

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ИМЕНИ ПЕТРА ВАСИЛЕНКО

На правах рукописи

УДК. 631.34: 631.333 +
631.314: 539.21

Аль-Фтиххат Муосаб Абдалвахид Мохаммед

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА
И КОМБИНИРОВАННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА
ДЛЯ ПОСЛЕПОСЕВНОГО ЛЕНТОЧНОГО ВНУТРИПОЧВЕННОГО
ВНЕСЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ

05.05.11 — машины и средства
механизации сельскохозяйственного производства

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель —
Мельник Виктор Иванович,
докт. техн. наук, старший
научный сотрудник

Харьков 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК ИЗ ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ КОМБИНИРОВАНИЯ ПОСЕВА С ВНЕСЕНИЕМ ГЕРБИЦИДОВ	14
1.1. Ленточное внесение почвенных гербицидов в контексте эволюционирующего земледелия	14
1.2. Обзор технологий ленточного внесения жидких гербицидов .	19
1.3. Обзор методов математического моделирования посева пропашных культур и оценки параметров распределения семян или растений в рядке	25
Выводы по разделу	29
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЕВА КОМБИНИРОВАННЫМ СОШНИКОМ	31
2.1. Трехмерная математическая модель посева	32
2.1.1. Система уравнений трехмерной линии рядка	33
2.1.2. Интервал между метками идеального высева, как длина отрезка линии рядка	38
2.1.3. Моделирование вероятностных событий	40
2.1.4. Определение девиаций семян относительно меток идеального высева	41
2.1.5. Моделирование корреляционных связей	44
2.1.6. Уравнение плоскости поперечных девиаций семян относительно линии рядка	48
2.1.7. Определение конечных координат растений посева . .	49
2.1.8. Урожай, как вероятностная функция глубины заделки семян	51
2.1.9. Алгоритм реализации математической модели посева .	57

2.2. Восстановление линии рядка путем применения метода парциальных ускорений и математических моделей на основе методов Фурье	62
2.2.1. Дифференциальный метод построения функциональных связей для восстановления искомой линии рядка	63
2.2.2. Анализ эффективности дифференциального метода восстановления линии рядка	66
2.2.3. Решение проблем применения дифференциального метода восстановления линии рядка в случае наличия гауссовского шума	68
2.2.4. Интегративный метод перехода от интерполяционных рядов парциальных ускорений к уравнению искомой линии рядка	72
2.2.5. Анализ эффективности интегративного метода восстановления линии рядка	78
Выводы по разделу	81
3. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПОСЛЕПОСЕВНОГО ЛЕНТОЧНОГО ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ	84
3.1. Комбинированный сошник	85
3.2. Особенности переоснащения посевных секций сеялки	100
3.3. Компоновочные схемы агрегатов для посева и послепосевного ленточного внутрпочвенного внесения гербицидов	104
3.3.1. Агрегат на основе трактора интегральной компоновки	106
3.3.2. Агрегат на основе трактора классической компоновки	108
3.3.3. Изменение конструкции привода насоса подачи рабочей жидкости	110
Выводы по разделу	112

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОСЕВА ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР И ЛЕНТОЧНОГО ВНУТРИПОЧВЕННОГО ПОСЛЕПОСЕВНОГО ВНЕСЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ	114
4.1. Оценка параметров распределения семян в рядке	115
4.1.1. Изучение корреляционных связей между горизонтальным рассевом и глубиной заделки семян	115
4.1.2. Проверка адекватности методов матмоделирования корреляционных связей между горизонтальным рассевом и глубиной заделки семян	120
4.1.3. Оценка адекватности разработанной трехмерной математической модели посева	124
4.1.4. Оценка влияния конструктивных изменений комбинированного сошника на параметры конечного распределения семян в рядке	132
4.2. Изучение динамики комбинированного сошника	144
4.2.1. Исследовательское оборудование	144
4.2.2. Сравнение вариантов восстановления функциональных зависимостей применением прямого преобразования Фурье и метода последовательного приближения	148
4.2.3. Восстановление линии рядка по координатам взошедших растений методом последовательного приближения	162
4.2.4. Сравнение динамики разработанных вариантов конструкции комбинированного сошника	164
Выводы по разделу	168
5. ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОСЕВА ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР И ЛЕНТОЧНОГО ВНУТРИПОЧВЕННОГО ПОСЛЕПОСЕВНОГО ВНЕСЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ	171

5.1. Сравнительная оценка разработанных вариантов сошников по эффективности гербицидного действия	171
5.2. Экономическая эффективность предлагаемой технологии и технических средств для ленточного внутрипочвенного внесения гербицидов одновременно с посевом кукурузы на зерно	174
Выводы по разделу	177
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	178
ЛИТЕРАТУРА	182
ПРИЛОЖЕНИЯ	208
А. Акт внедрения результатов исследований в производство ПАО “Галещина, машзавод”	209
Б. Акт внедрения результатов исследований в производство ПАО “Червона зирка”	210

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

БТС	—	базисная точка сошника;
ВВ	—	внутрипочвенное внесение;
ВВГ	—	внутрипочвенное внесение гербицидов;
ВОМ	—	вал отбора мощности;
КРБП	—	коэффициент реализации биопотенциала;
КП	—	классификационный признак;
ЛВГ	—	ленточное внесение гербицидов;
МИВ	—	метка идеального высева;
МИС	—	мобильная измерительная система;
МНПК	—	международная научно-практическая конференция;
ММП	—	математическая модель посева;
МТА	—	машинно-тракторный агрегат;
ПП	—	последовательное приближение;
ППФ	—	прямое преобразование Фурье;
ПСЧ	—	псевдослучайное число;
РЖ	—	рабочая жидкость;
РНТК	—	республиканская научно-техническая конференция;
РО	—	рабочий орган;
СМ	—	смещенная метка;
ТС	—	техническое средство;
ТП	—	технический процесс;
ФАО	—	продовольственная и сельскохозяйственная организация Организации Объединенных Наций.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Машины и технологии в аграрном секторе мировой экономики перманентно развиваясь и совершенствуясь сменяют друг друга, производительность и качество продукции увеличивается, а продовольственная проблема, тем не менее, не ослабевает. По данным ФАО, полноценное питание получают около 40% жителей планеты. По мнению Лысак М. А.: “Глобальная продовольственная проблема — одна из самых давних и важных глобальных проблем человечества”.

В Украине сосредоточено 27% мировых черноземов и она по праву могла бы стать аграрным лидером, мощнейшим экспортером сельскохозяйственной продукции, но пока этого не происходит. Состояние дел в агробизнесе нашей страны находится далеко не в лучшей форме.

Химизация растениеводства — это один из важнейших инструментов интенсификации, но, опятьтаки, не безпроблемный. В структуре себестоимости агропродукции затраты на химические технологии сейчас занимают вторую позицию после затрат на механизацию. К тому же эти технологии не безопасны для окружающей среды и человека. В этой связи растет актуальность разработки новых более экономичных технологий применения химических методов защиты растений, которые обеспечат увеличение продуктивности растениеводства при одновременном уменьшении негативного воздействия на экологию. Технологии ЛВГ этим требованиям отвечают больше всего. К тому же они хорошо согласуются с грядущим широким внедрением систем полосовой обработки почвы Strip-Till. ВВГ является более экологичным и эргономичным, а совмещение операции ЛВГ с посевом пропашных культур — более экономичным.

Таким образом, разработка экологически щадящих технологий и ТС для ленточного ВВГ одновременно с посевом пропашных культур является актуальной научно-практической задачей, решение которой поможет развитию растениеводческой отрасли в Украине.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Работа выполнена в соответствии с требованиями законов Украины “Про продовольчу безпеку України” № 4344-VI от 07.02.2012 г. и “Про стимулювання розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу” № 5478-VI от 06.11.2012 г., а также согласована с такими общими государственными научными программами: Постановление Президиума НАН Украины № 55 от 05.12.2009 г. “Основні наукові напрямки, найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природних, технічних і гуманітарних наук на 2009–2013 роки”; Постановлением Кабинета Министров Украины № 942 от 07.09.2011 г. “Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямків наукових досліджень і науково-технічних розробок до 2015 року”; программой НААН Украины “Пріоритетні завдання аграрної науки України” (период 2008–2015 рр., п. 6.3.3 Розроблення та вдосконалення екологічно безпечних способів і технічних засобів для хімічного захисту рослин, що передбачають економію технологічних матеріалів і високу адаптацію до зміни метеорологічних умов); программой НААН Украины “Стратегічні напрями розвитку сільського господарства України на період до 2020 року”. Диссертационная работа есть частью научно-исследовательской госбюджетной темы “Розробка ресурсозберігаючих технологій для міжрядної обробки просапних культур” (ГР № 015U00493741), которая выполнялась по заказу Министерства аграрной политики и продовольствия Украины.

Цель и задачи исследований. Целью работы является повышение эффективности экологически щадящих технологических приемов применения гербицидов путем комбинирования операций при возделывании пропашных культур.

Достижение обозначенной цели предполагает решение таких задач:

— провести анализ и систематизировать известные инженерно-технологические разработки и теоретические исследования по локальным методам внесения гербицидов и посевным машинам, обосновав возможность,

необходимость и эффективность комбинирования операций посева с после-посевным ленточным ВВГ при посеве пропашных культур, а также доказав перспективность таких приемов с позиции эволюции земледелия в целом;

— установить технико-технологические противоречия, которые проявляются при одновременном выполнении операций высева семян пропашных культур и послепосевого ленточного ВВГ путем использования комбинированных посевных секций или сошников и разработать теоретическое обоснование методов их решения;

— разработать вероятностную имитационную трехмерную ММП пропашных культур, позволяющую получать координаты множества высеянных и давших всходы семян, пригодную для изучения возможности и степени влияния последующей операции ленточного ВВГ на положение уже высеянных семян пропашных культур;

— разработать приемы применения метода парциальных ускорений для изучения влияния конструктивных изменений комбинированного сошника на его динамику и, в частности, получить теоретические пути решения задачи восстановления линии рядка посева (траектории сошника) по измерениям трехмерных составляющих его угловых скоростей и ускорений;

— провести научное и инженерно-технологическое обоснование конструкции комбинированного сошника, способного выполнять высев пропашных культур и послепосевное ленточное ВВГ одновременно с посевом;

— экспериментально доказать хозяйственную эффективность разработанной технологии и ТС, реализующих одновременное выполнение высева семян пропашных культур и послепосевого ленточного ВВГ, показав при этом, что проведенное изменение конструкции сошника не приводит к ухудшению распределения семян вдоль линии рядка, по ширине ленты рассева и по глубине.

Объектом исследований является ТП послепосевого ленточного ВВГ одновременно с высевом семян пропашных культур и, в частности, колебательные процессы взаимодействия комбинированного сошника с почвой и потенциально возможное перераспределение ранее высеянных семян.

Предметом исследований является обоснование параметров комбинированного РО и процесса послепосевого ленточного ВВГ при посеве пропашных культур.

Методы исследований: теоретическое описание колебательных процессов, сопровождающих рабочее движение комбинированного сошника, путем представления его траектории в виде конечных и/или бесконечных тригонометрических рядов Фурье; вероятностное моделирование посева методом Монте-Карло; физическое моделирование посева; статистические и экспериментальные полевые методы.

Научная новизна полученных результатов:

— для принятия решений по обоснованию параметров ТП послепосевого ленточного ВВГ совместно с посевом впервые разработана трехмерная имитационная вероятностная модель посева пропашных культур, предполагающая представление о линии рядка посевов в виде конечных тригонометрических рядов и учитывающая вероятностные процессы, пропусков, высева двойников, всхожести семян, а также их девиации в трех направлениях [136, 137, 154];

— впервые разработаны методы моделирования корреляционных связей между глубиной заделки семян пропашных культур комбинированным сошником и положением их по ширине ленты посева [136, 137, 154];

— в развитие теоретических методов прогнозирования урожая обоснованы математические методы вероятностного моделирования взаимосвязи между случайным характером распределения семян по глубине и конечной урожайностью пропашных культур [137];

— теоретическими исследованиями впервые установлено, что стабильность хода сошниковой группы эффективно оценивать применяя метод парциальных ускорений и последующее восстановление линии рядка дифференциальным или интегральным методом [163, 164];

— впервые показано, что для восстановления линии рядка путем применения метода ПП эффективно использовать координаты расположения семян давших всходы.

Практическое значение полученных результатов.

Предложена и обоснована новая конструкция комбинированного сошника для посева пропашных культур с одновременным послепосевным ленточным ВВГ. Ее особенностью является конструктивное исполнение в виде отдельного стрельчатого удлинителя сошника, применение которого не предполагает каких либо переделок серийных посевных секций. Использование разработанного комплекта для переоборудования серийной пропашной сеялки, при ширине междурядий 70 см за счет ленточного внесения дает возможность уменьшить расход гербицидов более чем в 3-ри раза при одновременном повышении эффективности гербицидного действия в пределах лент внесения более 15%.

Предложено и обосновано два варианта агрегатирования переоборудованной сеялки. Первый — на основе интегрального трактора, у которого сеялка традиционно располагается на задней навесной системе, а емкость для РЖ — на передней. Второй — на основе трактора классической компоновки, сеялки, расположенной на задней навесной системе и автомобильного прицепа, который располагается сзади сеялки и применяется для размещения емкости опрыскивателя. Такие варианты агрегатирования, во-первых обеспечивают высокую гибкость применения агрегатов, а, во-вторых, дают возможность использовать емкость для РЖ до одного кубического метра, что, в свою очередь, дает возможность такому агрегату работать с одной заправкой РЖ на весь рабочий день.

Разработанные ТС внедрены в производство на следующих заводах: а) ПАО “Галещина, машзавод” (пгт. Новая Галещина, Козельщинский р-н, Полтавской обл.), 2013 г., объем внедрения — 25 комплектов, эффективность — 162,3 тыс. грн. (прил. А); б) ПАО “Червона зирка” (ул. Медведева, 1, г. Кировоград, Украина), 2013 г., объем внедрения — 30 комплектов, эффективность — 194,8 тыс. грн. (прил. Б).

Личный вклад соискателя. Основные результаты работы соискателем получены самостоятельно. В научных трудах вошедших в автореферат

и выполненных в соавторстве, личный вклад следующий: [136] — проверка адекватности двумерной ММП, планирование и участие в проведении полевых опытов, обобщение полученных результатов; [154] — предложена идея проверки двумерной ММП и предлагаемой оценки параметров распределения растений в рядке с помощью физической модели посева и сама физическая модель, а также участие в проведении опытов, статистической обработке и трактовке результатов; [137] — предложено развитие двумерной ММП до трехмерной, а также моделирование взаимосвязи между глубиной заделки семян и величиной КРБП, проведение расчетов и трактовка результатов; [6] — проведен анализ эволюции систем земледелия и показана перспективность исследования в области ЛВГ, приведены собственные результаты полевых опытов по применению авторской конструкции комбинированного сошника; [163] — предложена методика восстановления линии рядка посева с применением методов парциальных ускорений и ППФ, а также критерия для определения количества используемых гармоник, задействованных при аппроксимации результатов измерений методами Фурье; [164] — предложено развитие собственного метода восстановления линии рядка с применением методов парциальных ускорений и ППФ;

Соискатель принимал личное участие на всех этапах внедрения в производство результатов исследований и подготовке публикаций.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертации докладывались: на ежегодных МНПК “Технический прогресс в АПК” — ХНТУСХ им. П.Василенко, г. Харьков, Украина, 2012–2015 гг.; на XVI-той МНПК “Инновационные пути развития АПК на современном этапе” — БГСХА им. В.Я.Горина, г. Белгород, Россия, 2012 г.; на IX-той МНПК “Проблемы конструирования, производства и эксплуатации сельскохозяйственной техники” — КНТУ, г. Кировоград, Украина, 2013 г.; на научно-практической конференции преподавателей, аспирантов и студентов Сумського НАУ — СНАУ, г. Сумы, Украина, 2013 г.; на МНПК, посвященной 60-летию БГАТУ и памяти первого ректора БИМСХ (БГАТУ),

доктора технических наук, профессора В. П. Сулова “Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК” — БГАТУ, г. Минск, Республика Беларусь, 2014 г.;

Публикации. Основное содержание и результаты диссертации опубликованы в 6-ти статьях профессиональных изданий, одна из которых издана в Польше. Заявка № а201409019 на патент Украины на изобретение (приоритет от 11.08.2014) находится на рассмотрении. Одна статья находится на рассмотрении в издательстве Research in Agricultural Engineering (Praha, Czech Republic).

РАЗДЕЛ 1

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК ИЗ ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ
КОМБИНИРОВАНИЯ ПОСЕВА ВНЕСЕНИЕМ ГЕРБИЦИДОВ1.1. Ленточное внесение почвенных гербицидов
в контексте эволюционирующего земледелия

ЛВГ — технология далеко не новая. Даже если судить по соответствующим работам, выполненным по месту учебы автора (ХНТУСГ, г. Харьков, Украина), то от первой публикации с 1989 года уже прошло больше четверти века [1]. Тем не менее, актуальность вопроса осталась. Тому есть ряд причин. Во-первых, все развивается циклично [2] и технологии химической защиты растений не исключение. Во-вторых, проблема дефицита продуктов питания для человечества планеты скорее обострилась, чем угасла. В 2050 году спрос на продовольствие вырастет вдвое [3]. И, в-третьих, применение гербицидов хоть и оправдано их экономической и хозяйственной эффективностью, но при этом экологически не безопасно [4, 5].

Если на последнее сейчас не обращать внимание, то пройдет время и эффективность химической защиты растений станет проблематичной в комплексном смысле, а ресурсы будут уходить не на повышение урожайности, а на ревитализацию окружающей среды.

По твердому убеждению автора, подобно медицинскому постулату “не навреди“, обычно приписываемому Гиппократу, первейшей задачей земледельца должно стать сохранение почвы, как источника плодородия, для будущих поколений [6]. Повышение валовых сборов урожая должно быть вторичным, а прибыль, так и вовсе — на третьем месте. Необходимо понимать, что в химической защите растений экономическая выгода сейчас в действительности может оказаться убытками потом. Причем, выгоду получают одни, а отложенные убытки — другие.

Отсюда вывод: экологичность химической защиты растений — одна из важнейших ее составляющих. И в этой связи ленточное ВВГ на дан-

ный момент может рассматриваться как экологически щадящая версия, небезопасной технологии [7, 8].

Чтобы проследить важность и положение технологий ЛВГ по отношению к системам земледелия в целом [9] обратим внимание на четыре наиболее важные характеристики последних в контексте временного развития: первая — интенсивность механического воздействия на почву; вторая — интенсивность использования химических методов защиты растений; третья — потребность в рабочей силе и обеспечение занятости сельского населения; четвертая — степень развития и широта применения севооборотов.

Начнем с первого. За много лет по интенсивности механического воздействия на почву системы земледелия прошли полный цикл “развертывания-свертывания” (в терминах теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) [10]) от посева зерновых в лунки под “палку копалку” до современных технологий No-Till [11–14]. Доказательством начала нового цикла является появление технологии полосового земледелия Strip-Till [15] и проявление к ней значительного интереса со стороны ученых и практиков. Эту технологию называют многообещающей и считают, что она соединяет в себе преимущества No-Till и традиционной обработки почвы [16, 17].

С позиций интенсивности использования химических методов борьбы с сорняками современное земледелие скорее всего находится в финальной стадии “развертывания” и далее должно последовать послабление.

В противофазе с интенсивностью химизации находится потребность растениеводства в рабочей силе. Если интенсивность химизации — на пике, то занятость сельского населения — на минимуме. Т.е. по признаку потребности в трудовых ресурсах эволюция систем земледелия прошла период “развертывания-свертывания” и сейчас находится в самой социально острой (в первую очередь для постсоветских стран) фазе. Далее последует начало нового периода “развертывания-свертывания” предполагающего рост потребности в трудовых ресурсах и соответственно уменьшение социальных проблем на селе.

Весьма важным также является завершение цикла развития (периода “развертывания-свертывания”) систем земледелия с позиций обоснованности, разнообразия и широты применения севооборотов. Пик развертывания приходится на советское земледелие. Современные аграрии оптимизируют свои действия на максимум прибыли уже сейчас, о далеком будущем они задумываются мало. Государство такую тенденцию пытается корректировать [18], но объективный процесс эволюции можно изменить только по скорости течения (либо замедлить, либо ускорить), но нельзя отменить этапы, перепрыгнуть через нежелательное.

Далее, мы спрогнозируем будущее систем земледелия и определимся, какая роль будет отведена применению гербицидов и какие технологии их внесения удовлетворят хозяйственным нуждам в частности и прогрессивным процессам развития земледелия вообще.

По твердому убеждению авторов [6] основным признаком следующего этапа эволюции растениеводства станет появление, становление и далее широкое распространение смешанных (комбинированных) посевов, которые составят основу следующей системы земледелия — Mix-Crop. Дальнейшим этапом станет Rot-Mix — земледелие в системе севооборотов между смешанными (комбинированными) посевами.

Комбинирование посевов может выполняться как по площади, когда на одном и том же поле в пределах дальности развития корневых систем одновременно произрастают несколько видов полезных растений (чередуются, в рядах, междурядьях или полосами [19, 20]) и во времени, когда в течение одного и того же сезона культуры сменяют друг друга [21].

О предпосылках для такого развития земледелия ранее было сказано. Приведем еще и наличие предварительного опыта. Наши деды и прадеды на своих крестьянских усадьбах считали нормой выращивание свеклы (тогда в основном кормовой) в междурядьях картофеля. Фасоль сеяли в одну лунку с кукурузой и т.д.. Сейчас в агрономической науке есть серьезный задел в отношении совместного выращивания многих культур [22–26].

В накоплении такого опыта весьма важную роль играют исследования по использованию промежуточных посевов, занимающих поле в свободный от основной культуры период, или послеуборочные посевы сидеральных культур [21, 27, 28]. На повестке дня — решение соответствующих инженерно-технологических задач.

В этом направлении задел существенно меньше [29]. Но часть задач все же решена. Так, многие сеялки на самом деле являются универсальными и могут сеять различные культуры. Незначительные их переделки, позволят уже сейчас параллельно высевать несколько культур одновременно. Уже упоминавшуюся технологию Strip-Till в рассматриваемом контексте следует понимать как предваряющий шаг к дифференциации обработки почвы под смешанные посевы.

Ленточное ВВГ [1, 30, 31] на сегодняшний момент выгодно вписывается в контекст обозначенных тенденций как с позиций полосовой обработки почвы, так и с позиций грядущего спада интереса к сплошным химическим обработкам посевов. К тому же эволюционный процесс развития технологий ЛВГ в аккурат прошел виток диалектической спирали [32] и находится в преддверии новых современных реализаций [33–35].

Предыдущий пик научного интереса к технологиям ЛВГ был два-три десятилетия ранее. Особенно многообещающим выглядело комбинирование ЛВГ одновременно с посевом.

Независимо от реализации весьма привлекательным является существенная (в два-три раза) экономия препаратов, а также пропорциональное уменьшение давления на окружающую среду и примерно такая же ожидаемая экономия денежных средств. Но оказалось, что этого не достаточно для широкого внедрения. Основных причин тут две.

Первая — гербицидные технологии тогда еще только зарождались и согласно технологическим картам на возделывание большинства сельхозкультур по прежнему предусматривалось проведение целого ряда механизированных операций по уходу за посевами, в то время, как внесение

гербицидов рассматривали как вспомогательный метод, без которого всегда можно обойтись. В современном понимании, тогдашний рынок был не готов к восприятию гербицидных технологий.

Вторая причина — существенный рост затрат времени на технологическое обслуживание комбинированных посевных МТА [36]. В то время внесение минеральных удобрений уже выполняли одновременно с посевом. Внесение гербицидов тогда было еще менее надежным, чем посев. Ленточно вносить чистый (не разведенный водой) препарат не умели. Расход РЖ, как минимум составлял 50 л/га. Вот и получалось, что агрегат все время обслуживался. То удобрения необходимо засыпать, то семена, то выполнить заправку гербицидной РЖ. Техника была малопродуктивной и к тому же ее не хватало. Надежность техники также была не на высоте. А ведь посев — это ключевая операция, если его провести не вовремя или некачественно, то упущенное уже ничем не наверстаешь. Из этого всего вытекала простая логика, чтобы не мешать посеву, почвенные гербициды следует вносить либо сплошную до или после посева, либо ленточным способом, но уже по вегетирующим растениям [37, 38].

Тут мы не претендуем на полноту обзора. И не вспоминаем, например, астраханскую технологию возделывания овощных культур, внедрение которой на Украине начиналось в 80-е годы на полях совхоза Кременчугский (Полтавская обл., Кременчугский р-н, с. Омельник) [39], и которая позволяла вносить гербицид до посева ленточным способом. Широка внедрения иных вариантов ЛВГ сдерживалась рядом других частных причин. Не будем все перечислять.

Из приведенного следует, что экологически щадящий метод внесения гербицидов выполняемый одновременно с посевом хозяйственники примут только в том случае, когда, во-первых, само по себе внесение гербицидов ни в коем случае не будет замедлять основной процесс — посев и, во-вторых, эффективность, препаратов будет не хуже, а экономический эффект не меньше, чем при традиционных методах их применения.

1.2. Обзор технологий ленточного внесения жидких гербицидов

В монографиях [8, 40] много внимания уделено систематизации ТС и технологий для химической защиты растений и, в частности, для внесения гербицидов. Сейчас мы ограничимся изучением особенностей и проблем сочетания между собой операций ЛВГ и посева. Для этого используем разработанную нами классификационную схему (рис. 1.1).

