. 2.25. Зависимость параметров дальности разброса удобрений (\cdots , \cdots и \cdots — соответственно, минимального L_{\min} , максимального L_{\max} и среднего L_{cp} значения дальности L ; \cdots — ширины полосы разброса ΔL) от величины угла α установки лопатки ротора

Вторым аргументом, усиливающим мотивацию для установки лопаток ротора под углами, превышающими 10° ($\alpha > 0,175$), является тот факт, что чем больше α , тем более линейной оказывается связь дальности полета комков удобрений L с параметром l_c их начального положения на лопатке. В конечном итоге это обстоятельство позволяет предположить, что такой ротор обеспечит большую равномерность распределение удобрений по площади их внесения. Ведь в случае линейного закона плотности распределения удобрений по поверхности поля требуемой равномерности можно достигнуть путем простого наложения соседних походок агрегата.

Увеличение угла α наклона лопаток (рис. 2.25) больше 20° ($\alpha > 0,349$) ведет к уменьшению средней дальности разброса удобрений L_{cp} , что должно расцениваться положительно, поскольку одновременно приводит к уменьшению величины минимальной дальности L_{min} , т.е. нерабочего пространства между линией прохода разбрасывателя и началом полосы внесения удобрений. Но, как будет показано позже (в процессе анализа экспериментальных данных), механизм распределения удобрений по полю роторным рабочим органом, рассмотренный в текущем разделе, не является единственным. Есть и второй механизм скольжения удобрений по удобрениям, а не по лопатке ротора. В соответствии с ним, верхние слои удобрений перемещаясь по нижним покидают рабочий орган раньше того момента, когда лопатка минует выбросной порог.

Совокупность комков из этой части удобрений имеют существенно меньшие скорости и углы выброса, а потому отбрасываются ротором на незначительные расстояния, включая нулевое значение, полностью покрывая интервал $L \in [0, L_{min}]$. Дальше будет показано, что доля удобрений взаимодействующих с рабочим органом в соответствии со схемой скольжения слоя по слою тем больше, чем больше α . Это обстоятельство ограничит максимальное значение угла α , а пока мы можем утверждать, что угол установки лопаток ротора α должен быть не меньше 10° .

ВЫВОДЫ

1. Если лопадки ротора ориентированы не радиально, а под острым углом к радиусу ротора, то безотрывное скольжение удобрений по рабочим поверхностям лопаток возможно только в случае если до момента прохода выбросного порога за счет собственного смятия комки удобрений приобретают некоторую начальную относительную скорость движения.

2. На скорость V_{abc} и направление β_c схода комков удобрений с лопаток ротора существенное влияние оказывает угол α установки лопаток, коэффициент трения φ удобрений о поверхности лопаток и параметр l_c начального положения комков удобрений на лопатке ротора.

3. Сила сопротивления R_c , которую оказывает воздушная среда движущимся в состоянии свободного полета комкам удобрений, пропорциональна их скорости движения \mathcal{V} , возведенной в некоторую степень \mathcal{V}^n , причём степень скорости является не фиксированным значением, а изменяется с изменением её величины, чем выше скорость полёта частиц удобрений, тем больше и её степень, и наоборот.

4. Ширина полосы разброса удобрений ΔL тем шире, чем меньше (вплоть до нуля) угол α установки лопаток.

5. Чем меньше угол α установки лопаток ротора (вплоть до нуля), тем сильнее зависимость ширины полосы разброса удобрений ΔL от физико-механических свойств удобрений (угла внешнего трения φ), а, значит, тем менее стабильными будут показатели качества его работы.

6. Наиболее стабильная работа ротора достигается, при ориентации лопаток к радиусу ротора под углом $\alpha > 10^\circ$, так как влияние физико-механических свойств удобрений незначительно.

7. Оптимальное значение углов наклона лопаток к радиусу ротора необходимо уточнить при проведении экспериментальных исследований.

РАЗДЕЛ 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ РОТОРА РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ И ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПОСЫЛОК

3.1. Программа и методика лабораторных исследований

Основные теоретические исследования по обоснованию элементов конструкции и эксплуатационных параметров полунавесного разбрасывателя твердых органических удобрений из куч проводились с определенными допущениями, а некоторые, менее значимые процессы, например, заполнения лопаток ротора удобрениями, нами теоретически вообще не изучались. Так, при математическом моделировании процессов скольжения удобрений по лопаткам ротора и дальнейшего их перемещения в состоянии свободного полета, порцию удобрений изначально находящуюся на лопатке ротора было принято представлять в виде совокупности элементарных масс, которые мы приписывали конкретным материальным точкам, а не комкам, игнорируя их форму и реальные размеры. Все это, с одной стороны, существенно упростило математические предпосылки к обоснованию параметров ротора разбрасывателя, а, с другой стороны, объективно повлияло на адекватность таких предпосылок реальным процессам. Поэтому возникла необходимость в проведении экспериментальных исследований с целью проверки теоретических положений и определения рациональных и оптимальных геометрических параметров рабочего органа, влияния величины торцевой подачи твердых органических удобрений на лопатку ротора и парусности этих частиц на дальность их полета.

3.1.1. Программа лабораторных исследований

В соответствии с выше изложенным, была намечена и выполнена следующая программа экспериментальных исследований:

- провести исследования по изучению эффективной формы лопатки ротора применительно к торцевой (рис. 2.1 в) подаче на нее удобрений;
- определить рациональный угол охвата τ выбросным порогом барабана;
- определить оптимальный угол установки ножа ε на рабочем органе барабана;
- обосновать величину подачи удобрений на лопатку ротора;
- определить характер распределения массы частиц удобрений по углам схода β_c с лопатки барабана к горизонту;
- определить дальность полета частиц L и их характер распределения по поверхности поля;
- установить закономерность влияния конструктивных параметров на качество распределения удобрений по полю.

3.1.2. Методика экспериментальных исследований и мерительная техника

Принимая во внимание программные вопросы исследований и конструктивные возможности лабораторной установки, методикой предусматривалось проведение экспериментов по изучению выше указанных вопросов.

Количественную оценку предусмотренных методикой величин предусматривалось производить с применением следующих контрольно-измерительных приборов и аппаратуры: весы электрические ВТК-500, ГОСТ 19491-74; весы товарные РП-100-13, ГОСТ 11219-71, противни размером 0,5x0,5x0,05 м; объемный ящик размером 0,50x0,75x0,75 м; секундомер ГОСТ 5072-79Е; рулетка 10 и 20м ГОСТ 11900-75; термометр, ГОСТ 22823-73Е; вилы хозяйственные, ГОСТ 21044-75; лопата строительная ГОСТ 3620-76; электрический сушильный шкаф; уровень-угломер ТУ-50-252-80.

Одинаковые условия работы разбрасывающего устройства (повторяемость опыта) обеспечились за счет некоторых конструктивных

особенностей лабораторной установки, которые будут рассмотрены ниже и следующих факторов:

- проведение экспериментов с применением удобрений определенного вида, солоmistости и влажности;
- чтобы исключить возможность изменения физико-механических свойств удобрений (за счет перемешивания и высушивания) в процессе проведения экспериментов они использовались только один раз;
- при изучении одного фактора все другие принимались постоянными.

3.1.3. Выбор материала для экспериментов и методика определения влажности

Эксперименты проводились на полуперепревшем навозе крупного рогатого скота солоmistостью 10...20%, влажностью 55...70 % и насыпной плотностью 485 кг/м³.

При подготовке навоза перед началом проведения опытов определялась влажность удобрений и их насыпная плотность, которая в дальнейшем поддерживалась на одном уровне за счет увлажнения удобрений.

Для хранения удобрений подготовленных к проведению экспериментов использовался специальный ящик, исключающий их высыхание.

Для определения влажности удобрений, использовались пробы постоянного веса. Высушивались они в сушильном шкафу при температуре 105°C. Процент содержания влаги определялся по формуле

$$W = \frac{g' - g''}{g'} 100, \quad (3.1)$$

где g' — вес пробы до сушки; g'' — вес пробы после сушки;

Насыпная плотность (кг/м³) удобрений определялась с помощью объемного ящика размером 0,5x0,75x0,75 м с последующим взвешиванием на товарных весах, ГОСТ 11219-71.

3.1.4. Описание экспериментальной установки

Лабораторная установка (рис. 3.1, 3.2) состоит из рамы 1, на которой смонтированы приводы ротора и лотка, сам ротор и лоток. В свою очередь привод ротора состоит из электродвигателя 2 (мощностью 5 кВт) и цепной передачи 3. Привод лотка имеет собственный электродвигатель 4 (мощностью 2 кВт) и включает в себя три цепных передачи 5, 6, 7 и червячный редуктор 8. Ротор имеет установленное на двух подшипниковых опорах 9 основание 10, на котором закреплены – противовес 11 и сектор 12 с лопаткой 13 и ножом 14. В нижней части ротор частично охватывает выбросной порог 15, неподвижно закрепленный на раме 1. По внешнему контуру ротор защищен кожухом 16. Лоток 17 установлен на направляющих 18 рамы 1 с возможностью возвратно-поступательного движения. Рама 1 смонтирована на опорных колесах 19.

Лабораторная установка работает следующим образом. Удобрения загружаются в лоток 17. После этого вначале включается привод 2, 3 ротора 10 – 14, а затем привод 4 – 8 лотка 17. В этот момент лоток 17 начинает поступательное движение по направляющим 18 рамы 1 в направлении ротора 10 – 14. Вращаясь, ротор 10 – 14 ножом 14 отделяет часть удобрений в лотке 17, а лопатка 13 захватывает эти отделенные удобрения, накапливает их на своей поверхности и переносит на край выбросного порога 15. После прохода лопатки 13 за пределы выбросного порога 15, находящиеся на ней удобрения сходят с нее и в дальнейшем двигаются в состоянии свободного полета. Так продолжается до тех пор, пока не будет израсходован запас удобрений в лотке 17, после чего оба электропривода выключаются.

В лабораторной установке была предусмотрена возможность изменения следующих параметров:

- передаточного отношения между валом редуктора 8 и ведущей звездочкой цепной передачи 6 привода лотка 17 (с целью изменения величины подачи удобрений на лопатку ротора);

- угла α наклона лопатки 13 к радиусу ротора;
- угла ε наклона ножа 14;
- угла охвата τ ротора выбросным порогом 15.

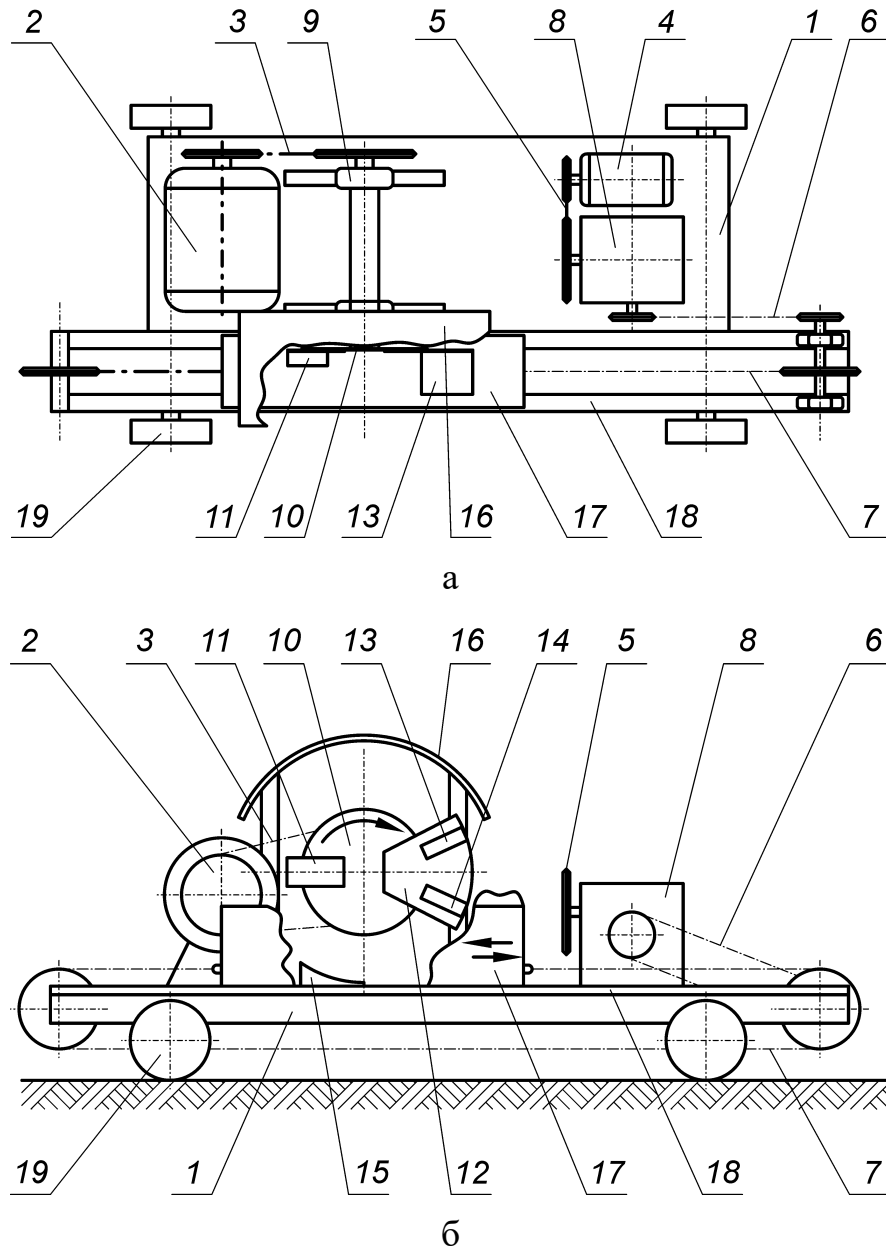


Рис. 3.1. Схема лабораторной установки: а — вид сверху; б — вид сбоку

3.1.5. Методика определения качественных показателей работы ротора при изменении параметров его рабочих элементов

Показатели работы разбрасывающего устройства определялись такими величинами, как среднее значение веса удобрений в противнях,

среднеквадратичное отклонение и неравномерность распределения удобрений в %, а также дальность разброса частиц удобрений.

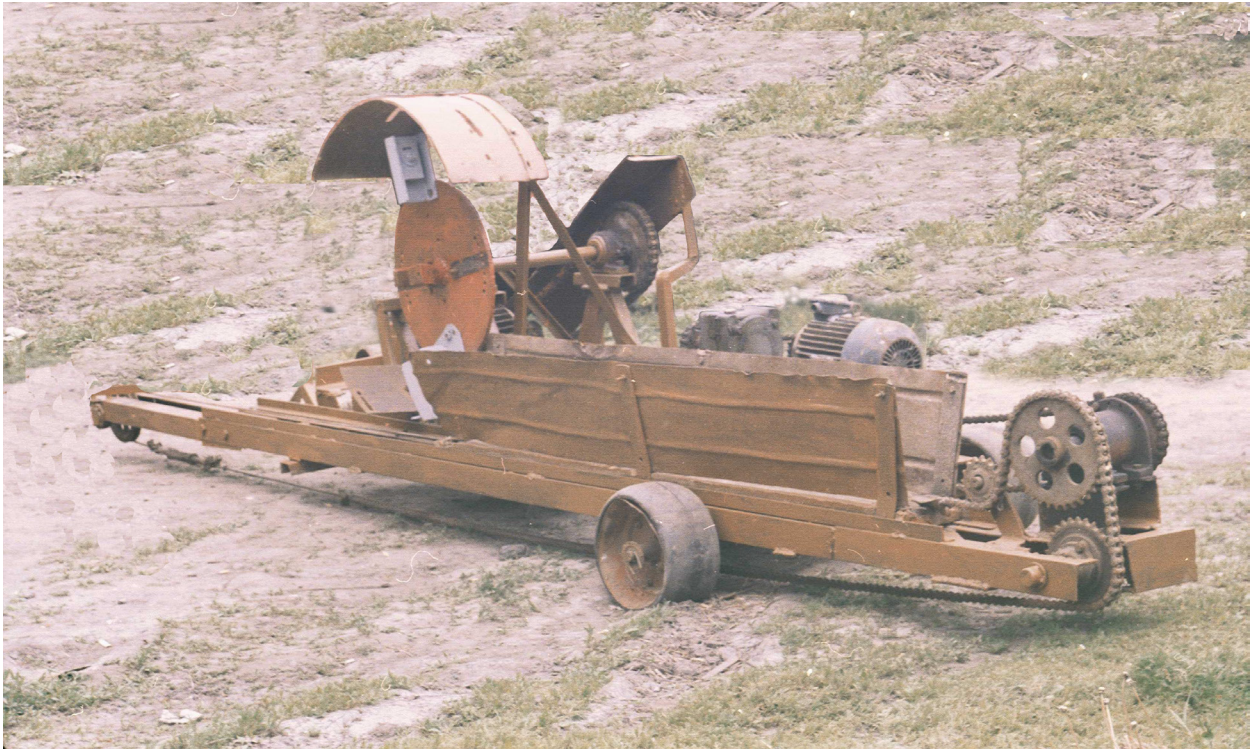


Рис. 3.2. Лабораторная установка

Характер распределения удобрений в направлении разбрасывания методикой предусматривалось определять с помощью противней размером $0,5 \times 0,5 \times 0,05$ м каждый, которые укладывались в направлении разбрасывания, как показано на рис. 3.3. Удобрения с противней собирались и взвешивались на весах с точностью до 5 г.

Для определения количества удобрений выходящих с лопатки под разными углами схода к горизонту, перед лабораторной установкой 1 (рис 3.4, 3.5) в направлении разбрасывания на определенном расстоянии устанавливалась ловушка 2, которая по вертикали была разбита на девять секций. Каждая секция ловушки соответствовала углу схода удобрений с интервалом в 5° : первая — от 0° до 5° ; вторая — от 5° до 10° и так до 45° .

После проведения эксперимента, удобрения, попавшие в каждую из секций ловушки, взвешивалась на весах. Методикой предусматривалось

проводить опыт с трехкратной повторностью. Начальный объем удобрений в лотке, при всех повторностях был одинаковым.

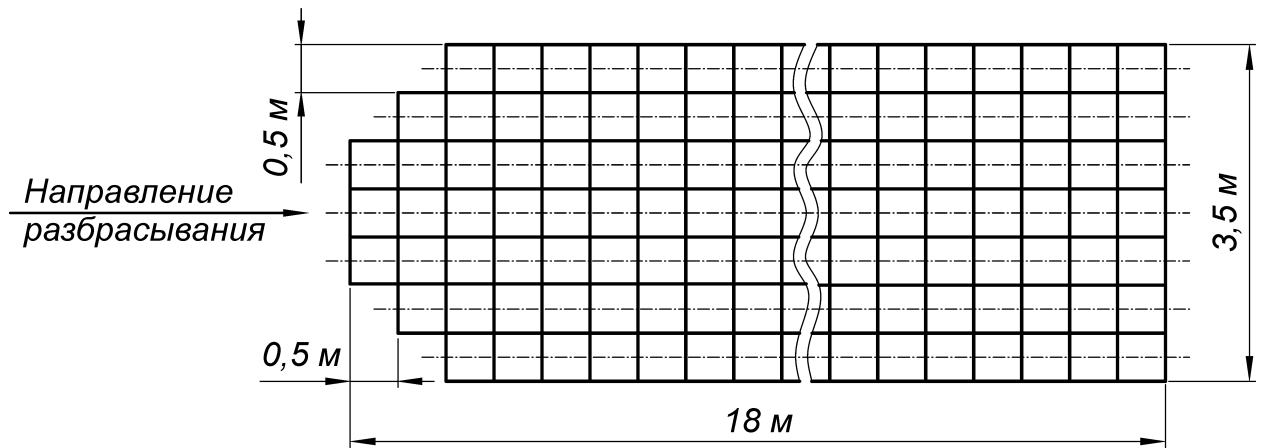


Рис. 3.3. Схема расстановки противней

Среднее значение веса удобрений \bar{g} на противнях определялось по известной формуле:

$$\bar{g} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i, \quad (3.2)$$

где g_i — вес удобрений на противне, кг; n — количество противней.

Среднее квадратичное отклонение от σ определялось по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g})^2}. \quad (3.3)$$

Неравномерность (в %) распределения удобрений в круговой зоне распределения определялась по формуле:

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{g}} 100\%. \quad (3.4)$$

Расчеты дозы внесения удобрений определялись по формуле:

$$H = \frac{\bar{g}}{F 100}. \quad (3.5)$$

где F — площадь противня, м²

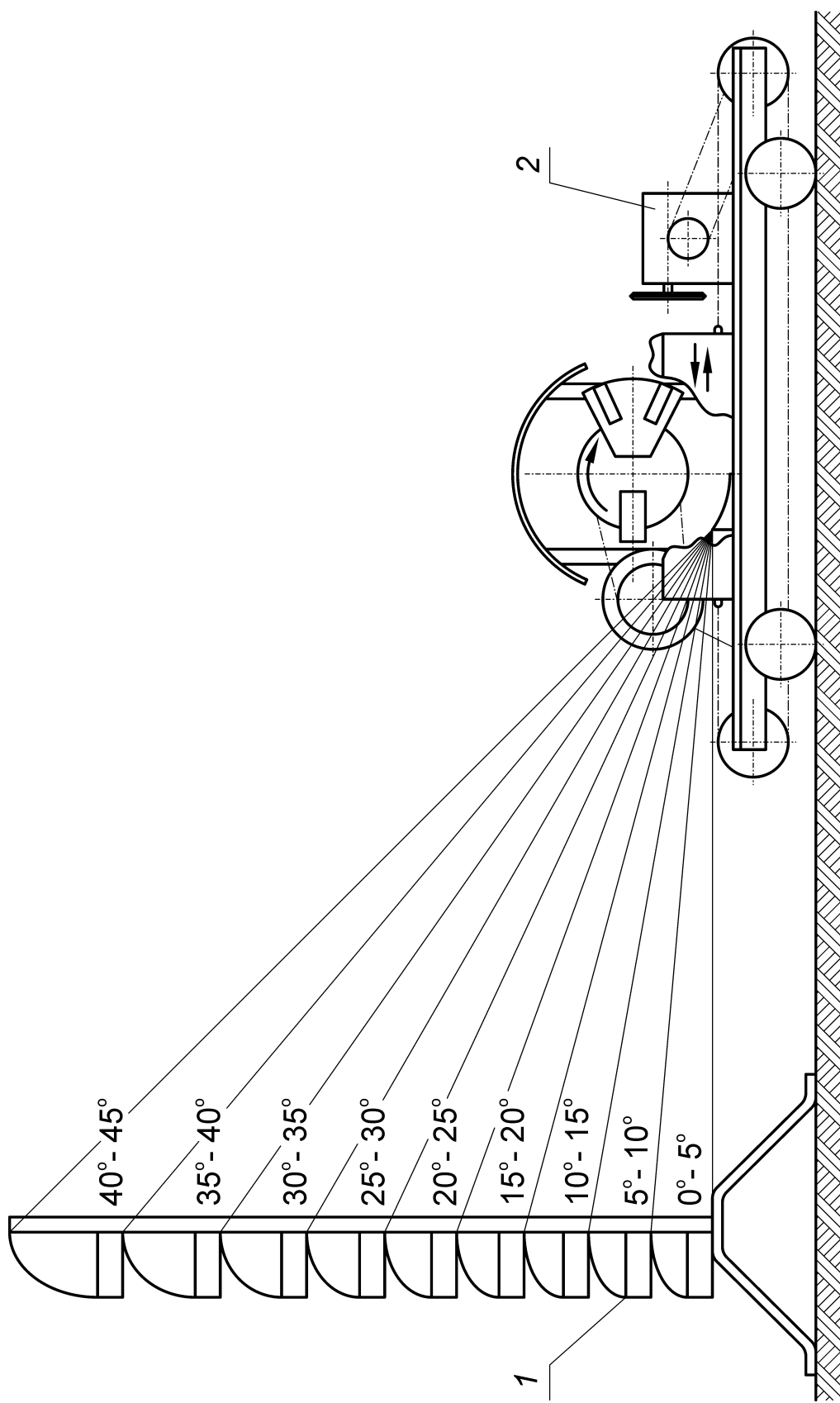


Рис.3.4. Схема лабораторной установки для определения количественного выхода (в кг) частиц органических удобрений с лопатки под различными углами к горизонту: 1 - ловушка; 2- лабораторная установка

Ошибка опыта определялась по формуле:

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (3.6)$$

где n — количество противней

Точность опыта определялась по формуле:

$$\sigma_{\bar{g}} = \frac{\Delta\sigma}{\bar{g}} 100\% \quad (3.7)$$



Рис. 3.5. Лабораторная установка с ловушкой

Количественные показатели внесения удобрений определялись в соответствии с ОТС 70.7.2.-82.

3.1.6. Методика выбора формы лопатки

Исследования по выбору формы лопатки производилась на лабораторной установке (рис. 3.1).

Рассматривались две формы лопатки (рис. 3.6). Первая — желобообразная с перпендикулярными боковыми сторонами к плоскости наполнения удобрений (рис.3.6а). Вторая — аналогичная (рис.3.6б), но в периферийной ее части устанавливалась пластина под углом к плоскости накопления удобрений. Согласно рабочей гипотезе, эта пластина должна способствовать улучшению процесса накопления удобрений на рабочей поверхности лопатки. На основании результатов проведенных поисковых опытов высота и ширина лопатки была принята в соотношении 1:2 и в дальнейших экспериментах не изменялась. Такая форма лопатки в точности совпадает с поперечным сечением швеллера №10.

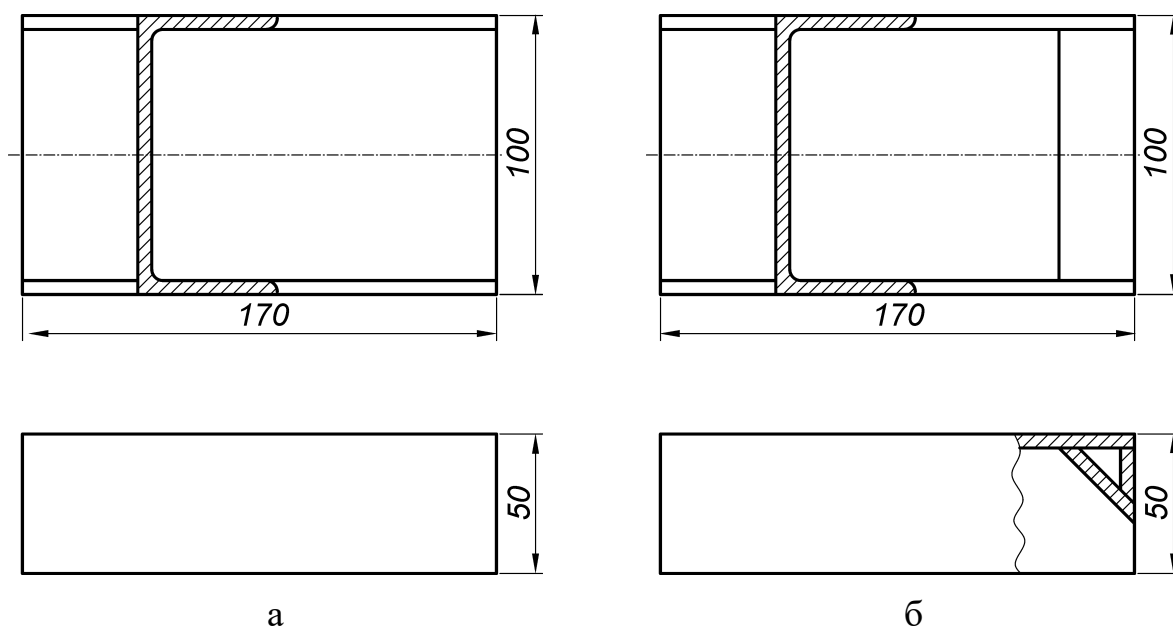


Рис. 3.6. Форма лопатки: а — желобообразная; б — желобообразная с пластиной в периферийной части

Частота вращения ротора ω и величина подачи удобрений на лопатку ротора принимались фиксированными. Исследования проводились на полу перепревшем навозе с примерно одинаковой влажностью.