Совокупность особенностей реализации технологий ЛВГ можно разделить на шесть групп, объединенных следующими признаками:

- 1) по месту расположения поверхности внесения;
- 2) по выполнению операции по заделке препарата;
- 3) по технологическому порядку выполнения;
- 4) в соответствии со способом реализации;
- 5) в соответствии со способом вождения;
- 6) в соответствии с компоновочной схемой.

В соответствии с первым признаком, поверхность почвы, которая подвергается обработке препаратом, может находиться на не тронутой дневной поверхности поля [41], на дне предварительно выполненной борозды [42, 43] и внутри слоя почвы. В последнем случае предполагается создание в почве полости. Для этой цели используют специально разработанные РО.

Второй КП определяет необходимость и, соответственно, наличие специальной операции по заделке предварительно распыленного гербицида.

Нелетучие почвенные препараты не предполагают необходимости их заделки в почву. Их продвижение по вертикали, как правило связано с почвенной влагой и осуществляется путем растворения и последующего перемещения по капиллярам. Такому процессу безусловно способствуют осадки или орошение. В технико-технологическом смысле внесение таких препаратов безусловно проще и дешевле. Тем не менее есть ряд недостатков.

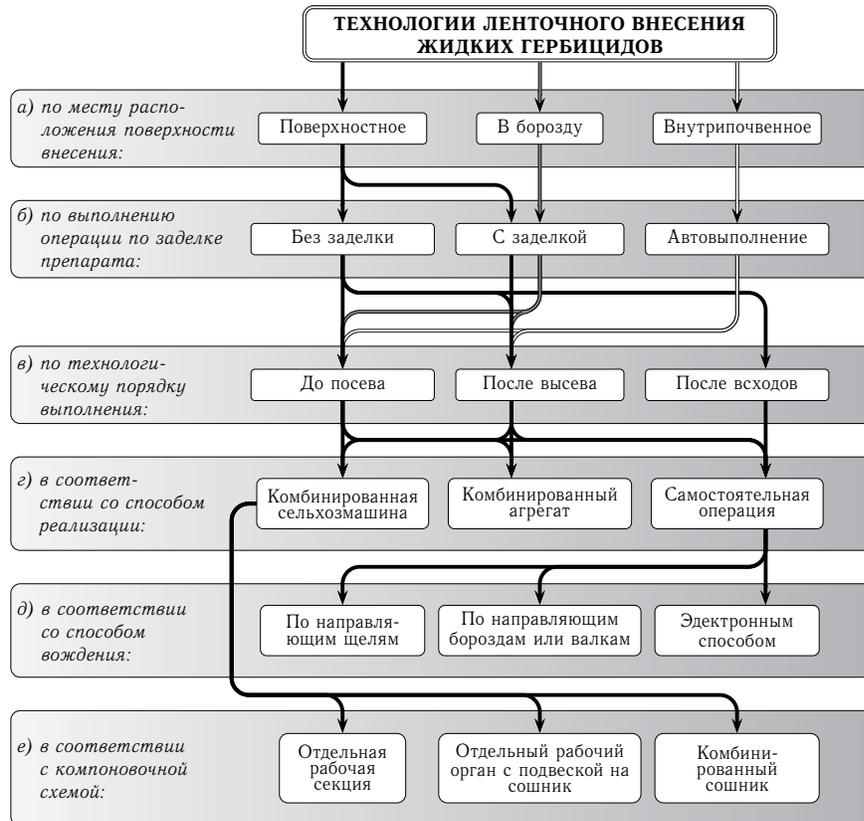


Рис. 1.1. Классификация технологий ленточного внесения жидких гербицидов

Во-первых, изначально препарат находится на поверхности почвы, где она имеет минимальную влажность. Следовательно, такой прием априори зависит от условий увлажнения почвы, в частности от погоды.

Во-вторых, сколько бы ни говорили об экологической безвредности современных гербицидов, по своей сути они были и остаются токсическими веществами, а, значит, находясь некоторое время на поверхности почвы, остаются доступными для животных.

В-третьих, кроме испарения, находящийся на поверхности препарат подвергается фотохимическому распаду и смыву. В любом таком случае препарат не продуктивно теряется и загрязняет окружающую среду. Смыв препарата может привести к локальным нарушениям его дозировок и следовательно к снижению его эффективности или, даже проявления вредного воздействия на полезные растения [49].

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что для поверхностного внесения без последующей заделки в почву пригодны только специальные препараты [50]. Внесение РЖ в предварительно выполненную в почве борозду с последующей заделкой [42, 43] и, тем более, ВВ [44] снимает жесткие требования на летучесть и токсичность препаратов, а также повышает эргономичность работы с ними. В таком случае препарат вносят на оптимальную глубину, где в большинстве случаев изначально есть необходимый для их действия запас влаги [51].

С перечисленных позиций и, особенно, сохранения продуктивной влаги в почве наиболее эффективным является метод ВВГ. При этом борозда не открывается, а грунт перемешивается в минимальной степени [51].

Внесение РЖ в предварительно выполненную борозду с последующей заделкой является компромиссным вариантом технологии. Такая технология имеет преимущество по части возможности визуального контроля над процессом распыления РЖ, но неизбежно приводит к перемешиванию верхних более сухих слоев почвы с нижними и, соответственно, к снижению влажности почвы на уровне заделки препарата. В конечном итоге потеря влаги приводит и к снижению эффективности гербицида, и к снижению урожайности возделываемой культуры.

Третий КП определяет порядок следования технологических операций по внесению гербицида, его заделке и посеву. Тут возможны варианты: а) сначала вносят гербицид, а затем — посев, причем операцию по заделке препарата выполняют или до высева семян, или после него; б) гербицид вносят после высева семян полезных растений [52] и уже затем по необходимости заделку препарата [42]; в) гербицид вносят после всходов [45].

Первый вариант реализуют, если препарат вносят в борозды, как это, например, предусмотрено астраханской технологией возделывания овощных культур, или когда препарат наносят на дневную поверхность почвы, а операция по заделке, как правило с помощью шлейфов, выполняется после высева семян с целью рыхления верхнего слоя почвы после прохода

прикатывающих катков посевных секций, выравнивания поверхности почвы и, собственно, для перемешивания гербицида в приповерхностном слое почвы. Возможно допосевное ВВГ [46].

Эти три способа реализации первого варианта имеют общий недостаток, который тем больше проявляется, чем больше несоответствие оптимальных глубин заделки гербицида и семян высеваемой культуры [53].

Внесение гербицида в борозды или внутрпочвенным способом до высева семян [46–48] или посадки рассады может быть эффективным, если оптимальная глубина заделки семян или высаживаемой рассады не больше оптимальной глубины заделки гербицида, которая обычно составляет 2–6 см. Поскольку оптимальная глубина заделки семян обычно не превышает 10-ять диаметров семени, то отсюда следует, что такая технология в большей степени применима для мелкосемянных, в частности, овощных культур, для которых, она и была создана.

В случае, если гербицидный слой находится на дневной поверхности или в борозне, глубина которой меньше глубины высева семян, то предварительно созданный гербицидный слой гарантированно рассекается сошником и гербицид перемешивается с почвой, но не по всей ширине обрабатываемой полосы, а только в пределах следа сошника. Загортачи и катки посевных секций также приводят к перераспределению ранее внесенного препарата, а, значит, уменьшают вероятность сохранения требуемого характера распределения препарата по ширине обрабатываемой полосы.

Когда согласно второму варианту гербицид вносят после высева семян, а, значит, после прохода сошника, то в таком случае действительно достигается программируемое распределение гербицида по ширине обрабатываемой полосы. Разумеется, из-за необходимой разницы между глубиной заделки семян и гербицидов такой способ применим для крупnoseмянных, технических и пропашных культур, в частности, кукурузы и подсолнечника. В работе Байбулатова Т.С. [54] применительно к высадке картофеля предлагается такой же порядок следования операций.

В работе Давлетшина М.М. [42] предлагается совершенствованная свежловичная сеялка, секции которой дооборудованы загорточем-почвоотводом, распылителем для внесения гербицидов и шлейфом. Все эти детали установлены последовательно за прикатывающим катком. С помощью них осуществляется послепосевное ЛВГ в борозду выше уровня заделки семян.

Согласно патенту [55] гербицид вносят на дневную поверхность почвы ленточным способом сразу после высева семян без последующей заделки путем использования комбинированной посевной секции.

Третий вариант послепосевого внесения гербицидов кардинально отличается от первых двух тем, что к посеву отношения не имеет, и как правило, предполагает обработку рядков уже вегетирующих полезных растений [56–59]. Его относят к страховым приемам защиты растений [45] и поэтому далее мы на нем останавливаться не будем.

Два другие выше перечисленные варианты, согласно четвертому КП можно реализовать различными способами путем применения: а) комбинированной сельхозмашины [42, 54, 55, 60]; б) комбинированного МТА [41, 60–62]; в) самостоятельных МТА [39].

С многих позиций первый вариант является предпочтительным, но не всегда возможным. Проблема состоит в том, что комбинирование посева с ЛВГ, особенно внутрипочвенным способом реализуемо не всегда [63, 64].

Считается, что комбинированный МТА позволяет минимизировать потребности в технике и, в частности, в тракторах [65]. Но, к сожалению, это не всегда так. Например, комбинирование посева, внесения удобрений и гербицидов приводит к значительному росту затрат времени на технологическое обслуживание и, как следствие, к снижению производительности на выполнении основной операции (посева). Отсюда, вопреки ожидаемому снижению потребности в технике, возникает обратная ситуация.

Использование комбинированных МТА, особенно с применением тракторов интегральной компоновки [41], существенным образом расширяют вариабельность технологических возможностей хозяйственников [66] и, как

правило, не требует наличия специальных комбинированных сельхозмашин. По части роста времени на технологическое обслуживание и пропорциональное уменьшение производительности труда на основной операции (посеве) ситуация сравнима с предыдущим вариантом.

Уменьшению затрат времени на технологическое обслуживание комбинированных МТА по части внесения гербицидов может способствовать снижение норм расхода РЖ и применение современных систем внесения концентрированных препаратов без предварительного смешивания с водой [67]. В конечном итоге это может позволить перейти на одну заправку в течение рабочего дня.

Использование самостоятельных МТА применительно к реализации технологии ЛВГ порождает проблему наложения (совмещения) последовательно выполняемых самостоятельных операций по внесению гербицидов и посеву. Очевидно, что чем точнее совпадают траектории движения сошников и РО для ЛВГ, тем лучше. Как это можно осуществить, определяет следующий КП, касающийся способов вождения полевых МТА. Тут также есть три варианта: а) вождение полевых МТА по направляющим щелям в почве, как это предусмотрено астраханской технологией возделывания овощных культур [39]; б) вождение МТА по предварительно выполненным в почве бороздам; г) вождение МТА путем использования автоматики, использующей навигацию по GPS [59, 68–70] или подобные автономные наземные системы [71–73].

Первый и второй способы сопряжены с ростом энергозатрат на выполнение технологических операций и потерь влаги из почвы. Именно по этой причине такие способы рекомендуются к применению на орошении. Вождение МТА с применением GPS-ориентирования пока является дорогим и в случае наличия неровностей поля — недостаточно точным.

Возвращаясь к возможности реализации ЛВГ одновременно с посевом путем использования комбинированных сельхозмашин, следует выделить три основных известных варианта их компоновки.

Первый вариант предполагает наличие двух видов независимых рабочих секций, предназначенных для посева и ЛВГ. И те и другие устанавливаются на общей раме сельхозорудия посредством индивидуальных подвесных систем. В работе [54] приведена схема комбинированной сельхозмашины, предназначенной для ВВГ совместно с посадкой картофеля. В ней предполагается жесткое крепление РО для ВВГ на раме орудия.

Согласно второму варианту секции для ЛВГ навешивают не на раму сельхозорудия, а на впереди идущие посевные секции. Таким образом, в результате получается комбинированная секция, предназначенная для посева и внесения гербицидов, но РО для ЛВГ по прежнему имеют свободу перемещения по высоте относительно посевных секций.

Согласно третьему варианту комбинированный сошник жестко соединен с элементами конструкции, предназначенными для ЛВГ.

С точки зрения металлоемкости и сложности все эти варианты согласуются по убыванию. Первый — самый худший, третий — самый лучший. По способности копирования поверхности поля наилучшим является второй вариант, а с точки зрения совокупного качества выполнения технологических операций посева и ЛВГ (достижения требуемых параметров распределения семян и гербицидов по длине рядка, ширине полосы внесения и глубине заделки) — третий вариант.

1.3. Обзор методов математического моделирования посева пропашных культур и оценки параметров распределения семян или растений в рядке

Создание комбинированного сошника для посева пропашных культур и послепосевного ленточного ВВГ предполагает объединение уже известного стрельчатого РО для ЛВГ [8, 40] с известной конструкцией, например, полозовидного сошника [74, 75].

РО для ЛВГ в дискретном исполнении по части равномерности распределения РЖ под слоем почвы был испытан и показал приемлемые ре-

зультаты [76–78]. В этом отношении сейчас мы предполагаем сохранить достигнутый уровень качества.

Новая проблема, которая обусловлена объединением полозовидного сошника и РО для ЛВГ в одну конструкцию связана с тем, что может привести к изменению динамики хода сошника [79] и, как следствие, к ухудшению показателей качества выполнения основной операции (посева), т.е. равномерности распределения семян в рядках, стабильности глубины заделки и величины горизонтальных отклонений семян от линии рядка.

В связи с изложенным возникает необходимость рассмотрения теоретических подходов к изучению динамики сошниковой группы и математическому моделированию посевов пропашных культур. Вопросам динамики посвящено большое количество работ, реализующих различные подходы.

Классическим следует считать метод, основанный на выводе уравнений силового баланса, или, что то же, на применении принципа Даламбера-Лагранжа: “если к движущейся механической системе, на которую наложены голономные связи, условно приложить силы инерции всех ее точек, то в каждый момент времени сумма элементарных работ активных сил и сил инерции равна нулю на любом возможном перемещении системы” [80].

В конечном итоге применение принципа Даламбера-Лагранжа к моделированию динамики сошниковой группы приводит к уравнениям Лагранжа второго рода, как, например в работах Лурье А. Б. [81]. Конечное количество дифференциальных уравнений определяется количеством степеней свободы, которые учитываются при постановке задачи. Для решение таких систем уравнений используют методы вариационного исчисления [82].

Известны также статистические методы исследования динамики сельскохозяйственных МТА, которые применимы к исследованию стабильности хода сошниковой группы, как по глубине, так и в продольно-горизонтальной плоскости [83, 84, 84].

Решение проблем стабилизации хода сошниковой группы, как правило осуществляется путем модификации навесных систем сошников. Повы-

шением стабильности рабочего процесса сошниковой группы занимались Анилович В. Я. [86], Басин В. С. [87], Сало В. М. [88], Заика П. М. [74], Бойко А. И., Свирень Н. А. [89], Бакум М. В., Морозов И. В. [90], Булгаков В. М. [91], Сисолин П. В. [92], Кравчук В. И. [93], Андреев Ю. М. [94], Яковлев Н. С. [95, 96], Ларюшин Н. П. [98].

Из приведенных выше работ следует, что решение проблем стабилизации хода сошниковой группы может рассматриваться, как отдельная задача. В текущей работе следует ограничиться разработкой комбинированного сошника для посева пропашных культур и ленточного ВВГ применительно к уже выпускающейся серийной сеялке. Такой подход более приемлем с позиций ускорения продвижения в реальное производство новых технологий применения гербицидов.

Известен подход к изучению динамики сошника и в целом мобильных сельхозмашин, основанный на представлении их движения в виде сложного колебательного процесса: Валге А. М. [97], Давидсон Е. И. [99], Надикто В. Т., Черная Т. С. [100], Беспмятнова Н. М. [101]. Из этих работ, следует, что представление линии рядка в виде конечной или бесконечной суммы гармоник, можно считать продуктивным и в дальнейшем использовать в качестве основы теоретических исследований.

Известны работы по оценке точности распределения семян и растений по длине и глубине рядка, а также по ширине ленты посева: Басин В. С. [108, 109], Лурье А. Б. [83], Василенко В. В. [102], Царенко О. М. [103], Масло И. П. [104], Насонов В. А. [105], Зирянов В. О. [106], Цибуля М. Г. [107], Vilde A., Cesnieks A. (Латвия) [110], Karayel D., Özmerzi A. (Турция) [111], Önal O., Önal I. (Турция) [112], Korucu T., Arslan S. (Турция) [113], Navid H., Ebrahimian S., Gassemezadeh H. R., Mousavinia M. J. (Иран) [114], Altikat S. (Турция) [116], Seidi E. (Иран) [117], Akond M., Bobby R., Bazzelle R., Clark W., Kantartzi S. K., Meksem K., Kassem A. (США) [118]. Материалы, приведенные в перечисленных работах мы используем в процессе разработки собственной ММП пропашных культур.

Изучением и моделированием вероятностных процессов пунктирного посева семян и, в частности, появление двойников и пропусков, а также взаимосвязи фактического распределения семян культурных растений в рядке с урожайностью, занимались: Полонецкий С. Д. [119], Хангильдин Э. В. [120], Ахмеров Х. Х. [121], Труфанов В. В. и Булыгин Н. Н. [122], Василенко В. В. [123], Чикильдин В. Н. [124], Кошурников А. Ф. [125], Смиряев А. В. [126], Петунина И. А. [127]. Общей характеристикой приведенных работ является разработка математических моделей, которые с различной адекватностью позволяют изучить взаимосвязь между параметрами процесса высева и заделки семян полезных культур и показателями качества их конечного распределения в рядках. Нерешенной остается задача получения множества трехмерных координат точек определяющих положение высеянных семян в рядке или на участке поля. За основу таких моделей следует взять метод Монте-Карло [8].

Отдельно следует упомянуть систему имитационного моделирования AGROTOOL [128], которая представляет собой большой научный проект, над которым работает группа ученых из России. Основатель проекта Ратмир Александрович Полуэктов [129]. По замыслу AGROTOOL не предполагает возможность получать множество трехмерных координат высеянных семян культурных растений и их связь с урожайностью.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. ЛВГ на сегодняшний момент выгодно вписывается в контекст известных тенденций эволюции систем земледелия, как с позиций полосовой обработки почвы, так и с позиций грядущего спада интереса к сплошным химическим обработкам посевов.

2. ВВГ следует считать экологически щадящим методом применения в общем небезопасных для человека и окружающей среды гербицидов.

3. Ленточное ВВГ, выполняемое одновременно с посевом путем использования комбинированных агрегатов, хозяйственники примут только в том случае, когда само по себе внесение гербицидов ни в коем случае не будет замедлять основной процесс — посев.

4. Поскольку в большинстве случаев оптимальная глубина заделки почвенных гербицидов (до 6 см) меньше чем глубина заделки семян пропашных культур (до 4–10 см), то послепосевное внесение гербицидов предпочтительнее, чем допосевное, поскольку позволяет получить программируемое распределение препарата под слоем почвы.

5. Отсутствие широкого применения в аграрном производстве машин для послепосевого ленточного ВВГ гербицидов указывает на недостаточный научно-технический уровень известных машин и технологий соответствующего назначения.

6. Комбинирование в одну посевную секцию сошников и РО для ленточного ВВГ может привести к нарушению динамики сошников и, как следствие, к нарушению равномерности распределения семян вдоль линии рядка, по ширине ленты посева и по глубине.

7. Решение проблем стабилизации хода сошниковой группы может рассматриваться, как отдельная задача. Далее следует ограничиться разработкой комбинированного сошника для посева пропашных культур и ленточного ВВГ применительно к уже выпускающейся серийной сеялке. Такой подход более приемлем с позиций ускорения продвижения в аграрное производство экологически щадящих технологий применения гербицидов.

8. В качестве основы теоретических и практических исследований задач динамики сошниковой группы следует применить представление линии рядка в виде конечной или бесконечной суммы гармоник.

9. С точки зрения математического моделирования посева следует продолжить разработку и совершенствование вероятностных имитационных моделей посева на основе метода Монте-Карло, позволяющих получить трехмерные координаты положения семян в рядке или на участке поля.

РАЗДЕЛ 2
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЕВ
КОМБИНИРОВАННЫМ СОШНИКОМ

Разработка ММП оправдана, как минимум, с двух позиций.

Во-первых, с точки зрения текущей работы. Поскольку в конструкцию сеялки предполагается внесение изменений, связанных с осуществлением ленточного ВВГ, то потенциально возможны некоторые ухудшения показателей качества работы сеялки по основной операции. Следовательно, необходимо разработать инструментарий для оценки показателей качества посева и, применив его, оценить допустимость осуществления предлагаемых конструктивно-технологических нововведений.

Во-вторых, разработка ММП сама по себе является важным научным результатом, поскольку выходит за рамки частных задач текущей работы. Применение ММП позволяет изучать сам процесс и вклад ряда факторов (зависит от сложности модели) в показатели его качества, а также является предпосылкой к разработке других физических и математических моделей, например, прорезивания растений, междурядной обработки почвы или прогнозирования урожая.

Неравномерность распределения семян полезных растений вдоль рядов посевов [115] и по глубине заделки [111, 116, 117] серьезным образом сказывается на их продуктивности [113, 130]. Чтобы выяснить и устранить причины таких неравномерностей, учеными разрабатываются соответствующие лабораторные методы исследований [112, 114]. Тем не менее, при изучении поперечных отклонений растений возникает нерешенный вопрос о положении оси рядка, а само отклонение от оси рядка вносит вклад в погрешность оценки распределения семян или растений вдоль оси рядка. Глубину заделки семян можно достаточно точно оценить по измерению этиолированной части взошедших растений [40, 131, 132], но, опять-таки, нет возможности выделить вклад колебаний линии хода сошника в результат измерения.

Имеющиеся в литературе вероятностные модели расположения семян и растений в рядке [133], как правило, позволяют получить лишь обобщенные показатели качества посева и не дают возможности смоделировать сам процесс высева с тем, чтобы получить двух- или даже трехмерные координаты высеянных семян. Такой недостаток известных моделей существенно снижает их научную и практическую ценность, т.к. не позволяет решить обозначенные выше задачи [8, 40].

Сущность предлагаемой трехмерной ММП пропашных культур рассмотрим на примере посева кукурузы пунктирной сеялкой. Основы этой модели заложены в работе [134].

2.1. Трехмерная математическая модель посева

Условимся понимать, что понятие “*моделирование посева*” относится к результату посева, т.е. к изучению закономерностей распределения растений по полю, а не к процессу посева, когда моделированию подвергают изучение таких subprocesses, как образование полозом сошника канавки в почве, захват семени высевающим аппаратом, движение семени по семяпроводу, столкновение семени с дном бороздки и т.д..

В реальности поверхность поля не является горизонтальной и даже не плоской. Аналогично траектория хода сошника сеялки не является прямой. По факту первая представляет собой криволинейную поверхность, а вторая — пространственную кривую.

Поскольку сошник — это объемная конструкция, то, что бы предметно говорить о его траектории, определимся с *базисной точкой сошника* (БТС), под которой условимся понимать его самую нижнюю точку, определяющую максимум глубины канавки в почве, которую сошник готовит под высев семян. Например, для полозовидных сошников в качестве базисной следует считать самую нижнюю точку их бороздообразователя. Таким образом, далее, именно траекторию базисной точки условимся отождествлять с понятием “*траектория сошника*”.

Очевидно, что конечное распределение семян под слоем почвы определяется траекторией сошника и параметрами их рассева вдоль и поперек этой траектории. Таким образом, уместно говорить о “*линии рядка*”, которая по своей сути совпадает с траекторией сошника, но при этом имеет свой дополнительный смысл как линия, которая аппроксимирует точки расположения высеянных семян. Если высев осуществляется идеально, то все семена располагаются на линии рядка, причем так, что расстояния между ними, измеренные вдоль линии рядка, будут строго одинаковыми. Точки расположения идеально высеянных семян на линии рядка условимся называть “*метками идеального посева*” (МИВ). Тут важно отметить, что понятие “*идеальный высев*” не предполагает идеально прямолинейное движение сошника, а лишь определяет положение высеянных семян в точности на линии рядка и с идеально равными расстояниями между ними, измеренными вдоль линии рядка.

2.1.1. Система уравнений трехмерной линии рядка. Траектория движения сошника по своей природе гармонический процесс, объективно представляющий собой сумму нескольких гармоник. Известно [135], что линия рядка сахарной свеклы представляет собой сумму наложенных друг на друга трех гармоник (например синусоид). Основная гармоническая кривая имеет большой период, длина которого колеблется в пределах 100–250 м, амплитуда гармоники достигает 0,5 м и более. Эта гармоника обусловлена непрямолинейностью движения трактора посевного агрегата. На длине каждого большого периода имеется несколько средних гармоник с длиной периода в пределах 17–30 м и амплитудой до 100 мм. Появление средних гармоник объясняется колебанием сеялки относительно линии тяги. Эти колебания появляются вследствие несимметричности тягового сопротивления сеялки. Внутри каждой средней гармоники наблюдается несколько малых гармоник с длиной периода 4–12 м и амплитудой 10–60 мм. Эти искривления траектории рядков являются в основном следствием поперечных колебаний сошников сеялки.

Агрегаты для посева свеклы и кукурузы, как правило, состоят из трактора одной модели, имеют те же габариты, вес и тяговое сопротивление, поэтому нет оснований предполагать, что при их использовании будут наблюдаться несопоставимые закономерности. Основываясь на этом предположении, в работах [8, 40] разработана двумерная ММП кукурузы и показана ее адекватность. Далее мы остановимся на обосновании трехмерной ММП и пояснении ее особенностей.