3.1.7. Методика выбора формы и угла установки ножа

Величина угла ε наклона плоскости ножа к касательной окружности ротора исследовалась путем изменения его от 0° до 10° . Необходимость применения ножа диктовалась положением лопатки ротора. Если лопатка ориентирована радиально, или более того, установлена под тупым углом вхождения в массу удобрений, то наличие ножа радикальным образом улучшает процесс забора удобрений на лопатку.

Конструктивно нож выполнялся в соответствии с рис. 3.7.

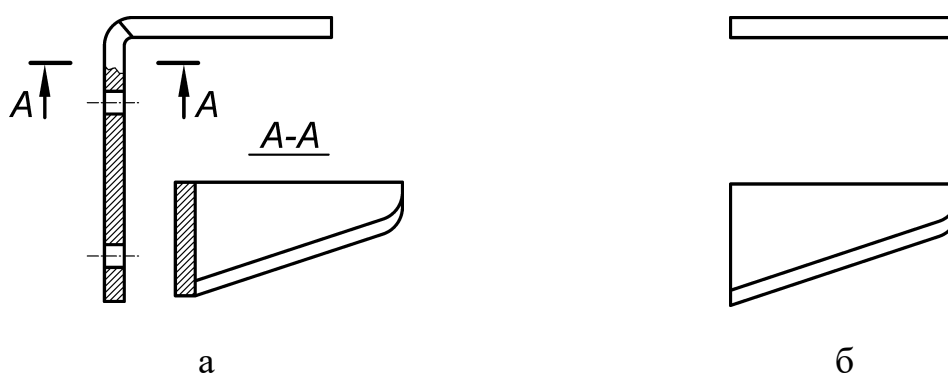


Рис. 3.7. Форма ножа: а — Г-образная с болтовым соединением с диском;
б — плоская; со сварным соединением с диском

3.1.8. Методика выбора угла установки лопатки к радиусу ротора

Величина угла наклона лопатки к радиусу ротора α изменялась за счет перестановки ее крепления в заранее подготовленные отверстия (рис.3.8, 3.9), позволяющие установить лопатку под углом от 0° до 30° с шагом 10° .

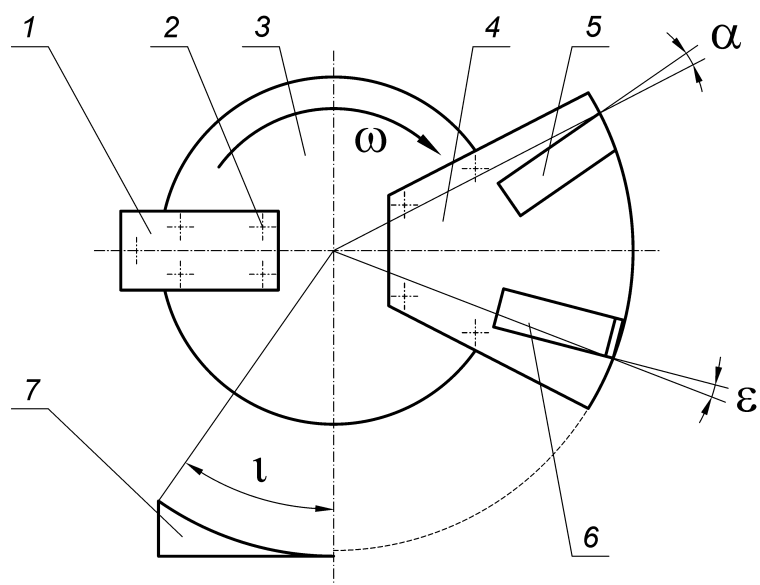


Рис. 3.8. Схема к определению угла наклона лопатки к радиусу ротора α и угла охвата ротора выбросным порогом ι ; 1 – противовес; 2 – болтовое крепление; 3 – ротор; 4 – сектор; 5 – лопатка; 6 – нож; 7 – выбросной порог

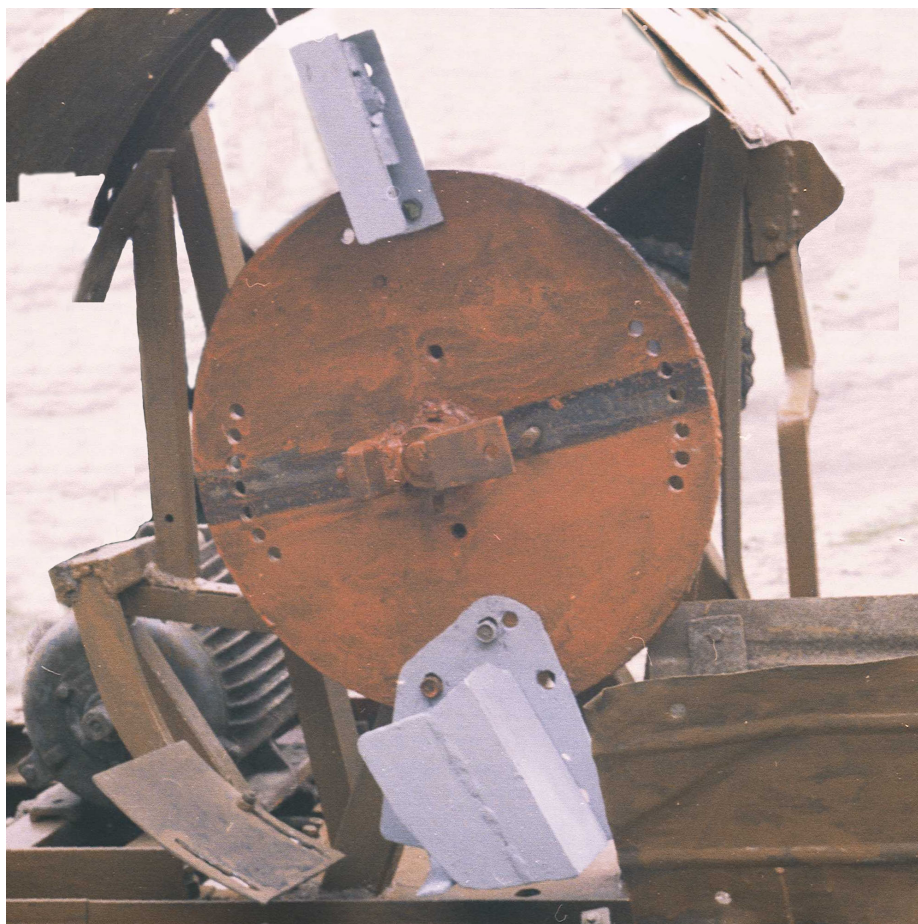


Рис. 3.9. Ротор лабораторной установки

Влияние величины угла наклона лопатки к радиусу ротора α на качественные показатели работы ротора определялось характером распределения удобрений в направлении разбрасывания.

3.1.9. Методика определения угла охвата ротора выбросным порогом

Величина угла охвата ротора выбросным порогом ι определялась, как угол между вертикальной плоскостью проходящей через цент ротора и окончанием выбросного порога (рис. 3.8, 3.9). Исследовалось два варианта положения выбросного порога, когда угол охвата ι был равен 0° и 35° .

Влияние величины угла охвата ротора выбросным порогом ι на качественные показатели работы ротора оценивалось характером распределения удобрений в направлении разбрасывания.

В рамках поисковых экспериментов было установлено, что увеличение угла охвата ротора выбросным порогом ι больше 35° приводит к увеличению доли комков удобрений, которые сходят с лопатки ротора под углами β_c , превышающими 45° .

С точки зрения повышения дальности разброса удобрений, такие значения углов схода β_c не являются рациональными. Кроме того, большие углы схода комков удобрений β_c приводят к увеличению высоты траекторий полета этих комков, а вместе с тем и к росту влияния ветра на конечное распределение удобрений по полю.

Эти два обстоятельства послужили основанием для того, что бы отказаться от применения углов охвата барабана выбросным порогом ι , превышающих 35° .

В случае, если угол охвата ι был меньшим 35° , то наоборот, все меньшая часть комков удобрений сходила с лопатки ротора по углами β_c , близкими к 45° . С позиций роста дальности разброса удобрений это также не оправдано, а, значит, рациональным значением угла охвата ι является 35° .

Заведомо не рациональный вариант, когда угол охвата ι равен 0° , оставлен для иллюстрации выше приведенных рассуждений.

3.1.10. Методика определения величины подачи удобрений на лопатку ротора

Определение относительной подачи p удобрений на лопатку ротора производилось на лабораторной установке (рис. 3.1).

Изменение подачи p осуществлялось за счет выбора необходимого значения передаточного отношения цепной передачи 5 от вала электродвигателя 4 к валу редуктора 8 привода лотка 17. При изменении передаточного отношения цепной передачи 5 соответственно изменялась поступательная скорость движения лотка 17 с удобрениями в направлении лопатки 13 ротора.

Принятые передаточные отношения цепной передачи 5 соответствуют следующим величинам подачи p удобрений на лопатку 13 ротора: 0,015 м/с; 0,030 м/с; 0,040 м/с; 0,050 м/с.

Влияние величины подачи удобрений p на качественные показатели работы ротора оценивалось количественными показателями распределения удобрений в направлении разбрасывания.

3.1.11. Методика оценки характера распределения массы удобрений по углам схода с лопатки ротора к горизонту

Определение характера распределения удобрений по углам их схода с лопатки ротора к горизонту β_c проводилось на лабораторной установке (рис.3.4, 3.5). С помощью ловушки 1 из общего потока летящих комков удобрений выхватывались те из них, которые сошли с лопатки ротора в заданном диапазоне углов схода β_c шириной в 5° . Так определялась массовое (кг) распределение удобрений по углам схода β_c .

Конструкция ловушки обеспечивала возможность оценки количества удобрений которое сходит с лопатки ротора в направлении девяти секторов шириной в 5° в пределах от 0° до 45° .

3.1.12. Методика определения дальности полета частиц удобрений и их количественного распределения по поверхности поля

Для определения дальности полета частиц использовалась лабораторная установка (рис.3.1, 3.2) и противни расположенные в зоне разбрасывания шириной 3,5 м и длиной 18 м. По ширине размещалось 7 рядов противней $0,5 \times 0,5 \times 0,05$ м. Центральный ряд противней устанавливали по продольной оси направления разбрасывания удобрений (рис.3.3).

Удобрения, попадавшие в противни, расположенные в крайних рядах, ссыпались в соответствующие противни центрального ряда. Затем удобрения, находящиеся в противнях центрального ряда взвешивалось на весах ВЛТК-500 с точностью до 5...10 г. Вес удобрения, находящегося в i -том противне обозначали g_i .

Опыты проводились с трехкратной повторностью. По данным различных опытов определяли среднее количество удобрений в противне центрального ряда \bar{g} . При определении границ рассева учитывались противни, расположенные как в начале, так и в конце дальности разброса. При этом в них должно было находиться, не менее 4% от среднего веса \bar{g} [27].

3.1.13. Методика оценки технологического процесса внесения удобрений из куч полунавесным разбрасывателем

Исследуя технологический процесс внесения органических удобрений полунавесным разбрасывателем, методикой предусматривалась оценка количественных показателей распределения удобрений по поверхности поля. Выполнялось это с применением противней площадью $0,25 \text{ м}^2$ каждый.

Противни укладывались тремя отдельными рядами, которые располагались радиально по отношению к разбрасываемой куче удобрений и под углом 120° друг к другу. После разбрасывания собирали удобрения с зачетных противней, взвешивали с точностью до $5 \dots 10$ г и определяли количественные показатели качества распределения удобрений по поверхности поля в пределах пятна разброса. Степень неравномерности определяли по известным формулам ((3.2) – (3.7)) в соответствии с ОСТ 70.7.2.-82.

Технологический процесс работы разбрасывателя предполагает круговое движение агрегата вокруг разбрасываемой кучи удобрений в направлении ее центра по траектории близкой к спирали Архимеда. При этом барабан разбрасывателя предварительно переводят с транспортного в рабочее положение и включают привод вала отбора мощности. Скорость движения трактора определяется требуемой величиной подачи p удобрений на лопатки ротора и составляет от 5,3 до 7,1 км/ч.

3.2. Результаты лабораторных исследований

Лабораторные исследования рабочего органа полунавесного разбрасывателя из куч проводился в лаборатории кафедры «ЭМТП» на территории учхоза им. 1-го Мая ХИМЭСХ.

Эксперименты проводились согласно приведенной выше программе и методике исследований.

3.2.1. Характер распределения удобрений на лопатке ротора при торцевой подаче на нее удобрений

Исследованием характера распределения удобрений на лопатке ротора занимались многие исследователи [54, 70 и др.]. Их целью было определение оптимальной формы и размеров лопаток. В сочетании с другими элементами конструкции ротора лопатки выполняют несколько различных функций.

В случае, если рабочий орган снабжён ножом, для отделения слоя удобрений от основной их массы (кучи), и лопаткой, то функция лопатки состоит в том, чтобы этот объем, отделённых удобрений, разместить на своей поверхности и в дальнейшем привести их в движение с заданной скоростью и в заданном направлении.

В другом случае, если рабочий орган снабжён только лопаткой, то в её функции входит и отделение порции удобрений от основной их массы, и накопление их на своей поверхности. Такая компоновка рабочего органа применяется при подаче удобрений на рабочий орган параллельно оси его вращения, т.е. при боковой подаче, либо под углом к ней.

В предложенной конструкции рабочего органа подача удобрений осуществляется перпендикулярно оси вращения рабочего органа, т.е. предусматривается торцевая подача удобрений на лопатку.

Сложность такой компоновки рабочего органа заключается в том, что удобрения на лопатке преимущественно накапливаются на её периферийной части достаточно большим слоем. Поэтому длину лопатки необходимо было выбрать из двух условий. Первое условие, лопатка должна обеспечить накопление необходимого объёма удобрений исходя из максимальной подачи на неё удобрений, второе условие — это увеличение размеров лопатки не должно приводить к дополнительным затратам энергии, за счёт «вентиляторного» эффекта.

Для определения длины лопатки барабана эксперимент проводился на лабораторной установке (рис. 3.1). Подача удобрений на лопатку барабана устанавливалась максимальной 0,05 м. Лопатка с рабочей стороны градуировалась с интервалом 0,01 м белыми линиями.

Угол α установки лопатки к радиусу барабана составлял 20° .

Для визуального наблюдения за этим процессом использовали стробоскоп, при помощи которого производилось освещение лопатки в двух положениях, первое — в момент окончания процесса накопления на ней удобрений, второе — в момент начала схода удобрений с лопатки.

На основании проведенных наблюдений установлено, что удобрения на лопатке накапливались на длине не более 0,15 м. Это явилось основанием, для окончательного выбора общей длины лопатки, равной 0,15 м.

Форма лопатки выбиралась из двух вариантов. Первый вариант – желобообразная с перпендикулярными боковыми сторонами (рис. 3.6 а), второй вариант — аналогичная, но в желобе, в периферийной её части устанавливалась ориентированная под острым углом к рабочей плоскости лопатки пластина (рис. 3.6 б). Последняя функционально выполняла роль ножа, т.е. лопатка становилась более активной по отношению к процессу накопления удобрений на своей поверхности. Однако в процессе работы такой лопатки торцевая её часть залипала удобрениями и она принимала форму первого варианта лопатки. Исходя из выше изложенного, можно заключить, что предпочтительная форма лопатки желобообразная с перпендикулярными боковыми поверхностями и длина l её должна быть не более 0,15 м, а ширина лопатки 0,1 м, что обеспечивало накопление объёма удобрений на своей поверхности при подаче p до 0,5 м.

3.2.2. Выбор формы ножа и угла его установки на барабане

Форма ножа была принята Г-образной и плоской (рис. 3.7). Г-образная его форма (рис. 3.7а) предусматривала собой крепление к диску при помощи болтов, а плоская его форма (рис. 3.7б) предусматривала сварное крепление к диску. Длина лезвия ножа принята равной ширине лопатки, т.е. 0,1 м.

В процессе проведения предварительных исследований выяснилось, что и одна и другая форма ножа практически одинаково выполняли свои функции. Однако при встрече с посторонними предметами, которые иногда встречаются в куче удобрений, поломка ножа была достаточно частой. В случае сварного соединения замена ножа требовала неадекватных затрат времени. Нож, крепление которого было болтовым, заменялся значительно быстрее. Тем более, что Г-образная форма ножа выполнялась из высокоуглеродистой стали и его изготовление не нарушало структуры стали,

а в случае его крепления электродуговой сваркой, структура изменялась и нож становился хрупким. Исходя из выше изложенного, форма ножа была принята Г-образной с болтовым соединением, соответствующим (рис. 3.7а).

Что касается угла ε установки его по отношению к радиусу барабана, то здесь предлагалось минимизировать трение лезвия ножа по удобрениям, в процессе отделения его от основной массы. В случае радиальной установки ножа (режущая плоскость ориентирована по касательной к траектории его вращательного движения) трение ножа своей внешней стороной по удобрениям весьма значительно. Появляется оно за счет поступательного движения ротора в процессе работы. При угловой установке ножа, когда $\varepsilon \in \{1^\circ, 10^\circ, 20^\circ\}$ трение внешней поверхности ножа по удобрениям тем меньше, чем больше ε . Но в случае, когда $\varepsilon = 20^\circ$ в значительной мере начинает проявляться трение передней поверхности ножа по удобрениям. Все это удастся видеть с помощью стробоскопа по величине смятия взаимодействующего с ножом пласта удобрений.

Если $\varepsilon = 10^\circ$, то удастся минимизировать оба упомянутые выше явления, а, значит, это наиболее приемлемый вариант. При таком положении ножа, он достаточно эффективно направляет удобрения внутрь барабана, тем самым, помещая их по большей части на внутреннюю половину лопатку, а не на периферийную. В конечном итоге это способствует лучшему распределению удобрений в целом по длине лопатки.

Таким образом, в процессе предварительных исследований было установлено, что наиболее предпочтительное значение угла ε равно 10° .

3.2.3. Характер распределения удобрений по углам схода с лопатки в зависимости от величины угла охвата ротора выбросным порогом и ориентации лопатки ротора

Эксперименты проводились с целью выбора угла охвата ι ротора выбросным порогом. При этом переменными были следующие параметры:

угол охвата ротора $\iota \in \{0^\circ, 35^\circ\}$, положение лопатки к радиусу барабана принималась $\alpha \in \{0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ\}$ на лабораторной установке (рис. 3.4, 3.5). В табл. 3.1 и на рис. 3.10 приведены результаты экспериментальных исследований работы ротора, в случае, когда выбросной порог отсутствовал, что соответствовало значению $\iota = 0^\circ$.

Таблица 3.1.

Количество удобрений m_β (кг) выходящих под различными углами β_c к горизонту, в случае, когда нет выбросного порога ($\iota = 0^\circ$)

Угол вылета β_c	0...5°	5°... 10°	10°... 15°	15°... 20°	20°... 25°	25°... 30°	30°... 35°	35°... 40°	40°... 45°
№ опыта									
положение лопатки к радиусу ротора — $\alpha = 0^\circ$									
1	3,37	3,25	4,29	3,89	2,71	1,17	0,45	0,22	—
2	4,21	3,94	4,50	3,22	2,89	2,10	1,40	0,10	—
3	3,87	3,74	3,95	2,86	3,02	1,48	1,27	1,12	—
\bar{m}_β	3,81	3,64	4,25	3,32	2,87	1,58	1,04	0,48	—
положение лопатки к радиусу ротора — $\alpha = 10^\circ$									
1	4,47	5,33	2,21	0,88	0,63	0,33	—	—	—
2	6,74	6,12	1,88	1,03	0,45	0,61	—	—	—
3	5,89	4,96	2,76	1,26	0,9	0,27	—	—	—
\bar{m}_β	5,70	5,47	2,28	1,06	0,66	0,40	—	—	—
положение лопатки к радиусу ротора — $\alpha = 20^\circ$									
1	5,71	3,65	1,28	0,70	—	—	—	—	—
2	7,23	4,39	2,13	1,40	—	—	—	—	—
3	7,98	5,04	2,27	1,30	—	—	—	—	—
\bar{m}_β	6,97	4,36	1,89	1,13	—	—	—	—	—
положение лопатки к радиусу ротора — $\alpha = 30^\circ$									
1	9,06	8,73	5,09	0,66	—	—	—	—	—
2	8,07	8,21	5,71	0,32	—	—	—	—	—
3	8,82	9,01	4,83	0,37	—	—	—	—	—
\bar{m}_β	8,65	8,65	5,21	0,45	—	—	—	—	—

В этой таблице m_β обозначает количество удобрений (в кг), которое сошло с лопатки ротора в заданном интервале угла схода $\beta_c \in [\beta_{cp} - 2,5^\circ; \beta_{cp} + 2,5^\circ]$ шириной 5° , где β_{cp} — среднее значение β_c в указанном интервале. \bar{m}_β — среднее арифметическое значение величины m_β за три повторности эксперимента.

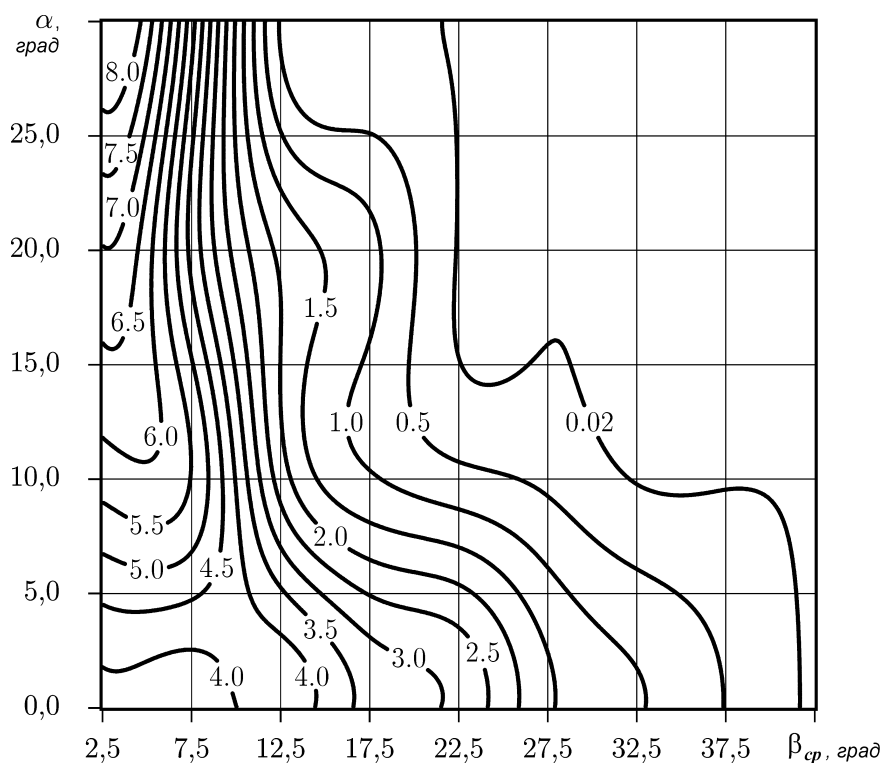


Рис. 3.10. Средневзвешенная величина \bar{m}_β (кг) количества удобрений, выходящих с лопатки в интервале углов схода $\beta_c \in [\beta_{cp} - 2,5^\circ; \beta_{cp} + 2,5^\circ]$ шириной 5° , в зависимости от величины среднего значения β_{cp} и угла α установки лопатки по отношению к радиусу ротора, в случае, когда нет выбросного порога ($\iota = 0^\circ$)

Анализируя результаты необходимо отметить, что сход удобрений с лопатки концентрируется преимущественно в зоне малых углов схода к горизонту ($\beta_c < 15^\circ$). Это утверждение справедливо для любых углов установки лопатки ротора $\alpha \in [0^\circ; 30^\circ]$, но тем сильнее проявляется, чем

больше α . Наблюдения с помощью стробоскопа показали, что удобрения, находящиеся на периферийной части лопаток в случае отсутствия выбросного порога не успевают приобрести должной кинетической энергии и сваливаются сразу после потери контакта с землей. В конечном итоге это приводит к тому, что удобрения по большей части распределяются в ближней зоне от барабана, не обеспечивая необходимой ширины захвата.

При угле охвата барабана выбросным порогом равном $\iota = 35^\circ$ массовое распределение удобрений по углам схода к горизонту значительно улучшается (табл. 3.2, рис. 3.11).

Существенно меньше удобрений сходят в непосредственной близости к ротору и все больше — под углами $\beta_c > 15^\circ$. Интересна взаимосвязь характера распределения масс удобрений m_β по углам их схода β_c с величиной угла α . Чем больше угол α , тем меньшим углом β_c соответствует максимум функции $m_\beta = m_\beta(\beta_c)$. Это обстоятельство дает основание утверждать, что такой же будет взаимосвязь массового распределения удобрений по дальности разброса. Ведь максимальная дальность разброса удобрений достигается в случае, если угол их схода β_c лежит в интервале $\beta_c \in [30^\circ; 40^\circ]$. В случае, если $\alpha \in [10^\circ, 20^\circ]$, то на рис. 3.11 отчетливо виден экстремум функции $m_\beta = m_\beta(\beta_c)$ именно когда $\beta_c \in [30^\circ; 40^\circ]$.

Окончательно значение α мы выберем позже, когда проанализируем теоретические предпосылки по отношению к тому, какой должна быть характеристика распределения удобрений по дальности разброса с учетом кругового характера разбрасывания и наложения соседних пятен разброса.

Ранее, во второй главе, мы уже указывали, что значение α должно превышать 10° , поскольку именно в этом случае достигается наиболее стабильная работа ротора по отношению к возможным вариациям физико-механических свойств разбрасываемых удобрений.

Таблица 3.2.

Количество удобрений m_{β} (кг) выходящих под различными углами β_c
к горизонту, при наличии выбросного порога ($\iota = 35^\circ$)

Угол вылета β_c	0...5°	5°... 10°	10°... 15°	15°... 20°	20°... 25°	25°... 30°	30°... 35°	35°... 40°	40°... 45°
№ опыта									
положение лопатки к радиусу барабана — $\alpha = 0^\circ$									
1	0,55	0,63	0,79	1,20	1,90	2,45	2,64	4,05	4,23
2	0,41	0,72	0,68	1,32	2,60	2,30	2,94	3,61	4,49
3	0,49	0,69	0,74	1,73	1,81	2,64	3,70	4,30	3,91
\bar{m}_{β}	0,48	0,68	0,74	1,42	2,11	2,46	3,09	4,00	4,21
положение лопатки к радиусу барабана — $\alpha = 10^\circ$									
1	0,98	1,14	1,14	1,39	1,71	2,52	3,70	3,93	3,85
2	0,57	1,44	0,98	0,99	1,86	2,80	3,71	3,89	3,98
3	1,01	0,87	1,31	1,28	1,49	2,36	3,65	3,98	4,21
\bar{m}_{β}	0,85	1,15	1,14	1,22	1,67	2,56	3,69	3,93	4,01
положение лопатки к радиусу барабана — $\alpha = 20^\circ$									
1	0,91	1,10	1,80	2,12	3,02	3,42	3,85	3,25	2,13
2	0,76	1,21	1,53	2,01	1,97	3,56	3,74	3,76	1,97
3	0,92	0,97	1,36	1,97	2,74	3,35	4,02	3,90	1,37
\bar{m}_{β}	0,86	1,10	1,56	2,03	2,58	3,44	3,87	3,64	1,82
положение лопатки к радиусу барабана — $\alpha = 30^\circ$									
1	1,31	2,04	1,93	3,78	2,82	3,47	2,27	1,51	1,08
2	1,58	1,96	2,11	3,44	2,76	4,00	1,67	1,95	1,40
3	1,44	1,09	2,45	3,02	4,30	4,10	2,60	1,74	1,57
\bar{m}_{β}	1,44	1,69	2,16	3,41	3,30	3,86	2,18	1,73	1,35

Кроме того, в той же второй главе, в ходе теоретических исследований выяснилось, что удобрения с лопаток ротора практически всегда сходят под углами β_c превышающими $\frac{1}{8}\pi$. Такое противоречие с текущими экспериментальными данными объясняется тем, что в ходе рассмотрения теоретических предпосылок мы анализировали только один вариант схода удобрений с лопатки ротора, когда удобрения скользят непосредственно по

лопатке, а не удобрения по удобрениям. На самом деле второй вариант схода удобрений с лопаток также имеет место и именно он дает сход с малыми значениями угла β_c .

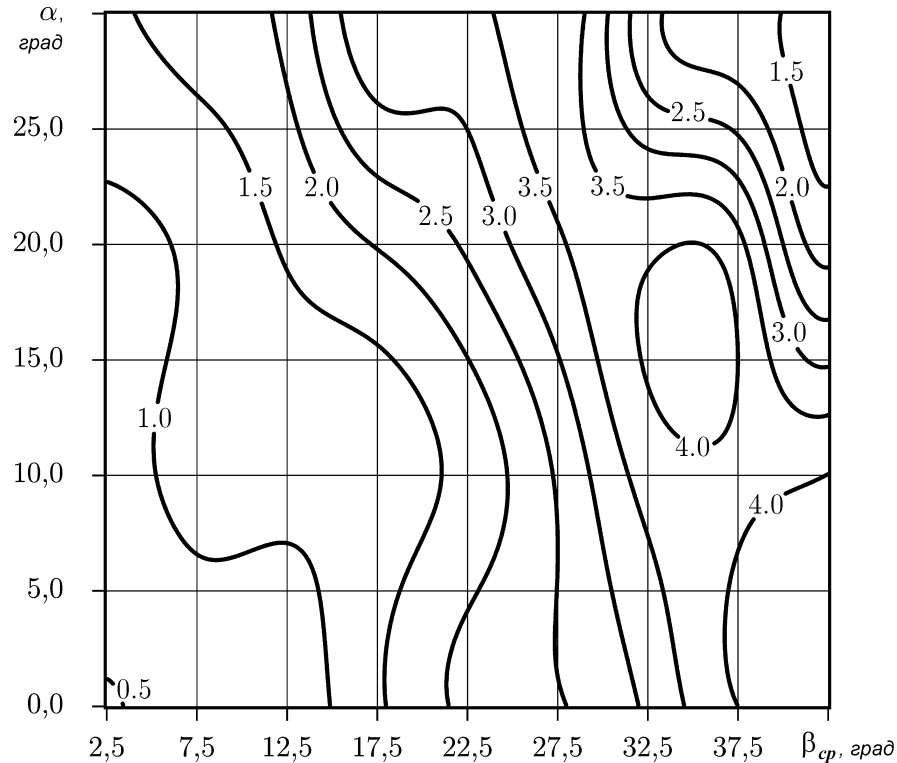


Рис. 3.11. Средневзвешенная величина \bar{m}_β (кг) количества удобрений, выходящих с лопатки в интервале углов схода $\beta_c \in [\beta_{cp} - 2,5^\circ; \beta_{cp} + 2,5^\circ]$ шириной 5° , в зависимости от величины среднего значения β_{cp} и угла α установки лопатки по отношению к радиусу ротора, при наличии выбросного порога ($\iota = 35^\circ$)

Это обстоятельство следует расценивать, безусловно, как положительное, ведь именно благодаря такому характеру взаимодействия расширяется ширина полосы разброса ΔL в область малых дальностей $L < L_{\min}$ (рис. 2.25), где L_{\min} — минимальная дальность разброса удобрений, про взаимодействовавших с лопаткой ротора по первому варианту, т.е. в случае скольжения удобрений непосредственно по лопатке.

3.2.4. Характер массового распределения удобрений по углам схода с лопатки и дальности разброса в зависимости от величины подачи удобрений на лопатку ротора

При выполнении технологического процесса внесения твёрдых органических удобрений из куч вкруговую движение агрегата вокруг кучи осуществляется по спирали. Рабочий орган разбрасывателя внедряется в кучу удобрений с внешней её части. По мере движения агрегата вокруг кучи радиус её уменьшается, вследствие чего уменьшается и радиус поворота агрегата, а, следовательно, уменьшается поступательная скорость рабочего органа разбрасывателя. С уменьшением поступательной скорости рабочего органа уменьшается и подача p удобрений на лопатку, в связи с чем возникла необходимость в исследовании влияния величины подачи p удобрений, на лопатку ротора, как на массовое распределение удобрений по углам схода β_c , так и по дальности разброса L .

Изучение закономерностей массового m_β распределения удобрений по углам β_c схода с лопатки и дальности разброса L в зависимости от величины подачи p удобрений на лопатку ротора проводилось на лабораторной установке (рис. 3.1 – 3.5) с 3-х кратной повторностью.

Эксперименты проводили со следующими режимными параметрами: – угол установки лопатки составлял $\alpha = 20^\circ$; угловая скорость ротора — $\omega = 42,92 \text{ с}^{-1}$; угол охвата выбросным порогом ротора — $\iota = 35^\circ$; подача удобрений на лопатку — $p \in \{0,015; 0,03; 0,04; 0,05\}$ м.

Результаты экспериментов приведены в табл. 3.3. Путем использования интерполяции средних значений $\bar{m}_\beta = \bar{m}_\beta(\beta_c, p)$ двумерным бикубическим сплайном построены графики изолиний рис. 3.12 [99].

Из рис. 3.12 видно, что в целом положение максимума $\bar{m}_\beta = \bar{m}_\beta(\beta_c, p)$ практически не зависит от величины подачи p удобрений на лопатку ротора.

Но, тем не менее, когда $p < 0,03$ экстремум является явно выраженным, что не дает оснований полагать, что значения $p < 0,03$ являются наилучшими.

Таблица 3.3.

Количество удобрений m_β (кг) выходящих под различными углами β_c к горизонту в зависимости от величины подачи p их на лопатку ротора

Угол вылета β_c № опыта	0...5°	5°... 10°	10°... 15°	15°... 20°	20°... 25°	25°... 30°	30°... 35°	35°... 40°	40°... 45°
Подача удобрений на лопатку ротора — $p = 0,015$ м									
1	1,42	1,12	2,61	3,20	5,16	7,55	1,19	0,47	0,23
2	0,92	1,45	3,12	3,74	6,74	6,74	1,34	0,74	0,44
3	0,90	0,89	2,80	4,03	5,02	8,13	1,14	0,82	0,52
\bar{m}_β	1,08	1,15	2,84	3,66	5,64	7,47	1,22	0,68	0,39
Подача удобрений на лопатку ротора — $p = 0,03$ м									
1	1,15	1,73	2,24	2,19	2,98	5,78	5,14	1,80	0,70
2	0,94	1,44	2,54	2,44	3,47	4,94	4,33	2,42	0,47
3	1,54	2,12	2,47	1,87	3,84	5,12	3,98	1,63	1,32
\bar{m}_β	1,21	1,76	2,42	2,17	3,43	5,28	4,48	1,95	0,83
Подача удобрений на лопатку ротора — $p = 0,04$ м									
1	1,65	1,53	2,15	2,26	3,44	4,71	3,29	1,52	0,47
2	2,21	0,84	1,76	2,54	4,12	3,97	4,35	1,90	1,01
3	1,97	1,83	2,34	1,93	3,87	4,34	3,74	1,37	0,97
\bar{m}_β	1,94	1,45	2,08	2,23	3,89	4,34	3,79	1,60	0,82
Подача удобрений на лопатку ротора — $p = 0,05$ м									
1	1,59	1,81	1,81	2,60	2,80	3,06	2,87	1,75	0,59
2	1,79	1,72	2,54	2,90	3,45	2,89	2,71	1,93	0,47
3	1,87	1,92	1,88	2,82	3,01	2,14	3,24	1,11	0,97
\bar{m}_β	1,75	1,82	2,08	2,77	3,09	2,07	2,94	1,60	0,68

Напротив, если p лежит в интервале $p \in [0,03; 0,045]$, то функциональная связь m_β с величиной угла схода β_c является более равномерной и возможно по этому более предпочтительной. Чтобы уточнить это обстоятельство

следует изучить закономерности массового m_B распределения удобрений по их дальности разброса L в зависимости от величины все той же подачи p удобрений на лопатку ротора.

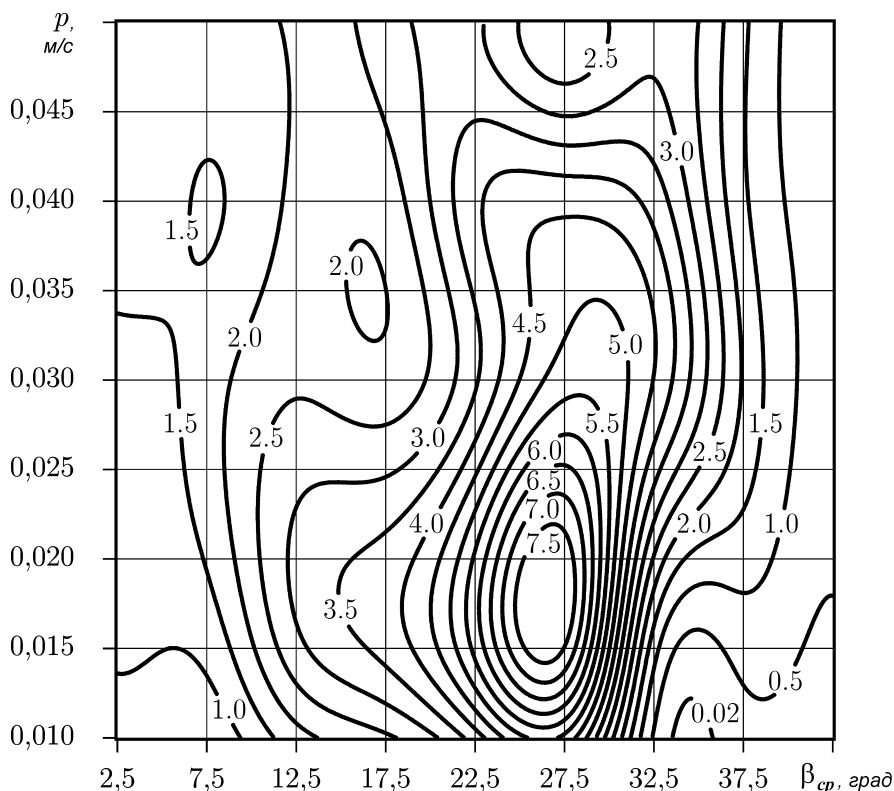


Рис. 3.12. Средневзвешенная величина \bar{m}_B (кг) количества удобрений, выходящих с лопатки в интервале углов схода $\beta_{cp} \in [\beta_{cp} - 2,5^\circ; \beta_{cp} + 2,5^\circ]$ шириной 5° , в зависимости от величины среднего значения угла β_{cp} и величины подачи p удобрений на лопатку

Эксперименты по изучению массового распределения удобрений по дальности разброса L проводились с применением противней (рис. 3.3), которые укладывались напротив лабораторной установки (рис. 3.1, 3.2). Результаты экспериментов представлены в табл. 3.4 и на рис. 3.13.

Из рис. 3.13 видно, что по дальности разброса L для любого значения подачи p имеется два явно выраженных экстремума. Как мы увидим позднее, в процессе анализа теоретических исследований конечного

распределения удобрений по полю с учетом кругового движения агрегата и наложения соседних пятен разброса наличие дальнего экстремума (когда $L \in [12, 16]$) является рациональным.

Ближний экстремум (когда $L \in [0, 6]$), безусловно, нежелателен. Причин его появления две: первая — связана с проявлением уже упоминавшихся ранее двух законов схода удобрений с лопатки ротора (путем скольжения удобрений по удобрениям и путем скольжения удобрений непосредственно по рабочей поверхности лопатки); вторая — связана с конструктивными недостатками лабораторной установки и не характерно для работы рабочего органа в реальных условиях.

Таблица 3.4.

Влияние величины подачи p удобрений на распределение их по дальности разброса L

Дальность L , м	Подача p , м				Дальность L , м	Подача p , м			
	0,015	0,030	0,040	0,050		0,015	0,030	0,040	0,050
0,5	1,20	1,19	1,15	1,25	9,5	0,67	0,63	0,76	0,61
1,0	1,19	1,24	1,33	1,31	10,0	0,59	0,60	0,81	0,68
1,5	1,15	1,14	1,21	1,24	10,5	0,61	0,62	0,71	0,62
2,0	1,31	1,21	1,29	1,26	11,0	0,58	0,65	0,74	0,66
2,5	1,27	1,17	1,19	1,29	11,5	0,51	0,54	0,72	0,68
3,0	1,22	1,30	1,21	1,22	12,0	0,46	0,59	0,85	0,69
3,5	1,19	1,27	1,28	1,24	12,5	0,54	0,78	0,94	0,65
4,0	1,32	1,32	1,31	1,27	13,0	0,47	0,87	0,97	0,81
4,5	1,15	1,18	1,11	1,17	13,5	0,47	0,96	1,14	0,77
5,0	1,04	0,93	0,95	1,05	14,0	0,33	1,23	0,99	0,63
5,5	0,92	0,83	0,85	0,95	14,5	0,55	1,63	1,23	1,03
6,0	0,75	0,61	0,72	0,80	15,0	0,38	1,34	1,33	0,79
6,5	0,76	0,63	0,68	0,72	15,5	0,47	1,07	0,97	0,53
7,0	0,66	0,56	0,62	0,71	16,0	0,49	0,88	0,71	0,40
7,5	0,68	0,54	0,62	0,63	16,5	0,38	0,77	0,62	0,18
8,0	0,66	0,59	0,66	0,70	17,0	0,30	0,38	0,20	0,12
8,5	0,62	0,57	0,70	0,70	17,5	0,13	0,15	0,09	0,07
9,0	0,64	0,55	0,70	0,54	18,0	0,05	0,06	0,05	0,04

Первая причина уже рассматривалась, по этому сейчас мы ее комментировать не будем, а остановимся на второй.

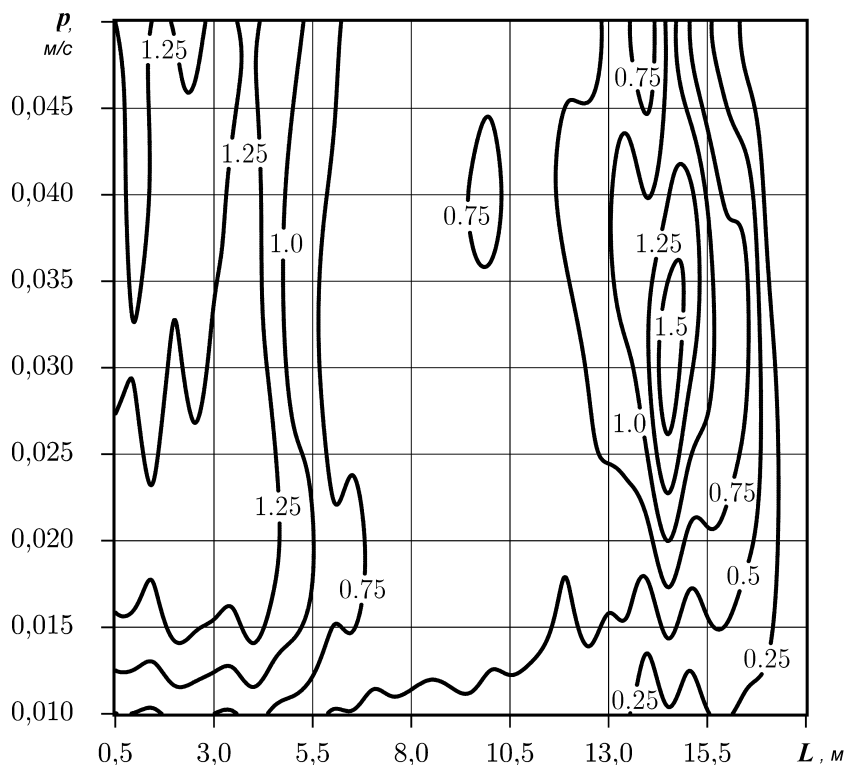


Рис. 3.13. Влияние величины подачи p удобрений на распределение их по дальности разброса L

В отличие от реальных условий работы, когда рабочий орган разбрасывателя скомбинирован в барабан и фактически состоит из восьми роторов, из которых только один контактирует с кучей удобрений по своим боковым поверхностям, также вовлекающим удобрения в движение, но не столь интенсивно, в лабораторной установке такой боковой контакт осуществлялся с обеих сторон единственного ротора. Таким образом, доля удобрений приводящаяся в движение боковыми поверхностями ротора лабораторной установки по отношению к удобрениям, разбрасываемым в полном соответствии с технологическим процессом, была значительно выше, чем в случае с применением барабана в полевых условиях. Именно эта часть удобрений и формируют первый нежелательный экстремум.

Возвращаясь к дальнему экстремуму (когда $L \in [12, 16]$) отметим, что он наиболее ярко выражен, когда подача p лежит в интервале от 0,025 до 0,045 м. Сейчас, без рассмотрения кругового движения агрегата окончательно уточнить оптимальные значения подачи p не представляется возможным. На этом мы остановимся позже. А сейчас лишь констатируем факт наличия дальнего экстремума и его положения.

3.2.5. Характер массового распределения удобрений по дальности разброса в зависимости от угла установки лопатки

Эксперименты проводились на лабораторной установке (рис. 3.1, 3.2) с раскладкой противней в соответствии со схемой (рис. 3.3) с трёхкратной повторностью. При этом согласно методике проведения экспериментов по определению дальности разброса органических удобрений были приняты следующие режимные параметры: угол установки лопатки — $\alpha \in \{0^\circ; 10^\circ; 20^\circ; 30^\circ\}$; угловая скорость ротора — $\omega = 42,92 \text{ с}^{-1}$; угол охвата выбросным порогом ротора — $\tau = 35^\circ$; подача удобрений на лопатку — $p = 0,04$ м. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.5. По данным табл. 3.5 с применением аппроксимации двумерным бикубическим сплайном построены графики изолиний на рис. 3.14.

Из анализа рис. 3.14 видно, что массовое распределение удобрений по дальности L разброса существенно зависит от величины угла установки лопатки ротора. Подобное распределение, но по углам схода β_c с лопатки ротора мы уже анализировали в параграфе 3.2.3 (рис. 3.11). Кроме того, уже говорилось, что окончательный выбор угла установки лопатки ротора можно осуществить только с учетом кругового движения агрегата и наложения соседних пятен разброса удобрений. Малые значения угла $\alpha < 10^\circ$ мы уже отвергли исходя из теоретических соображений, приведенных во второй главе, где показано, что при таких значениях углов характер распределения

удобрений по дальности разброса самым существенным образом зависит от физико-механических свойств удобрений. Таким образом, при анализе рис. 3.14 мы обращаем свое внимание на область значений углов $\alpha > 10^\circ$.

Таблица 3.5.

Дальность разброса L удобрений в зависимости
от угла α установки лопатки

Дальность L , м	Угол установки лопатки α , град.				Дальность L , м	Угол установки лопатки α , град.			
	0°	10°	20°	30°		0°	10°	20°	30°
0,5	0,73	0,87	0,91	1,09	10,0	0,42	0,28	0,6	1,14
1,0	0,82	0,91	1,24	1,32	10,5	0,57	0,71	0,62	1,31
1,5	0,91	0,72	1,14	1,22	11,0	0,41	0,63	0,65	1,36
2,0	0,76	0,83	1,21	1,13	11,5	0,51	0,85	0,54	1,56
2,5	0,84	0,75	1,17	1,21	12,0	0,57	0,71	0,59	1,68
3,0	0,74	0,84	1,3	1,37	12,5	1,00	1,64	0,78	1,83
3,5	0,61	0,91	1,27	1,29	13,0	1,23	1,80	0,87	1,46
4,0	0,52	0,43	1,32	1,28	13,5	1,39	1,90	0,96	1,06
4,5	0,46	0,65	1,18	1,36	14,0	2,25	2,20	1,23	0,95
5,0	0,39	0,31	0,93	1,32	14,5	2,20	1,80	1,63	0,77
5,5	0,37	0,58	0,83	1,13	15,0	2,05	1,75	1,34	0,62
6,0	0,48	0,42	0,61	1,08	15,5	1,56	1,90	1,07	0,45
6,5	0,52	0,38	0,63	1,18	16,0	1,22	1,39	0,88	0,26
7,0	0,34	0,64	0,56	1,17	16,5	1,13	1,02	0,77	0,15
7,5	0,25	0,42	0,54	1,14	17,0	0,89	0,67	0,38	0,10
8,0	0,33	0,26	0,59	1,07	17,5	0,57	0,34	0,15	
8,5	0,22	0,53	0,57	1,09	18,0	0,43	0,20	0,06	
9,0	0,32	0,41	0,55	1,08	18,5	0,23	0,08		
9,5	0,25	0,37	0,63	1,38	19,0	0,80			

Тут следует напомнить, что в предыдущем параграфе 3.2.4 при анализе влияния величины подачи удобрений p на массовое их распределение по дальности разброса L было обнаружено два экстремума. Там же приводится анализ причин их появления и указывается, что дальний экстремум (когда $L \in [12, 16]$) следует рассматривать как положительный факт, а ближний (когда $L \in [0, 6]$) — как отрицательный.

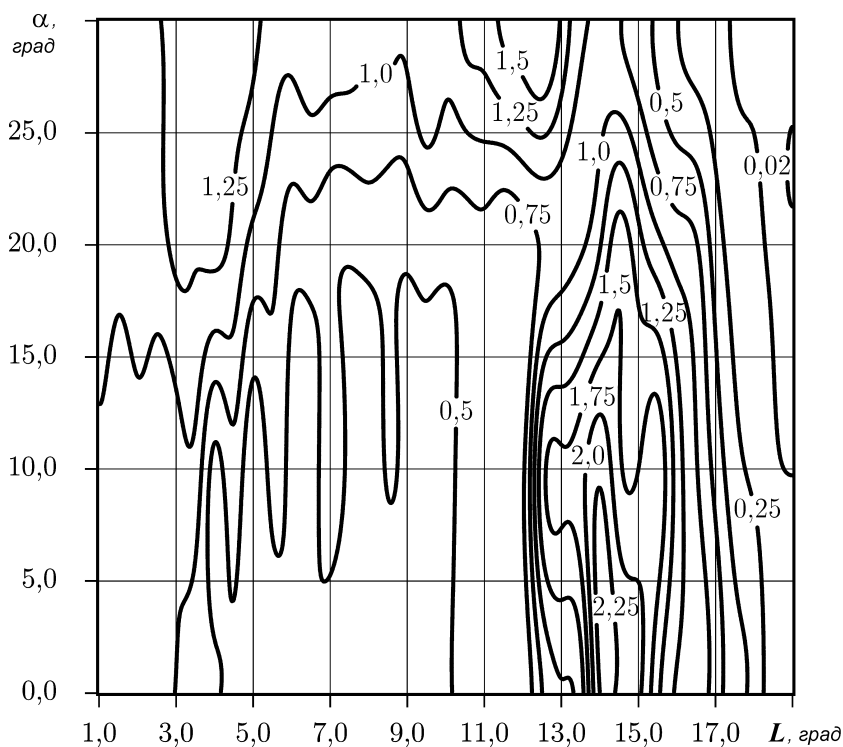


Рис. 3.14. Дальность разброса L удобрений в зависимости от угла α установки лопатки

Продолжая те же рассуждения в отношении характера распределения удобрений в соответствии с рис. 3.14 можно видеть, что в случае, когда угол установки лопатки $\alpha > 20^\circ$ также начинает проявляться ближний экстремум, а дальний уменьшаться. На этом основании мы делаем предварительный вывод о том, что углы установки лопаток ротора следует ограничить интервалом $\alpha \in [10^\circ, 20^\circ]$ [100, 101, 102].

3.2.6. Компоновка набора роторов в барабан

Лабораторные исследования ротора показали, что для приведения его во вращательное движение мощность электродвигателя в 5 кВт была явно избыточна. По этой причине, что бы добиться полной загрузки двигателя трактора класса 14 кН экспериментальным путем был скомпонован

(рис. 2.2, 3.15) рабочий орган (барабан), который состоял из четырех дисков, на каждой стороне которых размещалось по шесть комплектов нож-лопатка. Общая длина такого барабана равнялась 0,8 м. Отдельные диски барабана при компоновке их в единый рабочий орган соединялись с основанием с проворотом друг относительно друга величиной в 30° . В конечном итоге это позволило существенно снизить динамические воздействия на вал отбора мощности и двигатель трактора.