Воспользуемся декартовой системой координат $Oxyz$ (рис. 2.1), ось абсцисс которой параллельна прямой, которая аппроксимирует линию рядка, а ось ординат — прямой, которая аппроксимирует поверхность поля в поперечном направлении. Ось Oz направлена вниз.

В начале рядка $x = 0$, а y и z могут быть любыми, исходя из текущей специфики решаемой задачи.

В виду малости наклона координатную плоскость Oxy мы условно будем называть горизонтальной, хотя в общем случае она таковой не является. Строго говоря, это обстоятельство не имеет значения до тех пор, пока речь не идет о практическом восстановлении линии рядка методом парциальных ускорений, т.е. через измерение трехмерных компонент ускорений БТС.

В последнем случае неverticalность оси Oz приводит к разделению ускорения свободного падения на три компоненты, после чего задача выделения ускорения свободного падения из полного ускорения с которой движется БТС существенно усложняется.

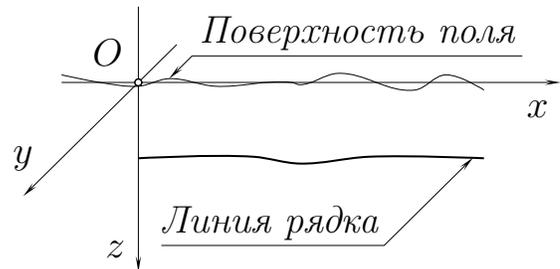


Рис. 2.1. Система координат $Oxyz$

С таким же уточнением мы условимся называть координатную плоскость Oxz продольно-вертикальной, а Oyz — поперечно-вертикальной. В строгом смысле это не так еще потому, что линия рядка не является прямой, не параллельна и тем более не совпадает с осью абсцисс.

Представим линию рядка кукурузы в параметрической форме:

$$y = y(l), \quad z = z(l), \quad (2.1)$$

где в качестве параметра выступает длина l отрезка линии рядка, которая в силу особенностей ориентации системы координат $Oxyz$ примерно равна абсциссе, т.е.:

$$l \approx x, \quad (2.2)$$

а когда $l = 0$, то выполняется равенство $x = 0$.

Опираясь на уже известные работы [8, 40], первое уравнение системы (2.1), которое описывает проекцию линии рядка на координатную плоскость Oxy , представим в виде суммы трех гармоник [136]:

$$y(l) = \sum_{k=1}^3 A_k^{(y)} \sin \left(\frac{2\pi}{L_k^{(y)}} l + \phi_k^{(y)} \right) + y_0, \quad (2.3)$$

где $A_k^{(y)}$, $L_k^{(y)}$ и $\phi_k^{(y)}$ — амплитуда, длина волны и начальная фаза k -той ($k = 1, 2, 3$) гармоники; l — текущее значение длины отрезка линии рядка, которой соответствует текущее значение $x \approx l$; y_0 — константа, которая необходима для смещения кривой $y(l)$ оси рядка в положительную область.

Как принято в работах [8, 40, 136], три гармоники из выражения (2.3) принадлежат продольно-горизонтальным составляющим колебаний, которые порождают непрямолинейности движения трактора ($k = 1$), колебания рамы сеялки относительно линии тяги трактора ($k = 2$) и колебания сошника относительно рамы сеялки ($k = 3$).

Выражение (2.3) моделирует отклонение линии сошника в направлении оси Oy . Этим объясняется применение верхнего индекса “(y)”.

Второе уравнение $z = z(l)$ системы (2.1), моделирующее колебания БТС в продольно-вертикальной координатной плоскости Oxz предлагается также представить в виде суммы трех гармоник [137]:

$$z(l) = \sum_{k=1}^3 A_k^{(z)} \sin \left(\frac{2\pi}{L_k^{(z)}} l + \phi_k^{(z)} \right) + z_0, \quad (2.4)$$

где $A_k^{(z)}$, $L_k^{(z)}$ и $\phi_k^{(z)}$ — амплитуда, длина волны и начальная фаза k -той ($k = 1, 2, 3$) гармоники колебаний БТС в координатной плоскости Oxz . z_0 — константа, определяющая смещение линия ряда в направлении оси Oz . В случае горизонтального, а также идеально ровного поля, z_0 совпадает по значению с заданной величиной глубины заделки семян.

В уравнении (2.4), как ранее, первая гармоника принадлежит колебаниям трактора ($k = 1$), вторая — колебаниям сеялки ($k = 2$), а третья — вертикальным колебаниям сошников ($k = 3$). Разумеется, что:

$$A_k^{(y)} \neq A_k^{(z)}, \quad L_k^{(y)} \neq L_k^{(z)}, \quad \phi_k^{(y)} \neq \phi_k^{(z)}, \quad k = 1, 2, 3. \quad (2.5)$$

Все гармоники (2.4), в основном, обусловлены неровностями поверхности поля. Несмотря на то, что конструкция навесного устройства трактора предполагает возможность агрегатирования сеялки в плавающем режиме, позволяющем в значительной степени минимизировать передачу продольно-вертикальных колебаний трактора на идущую за ним сеялку, тем не менее эффективность работы такого навесного устройства не абсолютна. То же самое можно сказать и в отношении эффективности работы параллелограммных подвесок сошников сеялки.

Тут важно отметить, что посевная секция с полозовидным сошником и параллелограммной подвеской имеет опорное колесо, которое предназначено, во-первых, для копирования поверхности поля, а, во-вторых, для прикатывания области заделки семян.

По отношению к БТС опорное колесо располагается на некотором расстоянии сзади. По этой причине копирование поверхности поля происходит с некоторым запаздыванием. Т.е. сначала сошник встречается с возвышенностью, врезается в него, а уже после выхода из нее та возвышенность попадает под опорное колесо, которое приводит к запоздалому, порой уже совсем ненужному подъему сошника. Чем больше дистанция между БТС и осью опорного колеса, тем больше эффект запаздывания.

Применение стрелчатого удлинителя сошника, предназначенного для осуществления послепосевного ленточного ВВГ о котором пойдет речь в

следующих разделах, с одной стороны, способно оказать некоторое демпфирующее воздействие по отношению к продольно-вертикальным составляющим колебаний БТС, а с другой — приводит к удлинению полоза сошника и, соответственно, к дополнительному смещению опорного колеса дальше назад, а, значит, к увеличению степени запаздывания копирующих действий подвески сошника.

Чтобы учесть перечисленные эффекты введем в выражение (2.4) ряд корректирующих коэффициентов. Обращаем внимание, что такие корректировки относятся только к принадлежащей сошнику третьей гармонике:

$$\begin{aligned}
 z(l) = & A_1^{(z)} \sin \left(\frac{2\pi}{L_1^{(z)}} l + \phi_1^{(z)} \right) + \\
 & + A_2^{(z)} \sin \left(\frac{2\pi}{L_2^{(z)}} l + \phi_2^{(z)} \right) + \\
 & + \xi^{(a)} A_3^{(z)} \sin \left(\frac{2\pi}{\xi^{(l)} L_3^{(z)}} l + \phi_3^{(z)} \right) + z_0,
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

где $\xi^{(a)}$ и $\xi^{(l)}$ — коэффициенты изменения амплитуды и длины волны колебаний сошника в плоскости Oxz .

Чтобы переписать выражение (2.6) в компактной форме по типу выражения (2.4) введем два множества:

$$K^{(a)} = \{K_i^{(a)}\}, \quad K^{(l)} = \{K_i^{(l)}\}, \quad i = 1, 2, 3. \tag{2.7}$$

где

$$\begin{aligned}
 K_1^{(a)} = K_2^{(a)} = 1, & \quad K_3^{(a)} = \xi^{(a)}; \\
 K_1^{(l)} = K_2^{(l)} = 1, & \quad K_3^{(l)} = \xi^{(l)}.
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

Теперь, учитывая (2.7) и (2.8) перепишем выражение (2.6) в компактной форме:

$$z(l) = \sum_{k=1}^3 K_k^{(a)} A_k^{(z)} \sin \left(\frac{2\pi}{K_k^{(l)} L_k^{(z)}} l + \phi_k^{(z)} \right) + z_0. \tag{2.9}$$

В итоге система (2.1), с учетом выражений (2.3) и (2.9) представляет собой искомую система уравнений трехмерной линии рядка.

2.1.2. Интервал между метками идеального посева, как длина отрезка линии рядка. Ранее мы определились, что МИВ — это точки линии рядка, в которые должны попасть семена при идеальном посеве. Если предположить, что такой посев состоялся, то измеренное вдоль кривой (2.1) расстояние от метки, которая принята за начало отсчета ($i = 0$), до любого i -того по порядку семени можно определить так:

$$l_i = ai, \quad (2.10)$$

где a — заданное расстояние между МИВ, измеренное вдоль линии рядка, как длина дуги. По этому l_i также является длиной отрезка линии рядка.

Обозначим x_i, y_i, z_i — координаты i -той МИВ на линии рядка. Для того, чтобы иметь возможность определить абсциссу x_i , необходимо знать функциональную связь $l = l(x)$.

Элементарное приращение dl длины дуги l линии рядка можно определить так:

$$dl = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}. \quad (2.11)$$

В свою очередь

$$dy = \frac{dy}{dl} \frac{dl}{dx} dx, \quad (2.12)$$

где $\frac{d}{dl}y$ определяем дифференцированием функции $y = y(l)$ (2.3):

$$\frac{dy}{dl} = \sum_{k=1}^3 A_k^{(y)} \frac{2\pi}{L_k^{(y)}} \cos \left(\frac{2\pi}{L_k^{(y)}} l + \phi_k^{(y)} \right). \quad (2.13)$$

Аналогичным образом определяем dz :

$$dz = \frac{dz}{dl} \frac{dl}{dx} dx, \quad (2.14)$$

где $\frac{d}{dl}z$ определяем дифференцированием функции $z = z(l)$ (2.9):

$$\frac{dz}{dl} = \sum_{k=1}^3 K_k^{(a)} A_k^{(z)} \frac{2\pi}{K_k^{(l)} L_k^{(z)}} \cos \left(\frac{2\pi}{K_k^{(l)} L_k^{(z)}} l + \phi_k^{(z)} \right). \quad (2.15)$$

Выполним подстановку выражений (2.12) и (2.14) в выражение (2.11). В итоге получаем:

$$\left(\frac{dl}{dx} \right)^2 = 1 + \left(\frac{dy}{dl} \frac{dl}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dz}{dl} \frac{dl}{dx} \right)^2 \quad (2.16)$$

Введем обозначения

$$l' = \frac{dl}{dx}; \quad y_l = \frac{dy}{dl}; \quad z_l = \frac{dz}{dl} \quad (2.17)$$

и, принимая их во внимание, перепишем уравнение (2.16)

$$l'^2 = 1 + y_l^2 l'^2 + z_l^2 l'^2. \quad (2.18)$$

Поскольку в уравнении (2.18) производные $y_l = y_l(l)$ (2.13) и $z_l = z_l(l)$ (2.15) известны и являются функциями от l , то мы имеем дело с обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка второй степени, которое разрешимо относительно производной:

$$l' = \frac{1}{\sqrt{1 - y_l^2 - z_l^2}}. \quad (2.19)$$

Далее введем обозначение:

$$x' = \frac{dx}{dl} \quad (2.20)$$

и принимая во внимание (2.20) перепишем уравнение (2.19) так:

$$x' = \sqrt{1 - y_l^2 - z_l^2}. \quad (2.21)$$

Выполнять подстановку выражений y_l (2.13) и z_l (2.15) в уравнение (2.21) с целью последующего интегрирования нет смысла. Во-первых, отыскать аналитическое решение в виде:

$$x = x(l), \quad (2.22)$$

скорее всего не удастся, а, во-вторых, в этом нет необходимости, поскольку в дальнейшем, так или иначе, предполагает широкое использование ЭВМ.

По указанной причине для решения уравнения (2.21) в дальнейшем применим численный метод Рунге-Кутты [138, 139]. Таким образом, считаем, что зависимость x от l нами получена. Тогда фактический интервал между двумя соседними МИВ можно определить выражением:

$$a = l_{i-1} - l_i, \quad (2.23)$$

где $i > 0$ — номер последующей МИВ, а l_i и l_{i-1} — длина отрезка линии рядка, от его начала до соответствующего (i или $i - 1$) номера МИВ.

2.1.3. Моделирование вероятностных событий. В реальных условиях часть меток идеального высева с вероятностью P_1 могут быть пропущены ($0 \ll P_1 < 1$), а другая часть с вероятностью P_2 — продублированы ($0 < P_2 \ll 1$). Кроме того семена имеют не абсолютную всхожесть, а, значит, если высев состоялся, то появление растения регламентируется вероятностью P_3 . Последнее очень важно, поскольку оценку параметров высева мы планируем производить по взошедшим растениям.

Смоделировать на ЭВМ события, которые определяются вероятностями P_k , ($k = 1, 2, 3$), можно, если воспользоваться генератором псевдослучайных чисел (ПСЧ), равномерно распределенных в интервале $[0, 1]$ [140, 141]. Если при текущем обращении к генератору ПСЧ получено число p_k , которое удовлетворяет условию

$$p_k \leq P_k, \quad (2.24)$$

то следует считать, что k -тое событие состоялось.

Чтобы при циклическом переборе k -тых событий обеспечивалась принадлежность каждого p_k своей k -той генеральной совокупности, необходимо соблюдать правила инициализации генератора ПСЧ. Т.е. для генерации последующего ПСЧ из k -той генеральной совокупности необходимо использовать предварительно сохраненное число-инициализатор, которое получилось при генерации предыдущего ПСЧ из той же k -той генеральной совокупности.

Ситуацию, когда число-инициализатор, рассчитанное при генерации ПСЧ из одной генеральной совокупности, используется для генерации ПСЧ из другой генеральной совокупности допускать нельзя. В последнем случае полученные последовательности ПСЧ перестанут быть независимыми, и на самом деле будут представлять две части одной генеральной совокупности случайных величин.

В процессе программной реализации изложенного выше, нереализованные МИВ исключали из рассмотрения и нумеровали только те МИВ, которым соответствуют состоявшиеся растения. Каждой i -той реализовав-

шейся МИВ соответствуют координаты x_i, y_i, z_i на линии рядка. Принимая во внимание уравнения (2.22), (2.3) и (2.9) записываем:

$$\begin{cases} x_i = x_i(l_i); \\ y_i = y_i(l_i) = \sum_{k=1}^3 A_k^{(y)} \sin \left(\frac{2\pi}{L_k^{(y)}} l_i + \phi_k^{(y)} \right) + y_0, \\ z_i = z_i(l_i) = \sum_{k=1}^3 K_k^{(a)} A_k^{(z)} \sin \left(\frac{2\pi}{K_k^{(l)} L_k^{(z)}} l_i + \phi_k^{(z)} \right) + z_0. \end{cases} \quad (2.25)$$

Таким образом, в общем случае, для $i > 0$ с учетом вероятностей P_k , ($k = 1, 2, 3$) справедливо следующее

$$a_i = l_i - l_{i-1} \neq a, \quad (2.26)$$

где a_i — фактический интервал между i -той и предыдущей реализовавшейся МИВ, измеренный вдоль линии рядка (2.1).

Поскольку A_k, L_k и ϕ_k , т.е. амплитуда, длина волны и начальная фаза k -той ($k = 1, 2, 3$) гармоники в действительности являются случайными величинами, которые попадают в указанные выше интервалы, то выбор их значений также осуществлялся псевдослучайным образом, на основе закона равномерного распределения. При этом учитывалось, что первая и вторая гармоники являются общими для всех сошников сеялки, а третья — индивидуальна для каждого из рядков посевов.

В отношении третьей гармоники также учитывалось положение секции по отношению к оси симметрии МТА. Чем дальше на край расположена секция, тем больше (в случайном смысле) амплитуда A_3 .

Движение сеялки в прямом и обратном направлении также моделировалось путем псевдослучайного переназначения величин A_k, L_k и ϕ_k .

2.1.4. Определение девиаций семян относительно меток идеального высева. В реальных условиях сеялки не обеспечивают размещение семян точно в МИВ. Фактически каждое из семян при попадании в борозду, а также при последующей заделке и в следствие проведения первых довсходовых операций отклоняется от МИВ вдоль и по-

перек оси рядка на некоторые расстояния — осевую τ_i и две поперечные девианты r_i , h_i , где i — номер текущей реализованной (давшей растения) МИВ. Поперечные девианты r_i и h_i мы условно назовем “горизонтальной” и “вертикальной” (рис. 2.2).

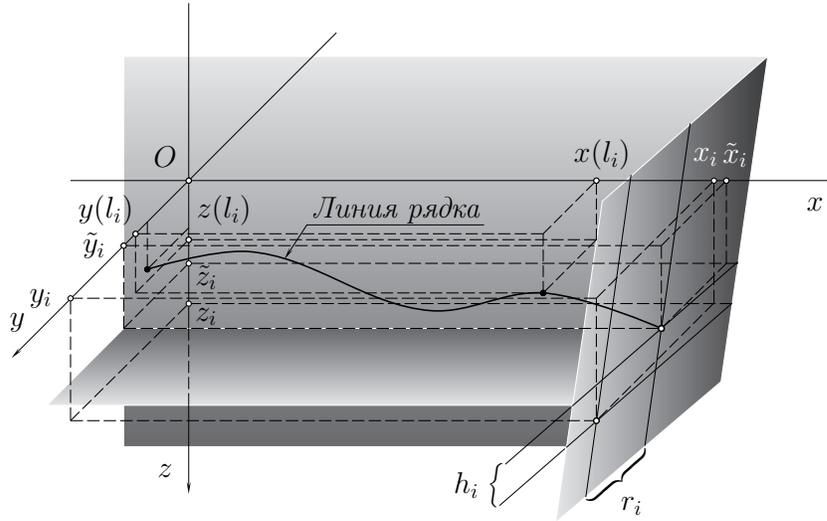


Рис. 2.2. Схема отсчета поперечных девиант семян

Осевая девианта τ_i статистически независима, отсчитывается от МИВ вдоль линии рядка (2.1) и тем определяет положение новой точки на линии рядка — СМ. Поперечные девианты r_i , h_i отсчитываются от СМ и лежат в плоскости-нормали, которая проходит через СМ и перпендикулярна к линии рядка. При этом горизонтальная девианта r_i совпадает с линией пересечения плоскости-нормали с координатной плоскостью Oxy , а вертикальная h_i — с линией пересечения плоскости-нормали с плоскостью Oxz .

Введем обозначения \tilde{x}_i , \tilde{y}_i и \tilde{z}_i соответствующих x , y , z координат положения СМ. Принимая во внимание систему уравнений (2.25), координаты СМ определяются так:

$$\tilde{x}_i = x_i(l_i + \tau_i), \quad \tilde{y}_i = y_i(l_i + \tau_i), \quad \tilde{z}_i = z_i(l_i + \tau_i). \quad (2.27)$$

Со значительной долей вероятности можно утверждать, что τ_i , r_i и h_i подчинены нормальным законам распределения с нулевым средним и некоторым среднеквадратическим отклонением σ_τ , σ_r и σ_h .

В отношении характера закона распределения семян по глубине заделки ниже последуют уточнения. Кроме этого, далее обосновано наличие корреляции между случайными величинами r_i и h_i и обоснование корректировки величины среднеквадратического отклонения σ_r .

Поскольку τ_i может быть как положительным, так и отрицательным, а также с учетом того, что при пунктирном посеве норма высева кукурузы колеблется от 2 до 6 шт. на погонный метр (25–80 шт./га [142]), то, в конечном итоге, возможны инверсии растений, когда $l_{i+1} < l_i$. Что бы избавиться от инверсий, растения следует снова перенумеровать в порядке возрастания l_i . Для этих целей применим, например, алгоритм “пузырька” [143].

Чтобы вычислить каждое значение τ_i , r_i и h_i , следует воспользоваться генераторами нормально распределенных ПСЧ [140, 141].

Большинство известных алгоритмов дают ПСЧ с нулевым средним и единичной дисперсией. В некоторых сначала генерируются псевдослучайные числа, равномерно распределенные в интервале $[0, 1]$, а затем, с помощью обратной функции [144, 145] нормированного (стандартного) нормального распределения [146], которая в свою очередь рассчитывается, например, методом минимаксных аппроксимаций [147], они преобразуются в нормально распределенные [140].

Чтобы получить τ_i , соответствующее заданному среднеквадратическому отклонению σ_r , следует воспользоваться известной формулой [148]

$$\tau_i = \sigma_r \Delta_{\tau i}, \quad (2.28)$$

где $\Delta_{\tau i}$ — нормально распределенное ПСЧ, рассчитанное для математического ожидания, равного нулю и единичной дисперсии. Если необходимо получить матожидание, которое отличное от нуля, то его плюсуется к ранее полученному значению τ_i .

Аналогичным образом рассчитывается текущее значение девианты r_i и h_i . Правила инициализации программных (предназначенных для вычислительных экспериментов на ЭВМ), генераторов нормально распределенных ПСЧ совпадают с упоминавшимися выше.

2.1.5. Моделирование корреляционных связей. Разумеется не все девианты τ_i , r_i и h_i , соответственно, осевого (τ), поперечного (r) и вертикального (h) семейств — статистически независимы. Можно с уверенностью утверждать, что τ_i не связано с r_i и/или h_i , а сами r_i и h_i коррелируют между собой. Последнее обусловлено тем, что канавка под семена, которую готовит сошник и, особенно, бороздообразователь расширяется кверху, а, значит, чем выше находится семя, т.е. чем меньше h_i , тем большим может быть его поперечное отклонения r_i .

Важно заметить, что z_0 и, как следствие, z_i (2.25) — детерминированные величины, которые определяют заданную глубину посева, а не текущее отклонение h_i от линии рядка, и поэтому не связаны ни с величиной h_i , ни с величиной r_i .

Введем систему координат $\hat{O}\hat{y}\hat{z}$ базисная точка \hat{O} которой лежит на линии рядка, а оси $\hat{O}\hat{y}$ и $\hat{O}\hat{z}$ параллельны осям Oy и Oz соответственно, но ориентированы в противоположные стороны, т.е. $\hat{O}\hat{z}$ направлена вертикально вверх. Аппроксимируем поперечное сечение сформированной сошником канавки в почве с помощью квадратичной параболы

$$\hat{z} = b\hat{y}^2, \quad (2.29)$$

где: b — параметр параболы (коэффициент), определяющий темпы подъема стенок канавки. Чем больше b , тем стремительнее поднимаются стенки канавки с ростом \hat{y} .

Решаем выражением (2.29) относительно \hat{y} и таким образом находим половину ширины подготовленной под семена канавки в почве, соответствующую текущему значению \hat{z} :

$$\hat{y} = \sqrt{\frac{\hat{z}}{b}}, \quad (2.30)$$

Вертикальные девиации h_i семени относительно линии рядка находим по формуле

$$h_i = |\sigma_h \Delta_{hi}|, \quad (2.31)$$

где Δ_{hi} — нормально распределенное ПСЧ, рассчитанное для математического ожидания, равного нулю и единичной дисперсии.

Знак модуля в выражении (2.31) связан с тем, что невозможно найти причину заставившую проникнуть семя глубже дна подготовленной сошником канавки. Теоретически последующее прикатывание могло бы углубить положение семени после высева, но величина такого углубления, безусловно, невелика и в дальнейшем мы ею пренебрегаем.

Таким образом, далее мы имеем ввиду, что:

$$h_i = \geq 0. \quad (2.32)$$

Очевидно, что если семя не оказалось на дне бороздки, а располагается несколько выше над ним, т.е. когда $h_i > 0$, то оно приобретает больше свободы для перемещения по горизонтали в пределах ширины $2\hat{y}$ канавки, которую мы получаем подстановкой h_i в выражение (2.30) вместо \hat{z} :

$$2\hat{y} = 2\sqrt{\frac{h_i}{b}}. \quad (2.33)$$

В соответствии с правилом трех сигм [149] шириной полосы рассева семян условимся считать такую величину, которая охватывает 99,72% семян, а, значит, текущее значение девианты r_i с учетом выражения (2.33) следует считать по формуле:

$$r_i = \left(\sigma_r + \frac{1}{3} \sqrt{\frac{h_i}{b}} \right) \Delta_{ri}, \quad (2.34)$$

где: σ_r — следует понимать, как среднеквадратическое отклонение распределения семян по ширине ленты посева для случая, когда вертикальная составляющая отклонения h_i равна нулю.

В отношении величины r_i с вероятностью близкой к единице можно утверждать, что r_i меньше половины ширины нижней части полоза посевной секции, а, значит, в большинстве случаев σ_r не должно превышать $1/6$ того же размера d (рис. 2.3). С позиции качества посева, распределение семян по ширине ленты посева, представляет большой интерес, поскольку

оно определяет сложность и качество выполнения последующих операций по уходу за посевами и уборке.

Если к вопросу о моделировании корреляционных связей между величинами r_i и h_i подходить из того, что направление (знак) корреляции вообще не известен, то в основу алгоритма вычисления взаимозависимых случайных величин r_i и h_i следует положить формулу расчета коэффициента корреляции Пирсона [150]:

$$\text{corr}(r, h) = \frac{\sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})(h_i - \bar{h})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}}, \quad (2.35)$$

При этом мы считаем, что σ_r , σ_h , \bar{r} и \bar{h} известны.