Рис. 3.15. Общий вид рабочего органа барабанного типа

Параллельно с загрузкой двигателя трактора удалось решить ряд дополнительных задач. В частности, за счет объединения роторов в барабан увеличена общая производительность разбрасывателя и ширина полосы разброса удобрений. Последнее обстоятельство способствовало улучшению

общей равномерности распределения удобрений по полю. Кроме того, как уже говорилось ранее при компоновке роторов в барабан, только один, крайний из них взаимодействует с кучей удобрений по своим боковым поверхностям. В конечном итоге это также положительно сказалось на качестве распределения удобрений по полю.

Наличие дисков в барабане, во-первых, наряду с применением ножей способствовало разделению кучи удобрений на отдельные полосы и как следствие улучшению равномерности заполнения лопаток барабана удобрениями, во-вторых, те же диски существенно повысили надежность рабочего органа, так как препятствовали попаданию инородных предметов на ножи и лопатки. Именно с целью в большей степени использовать защитные функции дисков их внешний диаметр был выполнен несколько большим, чем диаметр внешнего обреза лопаток.

ВЫВОДЫ

1. Рациональная форма лопатки желобообразная, а ножа Г–образная. Длина лопатки не должна превышать 0,15 м. Рациональное значение угла установки ножа 10° к радиусу ротора.

2. Рациональное значение угла охвата барабана выбросным порогом соответствует 350° . При таком значении угла охвата барабана выбросным порогом достигается наиболее оптимальный момент начала схода удобрений с лопатки барабана.

3. Рациональное значение углов наклона лопаток по отношению к радиусу барабана лежит в интервале от 100° до 200° . При таких значениях ориентации лопаток массовый сход удобрений под углом к горизонту, до 40° , составляет около 90%, обеспечивая при этом необходимый характер распределения удобрений в направлении разбрасывания с дальностью их полета до 18 метров.

4. Предпочтительное значение подачи удобрений на лопатку барабана находится в пределах от 0,03 м. до 0,04 м., при этих значениях подачи обеспечивается необходимый характер распределения удобрений в направлении разбрасывания.

5. В отношении приведенных выше конструктивных параметров рабочего органа наиболее жестким является требование к значению угла охвата барабана выбросным порогом.

6. компоновка рабочего органа в виде барабана, состоящего из набора дисков с лопатками и ножами, наряду с повышением производительности, способствует росту показателей качества его работы.

РАЗДЕЛ 4

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПО ПОЛЮ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ

4.1. Оценка равномерности распределения органических удобрений по площади внесения при разбрасывании их из куч круговым методом

Внесение органических удобрений на поле малой площади или сложной конфигурации, эффективно использовать метод кругового разбрасывания удобрений из предварительно размещенных на поле куч. Для этого предполагается применять предлагаемый разбрасыватель органических удобрений [36], который агрегируется с колесными тракторами класса 14 кН. После выполнения операций по агрегатированию разбрасыватель переводится из транспортного положения в рабочее. При этом его рабочий орган роторного типа (барабан) располагается сбоку от оси трактора. Привод рабочего органа осуществляется от вала отбора мощности. Технологический процесс разбрасывания удобрений осуществляется путем внедрения приведенного во вращение рабочего органа в кучу на уровне земли и последующего обхода кучи по кругу.

При использовании такой машины и соответствующего ей метода разбрасывания ни равномерность распределения удобрений по полю, ни оптимальные схемы предварительного размещения куч на поле не являются очевидными. Кроме того, оба эти вопроса напрямую связаны с планируемой нормой внесения удобрений.

До сих пор аналогичные задачи механизированных процессов в растениеводстве не решались, поскольку не было необходимости реализации подобных технологий. В настоящее время, в связи с активизацией процессов реформирования аграрного сектора экономики, сопровождающихся образованием малоплощадных фермерских хозяйств, актуальность решения всех поставленных выше вопросов существенно выросла.

Остановимся на теоретическом обосновании обозначенных вопросов, для чего несколько конкретизируем моменты, которые предстоит рассмотреть:

- какой должна быть идеальная характеристика разбрасывателя с точки зрения равномерности распределения удобрений, и какие показатели должны входить в эту характеристику;
- как связана конечная равномерность распределения удобрений в пределах одной круговой области разброса (КОР) с характеристикой разбрасывателя;
- как распределяются удобрения в зонах перекрытия соседних круговых областей разброса;
- каким должно быть оптимальное размещение куч удобрений на поле в зависимости от их размера и планируемой нормы внесения.

Сформулируем основные предположения, о существенности и не существенности некоторых факторов, которые, в принципе, могли бы в той или иной мере повлиять на численные показатели изучаемых процессов. Поверхность поля горизонтальная и ровная, удобрения в куче касательно их механических свойств изотропные, а геометрия кучи правильная на столько, на сколько необходимо, чтобы правомерно было все эти факторы не учитывать. То же отнесем и к условиям сцепления колес трактора с поверхностью поля, т.е. сцепление достаточное и абсолютно неизменное во времени и по поверхности. Все механизмы полностью исправны, а квалификация и физическое состояние тракториста таково, что позволяет полагать, что все необходимые движения агрегата будут реализованы в точности с обоснованным замыслом. Кроме того, размером кучи удобрений по сравнению с размером круговой области разброса, а также вероятностным характером их размещения на поле условимся пренебрегать.

Первый вопрос о характеристике разбрасывателя. Разумеется, эта характеристика должна отвечать ряду требований: иметь интегрирующий характер, а, значит, максимально не раскрывать все режимные,

конструктивные и другие второстепенные параметры, такие как, например, обороты рабочего органа, его диаметр, геометрия лопаток, их количество и т.д.; быть полученной при условиях, которые гарантируют полную повторяемость; достаточности для рассмотрения всех обозначенных выше четырех вопросов.

Такой характеристикой является функция плотности распределения удобрений h (кг/м) по ширине захвата r (м) разбрасывателя, снятая в стационарных условиях без перемещения агрегата, когда удобрения на рабочий орган подаются из лотка, конструкция и привод которого полностью обеспечивают выполнение всех изложенных выше предположений касательно условий работы разбрасывателя, и требований к его характеристике. Эту функцию удобно изображать графически (рис. 4.1) но, тем не менее, необходимо иметь и ее аналитическое представление, например, в виде аппроксимирующего или интерполирующего полинома, последовательности, не обязательно гладких, кусочно-сочлененных функций с известными границами областей определения и сопряжения между собой, или сплайна [103, 104], также аппроксимирующего или интерполирующего. Положим, аналитическое представление этой характеристики (рис. 4.1) известно

$$h = h(r). \quad (4.1)$$

Тогда общее количество удобрений M , которое необходимо для ее получения, определяется интегралом

$$M = \int_0^{R_D} h(r) dr, \quad (4.2)$$

где: R_D — максимально возможная дальность заброса удобрений или, что то же самое, радиус круговой области разброса, м.; D — зона круговой области разброса удобрений.

Здесь сразу возникает вопрос, нужно ли нормировать величину M . Полагаем, что не нужно, поскольку функция (4.1) легко масштабируется путем применения коэффициента кратности k (величина, в общем случае,

вещественная), а, значит, массу кучи на поле M_k можно привести в соответствие с массой M следующим образом

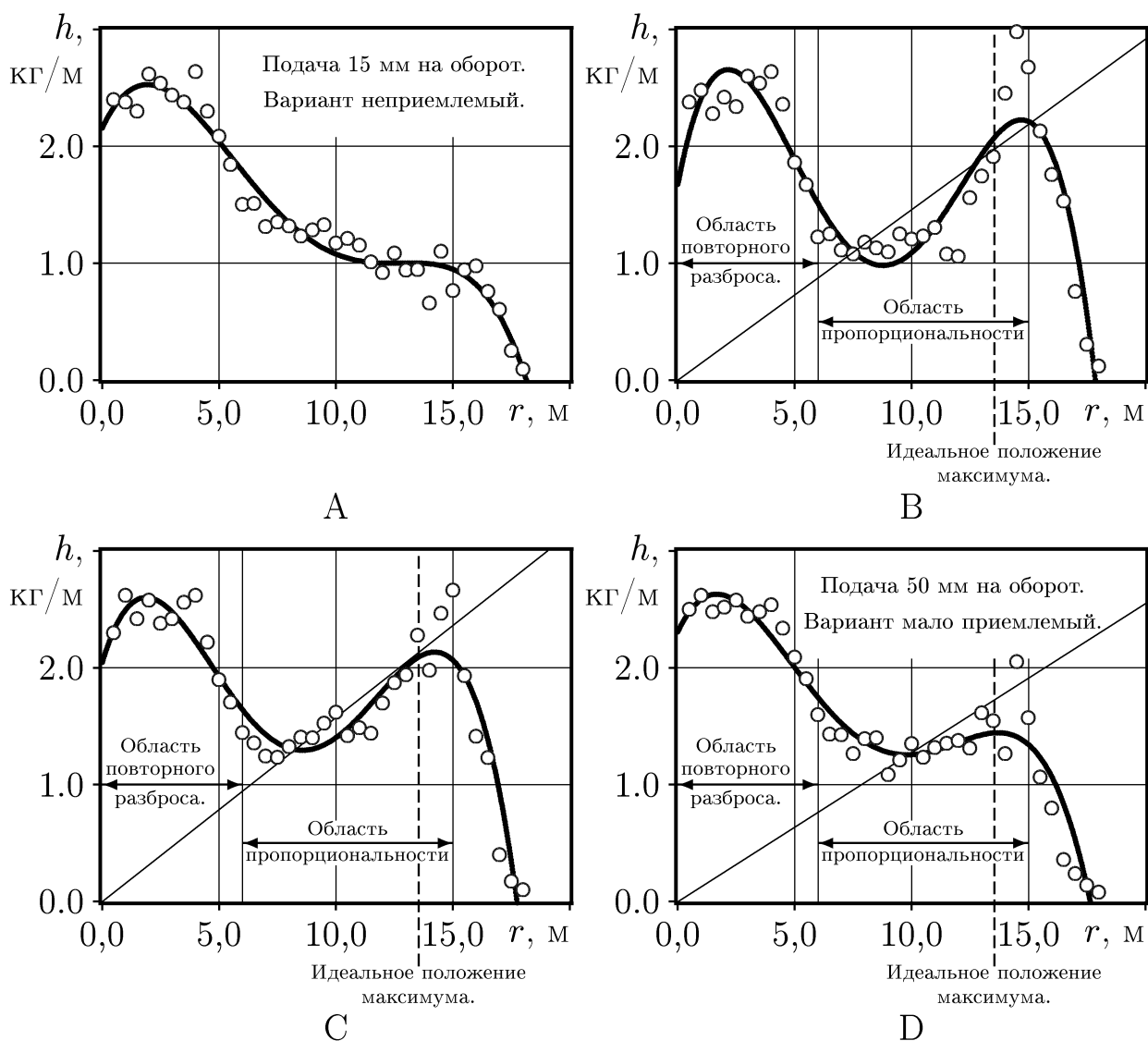


Рис. 4.1. Связь между дальностью перемещения органических удобрений r (в м) в процессе работы разбрасывателя и их количеством h (в кг/м), которое попадает в единственный интервал дальности для разных значений подачи:

- — экспериментальные данные;
- — интерполяционная кривая (полином 4-ой степени);
- — идеальное распределение.

A, B, C и D — подача, соответственно, 0,015, 0,03, 0,04 и 0,05 м/с.;

$$M_k = kM. \quad (4.3)$$

Кроме того, интересно, нужно ли знать, в течение какого времени работал разбрасыватель при получении характеристики (4.1), или, по-другому, какую пропускную способность ρ он имел (в единицах массы, отнесенных к единице времени) в период таких измерений. Нужно, если характер распределения удобрений при разбросе зависит от пропускной способности ρ , которую обеспечивает в это время разбрасыватель. Но в этом случае величина h была бы функцией двух аргументов, т.е. $h = h(r, \rho)$.

Следует заметить, что явно выраженная связь функции распределения удобрений по ширине h с пропускной способностью ρ разбрасывателя должна рассматриваться как однозначно отрицательное обстоятельство, с которым следует бороться в процессе его разработки. Если связь $h \leftarrow \rho$ существует, то тогда уже на этапе раскладки куч по полю следует знать и учитывать рабочую скорость, с которой будет двигаться агрегат в процессе разбрасывания (подачу), причем изменять ее будет нельзя, даже если возникнет необходимость, например, по причине изменения сцепных свойств с почвой вследствие выпадения осадков. Кроме того, нужно будет в обязательном порядке выдерживать фиксированной степень внедрения рабочего органа в кучу и выполнять массу других требований, которые в полевых условиях не выполнимы.

Для машины, которая рассматривается в настоящей работе, связь между h и ρ пренебрежимо мала, поэтому в дальнейшем считаем, что (4.1) — функция одного аргумента r . Хорошо, если (4.1) также в малой степени зависит от физико-механических свойств удобрений. Ведь эти свойства изменяются со временем либо по причине высыхания удобрений, либо, наоборот, увлажнения. В нашем случае эта связь незначительна и ею мы также пренебрегаем.

Второй вопрос, о распределении удобрений в пределах одной круговой области разброса. Произведение kM — это полная масса удобрений, которая

располагается в пределах одной круговой области разброса, она равна M_k (4.3). Положим, что начальное положение кучи в декартовых координатах Oxy задается вектором (X, Y) . Тогда, с учетом кругового движения агрегата вокруг кучи в процессе разбрасывания

$$r = \sqrt{(X - x)^2 + (Y - y)^2}, \quad (4.4)$$

а плотность распределения удобрений по площади H (в единицах массы, отнесенных к единице площади) определяется следующим образом

$$H = H(x, y) = \frac{\alpha h}{2\pi r} = \frac{\alpha h}{2\pi \sqrt{(X - x)^2 + (Y - y)^2}}, \quad (4.5)$$

где h , с учетом (4.4), понимается как сложная функция двух декартовых координат $h = h(r(x, y))$, а коэффициент $\alpha = 1$, если, в соответствии с (4.4), $\sqrt{(X - x)^2 + (Y - y)^2} = r \leq R_D$ и $\alpha = 0$, в противном случае, когда $r \notin [0, R_D]$.

Проанализировав (4.5), можно определиться с тем, какую характеристику (4.1) следует считать идеальной, очевидно, что такую, которая обеспечивает равномерное распределение удобрений в пределах всей круговой области разброса. Тогда, в случае идеальной характеристики h , будет выполняться условие

$$H|_{(x,y) \in D} = \text{const}. \quad (4.6)$$

Из анализа (4.5) вытекает, что последнее (4.6) будет выполняться, если (4.1) есть линейная функция r , вида

$$h = Kr = K\sqrt{(X - x)^2 + (Y - y)^2}, \quad (4.7)$$

где K — коэффициент пропорциональности (фиксированная величина). Действительно, с учетом (4.7), выражение (4.5) дает

$$H|_{(x,y) \in D} = \frac{K}{2\pi} = \text{const}. \quad (4.8)$$

Таким образом, если выполняется (4.7), то в пределах всей круговой области разброса получается идеальное распределение удобрений.

Из рис. 4.1 следует, что полученная экспериментальным путем характеристика предлагаемого разбрасывателя, далеко не идеальна: во-первых, она зависит от подачи; во-вторых, в интервале $r \in [0, 6]$ имеется значительный переизбыток удобрений. В случае подачи 0,015 м/с., характеристика разбрасывателя вообще неприемлема, поскольку является почти монотонно убывающей функцией, в то время как должна быть прямой с положительным угловым коэффициентом. В трех остальных случаях, при подаче 0,03, 0,04 и 0,05 м/с., угловые коэффициенты K идеальных характеристик (4.7), которые достаточно хорошо аппроксимируют отрезки реальных характеристик в пределах интервала $r \in [6, 15]$, соответственно, составили 0,146; 0,1575 и 0,1275. Интервал изменения аргумента $r \in [6, 15]$ называем областью пропорциональности. Как видим из рис. 4.1В и 4.1С, в интервале изменения подачи от 0,03 до 0,04 м/с характер распределения удобрений меняется не существенно и является приемлемым. Ситуацию портит наличие первого экстремума в интервале $r \in [0, 6]$, характерного для всех величин подачи. Предполагая повторное разбрасывание удобрений на этом отрезке, назовем его областью повторного разброса.

Третий вопрос, касательно перекрытия соседних круговых областей разброса. Размеры участка земли, на котором распределяются удобрения, почти всегда предполагают разбрасывание нескольких куч. И по этой причине, даже если (4.8) достигается, то в зонах перекрытия соседних круговых областей разброса, требуемой равномерности $\pm 25\%$ распределения удобрений не будет. Если перекрытие соседних круговых областей разброса (рис. 4.2) осуществить таким образом, чтобы не удобренных участков не было, то минимальная замкнутая площадь S_H зоны перекрытия составит

$$S_H = R_D^2 \left(\pi - \frac{3\sqrt{3}}{2} \right), \quad (4.9)$$

Причем, во всей зоне перекрытия норма внесения удобрений будет завышена в два раза. Если же перекрытие не допускать (рис. 4.3), то тогда будут совсем

не удобренные участки с минимальной замкнутой площадью S_0 , равной

$$S_0 = R_D^2 \left(\sqrt{3} - \frac{\pi}{2} \right). \quad (4.10)$$

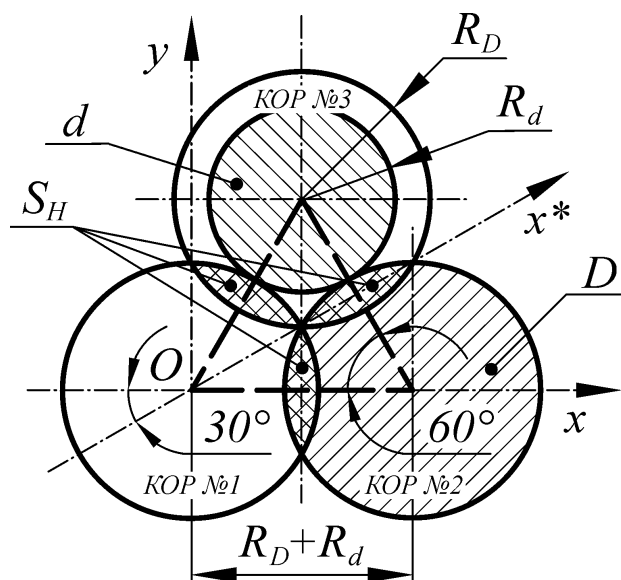


Рис. 4.2. Схема размещения трех круговых областей разброса с минимальным перекрытием S_H и при условии, что замкнутая не удобренная область

S_0 равна нулю.

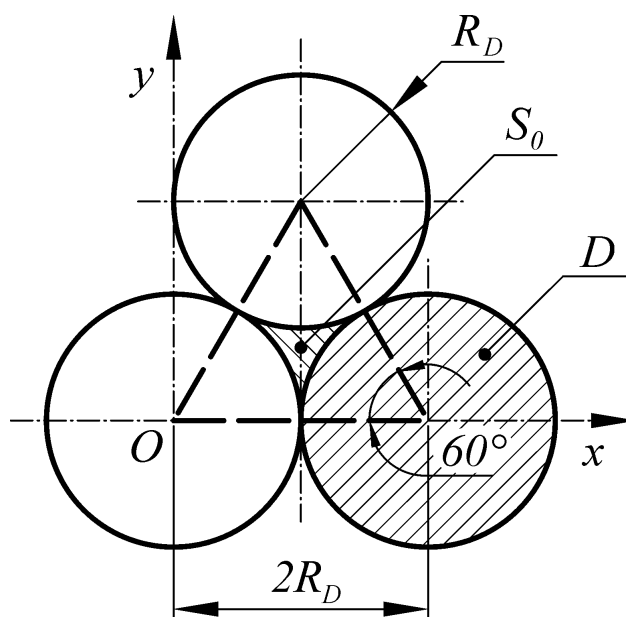


Рис. 4.3. Схема размещения трех круговых областей разброса без перекрытия и минимизированной замкнутой не удобренной областью S_0

Таким образом, идеальный закон (4.7) распределения удобрений по ширине захвата рабочего органа следует считать таковым только в пределах внутренней концентрической круговой части d (рис. 4.2) области D ($d \in D$, причем $d < D$) с радиусом R_d

$$R_d = R_D(\sqrt{3} - 1). \quad (4.11)$$

Из выражения (4.11) можно определить идеальное соотношение радиусов R_d и R_D , оно равно $R_d : R_D = \sqrt{3} - 1$. Т.е. какими бы ни были обороты ротора и максимальная дальность заброса удобрений, отношение R_d к R_D должно оставаться фиксированным. Перепишем (4.7) с учетом последнего

$$h|_{(x,y) \in d} = h|_{r \in [0, R_d]} = h_d = Kr = K\sqrt{(X-x)^2 + (Y-y)^2}, \quad (4.12)$$

За пределами малой области d , но в границах D , когда $r \in [R_d, R_D]$ распределение (4.7) должно быть иным. По аналогии с (4.12), обозначим

$$h_D = h|_{r \in [R_d, R_D]}. \quad (4.13)$$

Каким именно должно быть h_D , определимся ниже.

Принимая во внимание (4.12), (4.13), перепишем (4.5), рассматривая h как кусочно-сопряженную функцию

$$H = H(x, y) = \frac{\alpha_d h_d + \alpha_D h_D}{2\pi\sqrt{(X-x)^2 + (Y-y)^2}}, \quad (4.14)$$

при условии

$$\begin{aligned} \alpha_d = 1, \alpha_D = 0 & \text{ при } r \in [0, R_d], \\ \alpha_d = 0, \alpha_D = 1 & \text{ при } r \in [R_d, R_D], \\ \alpha_d = 0, \alpha_D = 0 & \text{ при } r \notin [0, R_D], \end{aligned}$$

где коэффициенты α_d и α_D по физическому смыслу совпадают с α из (4.5).

Поскольку нас интересует перекрытие круговой области разброса (рис. 4.2), то рассмотрим плотность распределения удобрений $H(x, y)$ для n -го количества круговых областей разброса

$$H = H(x, y) = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_{di} h_{di} + \alpha_{Di} h_{Di}}{2\pi\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2}}, \quad (4.15)$$

при условии

$$\begin{aligned} \alpha_{di} &= 1, \alpha_{Di} = 0 & \text{при } r_i \in [0, R_{di}], \\ \alpha_{di} &= 0, \alpha_{Di} = 1 & \text{при } r_i \in]R_{di}, R_{Di}], \\ \alpha_{di} &= 0, \alpha_{Di} = 0 & \text{при } r_i > R_{Di}, \end{aligned}$$

где индексом $i = 1, 2, \dots, n$ отмечены ранее определенные величины, касающиеся каждой круговой области разброса с i -тым номером:

$$h_{di} = h_{di}(r_i); \quad h_{Di} = h_{Di}(r_i); \quad r_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2}. \quad (4.16)$$

Обозначим $\Delta_{H\%}$ — возможное (в соответствии с агротехническими требованиями [27]) отклонение нормы внесения удобрений в процентах от заданной величины H_A . Тогда, в единицах измерения нормы внесения H_A , возможное отклонение составит

$$\Delta_H = \frac{H_A}{100} \Delta_{H\%}.$$

Если в интервале $r_i \in [0, R_{di}]$ $H_{di} = H_i |_{r_i \in [0, R_{di}]} = H_A$, для всех $i = 1, 2, \dots, n$, а это так, потому как сейчас рассматриваем идеальный случай, то упомянутое возможное отклонение составит (а). Далее прибегнем к анализу выражения (4.15), предполагая, что $n = 2$.

На рис. 4.4 рассматривается характер распределения удобрений вдоль координатной прямой Ox , проходящей через центры двух соседних круговых областей разброса, перекрывающихся по типу рис. 4.2. На рис. 4.4 принято, что $H_A = 2,5$ кг/м²; $\Delta_H = 20\%$; идеальное распределение вдоль радиуса круговой области разброса h_{di} соответствует подаче 0,04 м/об., т.е. рис. 4.1С; максимальная дальность разброса, или радиус круговой области разброса $R_D = 18,5$ м; радиус R_d , в соответствии с (4.1), равен 13,54 м; буквами с нижними и верхними индексами обозначены характерные точки на графиках, причем нижние цифровые индексы 1 и 2 соответствуют номерам круговой области разброса, а верхние h и H — плотности распределения и норме внесения удобрений. Ясно, что в рассматриваемом случае степень завышения результирующей нормы внесения H вдоль

отрезка прямой $E^H E^H$ зоны перекрытия будет максимальной. На всех остальных участках зона перекрытия (рис. 4.4 не отображает, поэтому см. рис. 4.2) завышение нормы внесения удобрений будет всегда меньше. Таким образом, если вдоль $E^H E^H$ превышение нормы внесения не будет выходить за предписания агротребований, то на остальных территориях в пределах зон перекрытия — тем более. Но только превышение, занижение может быть. Предположим, что вклад H_{Di} $i=1,2$ каждой круговой области разброса (№1 и №2) в результирующую норму внесения H вдоль оси Ox в пределах зоны перекрытия описывается линейной функцией (отрезки $B_i^H C_i^H$, $i=1,2$)

$$H_{Di}(x, y)|_{y=0} = k_{HDi}x + b_{HDi}, \quad i=1,2, \quad \forall x \in [R_d, R_D] \quad (4.17)$$

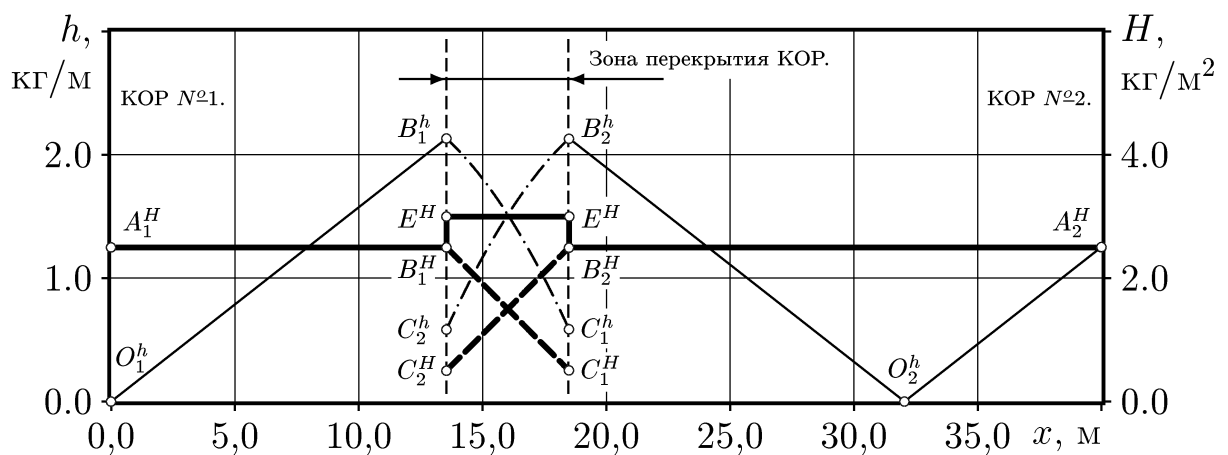


Рис. 4.4. Характер распределения удобрений вдоль координатной прямой Ox , проходящей через центры двух соседних круговых областей разброса, размещенных по варианту рис. 4.2:

- — результирующая норма внесения H (в $\text{кг}/\text{м}^2$);
- — идеальное распределение h_{ii} ($i=1,2$) вдоль радиуса круговой области разброса вне зон перекрытия (в $\text{кг}/\text{м}$);
- — вклад в результирующую норму внесения одной круговой области разброса в зоне перекрытия;
- — распределение h_{Di} ($i=1,2$) вдоль радиуса каждой круговой области разброса в зоне перекрытия.

где:

$$k_{HD1} = \frac{H_{C_1^H} - H_A}{R_D - R_d} \quad \text{и} \quad k_{HD2} = \frac{H_A - H_{C_2^H}}{R_D - R_d} \quad (4.18)$$

— угловые коэффициенты ($H_{C_1^H}$ и $H_{C_2^H}$ — вклад в норму внесения удобрений каждой круговой области разброса в соответствующих точках C_1^H и C_2^H). Поскольку

$$H_{C_1^H} = H_{C_2^H} < H_A \quad \text{и} \quad R_D > R_d \quad (4.19)$$

то $k_{HD1} = -k_{HD2}$, $k_{HD1} < 0$;

$$b_{HD1} = H_A - R_d k_{HD1}, \quad b_{HD2} = H_A - R_D k_{HD2} \quad (4.20)$$

— смещения ($|b_{HD1}| \neq |b_{HD2}|$, $b_{HD2} < 0$); $x \in [R_d, R_D]$ — интервал изменения x в пределах зоны перекрытия. Естественно, что сумма $H_{D1} + H_{D2}$ двух линейных (от x) функций (4.17) даст также линейную функцию, причем

$$\sum_{i=1}^2 H_{Di}(x, y)|_{y=0} = \sum_{i=1}^2 b_{HDi} = H_A + H_{C_1^H} = H_A + H_{C_2^H} = \text{const}, \quad (4.21)$$

$$\forall x \in [R_d, R_D]$$

с учетом условия (4.19) и выражений (4.18) выполняется всегда. Нам необходимо, чтобы $\sum_{i=1}^2 b_{HDi} \leq H_A + \Delta_H$, иначе вдоль отрезка $E^H E^H$ не будут

выполняться агротребования. Для этого достаточно положить, что

$$H_{C_1^H} = H_{C_2^H} = \Delta_H. \quad (4.22)$$

Теперь используя (4.5), (4.17) запишем выражения распределений, $h_{Di} = h_{Di}(x, y)|_{y=0}$, $i = 1, 2$, когда $x \in [R_d, R_D]$ и не выходит за пределы зоны перекрытия

$$h_{D1}(x, y)|_{y=0} = \left[\frac{\Delta_H - H_A}{R_D - R_d} (x - R_d) + H_A \right] 2\pi x, \quad \forall x \in [R_d, R_D] \quad (4.23)$$

$$h_{D2}(x, y)|_{y=0} = \left[\frac{H_A - \Delta_H}{R_D - R_d} (x - R_D) + H_A \right] 2\pi (R_d + R_D - x), \quad (4.24)$$

$$\forall x \in [R_d, R_D].$$

На рис. 4.4 кривым второй степени (4.23), (4.24) соответствуют отрезки $B_i^h C_i^h$, $i = 1, 2$. Если в (4.23) координату x заменить на r , то получим характеристику разбрасывателя для участка зоны перекрытия, рассчитанную по условиям максимально допустимого превышения нормы внесения удобрений

$$h_D(r) = \left[\frac{\Delta_H - H_A}{R_D - R_d} (r - R_d) + H_A \right] 2\pi r, \quad \forall r \in [R_d, R_D]. \quad (4.25)$$

В отличие от $h_d(r)$, которой соответствуют отрезки $O_i^h B_i^h$, $i = 1, 2$, распределение $h_D(r)$ — функция нелинейная. Поскольку производная

$$\frac{dh_D}{dr} = 2\pi \frac{\Delta_H - H_A}{R_D - R_d} (2r - R_d), \quad \forall r \in [R_d, R_D]. \quad (4.26)$$

монотонно убывает, то можно заключить, что на отрезке $r \in [R_d, R_D]$ функция $h_D(r)$ — выпуклая. Этот тезис также иллюстрирует рис. 4.4.

Вернемся к выражению (4.17), определяющему $H_{D1}(x, y)|_{y=0}$ для всех $x \in [R_d, R_D]$. Его можно понимать, как уравнение отрезка прямолинейной образующей n (если $i = 1, 2, \dots, n$) усеченных круговых конусов

$$\frac{(X_i - x)^2}{R_d^2} + \frac{(Y_i - y)^2}{R_d^2} - \frac{(H_{Di} - b_{DH1})^2}{(H_A - b_{DH1})^2} = 0, \quad (4.27)$$

$$\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = r_i \in [R_d, R_D], \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где x, y — независимые координаты в соответствии с рис. 4.2, а функцией является $H_{Di}(x, y)$, $i = 1, 2, \dots, n$. По своей физической сути конические поверхности $H_{Di}(x, y)$ (4.27) по-прежнему есть вклад каждой (i -ой) круговой области разброса в результирующую норму внесения $H(x, y)$ в пределах кольцевых областей, радиус которых $r_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \in [R_d, R_D]$, а центры располагаются в точках (X_i, Y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$. Касательно конической поверхности (4.27), относящейся к первой круговой области разброса ($i = 1, X_1 = Y_1 = 0$), можно

сказать, что ее образующая в своем продолжении пересекает ось H в точке $H(0,0) = b_{HD1}$. Радиус ее меньшего основания определяется условием $\sqrt{x^2 + y^2} = r = R_d$ и, естественно, равен R_d . Аналогично определяется радиус R_D большего основания $\sqrt{x^2 + y^2} = r = R_D$.

Решим (4.27) относительно $H_{Di}(x, y)$

$$H_{Di}(x, y) = \frac{\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2}}{R_d} (H_A - b_{DH1}) + b_{DH1}, \quad (4.28)$$

$$\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = r_i \in [R_d, R_D], \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Теперь, положив

$$i = 2, \quad x = x^* \cos \frac{\pi}{6}, \quad y = x^* \sin \frac{\pi}{6}, \quad Y_2 = 0, \quad X_2 = R_d + R_D \quad (4.29)$$

из уравнения (4.28) получим функцию $H_{D2}(x^*)$, определяющую, как изменяется вклад круговой области разброса №2 в общую норму внесения $H(x, y)$ в пределах зоны перекрытия круговой области разброса №2 с круговой области разброса №3 в направлении оси Ox^* . В результате имеем

$$H_{D2}(x^*) = \frac{\sqrt{x^{*2} - \sqrt{3}(R_d + R_D)x^* + (R_d + R_D)^2}}{R_d} (H_A - b_{DH1}) + b_{DH1}, \quad (4.30)$$

$$\sqrt{x^{*2} - \sqrt{3}(R_d + R_D)x^* + (R_d + R_D)^2} = r_2 \in [R_d, R_D].$$

Из рис. 4.2 видно, что вклад круговой области разброса №3 $H_{D3}(x^*)$ в общую норму внесения $H(x, y)$ в пределах зон перекрытия в направлении оси Ox^* совпадает с $H_{D2}(x^*)$, т.е. для этого участка справедлива запись $H(x^*) = H_{D2}(x^*) + H_{D3}(x^*) = 2H_{D2}(x^*)$.

Последнее иллюстрирует рис. 4.5, где показан кусочно-сочлененный график результирующей нормы внесения $H(x, y)$ в направлении оси Ox^* , образующей с Ox угол $\pi/6$. Как видим, в направлении Ox^* удовлетворить агротребованиям не удастся. Имеется область $C_I^H GQE^H$, где

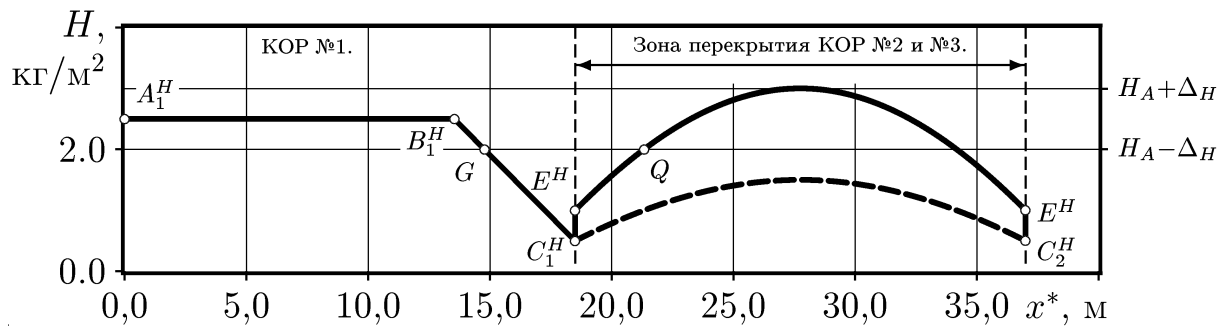


Рис. 4.5. Характер распределения удобрений вдоль оси Ox^* , размещенной по варианту рис. 4.2:

— результирующая норма внесения H (в $\text{кг}/\text{м}^2$);
 - - вклад в результирующую норму внесения круговой области разброса №2 или №3 в зоне перекрытия.

результатирующая норма внесения удобрений H опускается ниже допустимого предела $H_A - \Delta_H$ даже при условии идеального распределения удобрений в пределах одной круговой области разброса. Но, тем не менее, говорить о неприемлемости предлагаемой технологии внесения удобрений нельзя по следующим причинам:

- для малоплощадного земледелия и сложной конфигурации полей альтернативы нет;
- видимо, нельзя выдвигать одни и те же требования к качеству выполнения работы, когда условия ее выполнения совершенно не сравнимые;
- в предлагаемом варианте площадь, где агротребования не выполняются, незначительная;
- до сих пор рассматривался вариант (рис. 4.2) с минимальным перекрытием круговых областей разброса, а, значит, есть смысл оценить эффективность большего перекрытия круговых областей разброса.

Смоделируем повторный разброс удобрений в пределах круга $r \in [0, 6]$ каждой круговой области разброса в направлении от большего радиуса к центру. При этом считаем, что 5% удобрений остается на прежнем месте

нетронутыми, а к оставшейся части удобрений применяем экспериментальное распределение по рис. 4.1 со смещением вдоль радиуса, соответствующего месту забора удобрений для повторного разброса. Результаты такого моделирования приведены на рис. 4.6.

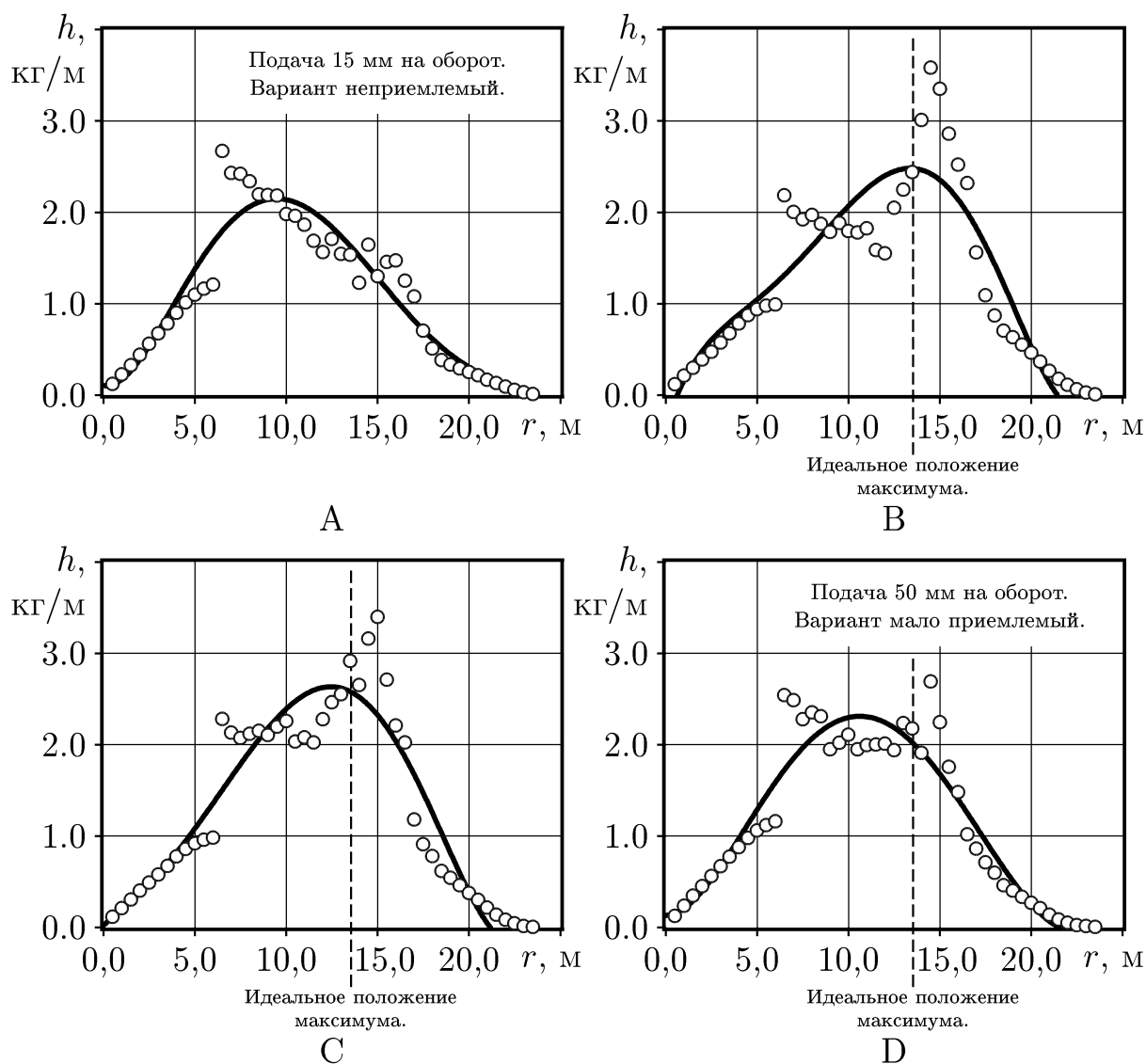


Рис. 4.6. Распределение h (в кг/м) удобрений по радиусу r (в м) круговой области разброса после повторного разброса для четырех значений подачи:

А, В, С и D — подача, соответственно, 0,015, 0,030, 0,040 и 0,050 м/с.;

○ — точки, рассчитанные по экспериментальным данным;

— — интерполяционная кривая.

Как видим, после повторного разброса распределение удобрений стало ближе соответствовать «идеальному». Заодно увеличился максимальный радиус круговой области разброса, а, значит, и степень перекрытия круговых областей разброса. Для оценки результирующего распределения удобрений по площади, т.е. $H(x, y)$, после повторного разброса воспользуемся выражением (4.5)

$$H = H(x, y) = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i h_i}{2\pi \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2}}, \quad (4.31)$$

$$\alpha_i = 1 \quad \text{при} \quad r_i \in [0, R_{\max i}],$$

$$\alpha_i = 0 \quad \text{при} \quad r_i \notin [0, R_{\max i}],$$

где n — количество перекрывающихся круговых областей разброса (в рассматриваемом случае $n = 3$); $R_{\max i}$ — максимальный радиус круговых областей разброса после повторного разброса (рис. 4.6); h_i — распределение удобрений вдоль радиуса i -ой круговой области разброса, определяемое аппроксимирующим полиномом 5-ой степени

$$h_i(r_i) = \sum_{j=0}^5 A_{ij} r_i^j, \quad r_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4.32)$$

коэффициенты которого приведены в таблице 4.1.

Для того, чтобы просчитать результирующую норму внесения удобрений вдоль оси Ox в соответствии с рис. 4.2, необходимо в уравнениях (4.31) и (4.32) положить, что $y = 0$. В результате будем иметь (рис. 4.7А). Как видим, в случае подачи 30 и 40 мм/об. агротребования выполняются.

Для расчета результирующей нормы внесения удобрений в направлении оси Ox^* (рис. 4.2) также воспользуемся выражениями (4.31) и (4.32), но теперь с учетом замены $x = x^* \cos(\pi/6)$, $y = x^* \sin(\pi/6)$. Полученный результат (рис. 4.7В), в случае подачи 30 и 40 мм/об., также лежит в границах агротребований. Пологий спад до нуля в правой части графиков (рис. 4.7В) объясняется тем, что расчеты выполнялись для трех круговых областей разброса в точности с рис. 4.2, т.е. дальше удобрения не вносятся.

Таблица 4.1

Коэффициенты аппроксимирующих полиномов для $h = h(r)$, соответствующих различным значениям подачи и случаю после повторного разброса удобрений (рис. 4.6)

Подача, мм/об.	A_{i0}	A_{i1}	A_{i2}	A_{i3}	A_{i4}	A_{i5}
15	-0,00947	0,64703	-14,96252	118,74962	-40,23966	105,38495
30	0,01862	-0,99727	17,77734	-134,28059	617,05471	-339,41429
40	0,01044	-0,44601	4,68665	-6,81315	178,09244	23,16264
50	-0,00198	0,25245	-8,31050	81,25544	2,24743	133,89345

Таким образом, если прибегнуть к перекрытию круговой области разброса, большему, чем на рис. 4.2, что само собой выходит после повторного разброса, то предлагаемая машина и технология дают возможность выполнять работу даже в соответствии с агротребованиями, сформулированными для крупных полей с несложной геометрией [105, 106, 107].

Касательно вопроса об оптимальном размещении куч удобрений на поле в зависимости от их размера и планируемой нормы внесения, можно заключить, что кучи должны располагаться по типу (рис. 4.2), т.е. в вершинах равносторонних треугольников со стороной $R_d + R_D$. Норму внесения удобрений предпочтительнее регулировать общей массой куч. Это не слишком обременительно, поскольку предлагаемая машина и технология рекомендуется к применению в малых хозяйствах с малым размером полей (вплоть до 0,15га). Следовательно, удобрения вывозить на поле будут также малыми тракторами, например, класса 14кН, т.е. теми, которые потом будут задействованы на разбросе или даже самоходными шасси. Автомобили на малых дистанциях, как известно, применять не выгодно. Таким образом, увеличить норму внесения можно путем раскладки куч на сторонах тех же треугольников, предварительно поделив их на нужное количество равных

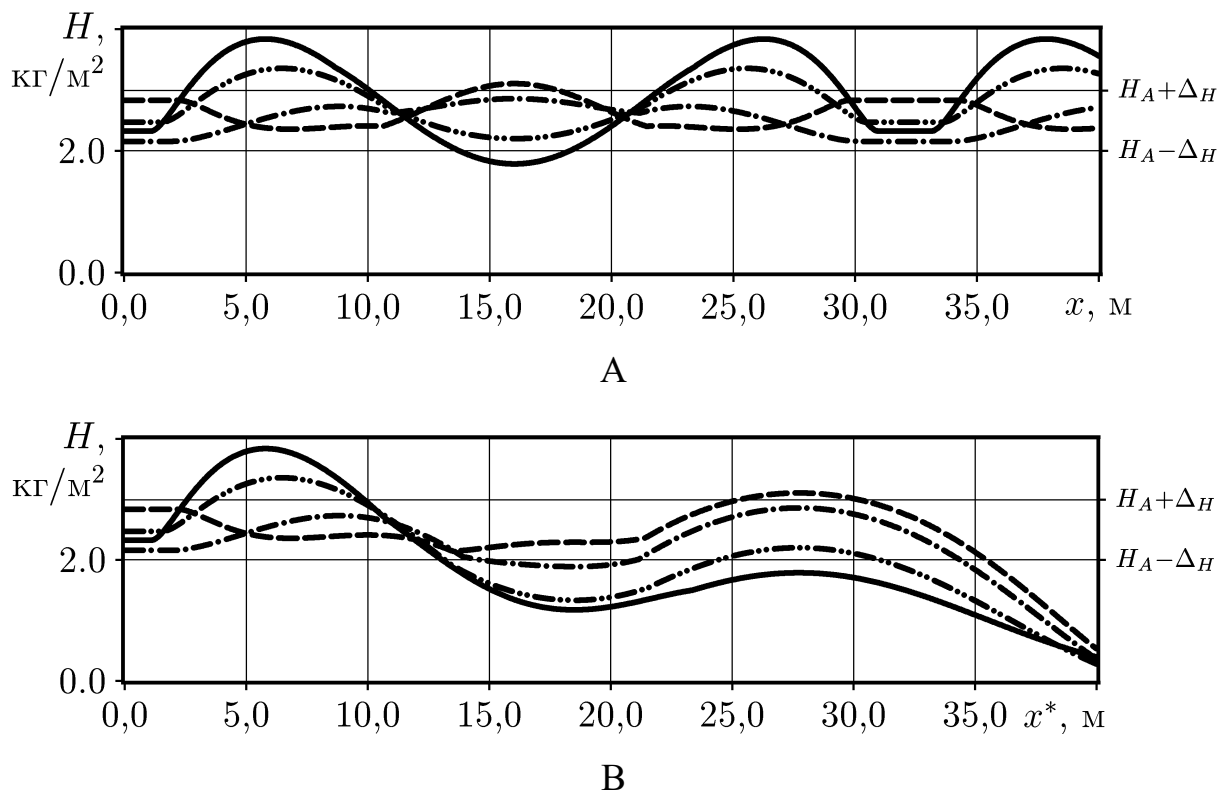


Рис. 4.7. Результирующая норма внесения удобрений вдоль осей Ox (А) и Ox^* (В) в соответствии с (рис. 4.2) для четырех значений подачи, в мм/об.:
 — 15; - - - 30; - . - . 40; - . . - 50.

частей. Кроме увеличения нормы внесения, это будет способствовать существенному повышению равномерности распределения удобрений. В нашем случае кучи массой 4 т обеспечат норму внесения 40 т/га.

4.2. Устройство полунавесного разбрасывателя твёрдых органических удобрений из куч вкруговую

Разбрасыватель [36, 37] (рис. 4.8, 4.9) состоит из рамы 2, опирающейся на два самоустанавливающиеся колеса 3, на которой закреплен барабанный рабочий орган 4 (барабан). Смонтирован он таким образом, что ось его вращения перпендикулярна направлению движения трактора 1. При этом барабан находится от продольной оси симметрии трактора на расстоянии,

равном его минимальному радиусу поворота.

Барaban 4 приводится во вращение от вала отбора мощности трактора 1 с помощью двойного карданного сочленения 5, редуктора 6, карданного вала 7 с предохранительной муфтой, контрпривода 8 и цепной передачи 9.

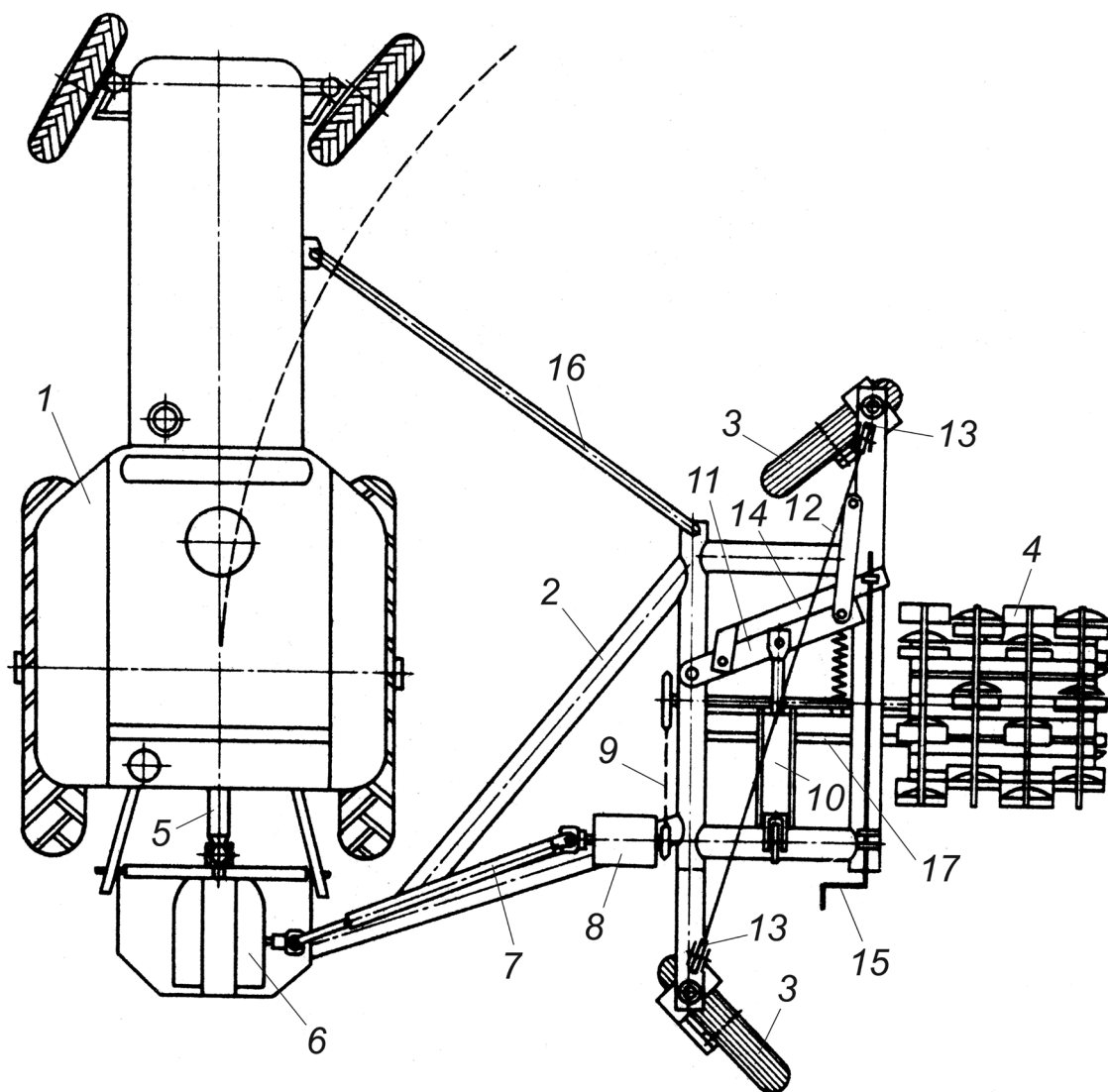


Рис. 4.8. Общий вид полунавесного разбрасывателя твердых органических удобрений из куч в круговую

В рабочее положение барабан переводится с помощью механизма подъёма, состоящего из выносного гидроцилиндра 10, рычага 11, троса 12 и направляющих блоков 19.