В таком случае алгоритм действий следующий:

1) Используя описанные выше методики, принимая во внимание заданные величины σ_r , σ_h , \bar{r} и \bar{h} , генерируем два множества

$$\{r_i\}; \quad \{h_i\}; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (2.36)$$

где r_i — вариационный ряд отклонений семян в стороны от линии рядка и h_i — вариационный ряд глубины заделки h_i тех же семян.

2) По формуле (2.35) вычисляем исходное (фактическое) значение коэффициента корреляции Пирсона $\text{corr}_f(r, h)$.

3) Сравниваем фактическое значение $\text{corr}_f(r, h)$ с заданной величиной $\text{corr}_0(r, h)$ коэффициента корреляции Пирсона.

4) Если

$$\text{corr}_f(r, h) = \text{corr}_0(r, h), \quad (2.37)$$

то итерации прекращаем и констатируем факт достижение цели: “множества r_i и h_i (2.36) коррелируют между собой соответственно требуемой величине коэффициента корреляции $\text{corr}_0(r, h)$ ”.

5) Если

$$\text{corr}_f(r, h) \neq \text{corr}_0(r, h), \quad (2.38)$$

то псевдослучайным образом выбираем два номера “ i -тый” и “ j -тый” по-

следовательности

$$(i, j) \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad i \geq 1, \quad i < j, \quad j \leq n. \quad (2.39)$$

6) i -тый и j -тый элементы множества r_i меняем местами, т.е. выполним присвоения:

$$\tilde{r}_i = r_i, \quad \tilde{r}_j = r_j, \quad (2.40)$$

$$r_i = \tilde{r}_j, \quad r_j = \tilde{r}_i. \quad (2.41)$$

7) выполняем расчет $\text{corr}_t(r, h)$ текущего значения коэффициента корреляции Пирсона.

8) Сравниваем текущее значение $\text{corr}_t(r, h)$ коэффициента корреляции Пирсона с заданной величиной $\text{corr}_0(r, h)$.

9) Если при заданном значении $\varepsilon_{\text{corr}}$ допустимого отклонения конечного значения $\text{corr}(r, h)$ от заданной величины $\text{corr}_0(r, h)$ и выполняется условие

$$\text{corr}_t(r, h) \in [(\text{corr}_0(r, h) - \varepsilon_{\text{corr}}), (\text{corr}_0(r, h) + \varepsilon_{\text{corr}})] \quad (2.42)$$

итерации прекращаем по факту достижения цели (см. пункт 4), а множества r_i, h_i считаем сформированными и готовыми для применения в процессе решения иных задач моделирования посева.

10) Если условие (2.42) не выполняется и при этом

$$\text{corr}_f(r, h) \leq \text{corr}_t(r, h) < \text{corr}_0(r, h) \quad (2.43)$$

или

$$\text{corr}_0(r, h) \leq \text{corr}_t(r, h) < \text{corr}_f(r, h) \quad (2.44)$$

то выполняем присвоение

$$\text{corr}_f(r, h) = \text{corr}_t(r, h) \quad (2.45)$$

и псевдослучайным образом снова выбираем “ i -тый” и “ j -тый” номер последовательности (2.39), а затем повторяем итерации начиная с пункта № 6.

11) Если оба условия (2.43) и (2.44) не достигаются, то выполнив переприсвоения

$$r_i = \tilde{r}_i, \quad r_j = \tilde{r}_j, \quad (2.46)$$

возвращаем элементы вариационного ряда r_i на прежние позиции и снова псевдослучайным образом выбираем новый ‘ i -тый’ и ‘ j -тый’ номера последовательности (2.39), а затем снова возвращаемся на пункт № 6.

12) Итерации прекращаем, когда будет достигнуто выполнение условия попадания текущего значения $\text{corr}_t(r, h)$ в интервал (2.42).

2.1.6. Уравнение плоскости поперечных девиаций семян относительно линии рядка. Для определения конечных координат x_i, y_i, z_i i -того растения мы ранее получили координаты $\tilde{x}_i, \tilde{y}_i, \tilde{z}_i$, соответствующие координатам x, y, z определяющим положение СМ.

Линия рядка выше определена тремя параметрическими уравнениями (2.1) и (2.22). Построим плоскость, которая содержит СМ, пересекает линию рядка и ориентирована по нормали к нему:

$$(x - \tilde{x}_i) \frac{dx(\tilde{l}_i)}{dl} + (y - \tilde{y}_i) \frac{dy(\tilde{l}_i)}{dl} + (z - \tilde{z}_i) \frac{dz(\tilde{l}_i)}{dl} = 0, \quad (2.47)$$

где

$$\tilde{l}_i = l_i + \tau_i \quad (2.48)$$

— отрезок линии рядка от начала до текущего положения СМ, а координаты \tilde{x}_i, \tilde{y}_i и \tilde{z}_i с учетом (2.48) и (2.27) определяются выражениями

$$\tilde{x}_i = x(\tilde{l}_i), \quad \tilde{y}_i = y(\tilde{l}_i), \quad \tilde{z}_i = z(\tilde{l}_i). \quad (2.49)$$

Тогда производные $\frac{d}{dl}y(\tilde{l}_i)$ и $\frac{d}{dl}z(\tilde{l}_i)$ определяются выражениями (2.13) и (2.15) путем подстановки конкретного значения $l = \tilde{l}_i$:

$$\frac{dy(\tilde{l}_i)}{dl} = \sum_{k=1}^3 A_k^{(y)} \frac{2\pi}{L_k^{(y)}} \cos \left(\frac{2\pi}{L_k^{(y)}} \tilde{l}_i + \phi_k^{(y)} \right). \quad (2.50)$$

и

$$\frac{dz(\tilde{l}_i)}{dl} = \sum_{k=1}^3 K_k^{(a)} A_k^{(z)} \frac{2\pi}{K_k^{(l)} L_k^{(z)}} \cos \left(\frac{2\pi}{K_k^{(l)} L_k^{(z)}} \tilde{l}_i + \phi_k^{(z)} \right), \quad (2.51)$$

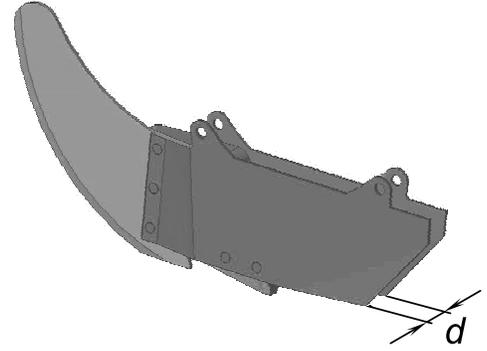


Рис. 2.3. Полоз сошника

а производная $\frac{d}{dl}x(\tilde{l}_i)$ — пока неизвестна. Для ее определения воспользуемся выражением (2.11). После формальных преобразований и подстановки конкретного значения $l = \tilde{l}_i$ имеем:

$$\frac{dx(\tilde{l}_i)}{dl} = \sqrt{1 - \left(\frac{dy(\tilde{l}_i)}{dl}\right)^2 - \left(\frac{dz(\tilde{l}_i)}{dl}\right)^2}. \quad (2.52)$$

Теперь, выполнив подстановку производной $\frac{d}{dl}x(\tilde{l}_i)$ (2.52) получаем окончательное уравнение плоскости поперечных девиаций семян относительно линии рядка

$$\begin{aligned} (x - \tilde{x}_i) \sqrt{1 - \left(\frac{dy(\tilde{l}_i)}{dl}\right)^2 - \left(\frac{dz(\tilde{l}_i)}{dl}\right)^2} + \\ + (y - \tilde{y}_i) \frac{dy(\tilde{l}_i)}{dl} + (z - \tilde{z}_i) \frac{dz(\tilde{l}_i)}{dl} = 0. \end{aligned} \quad (2.53)$$

2.1.7. Определение конечных координат растений посева. Поперечная девианта r_i отсчитывается от СМ с координатами \tilde{x}_i , \tilde{y}_i , \tilde{z}_i вдоль линии пересечения плоскости поперечных девиаций (2.53) с плоскостью $z = \tilde{z}_i$, содержащей СМ, которая параллельна координатной плоскости Oxy . В таком случае уравнение линии отсчета поточной девианты r_i определяем подстановкой $z = \tilde{z}_i$ в уравнение (2.53). После формальных преобразований и замен имеем:

$$(x - \tilde{x}_i) A_i = (y - \tilde{y}_i) B_i, \quad (2.54)$$

где

$$A_i = \sqrt{1 - B_i^2 - C_i^2}, \quad (2.55)$$

$$B_i = \frac{dy(\tilde{l}_i)}{dl}, \quad (2.56)$$

$$C_i = \frac{dz(\tilde{l}_i)}{dl}. \quad (2.57)$$

Аналогичным образом, выполнив подстановку $y = \tilde{y}_i$ в уравнение (2.53), находим линию пересечения плоскости поперечных девиаций с плос-

костью содержащей СМ и параллельной координатной плоскости Oxz :

$$(x - \tilde{x}_i) A_i = (z - \tilde{z}_i) C_i, \quad (2.58)$$

Вдоль линии (2.58) выполняется отсчет девианты h_i .

Поскольку девианта r_i отсчитывается вдоль линии (2.54), то ее величину можно определить уравнением

$$r_i^2 = (x - \tilde{x}_i)^2 + (y - \tilde{y}_i)^2. \quad (2.59)$$

Теперь рассматриваем уравнения (2.54) и (2.59) как систему, и, решив (2.54) относительно разности абсцисс $(x - \tilde{x}_i)$, подставляем полученное в уравнение (2.59):

$$r_i^2 = (y - \tilde{y}_i)^2 \frac{B_i^2}{A_i^2} + (y - \tilde{y}_i)^2. \quad (2.60)$$

Решив уравнение (2.60) относительно переменной y находим окончательное значение ординаты y_i i -го растения:

$$y_i = y = \tilde{y}_i + r_i \left(\frac{B_i^2}{A_i^2} + 1 \right)^{-\frac{1}{2}}. \quad (2.61)$$

Аналогичным образом рассчитываем окончательное значение координаты z_i . Поскольку девианта h_i отсчитывается вдоль линии (2.58), то ее величина определяется уравнением:

$$h_i^2 = (x - \tilde{x}_i)^2 + (z - \tilde{z}_i)^2. \quad (2.62)$$

Теперь рассматриваем уравнения (2.58) и (2.62) как систему, повторив изложенные выше выкладки, находим окончательное значение ординаты z_i i -го растения:

$$z_i = z = \tilde{z}_i + h_i \left(\frac{C_i^2}{A_i^2} + 1 \right)^{-\frac{1}{2}}. \quad (2.63)$$

Окончательное значение абсциссы x_i находим подстановкой значений $y = y_i$ (2.61) и $z = z_i$ (2.63) в уравнение (2.53) плоскости поперечных девиаций и последующего решения относительно x . В итоге имеем:

$$x = \tilde{x}_i - r_i \frac{B_i}{\sqrt{A_i^2 + B_i^2}} - h_i \frac{C_i}{\sqrt{A_i^2 + C_i^2}}. \quad (2.64)$$

На этом определение окончательных координат растений x_i y_i и z_i завершается.

2.1.8. Урожай, как вероятностная функция глубины заделки семян. Формирование агротребований к показателям качества выполнения полевых технологических операций — весьма сложный вопрос. С одной стороны, чем выше качество работ, тем лучше результат, а с другой — всегда есть некоторый предел, после достижения которого прирост качества осуществления технологических операций не будет окупаться взаимозависимым ростом качества и количества урожая.

Ситуация на рынке сейчас меняется с каждым днем, подобно природно-климатическим условиям, и поэтому жестко сформулировать такие агротребования не представляется возможным. В этой связи существовавшие в СССР и применяющиеся на уровне закона агротребования постепенно утратили свою актуальность [151].

В качестве альтернативы “агротребованиям” Ковтун Ю. И. предложил сформулировать, и затем использовать, агроусловия (в оригинале, на украинском языке “агроумови”) [151]. В соответствии с названием, акцент переносился с формулировки требований к показателям качества работы на требования к условиям, в которых должна быть способной работать сельскохозяйственная техника.

Что касается показателей качества результатов работы, то тут вопрос становился открытым, т.е. “чем выше, тем лучше”. В итоге проблема поиска экономически обоснованного предела увеличения показателей качества выполняемых работ свою актуальность не утратила.

Кроме того, Ковтун Ю. И. показал, что ущерб урожаю от снижения качества выполняемых полевых работ зависит от того, какие это работы. Он ранжировал их по значимости и ввел понятие коэффициента реализации биопотенциала (КРБП) η [152].

По своей природе КРБП является мультипликативным [153] показателем и определяется как произведение:

$$\eta = \prod_{i=0}^n \eta_i, \quad \eta_i \in [0, 1], \quad 0 \leq \eta \leq 1, \quad (2.65)$$

где η_i — КРБП, относящийся к текущей операции. В идеале КРБП может достичь единицы.

Эффективность применения КРБП позволяет, во-первых, освободиться от необходимости оперировать абсолютными цифрами урожая, который, как известно, может зависеть от многих, не подвластных человеку, факторов, а, во-вторых, показать, что если на одной операции потерял часть урожая, то в дальнейшем уже не догонишь.

Посев — ключевая операция, а, значит, и ресурсы должны быть направлены в первую на нее. Известно ведь: “что посеешь — то пожнешь”.

С учетом приведенного возникает потребность в использовании выше изложенной ММП для изучения и анализа цепочки взаимосвязей между качеством посевного материала, параметрами и качеством посева и КРБП.

Описанная выше ММП [136, 154] позволяет получить координаты (x_i, y_i) высеянных и давших всходы семян, где номер i -того (текущего) семени (растения) определяется рядом:

$$i = 1, 2, \dots, N_r, \quad N_r = \sum_{i=1}^{n_p} \sum_{j=1}^{n_s} n_{ij}, \quad (2.66)$$

где: N_r — общее количество давших всходы семян; n_p — количество моделируемых проходов сеялки (как минимум $n_p = 2$, т.е. прямой и обратный проход); n_s — количество сошников сеялки, которое определяется ее конструкцией; n_{ij} — количество давших всходы семян, приходящихся на учетный участок, i -того прохода и j -того сошника.

Кроме трех гармоник, описанная ММП учитывает заданную величину идеальной дистанции между растениями (a), продольное перемещение семян (τ_i) относительно МИВ, горизонтальный рассев семян (r_i) относительно линии хода сошника, отклонение глубины заделки (h_i) от заданной величины z_0 , вероятность высева P_1 , вероятность высева двойников P_2 и вероятность появления всходов (всхожесть) семян P_3 [136, 154].

Возможность в нарушении расположения МИВ в следствие неустойчивости величины проскальзывания приводных колес сеялки не учитывает-

ся, основываясь на предположении, что при достаточно короткой учетной длине рядка, равной 10 м (так требует ОСТ 70.5.1-82 [155]), величину коэффициента проскальзывания можно считать постоянной.

Далее необходимо получить моделирование связей между вошедшими в ММП параметрами и КРБП каждого из реализовавшихся растений.

В работе [156], наоборот, имеются графические данные по взаимосвязи между глубиной заделки семян и КРБП, но нет никаких моделей, которые могли бы связать вероятностный характер глубины заделки семян с результирующим КРБП посева в целом.

Далее остановимся на изучении влияния отдельных параметров посева на результирующее значение КРБП.

Сначала представим имеющиеся в работе [156], графические данные по взаимосвязи между глубиной заделки семян (z) и КРБП (η) в аналитическом виде (табл. 2.1). Для этого определим координаты точек на рисунках [156] и, воспользовавшись методом наименьших квадратов [157, 158], подберем функции, которые аппроксимируют их наилучшим образом.

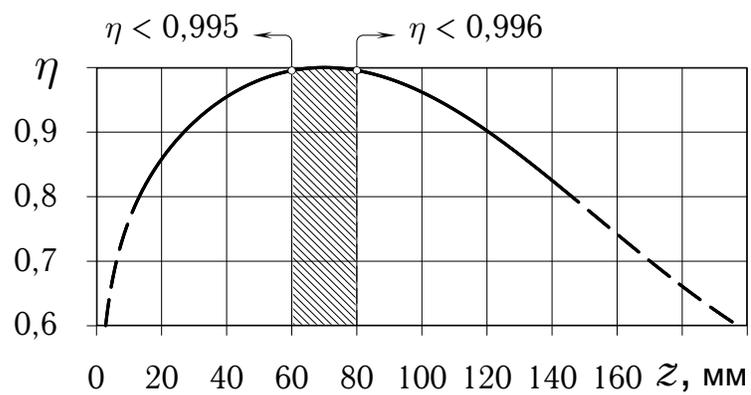
Приведенные на рис. 2.4 графики построены с использованием приведенных в табл. 2.1 функций (2.67), (2.68) и (2.69). При этом предполагается, что температурновлажностные условия, которые сложились в почве в интервале выделенных глубин (заштрихованные участки) на момент посева соответствуют оптимальным. Если по факту оптимальные для прорастания семян условия складываются на другой глубине, то в выражения (2.67), (2.68) и (2.69) следует внести соответствующие поправки, которые приведут к адекватным смещениям графиков:

$$\eta = \eta(z + \Delta z_0), \quad (2.70)$$

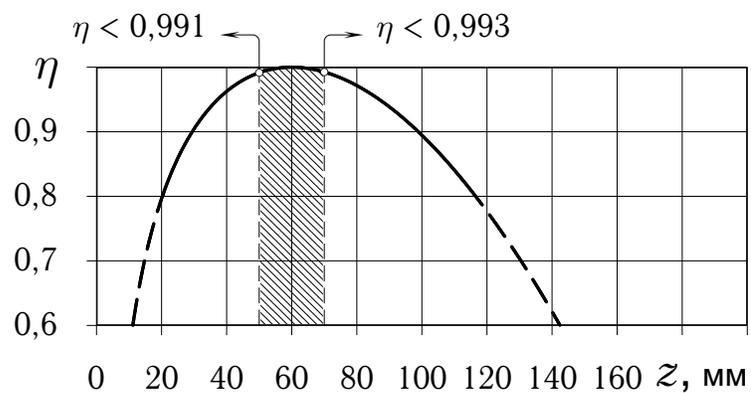
где

$$\Delta z_0 = z_0 - z_{opt}, \quad (2.71)$$

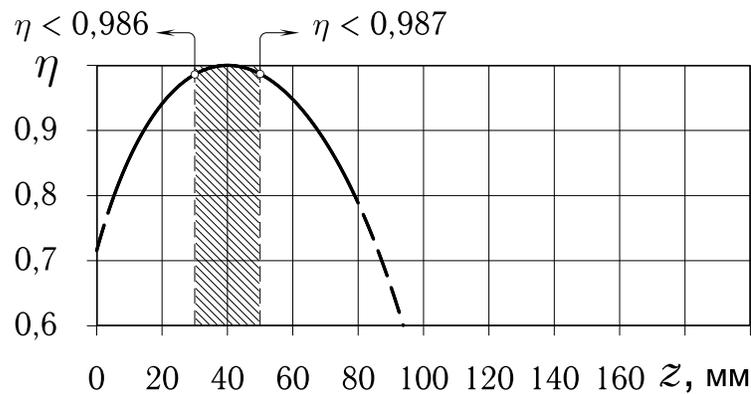
— смещение оптимальной глубины заделки семян z_{opt} в конкретных условиях, относительно величины z_0 , при которой выражения (2.67), (2.68) и



А



В



С

Рис. 2.4. Зависимость величины КРБП от глубины заделки семян z : А — кукурузы на зерно; В — подсолнечника; С — сахарной свеклы

Таблица 2.1

Аналитические выражения, аппроксимирующие экспериментальные данные по влиянию глубины заделки семян на реализацию КРБП

Культура	Рис.	Аналитическое выражение		
		Значения коэффициентов	Представление	№
1 Кукуруза на зерно	2.4А	$C_0 = 0,759379 E+00;$ $C_1 = 0,103462 E-01;$ $C_2 = -0,158745 E-02;$ $C_3 = 0,125292 E+00;$	$\eta = C_0 z^{(C_1 z + C_2 z^2)} + C_3 \ln z$	(2.67)
2 Подсолнечник	2.4В	$C_0 = 0,833692 E+00;$ $C_1 = 0,788850 E+00;$ $C_2 = 0,467095 E+00;$ $C_3 = -0,372966 E-02;$	$\eta = C_0 [\ln(z + C_1)]^{C_2} + C_3 z^2$	(2.68)
3 Сахарная свекла	2.4С	$C_0 = 0,131946 E+01;$ $C_1 = 0,294233 E-01;$ $C_2 = 0,519273 E+01;$ $C_3 = -0,324544 E-01;$	$\eta = \sqrt{C_0 - A_1 + A_2},$ где: $A_1 = C_1 (z - C_2)^2$ $A_2 = C_3 z$	(2.69)

(2.69) дают максимум, т.е. когда

$$\eta(z)|_{z=z_0} = 1. \quad (2.72)$$

Если в реальности оптимальная величина заделки семян z_{opt} меньше z_0 , то Δz_0 получается положительной, а в противном случае, наоборот — отрицательной.

Выражения (2.67), (2.68) и (2.69) реализуют взаимосвязь между величиной КРБП и глубиной заделки давшего всходы растения вида $\eta = \eta(z)$. В свою очередь, описанная выше ММП, позволяет получить $z \in \{z_1, z_2, \dots, z_{N_r}\}$, для каждого из N_r растений учетного участка. Следовательно, в конечном итоге получена возможность вычислять КРБП для каждого отдельного растения $\eta_i = \eta(z_i)$, и в итоге, получать статистический ряд $\{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_{N_r}\}$ и подвергать его анализу. Все входные параметры ММП, которые используются для вычисления $\{z_1, z_2, \dots, z_{N_r}\}$, теперь явля-

ются входными параметрами для вычисления $\{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_{N_r}\}$, а, значит, теперь возможно проследить взаимосвязь любого параметра ММП или их комбинаций с величиной КРБП посева в целом.

В частности, возникает вопрос о влиянии вертикальных колебаний сошника на КРБП высеваемых растений. Ответ на него дает рис. 2.5, который построен для идеализированного случая, когда линия рядка изгибается только в вертикальной плоскости, и представляет собой синусоиду с переменными параметрами: $A_1^{(z)} \in [0, 40]$ мм, $L_1^{(z)} \in [1, 11]$ м и $\phi_1^{(z)} \in [0, \pi]$. Распределение семян вдоль рядка, а также их всхожесть — идеальны. Расстояние между МИВ $a = 200$ мм. Случайных отклонений семян относительно линии хода сошника также не имеется, т.е. $r_i = 0$, для всех i (2.66).

Из рис. 2.5 видно, что на величине КРБП сказывается только амплитуда колебаний сошника, и никак не сказывается длина волны этих колебаний. Вовлечение в использование иных параметров ММП приведет к снижению КРБП посева в целом.

Такие же выводы можно сделать и в отношении подсолнечника и сахарной свеклы. В последнем случае снижение величины КРБП с ростом амплитуды вертикальных колебаний сошников будет более значительным. Это непосредственно следует из сравнения рис. 2.4А, 2.4В, 2.4С.

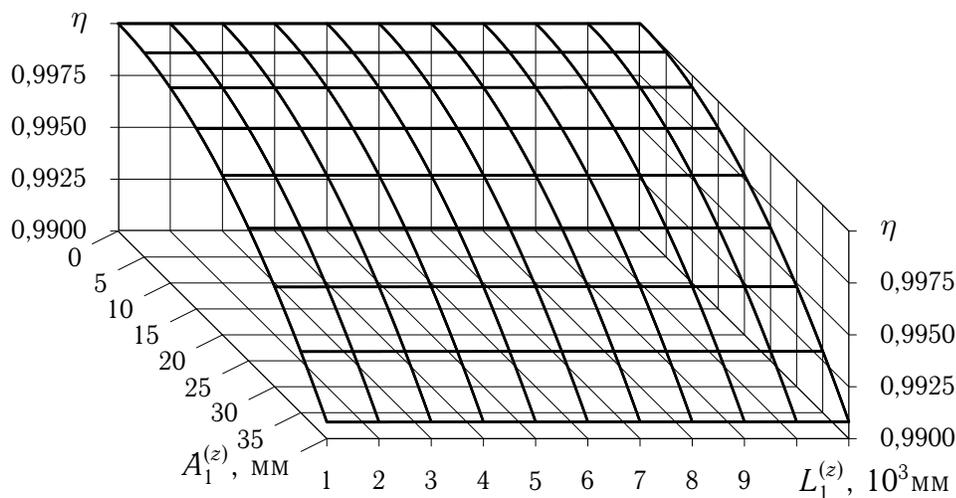


Рис. 2.5. Влияние амплитуды $A_1^{(z)}$ и длины волны $L_1^{(z)}$ вертикальных колебаний сошника на результирующую величину КРБП посева кукурузы

2.1.9. Алгоритм реализации математической модели посева. Эффективность метода Монте-Карло [159–161] прежде всего состоит в независимости моделирования каждого элемента последовательной цепочки вероятностных событий.

Так, например, если программная реализация уже предполагает моделирование вероятностных аспектов фактов высева и появления всхода, то для ее дополнения моделированием нового вероятностного события (высева дубля), во-первых, не потребуются изменения уже имеющегося кода, относящегося к первым двум событиям, а, во-вторых, дополнительный код практически полностью повторит фрагмент уже имеющегося кода. Фактически все изменения такого рода предполагают написание дополнительных подпрограмм, операторы вызова которых помещаются в разрыв цепочки операторов имеющегося кода. Это на много проще, быстрее и дешевле, чем перенаписание всего кода модели в случае традиционных подходов.

Сам алгоритм предполагает последовательное исполнение нескольких блоков. Первый относится к инициализации исходных данных.

Сначала выполняются присвоения детерминированных величин:

- 1) количество повторностей вычислительного опыта;
- 2) количество проходов сеялки в опыте (как минимум, прямой и обратный проход);
- 3) количество рядков;
- 4) заданная глубина заделки семян z_0 ;
- 5) заданный интервал a между растениями в рядке;
- 6) длина участка рядка (прохода сеялки);
- 7) интервалы возможных значений $A_k^{(y)}$, $L_k^{(y)}$ и $\phi_k^{(y)}$, т.е. амплитуды, длины волны и начальной фазы каждой k -той ($k = 1, 2, 3$) гармоники колебаний БТС в продольно-горизонтальной координатной плоскости Oxy ;
- 8) интервалы возможных значений $A_k^{(z)}$, $L_k^{(z)}$ и $\phi_k^{(z)}$, т.е. амплитуды, длины волны и начальной фазы каждой k -той ($k = 1, 2, 3$) гармоники колебаний БТС в координатной плоскости Oxz ;

9) коэффициенты $\xi^{(a)}$ и $\xi^{(l)}$ изменения амплитуды и длины волны колебаний сошника в плоскости Oxz .

10) среднеквадратическое отклонение σ_τ семян относительно МИВ по направлению линии рядка;

11) среднеквадратическое отклонение σ_h семян относительно заданной глубины заделки;

12) среднеквадратическое отклонение σ_r распределения семян по ширине ленты рассева для случая, когда вертикальная составляющая отклонения h_i равна нулю;

13) коэффициент b , определяющий темпы подъема стенок канавки, которую готовит сошник под семена;

14) служебные переменные, определяющие элементарные приращения изменяемых в цикле величин, а также требования на точность;

15) числа инициаторы генераторов ПСЧ (могут быть назначенными, если требуется полная идентичность вычислительного эксперимента, а могут выполняться текущими показаниями системных часов и далее путем применения того же генератора равномерно распределенных ПСЧ).

Далее следует инициализация параметров гармонических колебаний, определяющих непрямолинейность движения трактора ($k = 1$), сеялки ($k = 2$) и посевных секций ($k = 3$): амплитуд $A_k^{(j)}$, длин волн $L_k^{(j)}$ и начальных фаз $\phi_k^{(j)}$, где $j = y$ относится к продольно-поперечным колебаниям, а $j = z$ — к колебаниям в продольно-вертикальной плоскости. Перечисленные величины получают псевдослучайные значения из обозначенных выше возможных интервалов варьирования. Все значения параметров $A_k^{(j)}$, $L_k^{(j)}$ и $\phi_k^{(j)}$ меняются всякий раз, когда изменяется повторность опыта, направление или номер прохода агрегата. Параметры, относящиеся к моделированию нелинейности движения трактора ($k = 1$) и сеялки ($k = 2$) остаются одинаковыми для всех рядков текущего прохода.

Параметры нелинейности движения сошников сеялки ($k = 3$) различны для каждого сошника, причем значения амплитуды колебаний $A_3^{(j)}$

сошников увеличиваются по мере удаления вправо-влево от центральной посевной секции сеялки. Это обстоятельство связано с тем, что и колебания трактора, и колебание сеялки на навеске трактора, и, особенно, упругие колебания (деформации) рамы сеялки наиболее существенно сказываются на непрямолинейности хода крайних посевных секций.

Моделирование выполняется следующим образом. Вначале для заданного j выполняется расчет

$$\delta_i^{(j)} = \max[A_3^{(j)}] \Delta_{A3} \quad j \in \{y, z\} \quad i = 1, 2, \dots N_s, \quad (2.73)$$

где: $\max[A_3^{(j)}]$ — максимально возможное значение амплитуды $A_3^{(j)}$;

$$\Delta_{A3} \in [0, 1] \quad (2.74)$$

— равномерно распределенное ПСЧ; N_s — количество секций сеялки (рядков на один проход).

Далее полученное множество

$$\{\delta_i^{(j)}\} = \{\delta_1^{(j)}, \delta_2^{(j)}, \dots \delta_{N_s}^{(j)}\} \quad (2.75)$$

ранжируют по возрастанию:

$$\delta_1^{(j)} \leq \delta_2^{(j)} \leq \dots \leq \delta_{N_s}^{(j)}. \quad (2.76)$$

Присвоения

$$A_3^{(j)} = \delta_i^{(j)}, \quad j \in \{y, z\} \quad i = 1, 2, \dots N_s, \quad (2.77)$$

выполняют, начиная с центральной посевной секции, и далее для соседней слева, а затем справа от нее и т.д. по мере роста номера i элемента $\delta_i^{(j)}$ множества $\{\delta_i^{(j)}\}$ (2.75).

На этом блок операторов, относящихся к инициализации начальных данных, исчерпывается.

Далее следует блок операторов реализации модели.

Начинается он из группы вложенных циклов, выполняющих перебор:

- а) повторностей опыта; б) номеров проходов текущей повторности опыта;
- в) направлений движения (туда, обратно); г) номеров посевных секций.

Для учетного участка текущего ряда моделирование посева предполагает выполнение следующих действий:

1) формирование множества $\{l_i\}$ значений l_i (2.10), определяющих положение МИВ на линии ряда:

$$\{l_i\} = \{l_1, l_2, \dots, l_{N_{miv}}\}, \quad (2.78)$$

где N_{miv} — количество МИВ на учетном участке ряда;

2) моделирование события “состоялся высев семени или нет” (2.24) для каждого $i = 1, 2, \dots, N_{miv}$;

3) количество СМ N_{sm} приравнивается к N_{miv} ;

4) если высев i -того семени не состоялся, то соответствующее значение l_i исключается из множества $\{l_i\}$, количество СМ N_{sm} соответственно уменьшается на единицу, а элементы множества $\{l_i\}$ перенумеровываются по порядку. Теперь и далее количество элементов множества $\{l_i\}$ определяется величиной N_{sm} ;

5) если высев i -того семени состоялся, то выполняется проверка (2.24) — это семя единичное или высеялся двойник;

6) в случае, когда справедливо последнее, то N_{sm} увеличивается на единицу и затем выполняются присвоения

$$\begin{aligned} l_{i+1} &= l_i, \\ l_{i+2} &= l_{i+1}, \\ l_{i+3} &= l_{i+2}, \\ &\dots \\ l_{N_{sm}} &= l_{N_{sm}-1}; \end{aligned} \quad (2.79)$$

7) выполняется проверка (2.24) — высеянное семя дало растение или нет. Если нет, то l_i исключается из множества $\{l_i\}$, N_{sm} уменьшается на единицу, а элементы множества $\{l_i\}$ перенумеровываются по порядку;

8) для всех $i = 1, 2, \dots, N_{sm}$ в соответствии с выражением (2.28) выполняется расчет осевых девиант τ_i и затем, в соответствии с выражением (2.48), величин \tilde{l}_i . Затем выполняется формирование множества

$$\{\tilde{l}_i\} = \{\tilde{l}_1, \tilde{l}_2, \dots, \tilde{l}_{N_{sm}}\}; \quad (2.80)$$

9) сортировка множества (2.80) по возрастанию;

10) используя множество значений $\{\tilde{l}_i\}$ (2.80), понимая, что $l = \tilde{l}_i$, а $\tilde{x}_i = x$ путем численного решения уравнения (2.21) формируется множество абсцисс СМ:

$$\{\tilde{x}_i\} = \{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_{N_{sm}}\}; \quad (2.81)$$

11) используя множество значений $\{\tilde{l}_i\}$ (2.80), приняв, что $l_i = \tilde{l}_i$, $\tilde{y}_i = y_i$ и $\tilde{z}_i = z_i$, по формулам (2.26) выполняется расчет элементов множеств $\{\tilde{y}_i\}$ и $\{\tilde{z}_i\}$ соответствующих координат СМ:

$$\begin{aligned} \{\tilde{y}_i\} &= \{\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_{N_{sm}}\}; \\ \{\tilde{z}_i\} &= \{\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \dots, \tilde{z}_{N_{sm}}\}; \end{aligned} \quad (2.82)$$

12) в соответствии с выражением (2.31) выполняется расчет вертикальной девианты h_i ;

13) в соответствии с выражением (2.34) и с учетом ранее полученного значения h_i выполняется расчет боковых девиант r_i ;

14) в соответствии с выражением (2.61) выполняется расчет окончательного значения ординаты y_i i -того давшего всходы семени;

15) в соответствии с выражением (2.63) выполняется расчет окончательного значения координаты z_i i -того давшего всходы семени;

16) путем использования выражением (2.64) выполняется расчет окончательного значения абсциссы x_i i -того давшего всходы семени;

17) выполняется присвоение $N_r = N_{sm}$, где N_r — количество давших всходы семян (количество растений);

18) действия пунктов 12)–16) повторяются в цикле для всех $i = 1, 2, \dots, N_r$. В результате формируются связанные множества $\{x_i\}$, $\{y_i\}$ и $\{z_i\}$ координат x_i , y_i и z_i давших всходы семян

$$\begin{aligned} \{x_i\} &= \{x_1, x_2, \dots, x_{N_r}\}; \\ \{y_i\} &= \{y_1, y_2, \dots, y_{N_r}\}; \\ \{z_i\} &= \{z_1, z_2, \dots, z_{N_r}\}; \end{aligned} \quad (2.83)$$

19) связанные множества $\{x_i\}$, $\{y_i\}$ и $\{z_i\}$ сортируют в порядке возрастания абсциссы x_i .

На этом заканчивается выполнение операторов, относящихся к ММП. Массивы координат давших всходы семян получены.

Далее следует моделирование полевых методик оценки интервалов между растениями, характера распределения семян по ширине ленты посева и по глубине заделки. В частности, выполняется статистическая обработка и анализ полученных результатов.

2.2. Восстановление линии рядка путем применения метода парциальных ускорений и математических моделей на основе методов Фурье

Часто бывает так, что нет никакой технической возможности изучить явления исключительно экспериментально. Может кому-то покажется удивительным, но распределение семян относительно линии хода сошника относится к такой проблеме. На сегодня, нет экспериментальных методик, которые обеспечивают достоверное отделение кривой оси рядка от конечного распределения растений вдоль него. Выход один — необходимо комбинирование математических моделей и экспериментальных методов.

Выше изложена ММП [136, 154], в основе которой лежит представление о линии рядка пропашных культур как сумме гармоник, параметры которых, определяются псевдослучайно. Кроме того, методом Монте-Карло [159–161] смоделирован вероятностный характер пропусков, высева двойников, всхожести семян, а также трехмерных отклонений давших всходы семян относительно траектории хода сошника. Моделируются также и корреляционные связи некоторых величин.

Проблема проверки адекватности разработанной ММП на реальных посевах предполагает решение частной задачи по экспериментальной реконструкции траектории рядка, которая рассматривается далее в плоской постановке, т.е., как проекция на горизонтальную плоскость.

В основе методов решения задачи восстановления траектории БТС (линии рядка посева), которые будут изложены далее, лежит интерполя-

ция экспериментальных данных рядами Фурье. Тут возможны два диаметрально противоположных варианта.

В первом случае, предлагается вначале представить в виде ряда Фурье искомую функциональную связь, т.е. линию рядка, а, затем, путем дифференцирования прийти к интерполяционным рядам измеряемых величин (скоростей и ускорений).

Во втором случае, наоборот, изначально записываем интерполяционные ряды измеряемой величины, а, затем, путем интегрирования, восстанавливаем искомую функциональную связь — уравнение линии рядка.

Первый подход далее именуется “методом производных” или “дифференциальным методом”, а второй — “интегративным методом”.

2.2.1. Дифференциальный метод построения функциональных связей для восстановления искомой линии рядка. Применим горизонтальную Декартову систему координат Oxy , ось абсцисс которой совпадает с идеальным направлением рядка посева. В этой системе координат любую гладкую кривую вообще, и траекторию хода сошника (линию рядка), в частности, можно представить как разложение Фурье [162], в виде бесконечного тригонометрического ряда [163]:

$$y(x) = \sum_{i=0}^{\infty} A_i \cos \left(\frac{2\pi}{L} ix + \varphi_i \right), \quad x \in [0, L], \quad (2.84)$$

где: L — ширина интервала изменения x , для которого определено разложение; A_i , i/L и φ_i — амплитуда, длина волны (период) и начальная фаза i -той гармоники, причем смещением кривой $y(x)$ относительно оси абсцисс является произведение $A_0 \cos \varphi_0$, которое не зависит от текущего значения x и в котором, как правило $\varphi_0 = \pi/2$.

С некоторой, достаточной для технических применений, погрешностью разложение (2.84) можно представить в конечной форме, т.е. в виде суммы n членов ряда:

$$y(x) = \sum_{i=0}^n A_i \cos \left(\frac{2\pi}{L} ix + \varphi_i \right), \quad x \in [0, L], \quad (2.85)$$

а значения A_i , φ_i , где $i = 0, 1, \dots, n$ — рассчитать, используя дискретное ППФ [165–167].

Поскольку, в процессе движения полевого агрегата непосредственное измерение координат (x, y) не возможно, то далее проведем ряд преобразований выражения (2.85).

Рассмотрим случай, когда скорость v_x перемещения агрегата в направлении оси абсцисс в течение прохождения пути L можно считать постоянной. Тогда координату x можно записать, как функцию времени $x = x(t) = v_x t$, а выражение (2.85) представить так:

$$y(t) = \sum_{i=0}^n A_i \cos \left(\frac{2\pi}{T} i t + \varphi_i \right), \quad t \in [0, T], \quad (2.86)$$

где: $T = L/v_x$, а ордината y теперь также представлена как функция времени t , т.е. $y = y(t)$. Далее выражение (2.86) дифференцируем по t . В результате получаем v_y — скорость перемещения агрегата (связанной с агрегатом конкретной точки) в направлении оси ординат, как функцию времени:

$$v_y(t) = - \sum_{i=0}^n A_i \frac{2\pi}{T} i \sin \left(\frac{2\pi}{T} i t + \varphi_i \right), \quad t \in [0, T]. \quad (2.87)$$

Теперь дифференцируя (2.87) по t получаем a_y — ускорение перемещения связанной с агрегатом точки в направлении оси ординат как функцию времени:

$$a_y(t) = \sum_{i=0}^n B_i \cos \left(\frac{2\pi}{T} i t + \varphi_i \right), \quad t \in [0, T], \quad (2.88)$$

где

$$B_i = -A_i \left(\frac{2\pi}{T} i \right)^2. \quad (2.89)$$

Технических проблем с измерением a_y , v_x , L и T в процессе проведения экспериментов нет, а значит, если применив ППФ возможно получить значения B_i и φ_i , то возможно восстановление функциональной связи $a_y = a_y(t)$ (2.88), а затем путем последовательного интегрирования — сначала выражения $v_y = v_y(t)$ (2.87), а затем выражения $y = y(t)$ (2.86). Далее, учитывая, что $t = x/v_x$, осуществляется возможность реконструкции уравнения $y = y(x)$ (2.85) искомой траектории.

Если технические возможности измерений позволяют выполнять замеры ускорения a_y через фиксированный интервал времени Δt , то в течение периода T (включая границы) будет выполнено K замеров:

$$K = T/\Delta t + 1. \quad (2.90)$$

В таком случае, если замеры нумеровать, начиная с нулевого, то старший номер замера равен:

$$N = K - 1, \quad (2.91)$$

а все результаты измерений можно представить в виде множеств:

$$t = t(k) = k\Delta t = t_k \in \{t_0, t_1, \dots, t_N\}, \quad k = 0, 1, \dots, N; \quad (2.92)$$

$$a_y = a_y(k) = a_{yk} \in \{a_{y0}, a_{y1}, \dots, a_{yN}\}, \quad k = 0, 1, \dots, N. \quad (2.93)$$

Теперь, учитывая (2.90)–(2.93), выражение (2.88) преобразуется в дискретную форму:

$$a_{yk} = \sum_{i=0}^n B_i \cos\left(\frac{2\pi}{N}ik + \varphi_i\right), \quad k \in [0, N], \quad (2.94)$$

пригодную для вычисления параметров B_i и φ_i путем применения дискретного ППФ [165–167], если выполняется условие

$$N > 2n. \quad (2.95)$$

В результате дискретного ППФ из упорядоченного множества (2.93) получаем $K = N + 1$ комплексных значений:

$$A_{yi} = \sum_{k=0}^{K-1} a_{yk} \exp\left(\frac{-j2\pi}{K}ik\right), \quad i = 0, 1, \dots, K - 1, \quad (2.96)$$

где j — мнимая единица.

Разложим каждое комплексное A_{yi} на действительную R_i и мнимую I_i составляющие:

$$A_{yi} = R_i + jI_i \quad (2.97)$$

и определим амплитуды B_i и начальные фазы φ_i гармоник из разложения (2.94) по формулам:

$$B_i = \frac{1}{K} \sqrt{R_i^2 + I_i^2}, \quad (2.98)$$

$$\varphi_i = \arctg \frac{I_i}{R_i}. \quad (2.99)$$

В силу зеркального эффекта из K возможных гармоник используют первую половину, а их амплитуды (исключая нулевую и среднюю гармоники) удваивают:

$$B_i = 2B_i, \quad i = 1, 2, \dots, N/2 - 1. \quad (2.100)$$

Этим поясняется требование (2.95). Теперь можем констатировать, что все величины, входящие в (2.94) определены.

Решив выражение (2.90) относительно T

$$T = (K - 1) \Delta t = N \Delta t, \quad (2.101)$$

а также выражение (2.89) — относительно A_i

$$A_i = -B_i \left(\frac{2\pi}{T} i \right)^{-2}. \quad (2.102)$$

завершаем определение параметров, входящих в разложения (2.86) и (2.87).

2.2.2. Анализ эффективности дифференциального метода восстановления линии рядка. На рис. 2.6 представлен пример аппроксимации сгенерированных математическими методами дискретных данных. Задающая кривая $y = y(x)$ (позиция 1) — сумма трех гармоник.

В первом случае (рис. 2.6А) ряд экспериментальных данных y_i , получены для значений $x_i = i$, когда $i = 0, 1, \dots, N = 128$. Пары значений (x_i, y_i) на рисунке обозначены точками. После этого дискретные данные были аппроксимированы описанными выше методами Фурье, когда сглаживание не выполняется и задействованы все 64 гармоники (кривая 2, $n = N/2$), а также в случае сглаживания (кривая 3), когда задействованы только низкочастотные гармоники, с № 0 по № 32. Из показаного видно, во-первых, высокую точность реконструкции (кривая 2) задающей кривой и, во-вторых, высокую точность сглаживания (кривая 3), которое позволило полностью избавиться от высокочастотной составляющей задающей кривой.

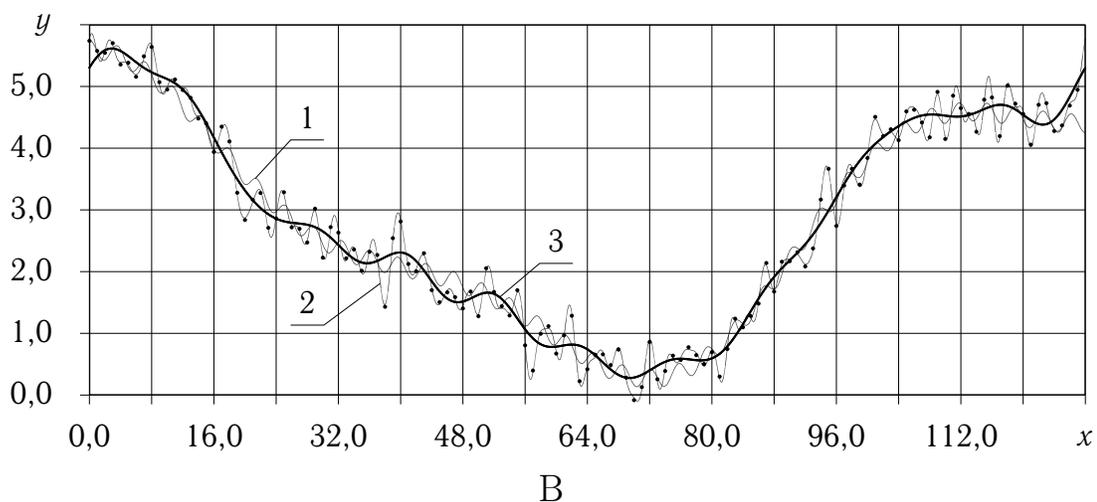
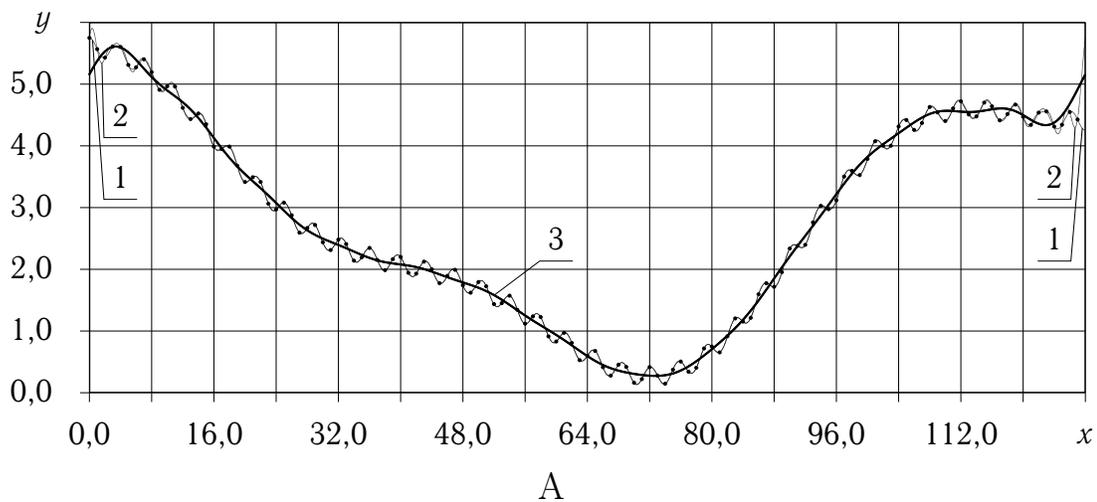


Рис. 2.6. Сглаживание дискретных данных (128 точек) методами Фурье, в зависимости от отсутствия (А) или наличия (В) гауссовского шума: 1 — задающая кривая (три гармоники); 2 — вариант аппроксимации без сглаживания (задействованы все 64 гармоники); 3 — задействована первая половина последовательности гармоник (с № 0 по № 32)

Этот пример хорошо иллюстрирует возможности метода, но в случае практических применений, когда речь идет об экспериментальных данных, может проявиться пара проблем. Первая, связана с тем, что форма задающей кривой изначально неизвестна, а вторая — из-за присутствия шумов (всякого рода случайных погрешностей).

На рис. 2.6В показан пример, в точности повторяющий предыдущий случай, с той лишь разницей, что пары значений (x_i, y_i) получены при наличии значительного гауссовского шума, среднеквадратическое отклонение которого превышает величину амплитуды высокочастотной гармоники задающей кривой $y = y(x)$.

Как видим, реконструированная кривая 2 по-прежнему отлично интерполирует экспериментальные данные, но совсем не соответствует задающей кривой 1. Сглаживающая кривая 3 также относительно хорошо аппроксимирует точки дискретных данных, но также уже мало напоминает задающую кривую 1. Тут явно возникает проблема выбора величины n (2.95). Если представить, что задающая кривая неизвестна, то для обоснования величины n практически нет критериев.

Тем не менее, в ряде экспериментов описанные проблемы не проявляются. Прежде всего это касается тех случаев, когда в замерах практически полностью отсутствует шум. Так, например, на рис. 2.7 показана аппроксимация реальных экспериментальных данных по измерению курсового угла α (град.) трактора, выполняющего посев. Задействовано $n = 2N/100$ первых гармоник. Результат интерполяции удовлетворительный.

2.2.3. Решение проблем применения дифференциального метода восстановления линии рядка в случае наличия гауссовского шума. Проблемы наличия гауссовского шума в результатах экспериментальных измерений является скорее правилом чем исключением. Так, например, на рис. 2.8 представлено сглаживание методами Фурье результатов измерений горизонтальной составляющей a_y (м/с^2) ускорений, действующих на трактор в процессе выполнения посева.

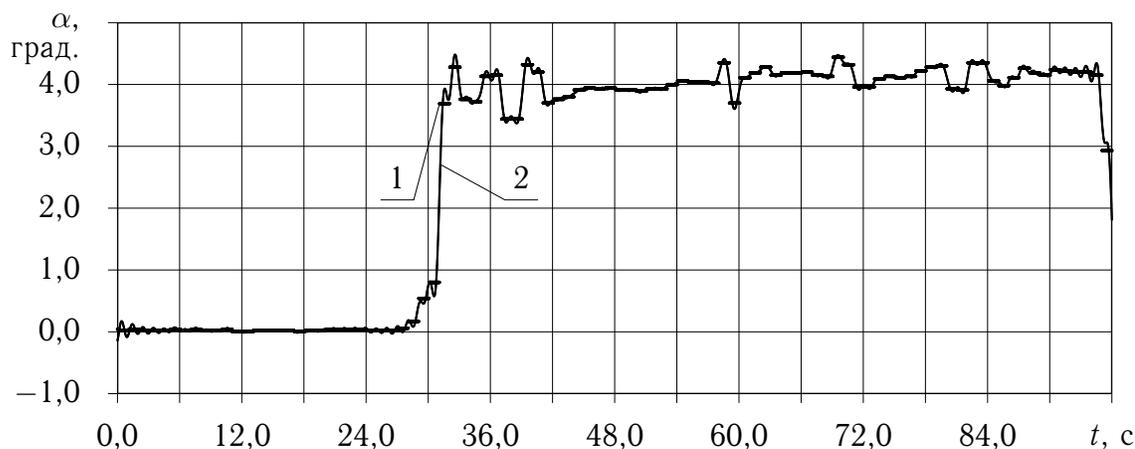


Рис. 2.7. Аппроксимация экспериментальных данных по измерению курсового угла α трактора, выполняющего посев: 1 — последовательности точек экспериментальных данных; 2 — аппроксимация методами Фурье

В этом случае также выполнялось сглаживание за счет того, что задействовано $n = 2N/100$ первых гармоник.