Расстояние от поверхности земли до нижней кромки барабана

устанавливается путем применения регулировочного механизма, состоящего из ограничительного рычага 14, перемещающегося в горизонтальной плоскости при помощи винта 15. Посредством этого же механизма рама фиксируется в транспортном положении.



а



б



в



г

Рис. 4.9. Полунавесной разбрасыватель твердых органических удобрений из куч в круговую: а) вид сзади; б) вид спереди; в) вид сбоку; г) в работе

Для обеспечения своевременного вылета частиц удобрений под барабаном 4 установлен выбросной порог 17.

В транспортном положении разбрасыватель движется за трактором 1, для чего достаточно отсоединить распорную тягу 16 от бокового лонжерона трактора 1 и зафиксировать самоустанавливающиеся колеса по направлению движения агрегата.

Разбрасыватель работает следующим образом. На краю поля тракторист переводит разбрасыватель из транспортного положения в рабочее. Для этого распорную тягу 16 он подсоединяет к правому лонжерону трактора 1.

Подъехав к куче удобрений на расстояние 1...2 метра, барабан 4 опускается в нижнее рабочее положение до высоты 5...10 мм над поверхностью земли. В таком положении барабан фиксируется ограничительным рычагом 14. Далее включается вал отбора мощности трактора 1 и начинается рабочий процесс. Двигается агрегат вокруг кучи удобрений по траектории Архимедовой спирали, при этом барабан 4 внедряется в кучу удобрений и разбрасывает ее.

4.3. Схема раскладки куч органических удобрений на поле и методы варьирования нормы их внесения

При использовании предлагаемой машины норму внесения удобрений целесообразно задавать варьируя весом куч. Осуществляется это путем объединения в одну кучу удобрений, последовательно привезенных несколькими транспортными средствами. Такой способ удобен, прежде всего, потому, что, во-первых, не предполагает изменение режимных параметров работы разбрасывающего агрегата; во-вторых, позволяет применять всегда одну и ту же схему раскладки куч по полю; в-третьих, обеспечен технически. Последнее вытекает из того, что отечественные фермерские хозяйства, прежде всего, располагают транспортными средствами именно малой грузоподъемности, позволяющими формировать кучи удобрений с необходимой градацией по весу. Например, тракторными шасси Т-16М, грузоподъемностью 0,95т и другими тракторно-транспортными агрегатами в составе тракторов МТЗ-80, ЮМЗ-6Л, Т-40М, Т-40АМ и прицепов 1-ПТС-2, 1-ПТС-4, 2-ПТС-4, 2-ПТС-6, грузоподъемностью от 2т до 6т, а также автомобилями типа ГАЗ-САЗ-53 [108].

Раскладка органических удобрений на поле (рис. 4.10) осуществляется таким образом, чтобы кучи удобрений 1 располагались в вершинах равносторонних треугольников в шахматном порядке. Разметку поля можно выполнить трактором класса 0,9 кН с однокорпусным плугом. Направление первого прохода агрегата определяется углом 60° по отношению к одной из

сторон поля. Остальные разметочные проходы первой группы выполняются параллельно первому, с расстоянием между ними 14...15 м. Так размечается вся площадь поля. После этого плужный агрегат меняет направление движения на 120° по отношению к проходам первой группы и, с тем же расстоянием 14-15 метров между проходами, по всей площади поля наносит разметочные борозды второй группы. Места пересечения разметочных бороздок 2 обеих групп указывают места укладки куч 1 удобрений.

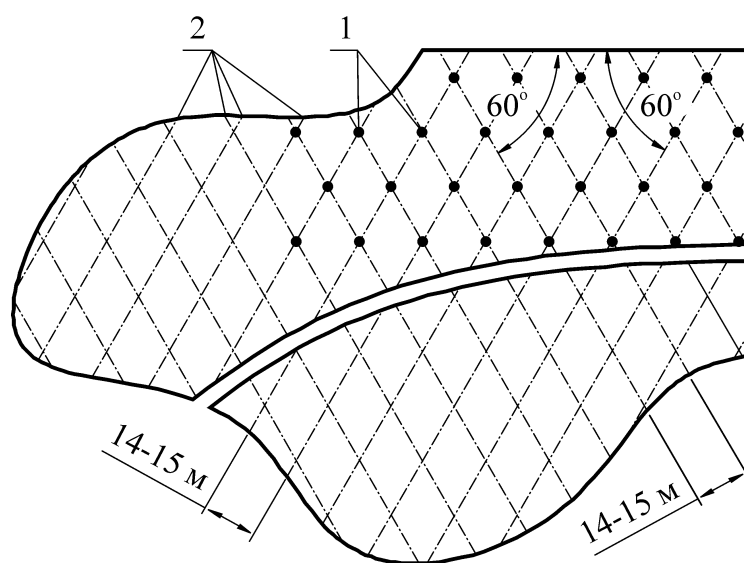


Рис. 4.10. Схема разметки поля

Для полевых испытаний был изготовлен опытный образец разбрасывателя. Исследования проводились на опытном поле учхоза им. 1 Мая и в хозяйствах Белгородского района Белгородской области.

Параметры рабочего органа соответствовали следующим показателям: обороты барабана — $42,92 \text{ рад}^{-1}$, положение лопаток к радиусу барабана — $10^\circ \dots 20^\circ$, угол охвата выбросным порогом барабана — 35° . Подача удобрений на лопатку барабана составляла $0,03 \dots 0,04 \text{ м}$, что соответствовало скорости движения трактора от $5,3$ до $7,1 \text{ км/ч}$. Испытания проводились на полуперепревшем навозе с влажностью $64 \dots 78\%$ соломистостью $10 \dots 15\%$. Полевые испытания проводились с нормами внесения удобрений

соответственно 20; 30; 40; 50 т/га, а вес куч соответственно составлял 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 т. Радиус разбрасывания без зоны перекрытия составлял 15 м, максимальный радиус разбрасывания составил 18 м.

Путем хронометражных наблюдений было установлено, что за час сменного времени производительность разбрасывателя составила около 40 тонн, при этом неравномерность внесения удобрений в пределах круговой области распределения была в пределах 22%. Результаты испытаний приведены на рис. 4.11. Плавные кривые получены путем аппроксимации экспериментальных данных полиномом третьей степени [104]

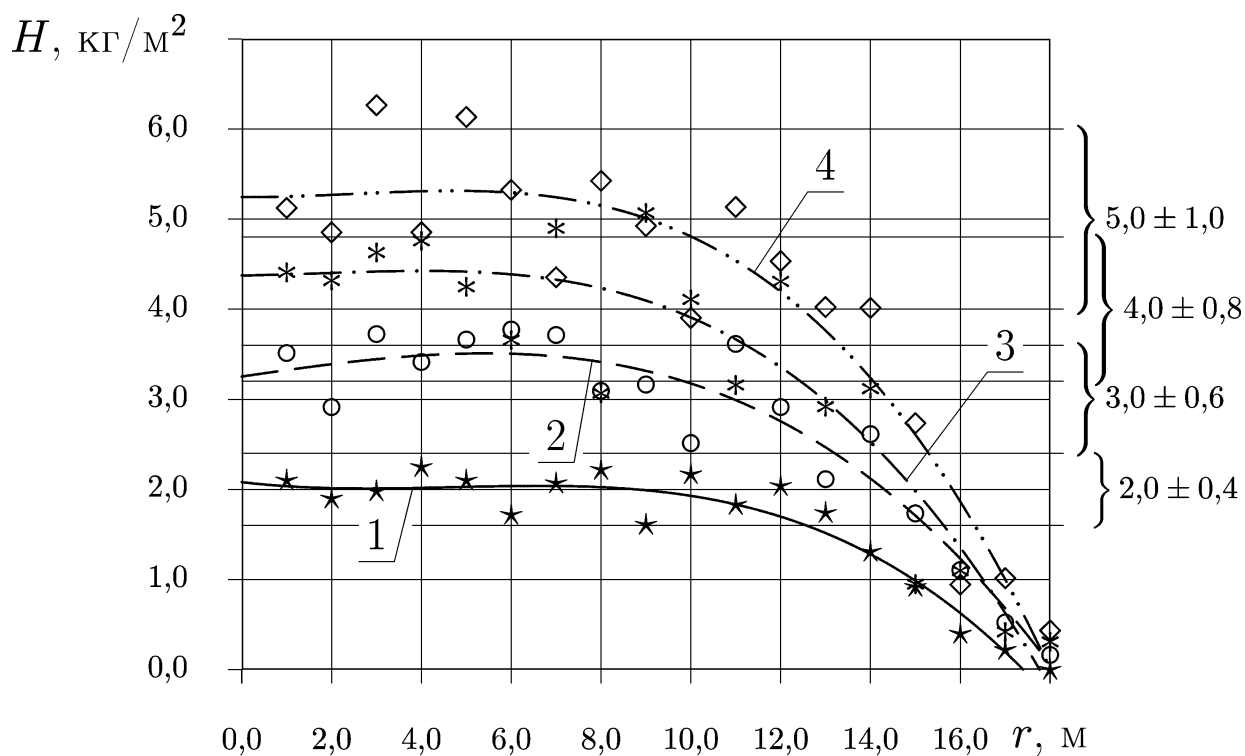


Рис. 4.11. Экспериментальные плотности распределения органических удобрений H (кг/м²) в зависимости от радиуса разброса r (м) для четырех норм внесения: 1 (☆) — 20 т/га; 2 (○) — 30 т/га; 3 (*) — 40 т/га; 4 (◇) — 50 т/га.

По результатам проведенных испытаний можно сделать следующие выводы. Кучи органических удобрений необходимо размещать на поле в точках пересечения ориентированных друг к другу под углом 60° двух

семейств параллельных прямых отстоящих одна от другой на 14...15 м, а подача удобрений на лопатку барабана должна быть в пределах 0,03...0,04 м/с, что соответствует скорости движения агрегата в пределах от 5,3 до 7,1 км/ч. При этом производительность разбрасывателя составит примерно 40 тонн в час, а неравномерность распределения удобрений в пределах круговой зоны распределения — $\pm 22\%$ от заданной величины нормы внесения.

ВЫВОДЫ

1. На основании теоретических исследований установлено рациональное соотношение радиусов $R_d : R_D$ не перекрывающейся области пятна разброса d к диаметру всего пятна разброса D является величина $\sqrt{3} - 1$.

2. На основании теоретических исследований установлено, что характер распределения удобрений по дальности разброса для участка зоны перекрытия $r \in [R_d, R_D]$, рассчитанное, по условиям максимально допустимого (25%) превышение нормы внесения удобрений, является нелинейной, выпуклой, монотонно убывающей функцией.

3. При выборе оптимального размещения куч удобрений на поле, установлено, что они должны располагаться в вершинах равносторонних треугольников со стороной $R_d + R_D$ или, в общих точках пересекающихся под углом 60° прямых, удаленных друг от друга на расстояние 14...15 м. Норму внесения удобрений предлагается устанавливать массой кучи удобрений.

4. Предлагаемый рабочий орган, и разбрасыватель в целом, а также метод его применения обеспечивает требуемую равномерность разбрасывания удобрений по поверхности поля в пределах $\pm 25\%$, при этом на подавляющей площади не перекрывающихся пятен разброса неравномерность составляет $\pm 22\%$.

5. Согласно предложенной компоновочной схемы, рабочий орган разбрасывателя размещен в центре минимального радиуса поворота трактора. Он представляет собой четырёх ручьевого барабан, с горизонтальной осью вращения, и с возможностью регулирования рабочей высоты его установки, а также перевода в транспортное положение.

РАЗДЕЛ 5
 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТ ВНЕДРЕНИЯ
 ПОЛУНАВЕСНОГО РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ
 УДОБРЕНИЙ ИЗ КУЧ ВКРУГОВУЮ

Расчет экономического эффекта за счет увеличения производительности разбрасывателя органических удобрений произведен в соответствии с «Методикой определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений», а также «Методикой определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники изобретений и рационализаторских предложений», [1, 109]

Время разбрасывания одной кучи удобрений определялось хронометрированием. Так при разбрасывании одной кучи удобрений массой 2т. время составило 2,3 мин., а с учётом подъезда и маневрирования к куче удобрений 2,8 мин.. При разбрасывании куч удобрений массой 3, 4, 5, тонн время соответственно составило 3,6, 4,1, 5,2 мин. с учётом подъезда до следующей. Производительность разбрасывателя за час сменного времени (коэффициент использования времени смены равен 0,75) при внесении удобрений 40 т/га составляет 42 т.

Годовой экономический эффект от применения полунавесного разбрасывателя органических удобрений из куч вкруговую определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_2 = \left(n_{\bar{o}} \frac{B_n}{B_{\bar{o}}} - n_n \right) A_z, \text{ грн.} \quad (5.1)$$

где, $n_{\bar{o}}$, n_n — годовые приведенные затраты, соответственно, по базовому и предлагаемому варианту, грн/т; $B_n/B_{\bar{o}}$ — коэффициент учёта роста производительности единицы нового средства труда по сравнению с базовым; A — годовой объём внесения удобрений, т.

Стоимость комплектующих и материалов [110] необходимых для изготовления разбрасывателя приведены в табл. 5.1. Структура заработной платы на изготовление разбрасывателя, а также иные затраты, включая общую цену разбрасывателя приведены, соответственно в табл. 5.2 и 5.3. Окончательная цена разбрасывателя составила — 12061 грн.

Таблица 5.1

Цена комплектующих изделий и материалов, необходимых для изготовления разбрасывателя

Материал	Единица измерения	Количество	Цена единицы материала, грн	Сумма, грн.
Редуктор	шт	1	541	541
Кардан 1	шт	1	530	530
Кардан 2	шт	1	280	280
Контрпривод	шт	1	200	200
Цепь двухручьевая (шаг 25,4)	м	2,8	170	170
Звёздочка двухручьевая (шаг 25,4) Z=32	шт	1	215	215
Звёздочка двухручьевая (шаг 25,4) Z=16	шт	1	140	140
Гидроцилиндр	шт	1	250	250
Колесо	шт	2	740*2	1480
Труба 100	т	0,085	3700 за 1т.	313.23
Уголок 75	т	0,017	3480 за 1т.	58.63
Уголок 100	т	0,043	3870 за 1т.	167.34
Лист 10 (Ст. 5)	т	0,068	3580 за 1т.	244.81
Рессорная сталь 6 мм.	т	0,034	5400 за 1т.	181.96
Подшипник (внутренний диаметр 50мм.)	шт	2	230*2	460
Основание барабана Ст. 5	кг	57	2580 за 1т	147
Круг 50	кг	27	3800 за 1т.	102,6
Швеллер 6	м	2,2	2480 за 1т.	28,8
Шланги гидравлические	м	5,4	39*4	156
Стоимость электроэнергии	кВт/час	3320	0,235	580.45
Итого				6246,82

Таблица 5.2

Структура заработной платы на изготовление разбрасывателя

Заработная плата	Единица. измерений	Затраты труда, чел/час	Часовая тарифная ставка, грн.	Сумма, грн
Сварщика	час	123	2,36	290,28
Слесаря сборщика	час	276	2,05	565,8
Токаря	час	54	2,36	127,44
Итого				983,52

Таблица 5.3

Ориентировочная структура затрат на изготовление разбрасывателя

Наименование статей расхода	Отчисления, %	Сумма, грн
Материалы		6246,82
Заработная плата		983,25
Социальное страхование	37,8	371,77
Общепроизводственные расходы	157,5	1549,04
Производственная себестоимость		9151,15
Административные расходы	91,5	899,92
Полная себестоимость		10051,08
Цена		10051,08
НДС	20	2010,22
Отпускная цена		12061,29

За базовый вариант принят разбрасыватель МТО-3 (стоимость его, по данным дистрибьюторской фирмы «Ирбис» г. Харькова, занимающейся реализацией разбрасывателей органических удобрений завода «Гомсельсельмаш» составляет 17000 грн.), агрегируемый трактором МТЗ-80, предлагаемый разбрасыватель агрегируется с тем же трактором.

Производительность ($W_{\text{час}} = 15$ т/час, при норме внесения 40...45 т/га и расход топлива $g = 0,73$ кг/т на единицу выполненной работы) базового агрегата были взяты из данных дистрибьюторской фирмы «Ирбис» .

Часовая производительность сменного времени предлагаемого разбрасывателя определена путём хронометражных наблюдений и составила — $W_{час} = 42$ т/час., при норме внесения 40 т/га, а расход топлива определён аналитическим путём по известной методике [111] и составил на единицу работы — $g = 0,274$ кг/т..

Исходные данные для расчетов экономической эффективности применения предлагаемого разбрасывателя приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4

Исходные данные для расчета экономической оценки предлагаемого полунавесного разбрасывателя органических удобрений из куч

Наименование показателей		Условные обозначения	Единицы измерения	Базовый вариант	Предлагаемый вариант
Производительность агрегата за час сменного времени		$B_{\delta}; B_n$	т/час.	15	42
Годовая нормативная загрузка: трактора		$T_{тр}$	час	1600	1600
машины		T_m	час	450	450
Количество обслуживающего персонала		P_p	чел	1	1
Часовая тарифная ставка		C	грн	2,36	2,36
Расход топлива		g	кг/т	0,73	0,274
Комплексная цена 1 кг топлива		$Ц_m$	грн/кг	2,1	2,1
Коэффициент отчисления на реновацию:	трактора,	$A_{тр}$		0,1	0,1
	машины	A_m		0,125	0,125
Коэффициент отчисления на капитальный ремонт трактора		$R_{тр}$		0,05	0,05
Коэффициент отчисления на капитальный ремонт и техническое обслуживание:	трактора,	$R_{м.о.тр}$		0,114	0,114
	машины	$R_{м.о.м}$		0,120	0,120
Коэффициент перевода оптовой цены в балансовую стоимость		E_{δ}		1,1	1,1
Нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений		E_n		0,15	0,15
Оптовая цена трактора		$Ц_{опт.тр}$	грн	68580	68580
Оптовая цена машины		$Ц_{опт.м}$	грн	17000	12061

Расчёт годового экономического эффекта при использовании предлагаемого разбрасывателя приведен в приложении А.1

Таблица 5.5

Результаты экономической эффективности внедрения разбрасывателя

Показатель	Машина		Изменения +;-
	Базовая	Проектная	
Производительность агрегата, т/час	15	42	+27
Годовая выработка, т.	6750	6300	-450
Эксплуатационные затраты, грн/т.	3,277	1,136	-2,141
Годовая экономия эксплуатационных затрат, грн.		11535,3	
Капиталовложения абсолютные, грн	17000	12061	-4939
Дополнительные капиталовложения, грн			
Годовой экономический эффект по приведенным затратам, грн		14496,3	
Общий годовой экономический эффект за счёт повышения производительности агрегата, грн.		62685	

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Органические удобрения являются важным фактором интенсификации сельскохозяйственного производства и улучшения плодородия почв.

2. Рассматривая природно–климатические зоны Украины необходимо отметить, что площади полей размером менее 30 га составляют около 30% в восточных областях, а также в Волынской Житомирской, Ровенской, Черниговской областях, в прикарпатских же областях, средний размер полевого участка составляет преимущественно 6 га, с сложной конфигурацией полей, а также с развитием фермерских хозяйств на Украине актуальным является вопрос разработки и производства средств механизации внесения твердых органических удобрений, учитывая мелкоплощадность фермерских хозяйств, а также сложность конфигурации полей, применение существующих кузовных навозоразбрасывателей становится менее эффективным, из-за высокой неравномерности (до 40%) их внесения удобрений.

3. Полученные в результате теоретических исследований закономерности движения частиц органических удобрений, и их распределения в зоне разбрасывания позволили установить расчетные геометрические и режимные параметры разбрасывающего устройства.

4. В предложенной работе получены уравнения по определению длины пути, пройденного частицей от начала движения до текущей точки, получены уравнения текущих координат от угла схода частиц удобрений к горизонту в любой момент положения их на траектории полета. Предложенные методики по определению параметров свободного полета частиц удобрений могут быть использованы в других подобных теоретических и практических задачах.

5. На основании экспериментальных исследований и полученных математических моделей установлено, что на характер распределения удобрений по поверхности поля решающее значение оказывают угол наклона лопатки к радиусу барабана, угол охвата барабана выбросным порогом, а также величина подачи удобрений на лопатку барабана.

6. Предложена математическая модель оценки равномерности распределения органических удобрений по площади внесения при разбрасывании их из куч круговым методом.

7. Результаты исследований дали возможность разработать конструкцию рабочего органа разбрасывателя, при торцевой подаче на него твердых органических удобрений из куч круговым методом, с следующими параметрами: частота вращения барабана $42,92 \text{ рад}^{-1}$, диаметр барабана 0,8 м., ширина барабана 0,8 м., угол установки лопатки к радиусу барабана от 10° до 20° , угол охвата барабана выбросным порогом 35° , положение ножа к радиусу барабана 10° . Рациональное значение подачи удобрений на лопатку барабана находится в пределах от 0,03 до 0,04 м., что соответствует скорости движения агрегата от 5,3 до 7,1 км/час. Предложенные параметры рабочего органа разбрасывателя позволяют вносить органические удобрения с неравномерностью в пределах одной круговой области разброса около 18...20% и по всей площади поля в пределах агротехнических требований $\pm 25\%$.

8. Кучи органических удобрений раскладываются на поле в виде равносторонних треугольников, с длинной стороны от 14 м. до 15 м., в вершинах которых будут располагаться кучи удобрений, норму внесения удобрений предполагается устанавливать за счёт выбора соответствующей общей массы куч.

9. Экономический эффект от применения предлагаемого разбрасывателя твердых органических удобрений из куч круговым методом за счет повышения производительности и снижения неравномерности внесения удобрений составляет 62685 гривен на одну машину в год.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Мосиук Ф.Е.* Удобрения и экономика сельскохозяйственного производства. – К.: Урожай, 1974. – 230 с.
2. *Лозановская И.Н.* Теория и практика использования органических удобрений. – М.: ВО Агропромиздат, 1987. – 96 с.
3. *Лазурский О.В.* Гній і мінеральні добрива у польових сівозмінах. – К.: Урожай, 1972. – 218с.
4. *Рекомендации* по снижению уплотняющего воздействия ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники на почву. – К.: Урожай, 1988. – 40с.
5. *Кушнарев А.С.* Механические воздействия сельскохозяйственной техники на почву // Проблемы снижения уплотняющего воздействия на ходовые системы трактора, мобильной сельскохозяйственной техники и рабочих органов почвообрабатывающих машин: Сб. н. тр. УСХА. – Киев, 1982. – С.21...29.
6. *Кушнарев А.С.* Проблемы повышения плодородия почв. //Техника в сельском хозяйстве. – 1989. №1. – С.4 – 7.
7. А.с. 148619 (СССР). Разбрасыватель удобрений /Цымбал А.Г. - Заявл. 17.07.1961, №738877/30-15, Оpubл. в Б.И. 1962, №13.
8. А.с. 266417 (СССР). Разбрасыватель органических удобрений из предварительно разложенных по полю куч /Марченко Н.М. Урдуханов Б.И. Рогачёв В.Р. и др. - Заявл. 16.01.1969, №1297023/30-15, Оpubл. в Б.И. 1970, №11.
9. А.с. 145813 (СССР). Навозоразбрасыватель /Рыков В.И., Кармазин А.Н. Заявл. 15.07.1961, №738503/30-15, Оpubл. в Б.И. 1962, №6.
10. А.с. 257184 (СССР). Разбрасыватель удобрений /Савёлов А.М., Нечитайло И.П.- Заявл. 17.07.1968, №1259298/30-15, Оpubл. в Б.И. 1969, №35.

11. А.с. 957783 (СССР). Разбрасыватель органических удобрений из куч. /Клименко Н.И. - Заявл. 20.06.1980, №2946218/30-15, Оpubл. в Б.И. 1982, №34.
12. А.с. 1017185 (СССР). Разбрасыватель органических удобрений из куч. /Клименко Н.И. - Заявл. 14.01.1981, №3237537/30-15, Оpubл. в Б.И. 1983, №18.
13. .с. 1017186 (СССР). Разбрасыватель органических удобрений из куч. /Клименко Н.И. - Заявл. 10.12.1981, №3366205/30-15, Оpubл. в Б.И. 1983, №18.
14. А.с. 1459621 (СССР). Разбрасыватель органических удобрений. /Макеев Н.З., Зайцев А.С., Никитенко А.И., Немцев А.А. Аникеев А.И., Красноруцкий А.Н.. - Заявл. 27.08.1986, №4109627/30-15, Оpubл. в Б.И. 1989, №7.
15. А.с. 176733 (СССР). Разбрасыватель удобрений /Цымбал А.Г. Бондаренко Н.И. Журавский О.А. и др.- Заявл. 12.09.1964, №920578/30-15, Оpubл. в Б.И. 1965, №23.
16. А.с. 246178 (СССР). Валкообразователь к разбрасывателю удобрений из куч /Соколов В.М., Брык Н.И., Линник Н.К., Гонза М.Г. - Заявл. 21.05.1968, №124926/30-15, Оpubл. в Б.И. 1969, №20.
17. А.с. 356981(СССР). Валкообразователь /Цымбал А.Г., Бондаренко Н.И., Журовский О.А. и др.- Заявл. 07.01.1971, №1614515/30-15, Оpubл. в Б.И. 1972, №33.
18. А.с. 397146(СССР). Валкообразователь к разбрасывателю удобрений из куч /Соколов В.М., Брык Н.И., Линник Н.К., Кравченко О.С.- Заявл. 21.01.1971, №1613133/30-15, Оpubл. в Б.И. 1973, №37.
19. А.с. 531507 (СССР). Валкообразователь к разбрасывателю удобрений из куч /Макеев Н.З., Зайцев А.С - Заявл. 20.11.1974, №2079262/30-15, Оpubл. в Б.И. 1976, №38.

20. А.с. 534196(СССР). Навесной валкообразователь разбрасывателя органических удобрений /Клименко Н.И - Заявл. 03.02.1975, №2102153/30-15,Опубл. в Б.И. 1976, №41.

21. А.с. 835324 (СССР). Валкообразователь органических удобрений /Макеев Н.З.. - Заявл. 12.04.1979, №2752032/30-15, Опубл. в Б.И. 1981, №21.

22. А.с. 1050593 (СССР). Валкообразователь к разбрасывателю удобрений из куч /Зайцев А.С., Макеев Н.З. - Заявл. 13.04.1982, №3421107/30-15, Опубл. в Б.И. 1983, №40.

23. А.с. 1297744 (СССР). Валкообразователь органических удобрений /Макеев Н.З., Зайцев А.С., Аникеев А.И., Красноруцкий А.Н. - Заявл. 26.03.1985, №3907344/30-15, Опубл. в Б.И. 1987, №11.

24. А.с. 1531883 (СССР). Валкообразователь органических удобрений /Макеев Н.З., Романащенко А.А., Красноруцкий А.Н Зайцев А.С., Аникеев А.И., - Заявл. 19.12.86, №4163637/30-15, Опубл. в Б.И. 1989, №48.