На рис. 2.9 представлены построенные в соответствии с экспериментальными данными, как на рис. 2.8 функциональные зависимости: 1 — горизонтальной составляющей $a_y(t)$ ($\text{м}/\text{с}^2$) ускорений, действующих на сошник в процессе выполнения посева (задействовано $n + 1 = 12$ гармоник); 2 — изменения ординаты во времени ($y(t)$), полученное путем перерасчета $a_y(t)$, когда задействовано $n + 1 = 12$ гармоник

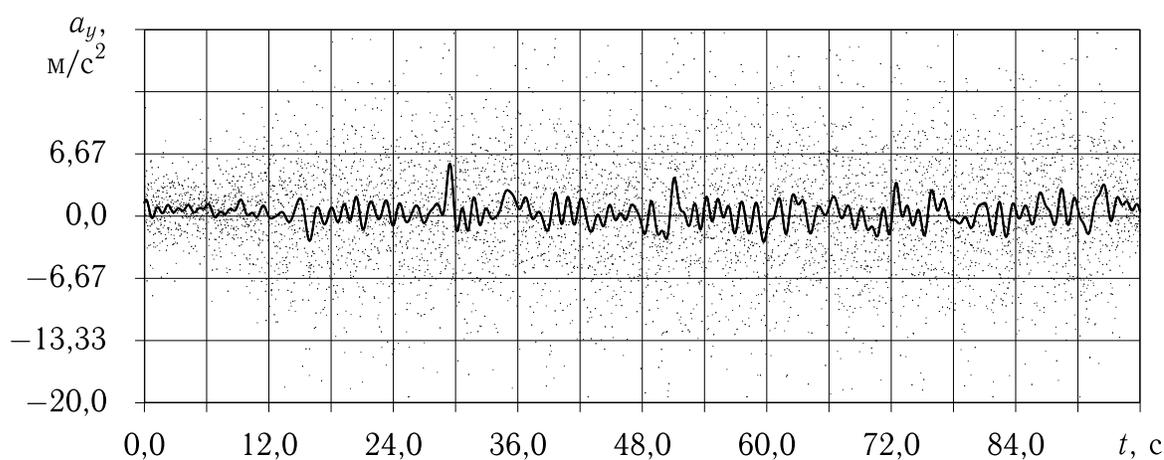


Рис. 2.8. Аппроксимация методами Фурье (линия) экспериментальных данных (точки) горизонтальной составляющей a_y ($\text{м}/\text{с}^2$) ускорений, действующих на трактор в процессе выполнения посева

Поскольку при построении рис. 2.8 и 2.9 величина n никак не обоснована, то такие графики пригодны для изучения лишь качественной стороны обнаруженных закономерностей.

Приблизиться к обоснованности выбора n можно, если разными датчиками одновременно измерять два фактически и аналитически взаимосвязанные параметры. В нашем случае, параллельно с измерением горизонтальной составляющей a_y ускорений, действующих на трактор, необходимо измерять угловую скорость ω_z (с^{-1}) трактора относительно вертикальной оси. Затем следует аппроксимировать данные и получить аналитические выражения разложений Фурье для измеряемых величин. Потом необходимо одно из разложений по схеме $(a_y \Rightarrow \omega_z)$ или $(\omega_z \Rightarrow a_y)$ преобразовать в другое, т.е. получить два разложение для a_y и/или для ω_z . В заключение, варьируя степень сглаживания для обеих разложений, минимизировать квадрат разницы между ними. Обоснованное таким образом сглаживание будет наилучшим из возможных.

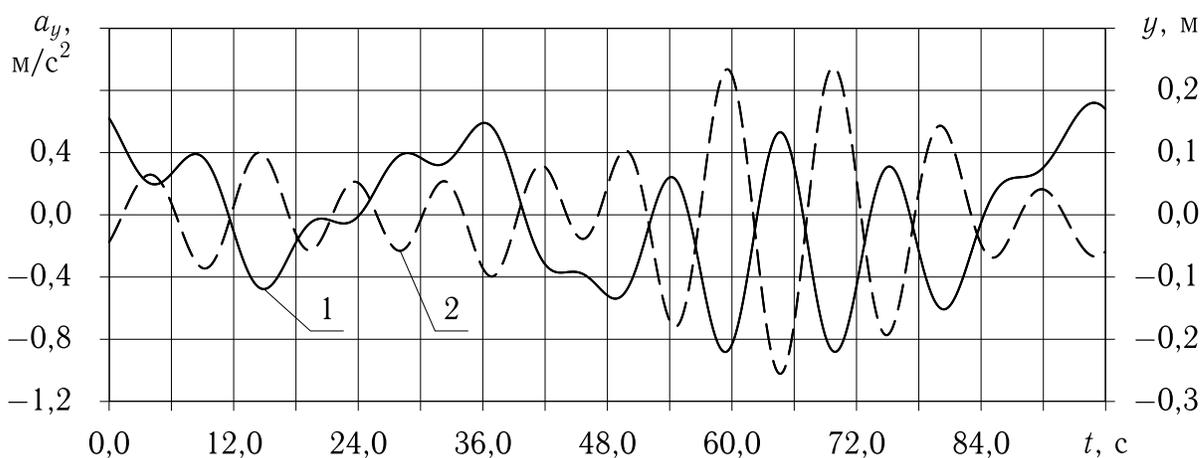


Рис. 2.9. Построенные в соответствии с экспериментальными данными, как на рис. 2.8 функциональные зависимости: 1 — горизонтальной составляющей $a_y(t)$ (м/с^2) ускорений, действующих на сошник в процессе выполнения посева (задействовано $n + 1 = 12$ гармоник; 2 — изменения ординаты во времени ($y(t)$), полученное путем перерасчета $a_y(t)$, когда задействовано $n + 1 = 12$ гармоник

Покажем, каким образом можно провести преобразование $a_y \Rightarrow \omega_z$.
Записываем ряд Фурье для новых экспериментальных данных:

$$\omega_{zk} = \sum_{i=0}^n A_{\omega zi} \cos \left(\frac{2\pi}{N} ik + \varphi_{\omega zi} \right), \quad k \in [0, N], \quad n < N/2, \quad (2.103)$$

где: ω_{zk} — k -тое значение измеряемой (рассчитываемой) величины угловой скорости ω_z ; $A_{\omega zi}$, и $\varphi_{\omega zi}$ — амплитуда, и начальная фаза i -той гармоники.

Угловую скорость можно определить так:

$$\omega_z = \frac{d\alpha}{dt}, \quad (2.104)$$

как первую производную от курсового угла α по времени t . В свою очередь, если $y = y(x)$ траектория движения точки трактора, в которой установлен датчик, то курсовой угол можно определить выражением

$$\alpha = \arctg y'_x, \quad (2.105)$$

где

$$y'_x = \frac{d}{dx} y(x) = - \sum_{i=0}^n A_i \frac{2\pi}{L} i \sin \left(\frac{2\pi}{L} ix + \varphi_i \right), \quad x \in [0, L]. \quad (2.106)$$

Поскольку полная производная y'_x является функцией от $x = v_x t$, то выполнив соответствующую подстановку получаем

$$y'_x = y'_x(t) = - \sum_{i=0}^n A_i \frac{2\pi}{v_x T} i \sin \left(\frac{2\pi}{T} it + \varphi_i \right), \quad t \in [0, T]. \quad (2.107)$$

Учитывая последнее, дифференцируем α (2.105) по времени t и подставляем полученное в (2.104). В итоге получаем:

$$\omega_z = \frac{1}{1 + (y'_x(t))^2} \frac{d}{dt} y'_x(t), \quad (2.108)$$

где

$$\frac{d}{dt} y'_x(t) = - \sum_{i=0}^n \frac{A_i}{v_x} \left(\frac{2\pi}{T} i \right)^2 \cos \left(\frac{2\pi}{T} it + \varphi_i \right), \quad t \in [0, T]. \quad (2.109)$$

На этом переход от a_y к ω_z завершен.

Далее введем обозначения: $\omega_{zk}^{(1)}$ — величина ω_{zk} , полученная путем сглаживания экспериментальных данных ω_z путем применения выражений (2.103); $\omega_{zk}^{(2)}$ — величина ω_{zk} , полученная путем сглаживания экспериментальных данных a_y и последующего перерасчета, заканчивая выражением (2.109); $n^{(1)}$ и $n^{(2)}$ — номера n старших задействованных гармоник из разложений (2.103) и (2.94).

Определим функцию:

$$\Omega = \sum_{k=0}^N \left(\omega_{zk}^{(1)} - \omega_{zk}^{(2)} \right)^2, \quad (2.110)$$

которую условимся понимать, как функцию двух переменных $n^{(1)}$ и $n^{(2)}$:

$$\Omega = \Omega \left(n^{(1)}, n^{(2)} \right). \quad (2.111)$$

Тогда поиск оптимальных для сглаживания значений $n^{(1)}$ и $n^{(2)}$ определяется функционалом

$$\min \left\{ \Omega \left(n^{(1)}, n^{(2)} \right) \right\}. \quad (2.112)$$

2.2.4. Интегральный метод перехода от интерполяционных рядов парциальных ускорений к уравнению искомой линии рядка. Далее мы возвращаемся к рассмотрению задачи *восстановления линии рядка (траектории БТС)*, которая рассматривается как проекция на горизонтальную плоскость системы координат $Oxyz$. Т.е., требуется восстановление функции $y = y(x)$.

Непосредственное измерение координат (x, y) в эксперименте может выполняться двумя способами. Во-первых, по фактическому следу сошника, который остался на поверхности поля. Во-вторых, через измерение координат GPS во время движения МТА.

Первый способ не может выполняться в хозяйственных условиях, весьма трудоемкий и требует значительных затрат времени, в течение которого территория испытаний не может использоваться для других целей.

Второй способ, оперативный и весьма технологичный, но из-за недостаточной точности и, в первую очередь, высокой стоимости, сейчас при-

меняется для отслеживания траектории всего МТА в целом, а не его отдельных компонентов [168–170].

Альтернативой, и в идеале эффективным дополнением к GPS навигации, является использование метода парциальных ускорений, суть которого состоит в изучении динамики МТА через измерения трехмерных составляющих ускорений его элементов [171].

Траекторию БТС методом парциальных ускорений можно получить двойным интегрированием интерполированных или аппроксимированных данных измерений. Частную проблему составляет разработка ММП, сопровождающие измерения шумы и определение начальных условий.

Взяв метод парциальных ускорений за основу для разработки теории восстановления линии рядка (уравнения $y = y(x)$), далее мы используем результаты измерения двух декартовых составляющих a_α^g , $\alpha \in \{x, y\}$ полного ускорения a^g БТС с координатами (x, y) .

Представим искомую функцию $y = y(x)$ в параметрической форме:

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad (2.113)$$

где t — время.

Проблему составляют динамические отклонения плоскости крепления акселераторов относительно вертикали. Из-за них вектор ускорения свободного падения \vec{g} не всегда совпадает с вертикальной осью Oz системы координат и вносит свой вклад в горизонтальные составляющие измеряемых ускорений. В общем случае:

$$g_\alpha \neq 0, \quad a_\alpha^g = a_\alpha + g_\alpha, \quad \alpha \in \{x, y\} \quad (2.114)$$

где g_α — совпадающие с осями координат составляющие ускорения свободного падения g

Сейчас мы рассмотрим частный случай, когда ось абсцисс Ox всегда перпендикулярна к вектору ускорения свободного падения \vec{g} , т.е. когда

$$g_x(t) = 0, \quad g_y(t) \neq 0, \quad g_z(t) \neq 0. \quad (2.115)$$

где составляющие g_α ускорения свободного падения g следует понимать как функции времени t .

Вертикальная составляющая $g_z(t)$ нас интересовать не будет. А горизонтальную составляющую $g_y(t)$, ориентированную поперек направления движения точки измерений, определим выражением:

$$g_y(t) = g \cos \lambda_y. \quad (2.116)$$

где $\lambda_y = \lambda_y(t)$ — текущее значение угла между вектором ускорения свободного падения \vec{g} и осью ординат Oy . Определить $\lambda_y(t)$ можно через измерение и последующее восстановление временной зависимости $\omega_x(t)$ угловой скорости вращения плоскости крепления акселераторов относительно оси Ox , а так же последующее интегрирование

$$\lambda_y(t) = \int \omega_x(t) dt. \quad (2.117)$$

Далее, предполагая использование выражений (2.116) и (2.117), решив уравнение (2.114) относительно a_α , записываем:

$$a_x = a_x^g, \quad a_y = a_y^g - g_y. \quad (2.118)$$

Таким образом, для восстановления искомых функций $x = x(t)$ и $y = y(t)$ (2.113) необходимо выполнить измерение временных рядов, совпадающих по направлению с осями координат Ox и Oy осевой a_x^g и поперечной a_y^g горизонтальных составляющих ускорения БТС, а также угловой скорости ω_x вращения акселератора относительно Ox :

$$t = t(k) = t_k \in \{t_0, t_1, \dots, t_N\}, \quad k = 0, 1, \dots, N; \quad (2.119)$$

$$a_\alpha^g = a_\alpha^g(k) = a_{\alpha k}^g \in \{a_{\alpha 0}^g, a_{\alpha 1}^g, \dots, a_{\alpha N}^g\}, \quad k = 0, 1, \dots, N, \quad \alpha \in \{x, y\}, \quad (2.120)$$

$$\omega_x = \omega_x(k) = \omega_{xk} \in \{\omega_{x0}, \omega_{x1}, \dots, \omega_{xN}\}, \quad k = 0, 1, \dots, N; \quad (2.121)$$

где $N = K - 1$ (2.91) — старший номер элемента временного ряда, который определяется через $K = \frac{T}{\Delta t} + 1$ (2.90) — количество замеров (элементов ряда), где: T — период времени измерений; Δt — технически обусловленный фиксированный интервал времени между соседними измерениями.

Теперь представляем угловую скорость $\omega_x = \omega_x(t)$ в виде конечного разложения Фурье [172]:

$$\omega_x(t) = \sum_{i=0}^n A_i^{(\omega_x)} \cos\left(\frac{2\pi}{T}it + \varphi_i^{(\omega_x)}\right), \quad t \in [0, T], \quad (2.122)$$

де: n — максимальный номер элемента разложения определяется далее; $A_i^{(\omega_x)}$ и $\varphi_i^{(\omega_x)}$ — амплитуды и начальные фазы разложений, которые определяются, используя дискретное ППФ [173] упорядоченного множества (2.121).

Выполнив подстановку $\omega_x = \omega_x(t)$ (2.122) в (2.117) и последующее интегрирование получаем:

$$\lambda_y(t) = \tilde{\lambda}_y(t) + C_{\lambda_y}, \quad t \in [0, T], \quad (2.123)$$

где

$$\tilde{\lambda}_y(t) = A_0^{(\lambda_y)} \cos \varphi_0^{(\lambda_y)} t + \sum_{i=1}^n A_i^{(\lambda_y)} \frac{T}{2\pi i} \sin\left(\frac{2\pi}{T}it + \varphi_i^{(\lambda_y)}\right), \quad (2.124)$$

а постоянные интегрирования C_{λ_y} определяются из условия:

$$\lambda_y(t_0) = \tilde{\lambda}_y(t_0) + C_{\lambda_y}, \quad t \in [0, T], \quad (2.125)$$

и, следовательно, предполагает измерение начального угла $\lambda_y(t_0)$, что сопряжено с техническими трудностями.

Решается эта проблема через использование средней величины $\bar{\lambda}_y$ угла λ_y , которую получают измерением соответствующего угла наклона поля, предполагая, что изначально на горизонтальной поверхности система координат $Oxyz$ располагается так, что координатная плоскость Oxy ориентируется горизонтально, а ось абсцисс Ox совпадет с идеальным направлением движения. В таком случае в пределах периода T среднее значение угла $\lambda_y(t)$ должно быть равным $\bar{\lambda}_y$ и постоянную C_{λ_y} следует определять из условия:

$$\sum_{k=0}^N \lambda_y(t_k) = \sum_{k=0}^N \left[\tilde{\lambda}_y(t_k) + C_{\lambda_y} \right] = \bar{\lambda}_y, \quad (2.126)$$

откуда

$$C_{\lambda y} = \frac{1}{K} \left[\bar{\lambda}_y - \sum_{k=0}^N \tilde{\lambda}_y(t_k) \right]. \quad (2.127)$$

Теперь, когда функция $\lambda_y = \lambda_y(t)$ известна, воспользовавшись выражениями (2.116) и (2.118) из упорядоченных последовательностей (2.120), получаем новые последовательности значений составляющих ускорений, лишенных вклада ускорения свободного падения:

$$a_\alpha = a_\alpha(k) = a_{\alpha k} \in \{a_{\alpha 0}, a_{\alpha 1}, \dots, a_{\alpha N}\}, \quad k = 0, 1, \dots, N, \quad \alpha \in \{x, y\}, \quad (2.128)$$

Далее, подобно выражению (2.122), представляем ускорения $a_x = a_x(t)$ и $a_y = a_y(t)$ в виде конечных разложений Фурье [172]:

$$a_\alpha(t) = \sum_{i=0}^n A_i^{(a_\alpha)} \cos \left(\frac{2\pi}{T} it + \varphi_i^{(a_\alpha)} \right), \quad t \in [0, T], \quad \alpha \in \{x, y\}, \quad (2.129)$$

где: n — максимальный номер элемента разложения; $A_i^{(a_\alpha)}$ и $\varphi_i^{(a_\alpha)}$ — амплитуды и начальные фазы разложений. Определение параметров $A_i^{(a_\alpha)}$ и $\varphi_i^{(a_\alpha)}$ разложений (2.129) выполняем также, как и в случае (2.122).

Восстановление осевой $v_x = v_x(t)$ и поперечной $v_y = v_y(t)$ горизонтальных составляющих линейной скорости БТС как функций времени t выполняем интегрированием выражений (2.129):

$$v_\alpha(t) = \tilde{v}_\alpha(t) + C_{v\alpha}, \quad t \in [0, T], \quad \alpha \in \{x, y\}, \quad (2.130)$$

где

$$\tilde{v}_\alpha(t) = A_0^{(a_\alpha)} \cos \varphi_0^{(a_\alpha)} t + \sum_{i=1}^n A_i^{(a_\alpha)} \frac{T}{2\pi i} \sin \left(\frac{2\pi}{T} it + \varphi_i^{(a_\alpha)} \right), \quad (2.131)$$

а постоянные интегрирования $C_{v\alpha}$ определяются из условия:

$$v_\alpha(t_0) = \tilde{v}_\alpha(t_0) + C_{v\alpha}, \quad (2.132)$$

и, следовательно, в процессе проведения экспериментов требуют высокой точности измерения начальных скоростей $v_\alpha(t_0)$.

В отношении постоянной C_{vy} эту проблему можно исключить, если воспользоваться тем, что в пределах периода T среднее значение скорости

v_y должно быть равным нулю, т.е. C_{vy} следует определять из условия:

$$\sum_{k=0}^N v_y(t_k) = \sum_{k=0}^N [\tilde{v}_y(t_k) + C_{vy}] = 0, \quad (2.133)$$

откуда

$$C_{vy} = -\frac{1}{K} \sum_{k=0}^N \tilde{v}_y(t_k). \quad (2.134)$$

Для вычисления постоянной интегрирования C_{vx} , чтобы понизить претензии на точность измерения осевой составляющей скорости v_x :

$$v_x = v_x(k) = v_{xk} \in \{v_{x0}, v_{x1}, \dots, v_{xN}\}, \quad k = 0, 1, \dots, N, \quad (2.135)$$

где каждому k соответствует время t_k (2.119), необходимо воспользоваться средней величиной:

$$\bar{v}_x = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^N v_{xk}, \quad (2.136)$$

и условием

$$\frac{1}{K} \sum_{k=0}^N [\tilde{v}_x(t_k) + C_{vx}] = \bar{v}_x, \quad (2.137)$$

откуда

$$C_{vx} = \bar{v}_x - \frac{1}{K} \sum_{k=0}^N \tilde{v}_x(t_k). \quad (2.138)$$

В заключение восстановление искомым параметрических зависимостей $x(t)$, $y(t)$ (2.113) определяем интегрированием:

$$\alpha(t) = \int v_\alpha(t) dt = \int [\tilde{v}_\alpha(t) + C_{v\alpha}] dt, \quad \alpha \in \{x, y\}, \quad (2.139)$$

В результате получаем:

$$\alpha(t) = \tilde{\alpha}(t) + C_{v\alpha}t + C_\alpha, \quad \alpha \in \{x, y\}, \quad (2.140)$$

где

$$\tilde{\alpha}(t) = \frac{1}{2} A_0^{(a_\alpha)} \cos \varphi_0^{(a_\alpha)} t^2 - \sum_{i=1}^n A_i^{(a_\alpha)} \left(\frac{T}{2\pi i} \right)^2 \cos \left(\frac{2\pi}{T} i t + \varphi_i^{(a_\alpha)} \right), \quad (2.141)$$

а постоянные интегрирования: $C_\alpha = 0$, $\alpha \in \{x, y\}$.

На этом завершается алгоритм восстановления записанной в параметрической форме (2.113) искомой функции $y = y(x)$, являющей собою аналитическое представление линии рядка (траектории сошника).

2.2.5. Анализ эффективности интегративного метода восстановления линии рядка. На практике измерение ускорений a_{xk}, a_{yk} (2.128) и скоростей v_{xk} (2.135) технически не сложная задача, но сопровождается неизбежным “подмешиванием” гауссовского шума. В отношении методов Фурье, которые предполагают применение процедуры сглаживания [165–167, 173], выше приведен анализ. Сейчас мы остановимся на оценке специфики предлагаемого интегративного метода восстановления линии рядка (траектории сошника).

В качестве примера на рис. 2.10 показана интерпретация весьма зашумленных экспериментальных данных, результатов измерений угловой скорости ω_x (град./с) поворота акселераторов относительно оси Ox и на рис. 2.11 — поперечной горизонтальной составляющей a_y (м/с²) ускорений, действующих на сошник навесной сеялки в процессе выполнения посева.

Причина появления шумов связана с вибрацией работающего двигателя, буксованием ведущих колес, особенностями микрорельефа поля и слабой виброизоляцией сеялки относительно трактора.

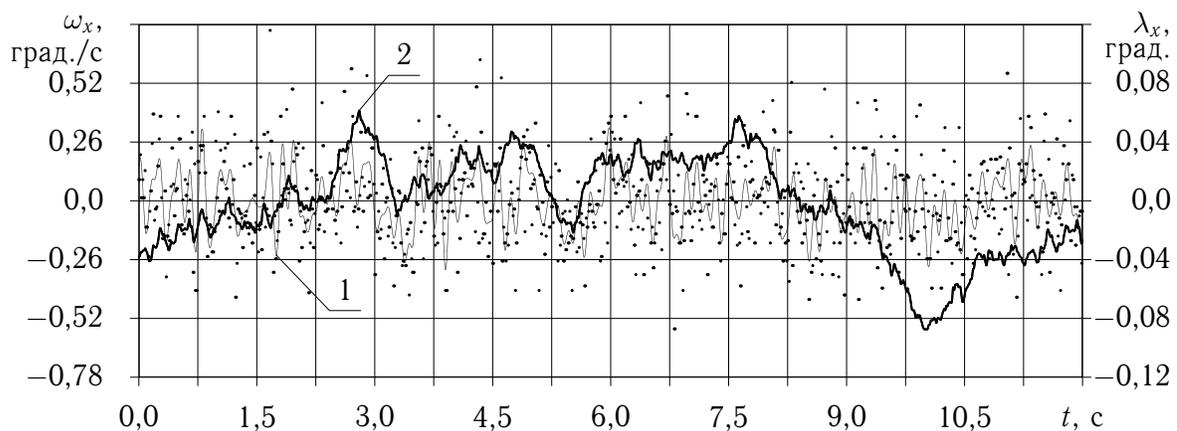


Рис. 2.10. Зависимость угловой скорости ω_x (точки данных и кривая 1) поворота плоскости крепления акселераторов относительно оси Ox и угла λ_y (кривая 2) между осью Oy и вектором \vec{g} от времени t

В обоих случаях выполнялось сглаживание (кривые 1) за счет того, что задействовано $n = 100$ первых гармоник из 602 возможных. Поскольку величина n не обоснована, то графики пригодны для изучения качественной стороны имеющихся закономерностей.

На рис. 2.10 также представлены результаты восстановления функциональной зависимости $\lambda_y = \lambda_y(t)$ (кривая 2) угла между осью ординат Oy и вектором ускорения свободного падения \vec{g} на основе измерения угловой скорости ω_x , а на рис. 2.11 — поперечных отклонений $y(t)$ (2.140) сошника от времени (кривые 2 и 3) на основе измерения горизонтальной составляющей его ускорений. Исходные данные: $K = 1205$ — общее количество замеров; $T = 12$ с — исследуемый период времени.

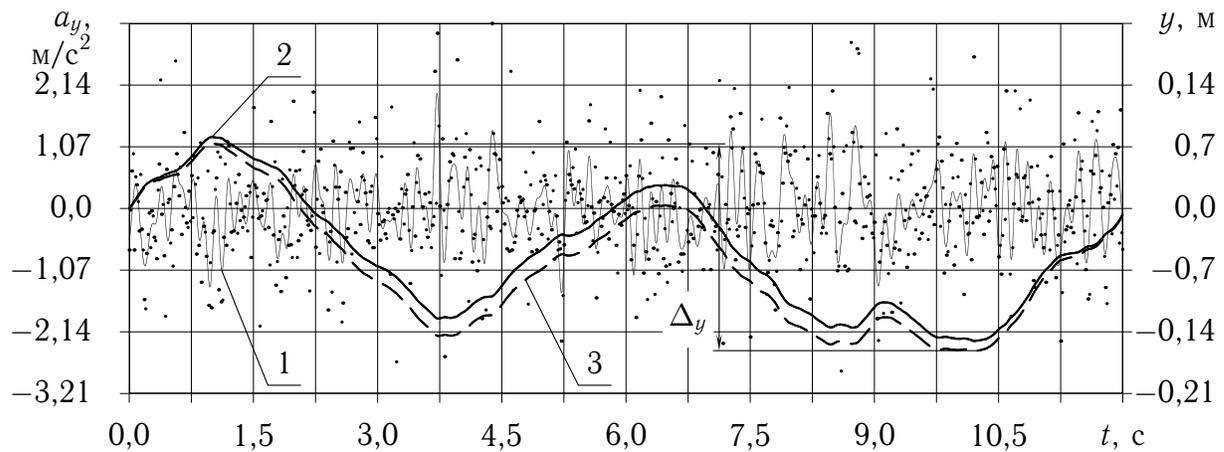


Рис. 2.11. Зависимости горизонтальной составляющей a_y (точки данных и кривая 1) ускорения и ординаты y БТС: 2 — без учета угловых колебаний λ_y плоскости крепления акселераторов; 3 — с учетом λ_y

Кривая 2 на рис. 2.11 соответствует восстановленной функции поперечных отклонений $y(t)$ (2.140), когда задействованы все $n = 602$ гармоник, но угловые колебания $\lambda_y = \lambda_y(t)$, представленные кривой 2 рис. 2.10, не учитываются. Кривая 3 (рис. 2.11) соответствует случаю, когда угловые колебания $\lambda_y = \lambda_y(t)$ учтены.

Как видим кривые 2 и 3 (рис. 2.11) между собой не совпадают. Для оценки соответствия восстановленной зависимости $y = y(t)$ фактической

траектории рядка в эксперименте измеряли Δ_y — размах колебания траектории. Восстановленная таким способом функция $y = y(t)$ (2.140)–(2.141) параметрического представления (2.113) траектории $y = y(x)$ в качественном смысле соответствовала фактическому следу сошника.

Особенностью такого метода является автоматическое сглаживание, обусловленное множителем $(T/2\pi i)^2$ в выражении (2.141). Чем выше номер i гармоники, тем больше знаменатель и, следовательно, меньше вклад соответствующей амплитуды $A_i^{a\alpha}$ в результирующую величину $x(t)$ или $y(t)$. Не сложно убедиться, что уменьшение n от максимального $\max\{n\} = N/2 = 602$ вплоть до десяти раз не приводит к сколь-нибудь заметному искажению зависимостей $x(t)$ или $y(t)$.

Последнее обстоятельство, как косвенный результат, можно использовать, во-первых, для контроля адекватности теории эксперименту и, во-вторых, для обоснования минимальной величины n , определяющей степень сглаживания экспериментальных данных (2.128) выражениями (2.129). Это необходимо, если метод парциальных ускорений применяется с целью изучения других задач динамики МТА, когда изначально не предполагается восстановление параметрических зависимостей $x = x(t)$ или $y = y(t)$ (2.113) траектории $y = y(x)$.

Для реализации такого критерия необходимо в процессе проведения эксперимента замерить Δ_y , а затем сравнить его с теоретическим значением, которое получено после восстановления зависимости $y = y(t)$ (2.141). Обоснованным считаем то минимальное n , при котором разница между теоретическим и экспериментальным значениями Δ_y укладывается в допустимый предел.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. Разработанная ММП, основана на применении метода Монте-Карло, позволяет смоделировать трехмерное распределение растений вдоль линии рядка с учетом криволинейности хода трактора, горизонтальных независимых колебаний сеялки и сошников, сбоев высева, появления пар одновременно высеянных семян, их всхожести и хаотичного перемещения семян в процессе попадания в борозду и ее заделки.

2. Через использование двух коэффициентов изменения амплитуды ($\xi^{(a)}$) и длины волны ($\xi^{(l)}$) колебаний сошника в продольно-вертикальной плоскости разработанная ММП учитывает последствия оборудования сошника стрельчатым удлинителем, предназначенным для послепосевного ленточного ВВГ.

3. В разработанной ММП учитываются корреляционные связи вероятностных процессов отклонения семян от линии рядка в продольно-поперечной и продольно-вертикальной плоскостях, что дает возможность показать механизмы взаимозависимости между стабильностью хода сошника в процессе посева и результирующим распределением растений.

5. Полученные аналитические выражения взаимосвязи между величиной КРБП и глубиной заделки семян кукурузы на зерно, подсолнечника и сахарной свеклы имеют широкое применение и, в частности, могут быть использованы другими авторами в своих моделях.

6. Разработанная ММП позволяет вычислять множество значений КРБП для каждого из растений в зависимости от глубины его произрастания.

7. С точки зрения равномерности глубины заделки семян в процессе посева и ее влияния на реализацию биопотенциала решающее значение имеет амплитуда и количество гармоник вертикальных колебаний сошника и вовсе не имеет значения длина волны этих гармоник.

8. Метод псевдослучайного моделирования (Монте-Карло), который положен в основу разработанной ММП, весьма эффективен с позиции дальнейшего усовершенствования модели, т.к. вовлечение в модель новых фак-

торов не предполагает ее кардинальной переделки. Это позволяет рассматривать разработанную ММП, как основу для многих исследований, проводимых другими авторами.

9. Проверка адекватности предлагаемой ММП затруднена тем, что числовые значения параметров реального посева изначально неизвестны и не могут быть определены точно. По этому проверку количественных показателей адекватности математической модели проводили с применением разработанной физической модели посева, для которой все параметры известны изначально.

10. В соответствии с предлагаемым дифференциальным методом восстановления линии рядка вначале необходимо представить в виде ряда Фурье искомую функциональную связь, т.е. линию рядка, а, затем, путем дифференцирования прийти к интерполяционным рядам измеряемых величин (скоростей и ускорений).

11. Предлагаемая методика обработки экспериментальных данных по измерению параметров движения сошника, в основе которой лежит сравнение измеряемых разными датчиками двух фактически и аналитически взаимосвязанные параметров (горизонтальной составляющей a_y ускорения и угловой скорости ω_z относительно вертикальной оси Oz), является развитием предлагаемого дифференциального метода восстановления линии рядка и позволяет, во-первых, восстановить проекцию траектории хода сошника на горизонтальную плоскость и, во-вторых, получить критерий выбора количества используемых гармоник, задействованных при аппроксимации результатов измерений методами Фурье.

12. В соответствии с предлагаемым интегративным методом восстановления линии рядка вначале записывают интерполяционные ряды измеряемой величины, а, затем, путем интегрирования восстанавливают искомую функциональную связь — уравнение линии рядка.

13. С точки зрения точности восстановления линии рядка интегративный метод предпочтительнее дифференциального, поскольку содержит

механизмы автоматического сглаживания экспериментальных данных по измерению парциальных ускорений и поэтому не требуют разработки отдельных критериев для оценки необходимого уровня сглаживания.

14. Разработанные методы восстановления траектории движения характерных точек элементов конструкции МТА можно использовать для обоснования допустимой степени сглаживания результатов измерений парциальных ускорений методами Фурье в случаях, когда сама по себе восстановленная траектория не является искомым результатом исследования.

РАЗДЕЛ 3
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
ЛЕНТОЧНОГО ВНУТРИПОЧВЕННОГО ПОСЛЕПОСЕВНОГО
ВНЕСЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ

В первом разделе и работе [40] приведен анализ возможных вариантов реализации технологии ЛВВГ и обоснован вывод, что поскольку для пропашных и технических культур оптимальная глубина заделки гербицидов меньше оптимальной глубины заделки семян, то в случае послепосевого ВВ гербицидный экран не разрушается сошником и потенциально такая обработка более эффективна.

Технологически послепосевное ЛВВГ можно реализовать, применяя различные варианты агрегатов [40]:

1) Когда для посева и послепосевого ЛВВГ используются отдельные МТА [174–176]. При этом необходимо применять вождение агрегатов с помощью GPS или по каким либо направляющим, включая борозды или щели [1, 39, 174, 175, 177–179], выполненные в почве;

2) Путем применения комбинированных агрегатов на основе тракторов интегрального типа с передней и задней навесками [180]. При этом сеялка агрегируется с трактором посредством передней навески;

3) Путем применения комбинированных машин, которые агрегируются с трактором посредством задней навесной или сцепной системы.

В последнем случае возможны варианты:

а) Две машины комбинируются в одну путем объединения их рам;

б) На общей раме на индивидуальных подвесках монтируются посевные секции и РО для внесения гербицидов. Примером такой реализации, но, все же применительно к допосевному внесению гербицидов, может служить агрегат Краснодарского НИИСХ им. П.П. Лукьяненко [181];

в) На общей раме на общих подвесках попарно монтируются посевные секции и РО для внесения гербицидов;

г) Применяются комбинированные РО для посева и внесения гербицидов подобных, например, сошникам [182, 183].

В работе [40] обоснована перспективность работ по созданию комбинированных посевных секций, поэтому далее речь идет о разработанной конструкции комбинированного сошника для послепосевного ЛВВГ.

3.1. Комбинированный сошник

Комбинированный сошник разработанной конструкции (рис. 3.1–3.9) состоит из трех основных частей, а именно, полоза 1 сошника, стрельчатого удлинителя 2 полоза сошника и узла распылителя 3.

Высевающий аппарат 4, конструктивные особенности которого в текущей работе не оговариваются (оставлены без изменений), расположен непосредственно над полозом 1 сошника и закреплен на нем с помощью двух винтовых соединений 5 (винт), 6 (шайба), 7 (гайка) и 8 (винт), 9 (шайба), 10 (гайка). Винты 5 и 8 жестко соединены с полозом 1 сошника. При этом винтовое соединение 5, 6, 7 одновременно используется для крепления стрельчатого удлинителя 2 к полозу 1 сошника.

Полоз 1 в целом является жесткой, как вариант, клепаной конструкцией, включающей в себя ножевидный наральныйник 11 бороздообразователь 12 и две симметричные щеки 13, 14.

Стрельчатый удлинитель 2 комбинированного сошника также имеет жесткую конструкцию (рис. 3.5–3.8), которая изготовлена методом сварки и состоит из горизонтальной планки 15 двух вертикальных ребер 16, 17, двух лезвий 18, 19, и двух загортачей 20, 21.

Узел распылителя 3 отдельно показан на рис. 3.9. Его корпус 22, трубка 23, ниппель 24 и резьбовая втулка 25 образуют одну жесткую сварную деталь. Щелевой распылитель 26 закреплен на торцевой части корпуса 22 с помощью накидной гайки 27. В полости корпуса 22 находится уплотнительное кольцо 28 и фильтр-клапан-отсекатель 29. Все три детали, а именно, прямоточный щелевой распылитель 26, уплотнительное кольцо 28 и фильтр-клапан-отсекатель 29 имеют известную, более того, стандартизованную конструкцию.

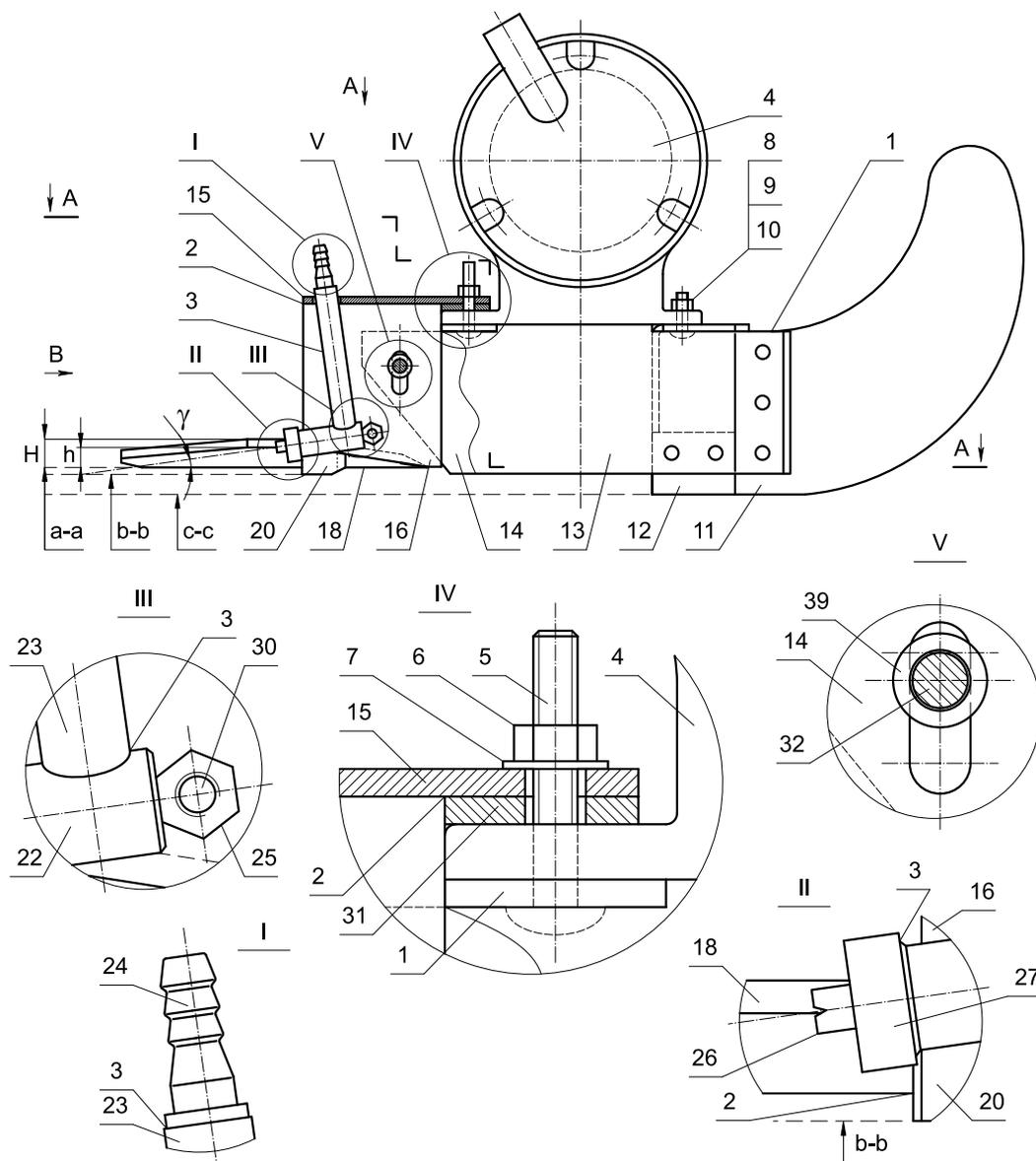


Рис. 3.1. Комбинированный сошник — вид сбоку

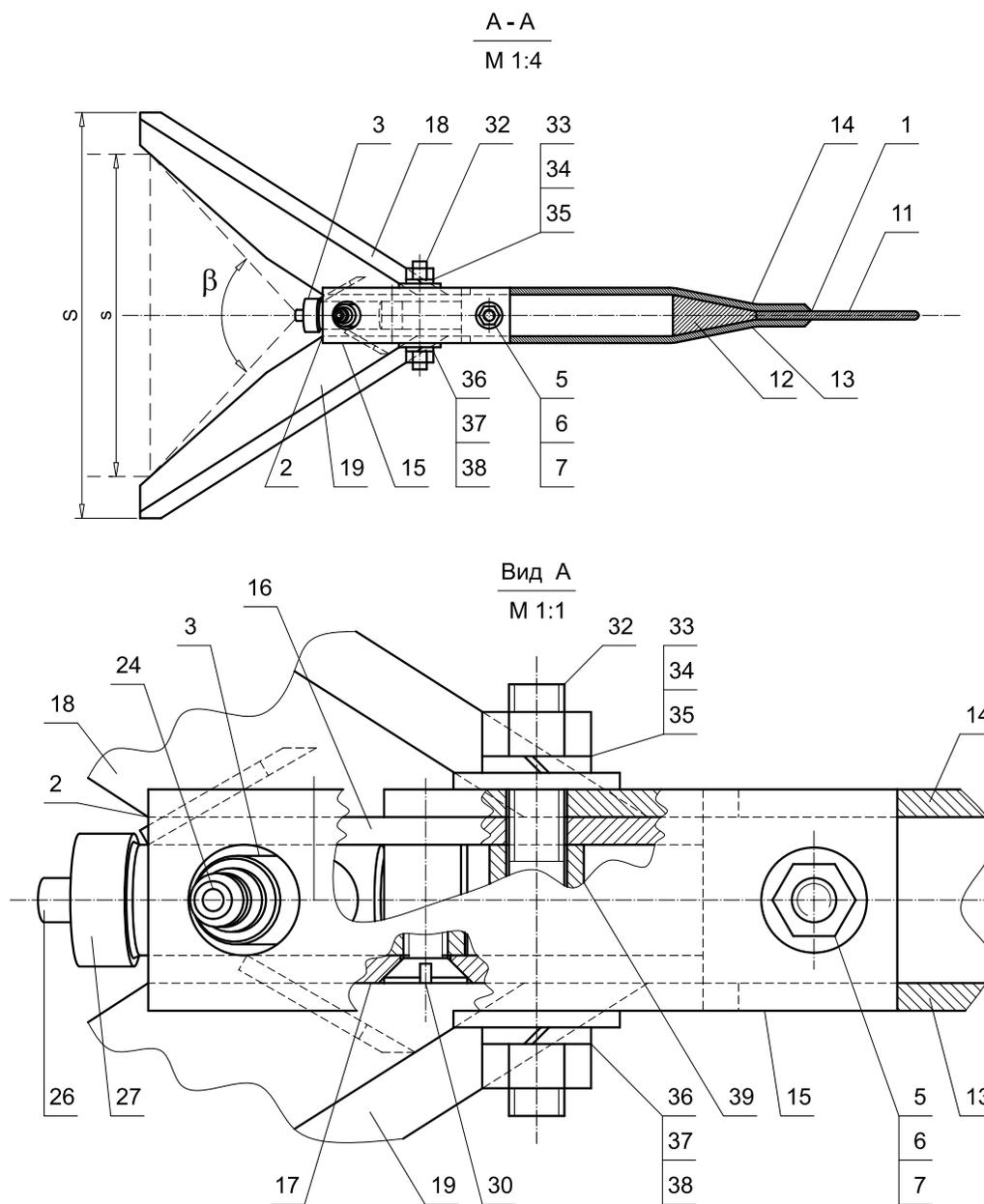


Рис. 3.2. Комбинированный сошник — вид сверху

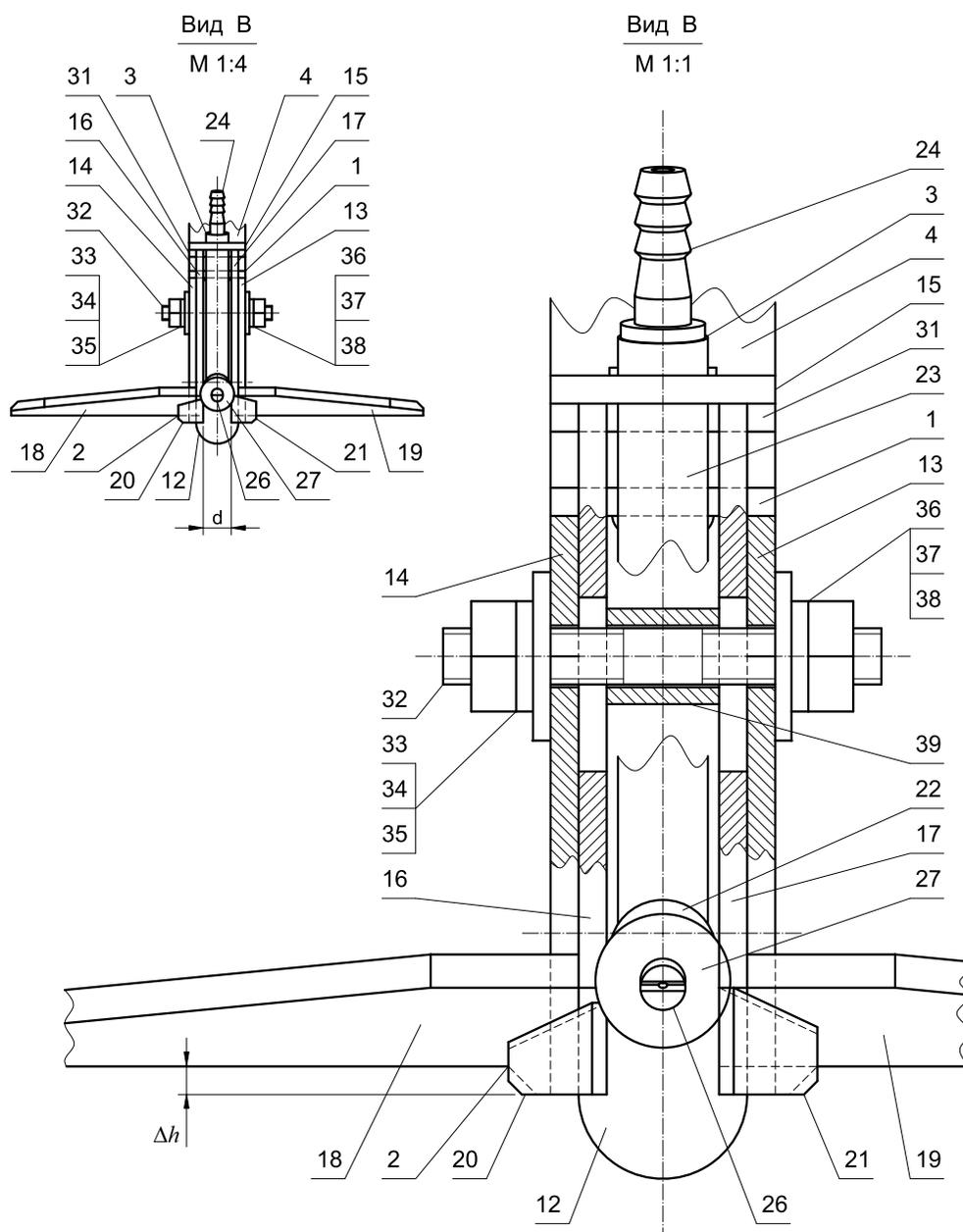


Рис. 3.3. Комбинированный сошник — вид сзади

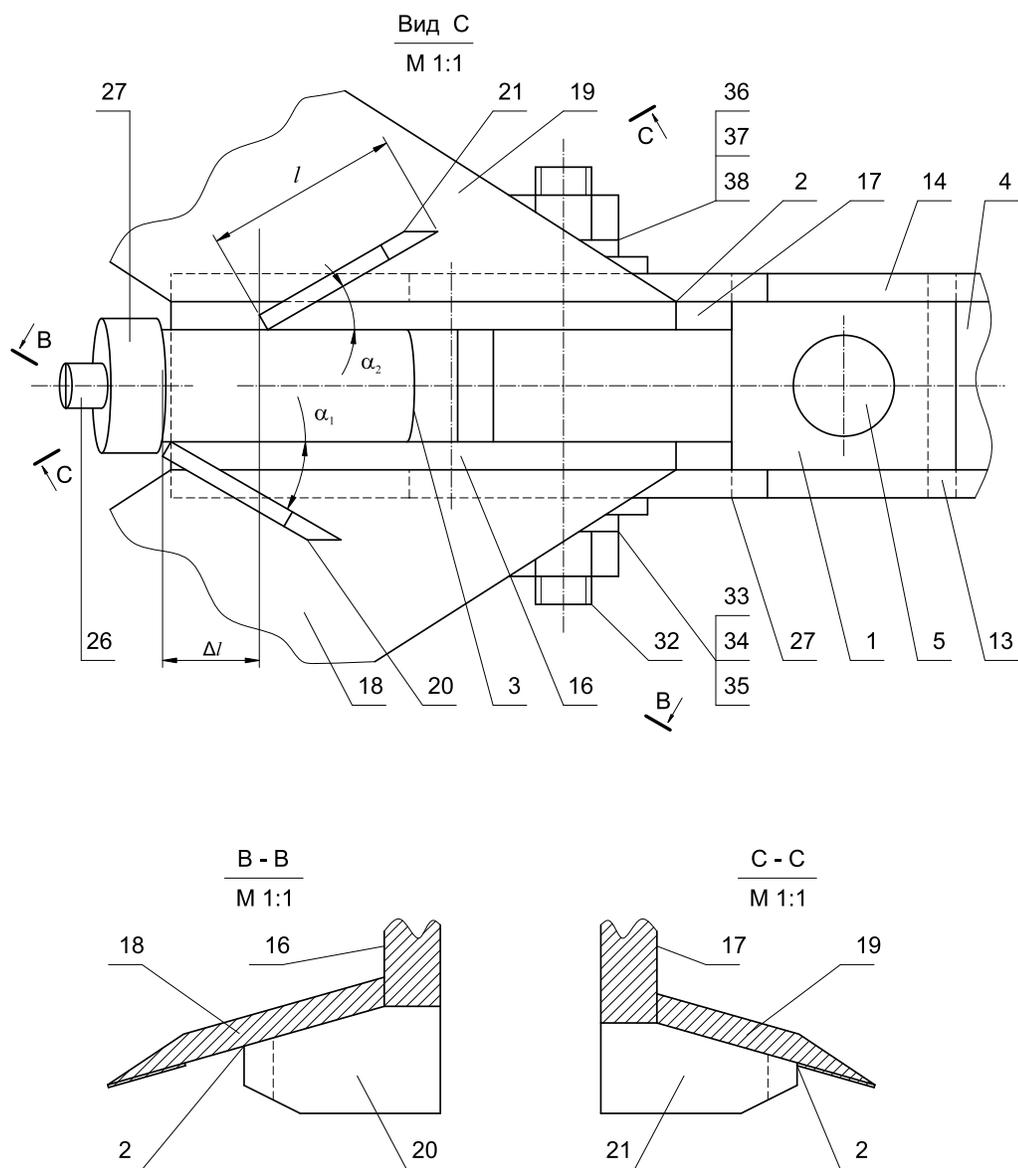


Рис. 3.4. Комбинированный сошник — вид снизу

Узел распылителя 3 закреплен в середине стрельчатого удлинителя 2 с помощью двух соосных винтов 30 (рис. 3.1, 3.2) с потайными головками. Винты 30 пронизывают ребра 18, 19 и завинчены в резьбовое отверстие втулки 25: один слева, а второй — с права. Потайная головка винтов 30 располагается в конусных отверстиях ребер 18, 19 (рис. 3.5) таким образом, что почвенный поток их не затрагивает.