25. А.с. 1738119 (СССР). Валкообразователь органических удобрений /Макеев Н.З., Романащенко А.А., Аникеев А.И., Красноруцкий А.Н. Евсюков В.Я. Немцов А.А. - Заявл. 18.07.1990, №4883829/30-15, Опубл. в Б.И. 1992, №21.

26. А.с. 1817972 (СССР). Валкообразователь органических удобрений /Макеев Н.З., Романащенко А.А., Аникеев А.И., Красноруцкий А.Н. - Заявл. 30.04.1991, №4932853/30-15,Опубл. в Б.И. 1993, №20.

27. ОСТ.70. 7. 2 – 82. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для внесения твердых органических удобрений. Программа и методы испытаний. 75с.

28. *Брык Н.И.* Исследование процесса внесения органических удобрений из куч и обоснование параметров валкообразователя–разбрасывателя: Автореф. дис. кан. техн. наук. – Харьков, 1968. – 23с.

29. *Деменьтьев А.И.* К вопросу о равномерности внесения органических удобрений роторными разбрасывателями // Труды

Саратовского института мех. с.-х. им. Калинина, вып.38. – Саратов, 1965. – С.24...31.

30. *Макеев Н.З. Зайцев А.С.* Анализ работы валкообразующих устройств навозоразбрасывателей // Сельскохозяйственные машины. Сб. н. тр. МИИСП, т.9 вып.1, часть2. – М.,1972. – С.49...53.

31. *Урдуханов Б.И.* Исследование технологии и обоснование параметров валкообразователя–разбрасывателя с бункером компенсатором: Автореф. дис. канд.техн. наук. – М., 1972. – 21с.

32. *Мартиросян Г.Г.* Обоснование параметров и разработка рабочих органов машины для внесения твёрдых мелиорантов: Автореф. дис. кан. техн. наук. – Ереван, 1988. – 24с.

33. *Зайцев А.С.* Обоснование параметров и разработка устройства для формирования валка из куч органических удобрений: Автореф. дис. кан. техн. наук. – Харьков, 1990. – 23с.

34. *Аникеев А.И.* Сравнительный анализ различных типов разбрасывателей органических удобрений. // Совершенствование средств механизации поверхностного и внутрипочвенного внесения удобрений: Сб. науч.тр. МИИСП. – М.: 1983. – С.42...45.

35. А.с. 1172469 (СССР). Рабочий орган к разбрасывателю органических удобрений /Макеев Н.З.,Аникеев А.И. - Заявл.–29.03.1984, №3718871/30-15, Оpubл. в Б.И. 1985, №30.

36. А.с. 1120931 (СССР). Разбрасыватель органических удобрений из куч /Макеев Н.З.Аникеев А.И.. - Заявл. 29.03.1983, №3611996/30-15, Оpubл. в Б.И. 1984, №40.

37. А.с. 1303057 (СССР). Разбрасыватель органических удобрений из куч /Макеев Н.З., Аникеев А.И., Красноруцкий А.Н., Зайцев А.С.. - Заявл. 4.02.1985, №3854382/30-15, Оpubл. в Б.И. 1987, №14.

38. *Система* машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1986...1995 годы — 1988, 958 с.

39. *Вильямс В.Р.* Общее земледелие с основами почвоведения. – М.: Новый Агроном, 1931. – 376 с.
40. *Прянишников Д.Н.* Избранные сочинения: /в 3-х - т./ – М.: Колос, 1965. – Т.2, с. 58.
41. *Новиков В.М.* и др. Механизация уборки и утилизации навоза. – М.: Колос, 1982. – 286с.
42. *Якубаускас В.И.* Технологические основы механизированного внесения удобрений. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 230с.
43. *Догановский М.Г.* Механизация внесения удобрений – Л.: Колос, Ленинградское отделение, 1976. – 320с.
44. *Литвинов М.А.* и др. Механизация внесения удобрений. – М.: Россельхозиздат, 1973.
45. *Гимейн С.М.* Некоторые физико-механические свойства навоза // Науч. Тр. ВИМ т.32 – М.: 1963. – С.182–194.
46. *Марченко Н.М.* и др Совершенствование методики оценки показателей качества машин для внесения удобрений. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1984. №8. – С.16-18.
47. *Марченко Н.М.* и др. Комплексная механизация приго товления и внесения удобрений. - М.: Колос, 1974 – 388с.
48. *Сендряков И.Ф.* и др. Внесение минеральных и органических удобрений.
49. *Кастанди Ф.Ф.* Механизация уборки и утилизации навоза. – М.: Колос, 198
50. *Научные основы механизации внесения органических удобрений.* //Науч.тр. ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1974 – 287с.
51. *Маслов С.Ф.* Механизация приготовления, транспор тировки и внесения в почву органических и минеральных удобрений. – М.: 1964 – 85с.
52. А.с. 214891 (СССР). Разбрасыватель удобрений /Негреев Н.В., Леонов В.С., Решетило А.Ф., Крылов Д.В., Журба Р.М. - Заявл. 20.03.1967, №1142748/30-15, Оpubл. в Б.И. 1968, №12.

53. А.с. 351486 (СССР). Разбрасыватель органических удобрений /Клименко А.И., Писаренко П.М., Козуб Н.А., и др. - Заявл. 22.03.1971, №1635047/30-15, Оpubл. в Б.И. 1972, №28.

54. А.с. 104922 (СССР). Разбрасыватель удобрений /Гольцов А.А., Поздняков В.В. - Заявл. 22.03.1971, №1635047/30-15, Оpubл. в Б.И. 1972, №28.

55. А.с. 358987 (СССР). Разбрасыватель удобрений /Козак З.Н., Кустарёв В.П., Сендряков И.Ф. - Заявл. 08.11.1971, №1619376/30-15, Оpubл. в Б.И. 1972, №35.

56. *Лунев Ю.И.* Исследование рабочего процесса роторного разбрасывателя органических удобрений из куч: Дис. канд. техн. наук: 05.05.11. – Харьков, 1970. – 184 с.

57. А.с. 164835 (СССР). Ротор метателя / Внуков И.Т., Бондаренко Н.И., Федотов Н.М., Холодова Л.А. - Заявл. 01.07.1968, №1254885/30-15, Оpubл. в Б.И. 1970, №9.

58. А.с. 244757 (СССР). Рабочий орган к разбрасывателю удобрений из куч /Милованов А.П., Евхута А.А., Белгородский Б.И., Липская И.Н., - Заявл. 31.01.1968, №1215067/30-15, Оpubл. в Б.И. 1969, №18.

59. А.с. 303012 (СССР). Ротор метателя / Внуков И.Т., Бондаренко Н.И., Белгородский Б.И., Липская И.Н., Холодова Л.А. - Заявл. 18.07.1969, №1346409/30-15, Оpubл. в Б.И. 1971, №16.

60. А.с. 305839 (СССР). Ротор метателя /Внуков И.Т., Холодов Л.А. - Заявл. 18.05.1970, №1430259/30-15, Оpubл. в Б.И. 1971, №19.

61. А.с. 378165 (СССР). Рабочий орган к разбрасывателям удобрений. /Евтухов Н.И. - Заявл. 14.03.1964, №887191/30-15, Оpubл. в Б.И. 1965, №15.

62. А.с. 665838 (СССР). Рабочий орган разбрасывателя органических удобрений. /Макеев Н.З., Кладиенко А.А., Пшеничный В.П. - Заявл. 26.10.1976, №2419307/30-15, Оpubл. в Б.И. 1979, №21.

63. *Ясенецький В.Р.* Розкидачі органічних добрив //Пропозиція. –2002, №4, с.-104...108.

64. *Акулов П.Г.* и др. Оценка и анализ технологии внесения удобрений . //Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1983, №7 с3-5.
65. *Смирнов П.М., Муравин Э.А.* Агрехимия – //2-е изд., перераб. и доп. — М.: Колос, — 1984- 304 с.
66. *Ільченко В.Ю., Нагірний Ю.П., Джолос П.А.* та ін. Машиновікористання в землеробстві //За ред. Ільченко В.Ю., Нагірного Ю.П. — К.: Урожай, 1988.—387 с.
67. *Кругляков М.Л.* и др. Механизация подготовки и внесения удобрений. – М.: Колос, 1985.
68. *Василенко П.М.* Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. – УАСХН. – Киев, 1960.
69. *Киров В.С.* Исследование рабочего процесса вентиляторов броскового типа. — Автореф. дис....канд. техн. наук;. Ленинград, ЛСХИ 1964.
70. *Шабельник Б.П.* Процеси та обладнання в тваринництві. — Харків, НМЦЗН сільськогосподарських вузів України, 1999, 126 с.
71. *Заика П.М.* Избранные задачи земледельческой механики: Практ. Пособие.—Киев: УСХА, 1992.—512с.
72. *Лунев Ю.И. Макеев Н.З.* Экспериментальное определение некоторых параметров роторного разбрасывателя органических удобрений // Механизация процессов сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр., вып.15/. – Харьков, 1971.
73. *Романко В.К.* Курс дифференциальных уравнений и вариационного исчисления — М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000 — 344 с.
74. *Бермант А.Ф., Араманович И.Г.* Краткий курс математического анализа для втузов — М.: Наука, 1973, — 720 с.
75. *Егерев В.К., Кордемский Б.А., Зайцев В.В.* и др. Сборник задач по математике для поступающих во втузы // Под ред. Сканава Н.И. — 5-е изд.; перераб. и доп. — М.: Высш. шк.; 1988. — 431 с.

76. *Петкевич В.В.* Теоретическая механика // Уч. пособ. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981 — 496 с.
77. *Выгодский М.Я.* Справочник по высшей математике — М.: Гос. изд. технико-теор. лит., 1956 — 783 с.
78. *Заїка П.М.* Теорія сільськогосподарських машин // Машини для приготування і внесення добрив. Том 1 (ч. 3). — Харків: Око, 2002. — 352 с.
79. *Волков В.А.* приближенный расчет движения тела сопротивляющейся среде. // ЦБТИ тракторного и с.х. машиностроения, сб. науч. тр. ВИСХОМ, вып. 24, 1955 3–17 с
80. *Стеценко Т.Т.* К расчету дальности полета удобрений. // Конструирование и технология производства с. х.: рем. межвед. науч. техн. Сборник, вып. 9, 1979 — 27 — 28с.
81. *Якимов Ю.И.* Дальность полета при работе центробежных разбрасывателей // Механизация и электрификация с. х., 1984, №7
82. *Кегелес Е.С.* Скорость схода удобрений с диска центробежного разбрасывателя // Механизация и электрификация соц. с. х., 1979, №4 с. 17 — 18.
83. *Назаров С.И., Румянцев И.В.* О дальности полета частицы удобрений в сопротивляющейся среде. // Сб. науч. тр. ЦНИИМЭСХ том VII, 1969, 45 — 51 с.
84. *Оппоков Т.В.* Внешняя баллистика. — М., 1940.
85. *Жуковский Н.Е.* Полное собрание сочинений, вып. V // Оборонная промышленность.—М.: 1939..
86. Вопросы сельскохозяйственной механики. // Под редакцией М.Е. Мацепуро — т.14, Минск, Урожай, 1964.
87. *Шапиро Я.М.* Внешняя баллистика. М.: Оборонгиз, 1946.
88. *Кузьминов В.Е.* Законы и формулы физики. — К.: Наукова думка, 1989. — 864 с.

89. *Воронов И.Г., Кожуховский И.Е., Кольшев П.П., Павловский Г.Т.* Очистка и сортирование семян. — М.: Гос. изд. с.-х. литературы, 1959. — 581 с.
90. *Кленин Н.И., Саун В.А.* Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. — М.: Колос, 1980. — 671 с.
91. *Гернет М.М.*, Курс теоретической механики: Учеб. для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: “Вища школа”, 1973.—464 с
92. *Пискунов Н.С.*, Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов: Учеб. пособие для вузов. — 13-е изд. В двух томах. Т. 2. — М.: Наука, 1985. — 560 с.
93. *Брычков Ю.А., Марычев О.И., Прудников А.П.* Таблицы неопределенных интегралов. — М.: Наука, 1986. — 192 с.
94. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов сумм, рядов и произведений. 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Гос. изд. физ.-мат. литературы, 1963. — 1100 с.
95. *Фихтенгольц Г.М.*, Курс дифференциального и интегрального исчисления. В трех томах. Т. 2. — СПб.: “Лань”, 1997. — 800 с.
96. *Фурманов Р.И., Фурунжиев Р.И., Бабушкин Ф.М., Варавко В.В.* Применение математических методов и ЭВМ: Практикум. Учеб. пособие для вузов. — Минск: “Высшая школа”, 1988. — 191 с.
97. *Заика П.М., Мельник В.И., Аникеев А.И.* Свободное движение материальной точки в спокойной изотропной среде // Динамика и прочность машин: Вестник НТУ «ХПИ». Выпуск 25 / Харьков: ХГПУ, 2001. с.153 – 164.
98. *Заика П.М., Мельник В.И., Аникеев А.И.*, Оценка параметров, закона движения комков органических удобрений в процессе их полёта, после выброса роторным рабочим органом // Динамика и прочность машин: Вестник НТУ «ХПИ». Выпуск 10 т.2 ХГПУ, Харьков, 2002. С.43 – 55.

99. *Карл Де Бор*. Практическое руководство по сплайнам // Пер. с англ. Галицкого В.К., Шестакова С.А. / Под ред. Скурихина В.И. — М.: Радио и связь, 1985, — 304 с.

100. *Макеев Н.З., Аникеев А.И., Красноруцкий А.Н.* Влияние величины подачи органических удобрений на угол их схода с лопастей роторного разбрасывателя. //Механизация внесения удобрений на орошаемых землях: Сб. н. тр. МИИСП, М., - 1987. С. 109-112.

101. *Макеев Н.З. Аникеев А.И.,* Распределение органических удобрений по ширине захвата роторным разбрасывателем. // Механизация внесения удобрений: Сб. н. тр. УСХА, - Киев, 1990. С. 62-64.

102. *Макеев Н.З., Аникеев А.И., Красноруцкий А.Н., Романащенко А.А.* Оценка характера распределения частиц органических удобрений по углу их выхода с лопатки ротора к горизонту и их парусности. //Тракторная энергетика в растениеводстве: Сб. н. тр. ХГТУСХ, Харьков, 2000. С. 199-203.

103. *Марчук Г.И.* Методы вычислительной математики: Учеб. пособие. —3-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1989. — 600 с.

104. *Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л.* Методы сплайн функций. — М.: Наука, 1980. — 352 с.

105. *Аникеев А.И., Макеев Н.З., Красноруцкий А.Н.* Распределение твердых органических удобрений по полю из куч полунавесным разбрасывателем. //Механизация работ в полеводстве: Сб. н. тр. МИИСП, М.: 1986. - С. 81-85.

106. *Аникеев А.И., Мельник В.И.* О равномерности распределения органических удобрений по поверхности внесения //Механизация сільськогосподарського виробництва: Вісник ХДТУСГ, Випуск 12, Харків, 2002. С. 179 – 193

107. *Аникеев А.И., Мельник В.И.* Результаты полевых исследований полунавесного разбрасывателя органических удобрений из куч вкруговую // / Харків: ХДТУСГ, 2004 с.

108. *Барсуков А.Ф., Еленев А.В.* Справочник по сельскохозяйственной технике: — М.: Колос, 1981.—443 с.

109. *Мазнев Г.Е., Турченко М.М., Щетинин М.Д.* Економічне обґрунтування інженерних рішень в сфері АПК. Харків: ХДТУСГ, 2001.—401 с

110. *Дробот В.І., Зуб Г.І., Кононенко М.П.* та інші. Економічний довідник аграрника — Київ: «Агроінвест», — 2003, 890 с.

111. *Пастухов В.І., Чигирин А.Г., Джолос П.А.* та інші Довідник з машиновикористання в землеробстві. — Харків: «Веста» — 2001, 374с.

112. *Jim Wilkie:* "Farm implements", Ian Allan publishing — 2002 g, 128 str

113. *Peter Hansen, Lars Pedersen:* "Maskiner til markarbejde", Landbrugs forlaget — 2003 g, 156 str.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Удельные капиталовложения определяем по формуле:

$$K_{уд.} = \frac{E_{\delta}}{W_{см}} \left(\frac{Ц_{о.мп}}{T_{мп}} + \frac{Ц_{о.м.б.}}{T_{м}} \right), \text{ грн/т.} \quad (\text{A.1})$$

Базовый вариант:

$$K_{уд.б} = \frac{1,1}{15} \left(\frac{68580}{1350} + \frac{17000}{450} \right) = 6,49.$$

Предлагаемый вариант:

$$K_{уд.н} = \frac{1,1}{42} \left(\frac{68580}{1350} + \frac{12061}{150} \right) = 3,41.$$

Заработная плата обслуживающего персонала:

$$З = \frac{I}{W_{см.}} \cdot A_p \cdot C_p, \text{ грн/т.} \quad (\text{A.2})$$

Базовый вариант:

$$З_{\delta} = \frac{1}{15} \cdot 1 \cdot 2,36 = 0,157.$$

Предлагаемый вариант:

$$З_{н} = \frac{1}{42} \cdot 1 \cdot 2,36 = 0,056.$$

Затраты на реновацию машин:

$$A_{\delta} = \frac{E}{W_{см}} \left(\frac{Ц_{о.мп} \cdot A_{мп}}{T_{мп}} + \frac{Ц_{о.м} \cdot A_{м}}{T_{м}} \right), \text{ грн/т.} \quad (\text{A.3})$$

Базовый вариант:

$$A_{\delta} = \frac{1,1}{15} \left(\frac{68580 \cdot 0,1}{1350} + \frac{17000 \cdot 0,1}{450} \right) = 0,65.$$

Предлагаемый вариант:

$$A_{н} = \frac{1,1}{42} \left(\frac{68580 \cdot 0,1}{1350} + \frac{12061 \cdot 0,1}{150} \right) = 0,34.$$

Затраты на капитальный ремонт, текущий ремонт и техническое обслуживание:

$$R_{к.т.о.} = \frac{E}{W_{см}} \left[\frac{Ц_{о.мр} (R_{к.мр} + R_{м.о.мр})}{T_{мр}} + \frac{Ц_{о.м} \cdot R_{м.о}}{T_{м}} \right], \text{ грн/т.} \quad (\text{A.4})$$

Базовый вариант:

$$R_{к.т.о.б} = \frac{1,1}{15} \left[\frac{68580(0,050 + 0,114)}{1350} + \frac{17000 \cdot 0,120}{450} \right] = 0,94.$$

Предлагаемый вариант:

$$R_{к.т.о.н} = \frac{1,1}{42} \left[\frac{68580(0,050 + 0,114)}{1350} + \frac{12061 \cdot 0,120}{150} \right] = 0,47.$$

Затраты на горюче-смазочные материалы:

$$Г = Ц_{м} \cdot q, \text{ грн/т.} \quad (\text{A.5})$$

Базовый вариант:

$$Г_{б} = 2,1 \cdot 0,730 = 1,53.$$

Предлагаемый вариант:

$$Г_{н} = 2,1 \cdot 0,274 = 0,58.$$

Прямые эксплуатационные издержки на единицу выработки:

$$И_{уд} = 3 + A + R_{к.т.о} + Г, \text{ грн/т.} \quad (\text{A.6})$$

Базовый вариант:

$$И_{уд.б} = 0,157 + 0,65 + 0,94 + 1,53 = 3,277.$$

Предлагаемый вариант:

$$И_{уд.н} = 0,056 + 0,34 + 0,47 + 0,58 = 1,446.$$

Годовая экономия эксплуатационных затрат:

$$\mathcal{Э}_{з.экс} = (И_{уд.б} - И_{уд.н}) \cdot A_z, \text{ грн,} \quad (\text{A.7})$$

$$\mathcal{Э}_{з.экс} = (3,277 - 1,446) \cdot 6300 = 11535,3.$$

Срок окупаемости капиталовложений:

$$t = \frac{Ц_{о.м.н.}}{\mathcal{Э}_{з.экс}}, \text{ лет,} \quad (\text{A.8})$$

$$t = \frac{12061.29}{11535,3} = 1,09.$$

Приведенные затраты на единицу выработки:

$$n = I_{y\delta} + E_n \cdot K_{y\delta}. \quad (\text{A.9})$$

Базовый вариант:

$$n_{\delta} = 3,277 + 0,15 \cdot 6,49 = 4,2505.$$

Предлагаемый вариант:

$$n_n = 1,446 + 0,15 \cdot 3,41 = 1,95.$$

Годовой экономический эффект на единицу выработки за счёт повышения производительности:

$$\mathcal{E}_{z,y\delta} = n_{\delta} - n_n, \quad (\text{A.10})$$

$$\mathcal{E}_{z,y\delta} = 4,2505 - 1,95 = 2,301.$$

Годовой экономический эффект на единицу выработки за счёт повышения производительности:

$$\mathcal{E}_z = \mathcal{E}_{z,y\delta} \cdot A_z, \quad (\text{A.11})$$

$$\mathcal{E}_z = 2,301 \cdot 6300 = 14496,3.$$

Общий годовой экономический эффект за счёт повышения производительности на один агрегат выполнен по формуле (5.1)

$$\mathcal{E}_z = \left(4,25 \cdot \frac{42}{15} - 1,95 \right) \cdot 6300 = 62685.$$



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

" 17 " ноября 1988 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

РЕКТОР ХИМЭСХ

" 14 " ноября 1988 г.



А К Т

о внедрении законченной научно-исследовательской, опытно-конструкторской работы (нужное подчеркнуть)

Мы, нижеподписавшиеся, представитель Харьковского института механизации и электрификации сельского хозяйства в лице руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы, доцента Макеева Н.З.

и представитель Белгородского областного объединения "Агропромхимия"

(наименование организации, предприятия)

председателя объединения "Агропромхимия" Зеликова А.Я.

в лице

составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы на тему "Разработка конструкции, изготовление и исследование работы валкователя-разбрасывателя органических удобрений."

выполненной кафедрой (лабораторией) "Эксплуатация МТП"

в период с 1 января 1988 г. по 31 декабря 1988 г. внедрены

на Белгородском областном объединении "Агропромхимия"

(предприятие, организация)

путем внесения органических удобрений

(месяц, год)

с неравномерностью 25%

(указать, в чем выражается внедрение)

с внедрением изобретения по а-с № _____

Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию (организации) получить за счет повышения производительности следующий технико-экономический эффект агрегата и повышения качества распределения удобрений по поверхности поля - 281707 рублей.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению **Работы по исследованию технологии внесения органических удобрений и совершенствованию конструкции валкователей-разбрасывателей необходимо продолжить.**

Данный акт не является основанием для денежных расчетов.

Представитель
предприятия, организации

А. С. Сидоренко
(подпись)

«17» ноября 1988 г.

Представитель,
научный руководитель группы

А. И. Аникиев
(подпись)

«12» ноября 1988 г.

Исполнители: **Макеев Н.З. - 25%**
Аникиев А.И. - 25%
Романашенко А.А. - 25%
Красноруцкий А.Н. - 25%

Приложение А.5

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

М. П.



1989 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

ДИРЕКТОР ХИМЭСХ

М. П.



1989 г.

А К Т

о внедрении законченной научно-исследовательской, опытно-конструкторской работы (нужное подчеркнуть)

Мы, нижеподписавшиеся, представитель Харьковского института механизации и электрификации сельского хозяйства в лице руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы, доцента Макеева Н.З.

и представитель Белгородского областного объединения "Агрохимия"
(наименование организации, предприятия)

в лице председателя объединения "Агрохимия" Зеликова А.Я.

составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы на тему "Разработка конструкции, изготовление и исследование работы валкователя-разбрасывателя органических удобрений."

выполненной кафедрой (лабораторией) "Эксплуатация МТП"

в период с 1 января 1989 г. по 31 декабря 1989 г. внедрены на Белгородском областном объединении "Белгородпромхимия"
(предприятие, организация)

путем внесения органических удобрений
(месяц, год)
с неравномерностью 20%
(указать, в чем выражается внедрение)

с внедрением изобретения по а-с № _____

Внедрение результатов исследований дает возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект за счет повышения урожайности

сельскохозяйственных культур - 86400 рублей

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению **Работы по исследованию технологии внесения органических удобрений и совершенствованию конструкции валкователей-разбрасывателей необходимо продолжать.**

Данный акт не является для денежных расходов.

Представитель
предприятия, организации
Зеликов А.Я.
(подпись)
198⁹ г.



Представитель,
научный руководитель группы
Макеев Н.З.
(подпись)

11 декабря 198⁹ г.

Исполнители:

Макеев Н.З. - 25 %
Аникеев А.И. - 25 %
Романашенко А.А. - 25 %
Красноручкий А.Н. - 25 %

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

„ 23 „ декабря 1989 г.

М. П.

«УТВЕРЖДАЮ»

РЕКТОР ХИМЭСХ

„ 20 „ декабря 1989 г.

М. П.

А К Т

о внедрении законченной научно-исследовательской, опытно-конструкторской работы (нужное подчеркнуть)

Мы, нижеподписавшиеся, представитель Харьковского института механизации и электрификации сельского хозяйства в лице руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы, доцента Макеева Н.З.

и представитель Белгородского областного объединения "Белгородагропромхимия"
(наименование организации, предприятия)

в лице председателя объединения Евсюкова Т.П.

составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы на тему "Разработка конструкции, изготовление и исследование рабочих органов и привода разбрасывателя органических удобрений"

выполненной кафедрой (лабораторией) "Эксплуатация МТП"

в период с 1 января 1988 г по 31 декабря 1990 внедрены на Белгородском областном объединении "Белгородагропромхимия"
(предприятие, организация)

путем внесения органических удобрений
(месяц, год)
с неравномерностью 25 %
(указать, в чем выражается внедрение)


с внедрением изобретения по а-с № _____

Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект за счет повышения урожайности сельскохозяйственных культур - 69600 рублей

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению **Работы по исследованию технологии внесения органических удобрений и совершенствованию конструкции валкователей-разбрасывателей необходимо продолжить**

Данный акт не является документом для денежных расчетов.

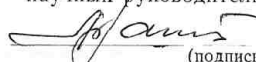
Представитель
предприятия, организации


Сысоев В.А.
(подпись)

“ **декабря** 198 **90** г.



Представитель,
научный руководитель группы


Макеев Н.З.
(подпись)

“ **декабря** 198 **90** г.

Исполнители:

Макеев Н.З. - 25 %
Аникеев А.И. - 25 %
Романашенко А.А. - 25 %
Краснорудий А.Н. - 25 %

Акт

опытно – производственного внедрения валкообразователя – разбрасывателя для внесения твердых органических удобрений из куч.

Мы, ниже подписавшиеся, представители ОАО «УКРНИИСХОМ» г. Харьков и представители кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка» Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени П. Василенка, составили настоящий акт в том, что с 5 мая по 30 мая 2004 года произведено опытно–производственное внедрение экспериментального образца валкообразователя-разбрасывателя для внесения твердых органических удобрений из куч, разработанного в ХНТУСХ им. П. Василенка.

Валкообразователь - разбрасыватель представляет собой: валкователь – с активным дозирующим устройством, которое размещено на опорном колесе, делитель для деления куч весом более 3 тон. Наличие активного дозирующего устройства обеспечивает формирование равномерного по плотности и неразрывного валка.

Разбрасыватель барабанного типа предусматривающий торцевую подачу удобрений на его лопатку, рабочий орган разбрасывателя представляет собой барабан с 8-мью ручьями лопаток, четыре ручья обеспечивают верхний выброс удобрений, а остальные четыре нижний выброс. Такая компоновка рабочего органа позволяет установить лопатки на каждый из ручьев под различными углами к радиусу барабана. Это позволяет обеспечить выход удобрений с лопаток под различными углами и более качественно распределять их в зоне разбрасывания, обеспечивая по ширине захвата агрегата неравномерность около 22-25%.

Комиссия считает, что представленный валкообразователь-розбрасыватель значительно улучшает качество распределения твердых органических удобрений по сравнению с работой РУН – 15Б имеющихся в области и районе.

Валкообразователь – разбрасыватель может агрегатироваться с тракторами класса 3т, как с гусеничными так и колесными. При внесении удобрений одним агрегатом в нескольких хозяйствах комплектование агрегата на базе колесных тракторов делает этот агрегат мобильным не требующим дополнительных затрат при переездах между хозяйствами.

Комиссия рекомендует – изготовить и провести испытания в условиях хозяйств Харьковского района.

Председатель правления
ОАО «УКРНИИСХОМ»

Зав. отделом разработок
и испытаний машин

Исполнители:



Лаврик Н.Ф.

Качанов В.В.

Аникеев А.И.
Романашенко А.А.
Красноруцкий А.Н.
Зайцев А.С.

Аникеев



СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 1120931

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР,
Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий
выдал настоящее авторское свидетельство на изобретение:
"Разбрасыватель органических удобрений из куч"

Автор (авторы): **Макеев Николай Захарович и Аникеев
Александр Иванович**

Заявитель: **ХАРЬКОВСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИЗАЦИИ И
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Заявка № 3611996 Приоритет изобретения 29 марта 1983г.
Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений СССР

1 июля 1984г.
Действие авторского свидетельства распро-
страняется на всю территорию Союза ССР.

Председатель Комитета 

Начальник отдела 





СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1120931 A

3(5D) A 01 C 3/06

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

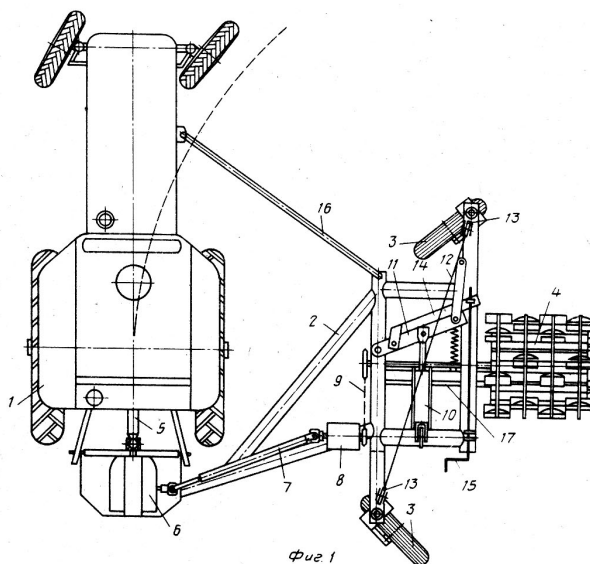
ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

- (21) 3611996/30-15
 (22) 29.03.83
 (46) 30.10.84. Бюл. № 40
 (72) Н. З. Макеев и А. И. Аникеев
 (71) Харьковский институт механизации
и электрификации сельского хозяйства
 (53) 631.333(088.8)
 (56) 1. Авторское свидетельство СССР
№ 665838, кл. А 01 С 3/06, 1977.
 2. Авторское свидетельство СССР
№ 104922, кл. А 01 С 3/06, 1956 (прототип).
 (54) (57) 1. РАЗБРАСЫВАТЕЛЬ ОРГАНИ-
ЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ ИЗ КУЧ, содержа-
щий самоходное шасси, на котором смон-
тирована рама с опорными колесами и при-

водной роторный рабочий орган, а также
направитель, отличающийся тем, что, с
целью повышения равномерности разбра-
сывания удобрений по поверхности поля,
рама с рабочим органом смонтирована сбо-
ку шасси, при этом роторный рабочий орган
выполнен в виде барабана, ось вращения
которого перпендикулярна направлению
движения шасси, причем барабан располо-
жен от оси симметрии шасси на расстоянии,
равном его минимальному радиусу поворота.

2. Разбрасыватель по п. 1, отличающийся
тем, что колеса рамы выполнены само-
устанавливающимися.



(19) SU (11) 1120931 A

1120931

1

2

Изобретение относится к сельскохозяйственному машиностроению, в частности к машинам для разбрасывания органических удобрений.

Известен разбрасыватель органических удобрений из куч, включающий валкообразователь, самоходное шасси, приводной рабочий орган роторного типа [1].

Недостатком этого разбрасывателя является низкая равномерность разбрасывания удобрений по полю, которая связана с тем, что формирование вала при малых дозах внесения удобрений происходит некачественно.

Известен также разбрасыватель органических удобрений из куч, содержащий самоходное шасси, на котором смонтирована рама с опорными колесами и приводной роторный рабочий орган, а также направитель [2].

Однако для работы этого разбрасывателя необходимо укладывать рядами кучи с массой 400—600 кг и расстоянием между ними около 3 м. Учитывая грузоподъемность современных транспортных средств (от 3 т и выше) уложить кучи с такой массой представляет значительные трудности. При прямолинейном проходе разбрасывателя по ряду куч удобрений лопасти швырялки касаются поверхности почвы по линии в направлении движения агрегата, поэтому удобрения, расположенные по сторонам от линии соприкосновения лопастей швырялки с почвой, не захватываются ими и могут быть разбросаны при повторных проходах, что ведет к снижению производительности и качества распределения удобрений по полю.

Цель изобретения — повышение равномерности разбрасывания удобрений по поверхности поля.

Указанная цель достигается тем, что в разбрасывателе органических удобрений из куч, содержащем самоходное шасси, на котором смонтирована рама с опорными колесами и приводной роторный рабочий орган, а также направитель, рама с рабочим органом смонтирована сбоку шасси, при этом роторный рабочий орган выполнен в виде барабана, ось вращения которого перпендикулярна направлению движения шасси, причем барабан расположен от оси симметрии шасси на расстоянии, равном его минимальному радиусу поворота.

Колеса рамы выполнены самоустанавливающимися.

На фиг. 1 изображен разбрасыватель органических удобрений из куч, вид сверху; на фиг. 2 — то же, вид сзади.

Разбрасыватель состоит из самоходного шасси 1, на котором с помощью рамы 2, имеющей самоустанавливающиеся колеса 3, установлен роторный рабочий орган, выполненный в виде барабана 4, который смонтирован таким образом, что его ось вращения перпендикулярна направлению движения шасси, при этом барабан 4 находится от оси симметрии шасси 1 на расстоянии, равном его минимальному радиусу поворота.

Барабан 4 приводится во вращение от вала отбора мощности шасси 1 с помощью двойного карданного сочленения 5, редуктора 6, карданного вала 7 с предохранительной муфтой, контрпривода 8 и цепной передачи 9.

В транспортное положение барабан 4 переводится с помощью механизма подъема, состоящего из выносного гидроцилиндра 10, рычага 11, троса 12 и направляющих блоков 13.

Для регулирования высоты установки барабана 4 над поверхностью поля и его стопорения в транспортном положении предусмотрен рычаг 14, перемещающийся в горизонтальной плоскости при помощи винта 15.

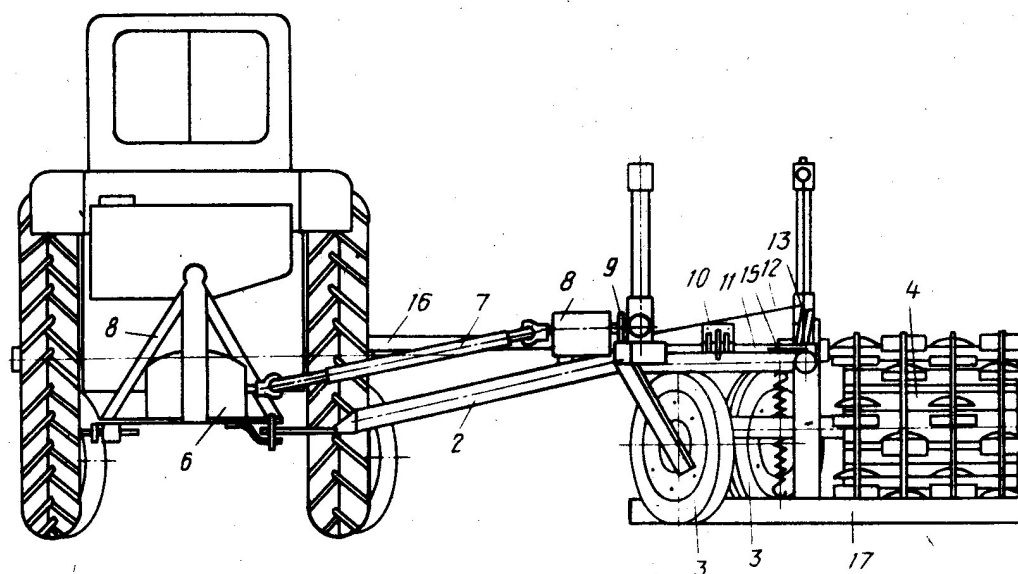
Для движения разбрасывателя вслед за шасси 1 при переездах с поля на поле предусмотрено отсоединение роторной тяги 16 рамы 2 от шасси 1. Под барабаном 4 установлен направитель 17.

Разбрасыватель работает следующим образом.

После приезда на поле разбрасыватель переводится в рабочее положение, для чего распорная тяга 16 подсоединяется к шасси 1. Подъехав к куче удобрений на расстояние 1—2 м, барабан 4 опускается в нижнее рабочее положение с помощью механизма подъема и стопорится рычагом 14. Затем барабан 4 приводится во вращение от вала отбора мощности, шасси 1 и разбрасыватель начинают двигаться вокруг кучи по траектории Архимедовой спирали. При этом барабан 4 постепенно углубляется и разбрасывает кучу удобрений.

Применение предлагаемого изобретения позволяет повысить равномерность разбрасывания органических удобрений из куч по поверхности поля при одновременном снижении энергетических затрат на процесс разбрасывания вследствие исключения затрат энергии на валкообразование.

1120931



Фиг. 2

Редактор И. Касарда
Заказ 7601/1

Составитель В. Куровцев
Техред И. Верес
Тираж 721

Корректор И. Муска
Полное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5
Филiaal ППП «Патент», г. Ужгород, ул. Проектная, 4

Аникеев



СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 1303057

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР, Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий выдал настоящее авторское свидетельство на изобретение:

"Разбрасыватель органических удобрений из куч"

Автор (авторы): **Макеев Николай Захарович, Аникеев Александр Иванович, Красноруцкий Александр Николаевич и Зайцев Анатолий Сергеевич**

Заявитель: **ХАРЬКОВСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Заявка № **3854382** Приоритет изобретения **14 февраля 1985г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР
15 декабря 1986г.

Действие авторского свидетельства распространяется на всю территорию Союза ССР.

Председатель Комитета 

Начальник отдела 





СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1303057 A 2

(5D) 4 А 01 С 3/06

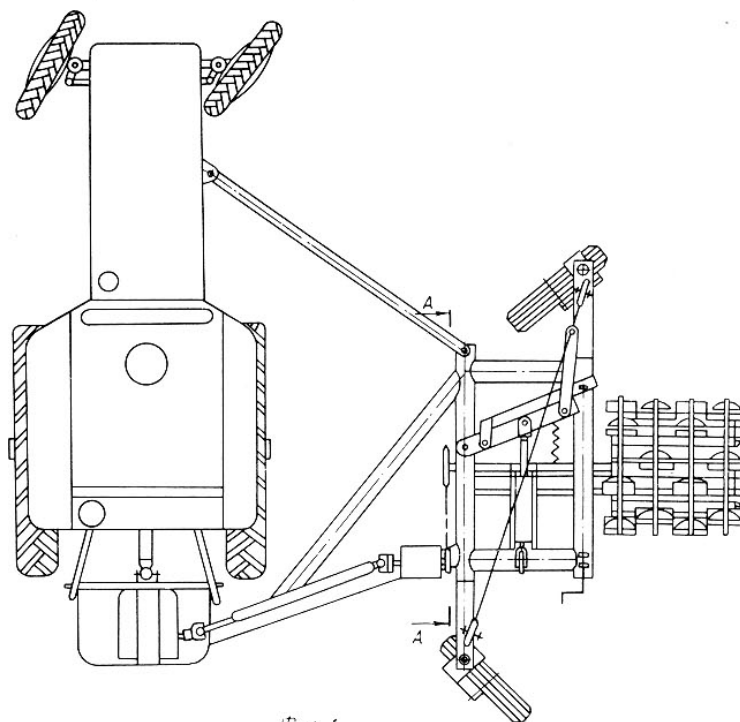
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

- (61) 1120931
(21) 3854382/30-15
(22) 14.02.85
(46) 15.04.87. Бюл. № 14
(71) Харьковский институт механизации
и электрификации сельского хозяйства
(72) Н. З. Макеев, А. И. Аникеев, А. Н. Крас-
норуцкий и А. С. Зайцев
(53) 631.333(088.8)
(56) Авторское свидетельство СССР
№ 1120931, кл. А 01 С 3/06, 1984.
(54) РАЗБРАСЫВАТЕЛЬ ОРГАНИЧЕС-
КИХ УДОБРЕНИЙ ИЗ КУЧ
(57) Изобретение относится к области сель-
скохозяйственного машиностроения. Целью

изобретения является повышение надеж-
ности и качества работы. Разбрасыватель со-
держит раму 1, барабан 2, направитель 3,
который установлен на раме 1 шарнирно
посредством четырехзвенного механизма 4 и
подпружинен относительно рамы пружиной
10. Это позволяет при попадании посторо-
нного предмета между барабаном 2 и на-
правителем 3 отклоняться последнему, и че-
рез зазор посторонний предмет свободно
выталкивается. Причем при отклонении на-
правителя 3 от барабана угол направителя
относительно поверхности поля не изменя-
ется, что способствует улучшению распреде-
ления удобрений по поверхности поля. 1 з.п.
ф-лы, 4 ил.



Фиг. 1

(19) SU (11) 1303057 A 2

1303057

1

Изобретение относится к сельскохозяйственному машиностроению, в частности к машинам и орудиям для разбрасывания органических удобрений.

Целью изобретения является повышение надежности и качества работы.

На фиг. 1 изображен разбрасыватель органических удобрений, общий вид; на фиг. 2 — разрез А—А на фиг. 1; на фиг. 3 — разрез Б—Б на фиг. 2; на фиг. 4 — узел I на фиг. 1.

Разбрасыватель органических удобрений из куч содержит раму 1, разбрасывающий барабан 2, направитель 3, который установлен на раме 1 посредством четырехзвенного механизма 4, установленного на раме 1 шарнирно с помощью осей 5 и 6. Для регулирования зазора между барабаном 2 и направителем 3 предусмотрен упор, содержащий гайку 7, присоединенную жестко к звену четырехзвенного механизма 4 направителя 3, и регулировочный винт 8 с контргайкой 9.

Направитель 3 с помощью упругого элемента 10 подпружинен относительно рамы 1.

Для того, чтобы направитель 3 отклонялся от образующей барабана 2 на необходимое расстояние, радиус его поворота выполнен больше радиуса барабана 2.

Разбрасыватель работает следующим образом.

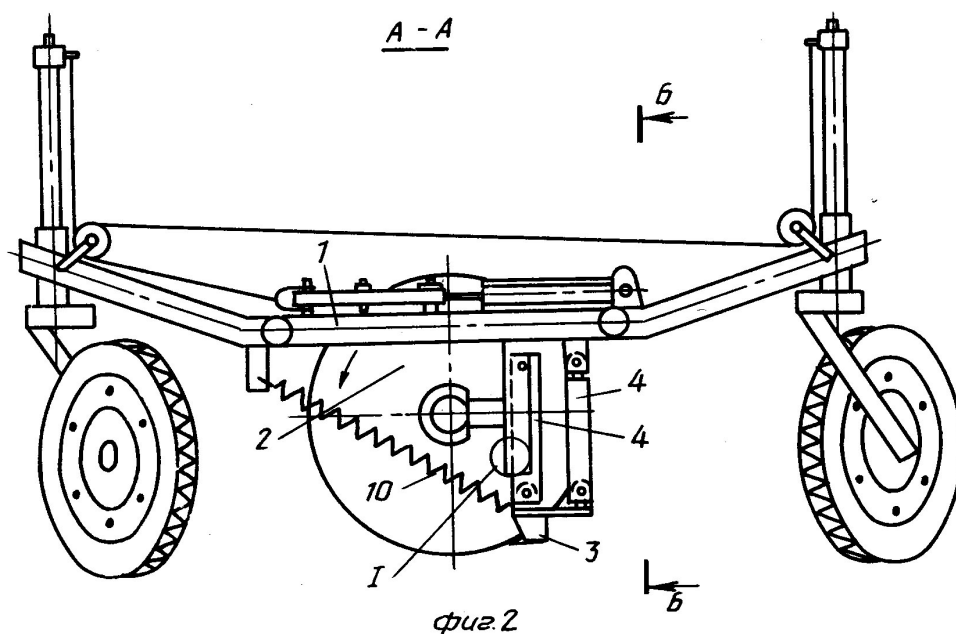
2

При попадании постороннего предмета между барабаном 2 и направителем 3 под действием выталкивающей силы, создаваемой барабаном 2, направитель 3, растягивая упругий элемент 10, отклоняется, при этом образуется зазор, через который посторонний предмет выталкивается, не вызывая поломки рабочего органа, после чего под действием упругого элемента 10 направитель 3 возвращается в рабочее положение, отрегулированное упором. При отклонении направителя 3 от барабана 2 угол направителя относительно поверхности поля не изменяется, что способствует улучшению распределения удобрений по поверхности поля разбрасывателем.

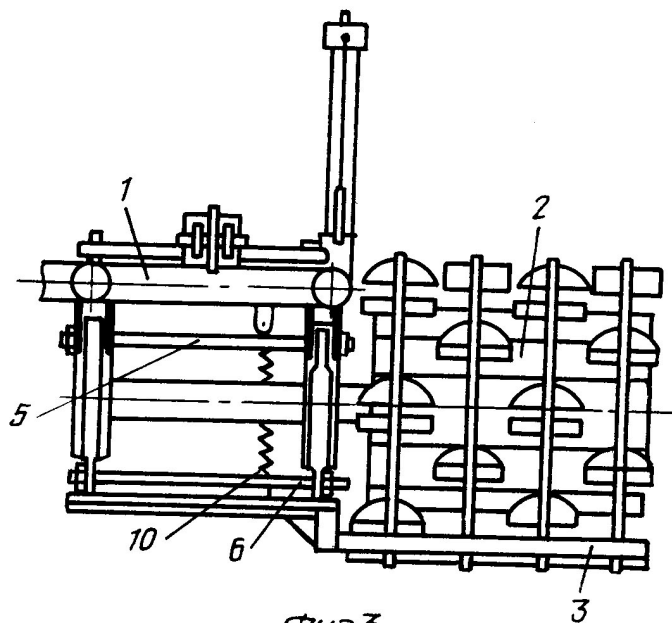
Формула изобретения

1. Разбрасыватель органических удобрений из куч по авт. св. № 1120931, отличающийся тем, что, с целью повышения надежности и качества работы, направитель установлен на раме шарнирно посредством четырехзвенного механизма и подпружинен относительно ее.

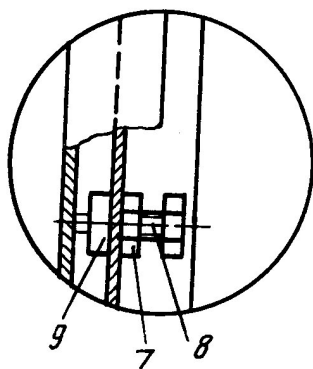
2. Разбрасыватель по п. 1, отличающийся тем, что направитель имеет регулируемый упор.



1303057

Б-Б

Фиг. 3

I

Фиг. 4

Редактор А. Лежнина
 Заказ 1232/1
 ВНИИПИ Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5
 Производственно-полиграфическое предприятие, г. Ужгород, ул. Проектная, 4

Составитель М. Подоляк
 Техред И. Верес
 Тираж 630

Корректор А. Зимокосов
 Подписное

Аникеев



СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 1172469

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР,
Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий
выдал настоящее авторское свидетельство на изобретение:
"Рабочий орган к разбрасывателю органических удобрений"

Автор (авторы): **Макеев Николай Захарович** и **Аникеев Александр Иванович**

Заявитель: **ХАРЬКОВСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИЗАЦИИ И
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Заявка № 3718871 Приоритет изобретения 29 марта 1984 г.
Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР

15 апреля 1985 г.
Действие авторского свидетельства распространяется на всю территорию Союза ССР.

Председатель Комитета *[Signature]*

Начальник отдела *[Signature]*





СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1172469** **A**

(51)4 A 01 C 3/06

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 3718871/30-15

(22) 29.03.84

(46) 15.08.85. Бюл. № 30

(72) Н. З. Макеев и А. И. Анисеев

(71) Харьковский институт механизации и
электрификации сельского хозяйства

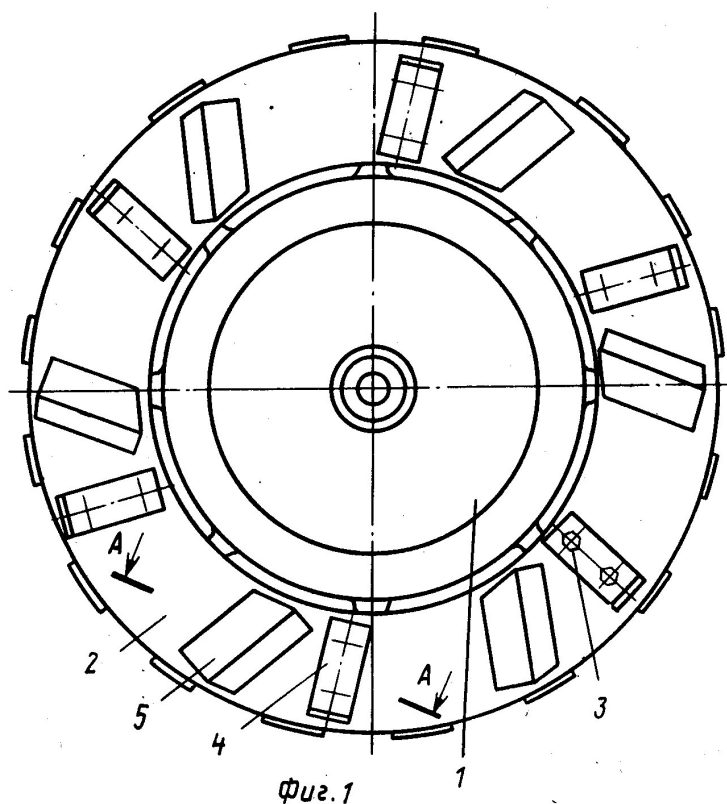
(53) 631.333(088.8)

(56) Авторское свидетельство СССР
№ 303012, кл. А 01 С 3/06, 1971.

Авторское свидетельство СССР
№ 1036269, кл. А 01 С 3/08, 1983.

(54) (57) 1. РАБОЧИЙ ОРГАН К РАЗБРА-
СЫВАТЕЛЮ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕ-
НИЙ, содержащий закрепленные на валу
диски с лопастями и ножами, отличающийся
тем, что, с целью повышения эксплуатацион-
ной надежности, ножи закреплены на дис-
ках, причем наружные кромки лопастей и
ножей расположены на окружности с мень-
шим диаметром, чем диаметр дисков.

2. Рабочий орган по п. 1, отличающийся
тем, что лопасти жестко закреплены на диске.



(19) **SU** (11) **1172469** **A**

1172469

2

1
Изобретение относится к сельскохозяйственному машиностроению, а именно к машинам для внесения органических удобрений.

Цель изобретения — повышение эксплуатационной надежности рабочего органа.

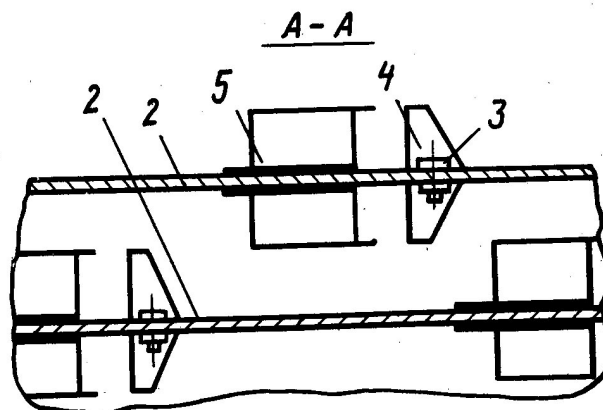
На фиг. 1 изображен рабочий орган к разбрасывателю органических удобрений, общий вид; на фиг. 2 — разрез А-А на фиг. 1.

Рабочий орган к разбрасывателю органических удобрений включает вал 1, на котором закреплены диски 2. На дисках жестко закреплены при помощи болтов 3 ножи 4 и лопасти 5, причем наружные кромки лопастей 5 и ножей 4 расположены на окружности с меньшим диаметром, чем диаметр дисков 2.

2
Рабочий орган работает следующим образом.

5
10
Органические удобрения при движении разбрасывателя поступают к разбрасывающему рабочему органу. Ножи 4 отрезают от основной массы порции удобрений, а следом идущие за ними лопасти 5 их захватывают. Под действием центробежных сил и лопастей 5, установленных под разными углами к радиусу барабана (по длине барабана), удобрения выбрасываются под различными углами к горизонту, что дает возможность устанавливать необходимое распределение удобрений в направлении разбрасывания.

15
При попадании крупных посторонних предметов (камни, доски, скребки транспортеров и др.) рабочий орган перекачивается через них на дисках 2, что предохраняет от повреждения ножи 4 и лопасти 5.



Фиг. 2

Редактор А. Ревин
Заказ 4926/1

Составитель М. Подоляк
Техред И. Верес
Тираж 743

Корректор В. Бутыга
Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5
Филиал ППП «Патент», г. Ужгород, ул. Проектная, 4