Стрельчатый удлинитель 2 крепится к полозу 1 винтовым соединением 5,6,7 (рис. 3.1) с регулировочной прямоугольной шайбой 31 и с помощью шпильки 32 (рис. 3.2), которая пронизывает ребра 16, 17 и щеки 13, 14, и фиксируется гайками 33, 36, разрезными шайбами 34, 37 и обычными шайбами 35, 38. Отверстие в щеках 13 14 имеет удлиненную форму 3.5. Благодаря этому положение по высоте стрельчатого удлинителя 2 по отношению к полозу 1 можно менять. Для реализации возможности изменения

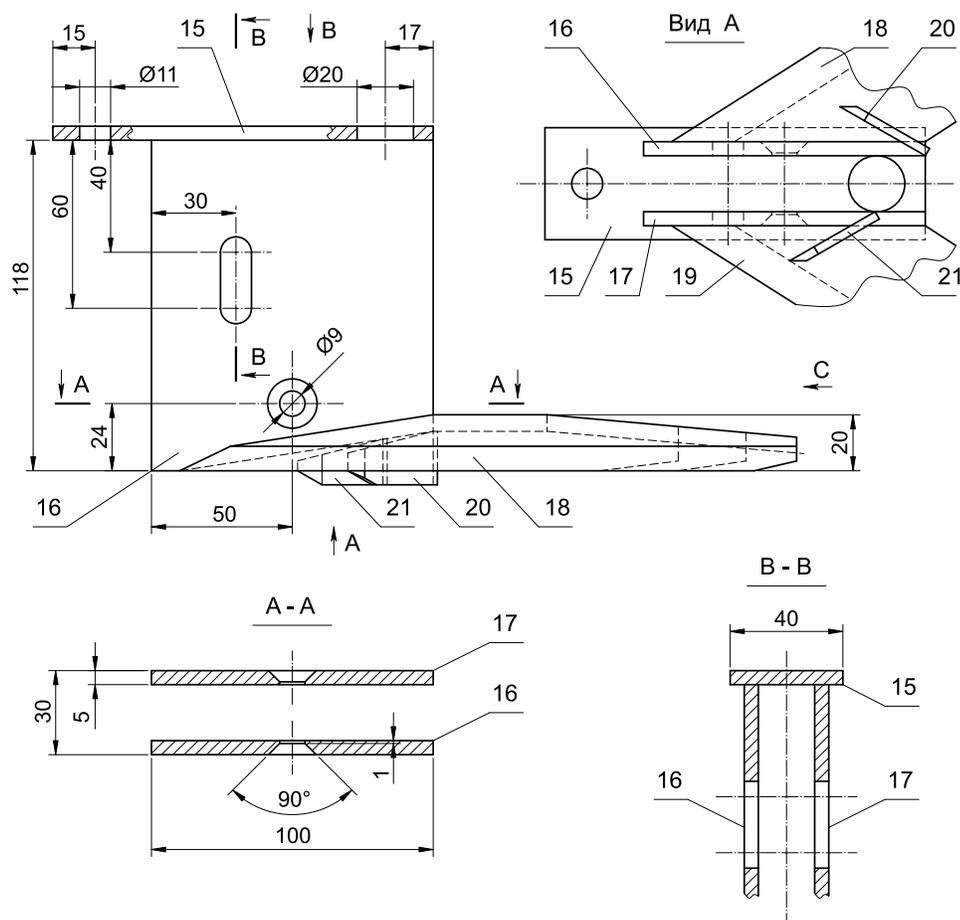


Рис. 3.5. Стрельчатый удлинитель полоза сошника — вид сбоку

положения по высоте стрельчатого удлинителя 2 по отношению к полозу 1 используется также регулирующая прямоугольная шайба 31 (рис. 3.1). Предполагается наличие набора таких шайб различной толщины. Для того, чтобы при затяжке гаек 33, 36 ребра 16, 17 и щеки 13, 14 не деформировались предназначена распорная втулка 39 (рис. 3.3), которую пронизывает шпилька 32 и которая расположена между ребрами 16, 17. Длина втулки 39 и толщина ребер 16, 17, а также расположение последних в пространстве между щеками 13, 14 согласованы таким образом, что между ними при затяжке гаек 33, 36 не остается зазоров, а ребра 16, 17 и щеки 13, 14 при этом не деформируются.

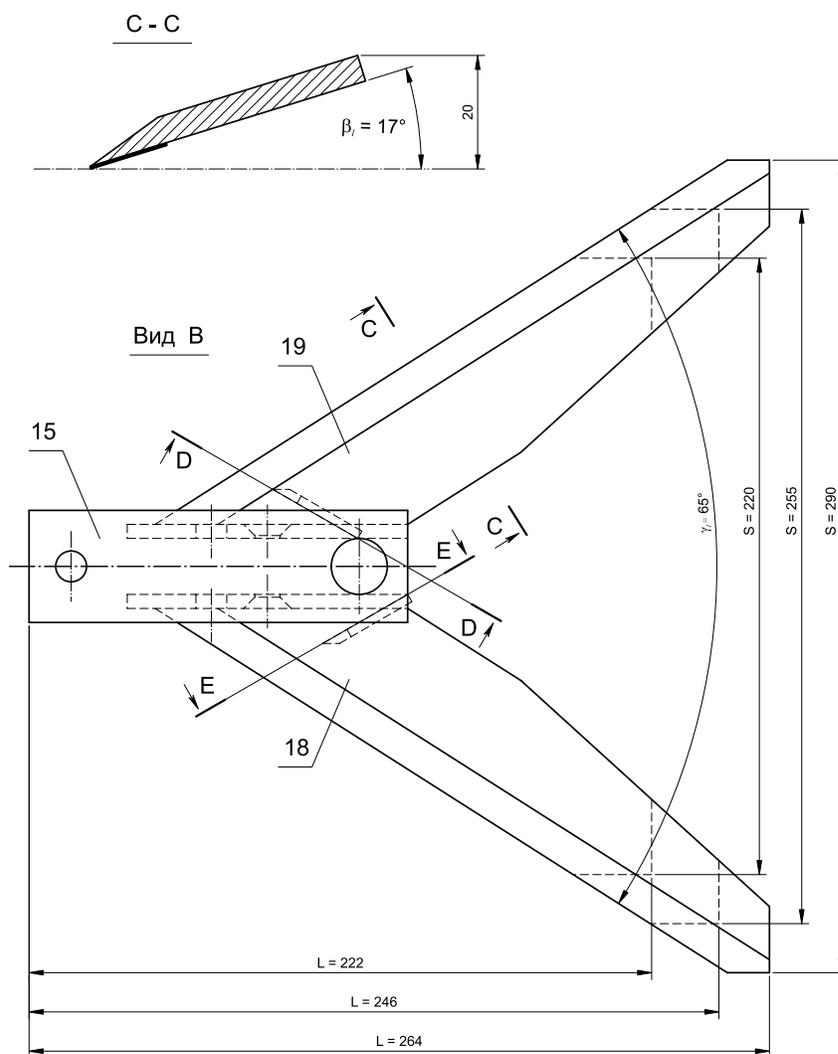


Рис. 3.6. Стрельчатый удлинитель полоза сошника — вид сверху

На рис. 3.4 и 3.7 показаны сечения лезвий 18, 19 и загорточей 20, 21 стрелчатого удлинителя 2 комбинированного сошника. С учетом рис. 3.5 видно, что загортачи 20, 21 имеют заостренную спереди форму и лыжеподобную нижнюю кромку.

На рис. 3.1 линии “а-а”, “b-b”, “с-с” обозначают уровни хода по глубине элементов конструкции комбинированного сошника: бороздообразователя 12, лезвий 18, 19 и загорточей 20, 21.

При выполнении рабочего процесса комбинированный сошник, копируя поверхность поля, движется на такой глубине, когда верхние кромки лезвий 18, 19 хотя бы частично покрыты землей. Наральник 11 разрезает почву. Щеки 13, 14 раздвигают ее в стороны, бороздообразователь 12 уплотняет дно и тем готовит сложившуюся канавку до высева семян. Бороздообразователь 12 движется на глубине “с-с”. Несколько на меньшей глубине движутся загортачи 20, 21 (линия “b-b”) и еще мельче — лезвия

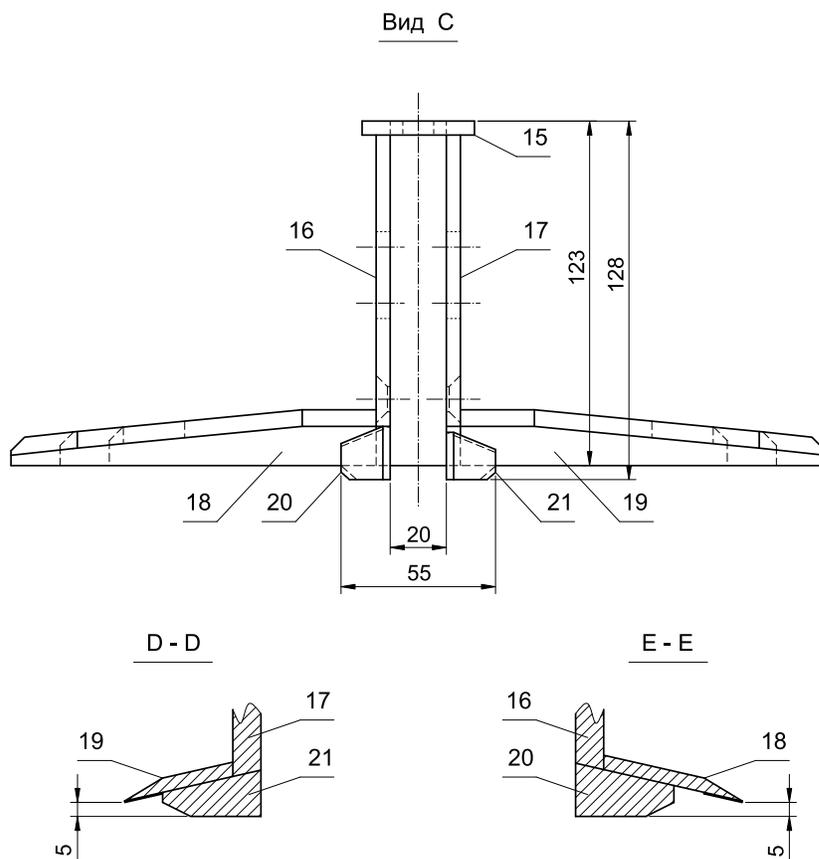


Рис. 3.7. Стрелчатый удлинитель полоза сошника — вид сзади

18, 19 (линия “а-а”). Дозировку семян выполняет высеивающий аппарат 4. Дна канавки семена достигают гравитационным методом, то есть в состоянии свободного падения. Независимо от скорости движения сошника, падение семян на дно канавки (на уровень “с-с”) происходит до того, пока оно сравнится с передними кромками ребер 16, 17 стрельчатого удлинителя 2 комбинированного сошника.

В дальнейшем, почва, проходящая мимо щек 13, 14 сошника, и находящаяся в пределах ширины захвата S стрельчатого удлинителя 2 выше уровня “а-а”, сталкивается с лобными поверхностями лезвий 18, 19 и за счет этого приобретает вертикальную составляющую скорости. Далее эта часть почвы сначала пребывает в состоянии свободного полета вверх, а затем в состоянии свободного падения. Так в кинематической тени лезвий 18, 19 в почве создается динамическая полость.

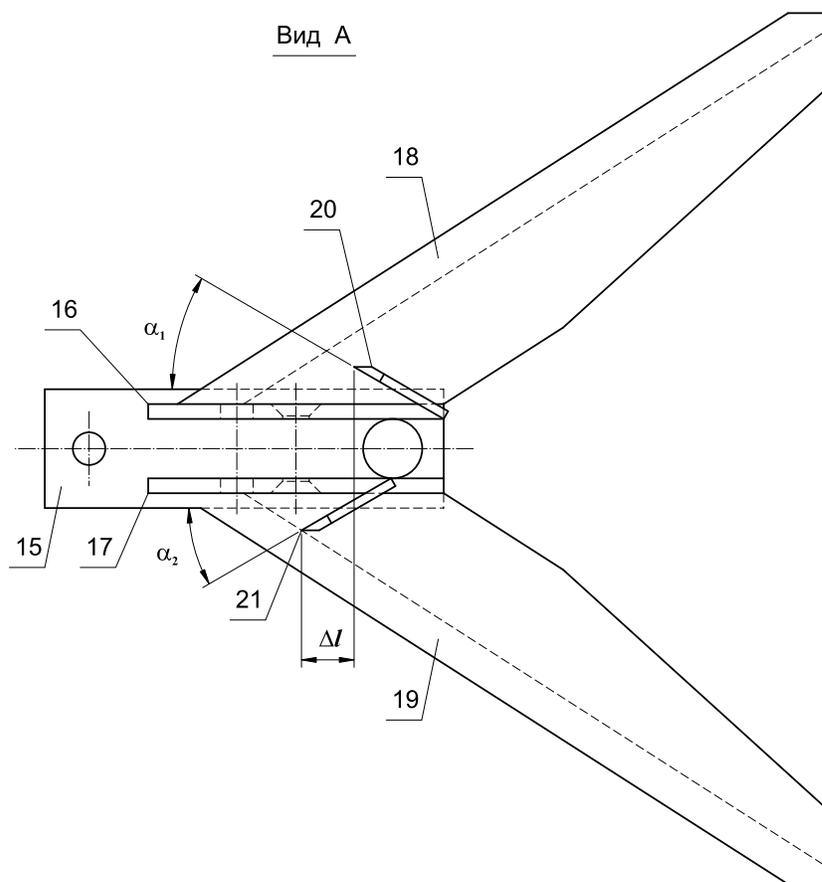


Рис. 3.8. Стрельчатый удлинитель полоза сошника — вид снизу

Рабочая часть загорточей 20, 21 по высоте своего расположения находится между уровнями “а-а” и “с-с”. Причем их нижняя кромка находится на уровне “b-b”, который удален от уровня “с-с” на столько, чтобы в процессе рабочего хода загортачи 20, 21 ни в коем случае не могли столкнуться с уже высеянными семенами, покоящимися на дне канавки, сформированной бороздообразователем 12.

Поскольку загортачи 20, 21 имеют обтекаемую форму, а их рабочие поверхности ориентированы под острым углом к направлению движения α_1, α_2 причем так, что передние части разведены шире чем задние, то влажный грунт который находится на их пути направляется ими на дно канавки, присыпая собой высеянные семян. Чтобы избежать условий сводообразования, при которых наступает залипание почвы в пространстве между загортачами, они расположены асимметрично. По отношению ли-

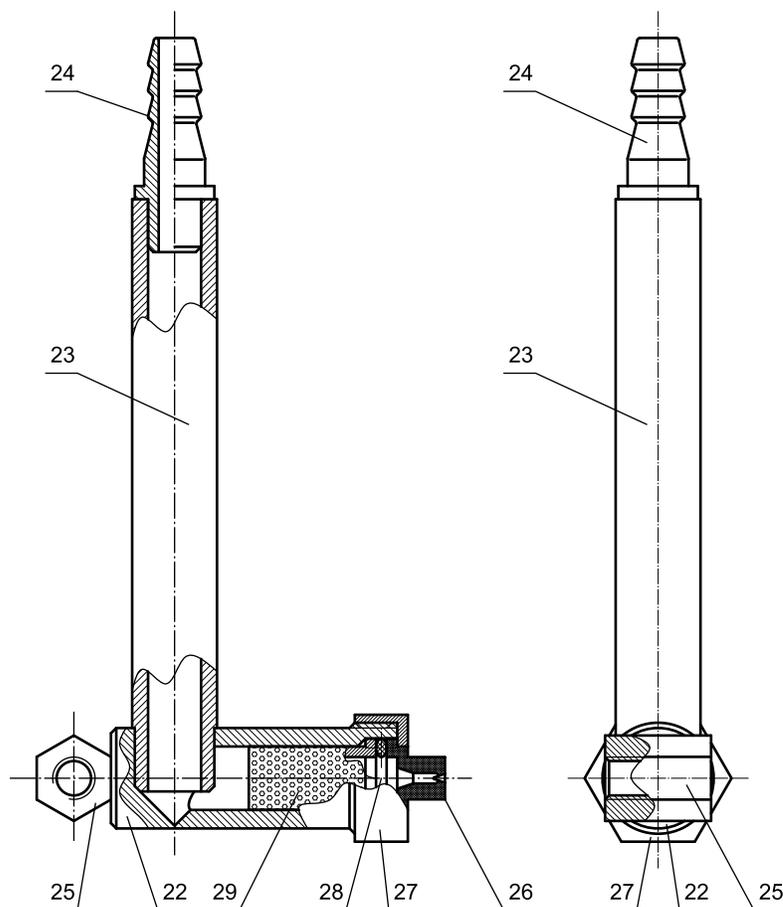


Рис. 3.9. Узел распылителя

нии направления движения один смещен относительно второго на величину Δl . При этом величина Δl выбирается с учетом длины загортачей l таким образом, что в пределах всего диапазона рабочих скоростей поток почвы создаваемый одним загортачем сталкивался с потоком почвы, образованным вторым загортачем в пространстве между стенками бороздки для семян. В таком случае исключаются условия, когда поток почвы с одного загортача сбивает упавшие на дно бороздки семена под одну из ее сторон. В большинстве случаев описанные условия достигаются, если по отношению к направлению движения загортачи перекрываются между собой, т.е. когда $\Delta l < l$.

Кроме этого, между передней частью загортачей 20, 21 и режущими кромками лезвий 18, 19 имеется определенное расстояние, связанное с необходимостью создания условий самоочистки лезвий 18, 19 от растительных остатков, которые не смогли перерезаться и нависли на них, а потому путем скользящего движения должны достигнуть периферийных краев лезвий 18, 19 и далее полностью сойти с них.

Щелевой прямоточный распылитель 26 является элементом узла 3 и крепится в нем с помощью навинченной на корпус 22 накидной гайки 27. РЖ попадает в распылитель 26 через ниппель 24 трубку 23, корпус 22 и далее через индивидуальный фильтр-клапан-отсекатель 29. Подтекание РЖ между корпусом 22 и распылителем 26 исключается благодаря применению эластичного кольца 28.

Фильтр-клапан-отсекатель 29 может иметь произвольную конструкцию и объединяет в себе собственно фильтр и обратный клапан. В работе использовали фильтр с обратным клапаном TeeJet 4193A [184] (рис. 3.10), который состоит из корпуса 39, сетки фильтра 40, пружины 41 и шарикового клапана 42. Его параметры приведены в табл. 3.1.

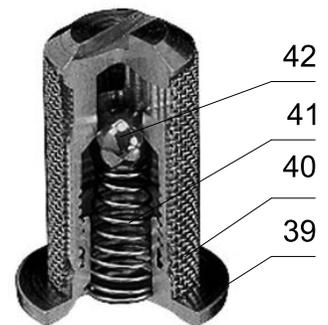


Рис. 3.10. Фильтр с обратным клапаном TeeJet 4193A

Таблица 3.1

Параметры фильтра с обратным клапаном TeeJet 4193A

Наименование параметра	Единица измерения	Числовое значение
Давление открытия шарового клапана	бар	0,34
Предельная величина расхода РЖ	л/мин	3,0
Размер ячейки сетки фильтра	мм	0,024
Дросселирование потока РЖ	бар	0,34

Функция фильтра-клапана-отсекателя 29 состоит в том, чтобы как можно быстрее перекрывать поток РЖ через распылитель 26 в случае падения рабочего давления ниже определенного предела, или в случае штатного выключения подачи РЖ.

Принципиально важным является расположение распылителя 22 в кинематической тени полоза 1 сошника. Это позволило минимизировать фактически до толщины уплотнительного кольца 28 расстояние между клапаном-отсекателем и распылителем 22, а, значит, минимизировать количество РЖ, которая сосредоточена в пространстве между клапаном-отсекателем 29 и распылителем 22, а, следовательно могла бы вытечь из распылителя после снятия рабочего давления.

Учитывая, что динамическая полость в грунте, которая создается позаду лезвий 18, 19, имеет очень незначительную высоту, в конструкции предусмотрено использование прямоточных распылителей 22 целевого типа ES-90-01-Messing (табл. 3.2) от компании Lechler GmbH [185], специально разработанного для ленточного внесения. Расположен распылитель 22 максимально низко над плоскостью резания (уровень “а-а”). Такие распылители имеют плоский веерообразный факел распыла РЖ с углом при вершине β . Чтобы этот факел попадал на плоскость резки (уровень “а-а”), распылитель 22 ориентирован под острым углом γ к плоскости резания (уровень “а-а”). При фиксированной высоте расположения распылителя 22 чем меньше угол γ , тем больше ширина обрабатываемой им полосы s .

Таблица 3.2

Параметры распылителя Lechler ES-90-01-Messing

Наименование параметра	Единица измерения	Числовое значение
Рабочее давление	бар	1,0*–4,0
Расход РЖ	л/мин	0,23*–0,45
Угол раствора факела распыла	град.	90

* Значение, по итогу экспериментов рекомендованное для применения в качестве основного

Использование загортачей 20, 21 позволяет укрыть семена влажным слоем почвы к тому моменту, пока над ними распылителем 22 будет распылена РЖ. Чтобы факел распыла распылителя 22 не пересекался потоками почвы, созданными загортачами, распылитель 22 находится позади загортачей. Такому же результату способствует расположение загортачей 20, 21 с перекрытием по отношению к направлению движения, что приводит к созданию условий, когда потоки почвы, выходящие из под них, сталкиваются между собой, а, значит, теряют продольную составляющую скорости и осыпаются на дно канавки с высеянными семенами ранее, чем это могло быть, если бы в конструкции был только один задний загортач 20.

Для регулирования глубины ленточного ВВ РЖ по отношению к посеву нужно: 1) отвинтить гайки 7, 33, 36; 2) снять шайбу 7; 3) вынуть шпильку 32; 4) отсоединить стрельчатый удлинитель 2 в сборе с узлом распылителя 3; 5) заменить прямоугольную регулировочную шайбу 32 на другую, необходимой толщины; 6) собрать комбинированный сошник в обратном порядке в соответствии с рис. 3.1–3.9.

Основные конструктивные параметры стрельчатого удлинителя комбинированного сошника приведены в табл. 3.3. Некоторые из этих параметров, а именно, ширину захвата S , длину стрельчатого удлинителя L , а также наличие загортачей и величину их продольного смещения Δ_l уточняли экспериментально, используя три варианта величин, приведенных в таблице. Методика и подробные результаты экспериментов изложены в

Таблица 3.3

Параметры стрельчатого удлинителя сошника

Наименование параметра	Условное обозначение	Единица измерения	Числовое значение
1 Ширина захвата (варианты)	S	мм	220* 255 290
2 Длина стрельчатого удлинителя (варианты)	L	мм	222* 246 264
3 Ширина обрабатываемой полосы	s	мм	200
4 Угол раствора лезвий	γ_l	град.	65
5 Высота стрельчатой части	H	мм	20
6 Угол крошения лезвий	β_l	мм	20
7 Угол наклона распылителя	γ	град.	8
8 Высота положения точки вытока РЖ	h	мм	15
9 Угол раствора левого загорточа	α_1	град.	30
10 Угол раствора правого загорточа	α_2	град.	30
11 Длина загорточей	l	мм	35
12 Смещение правого загорточа (варианты)	Δ_l	мм	17* 0
Загортачи отсутствуют			
13 Поперечное расстояние между загорточами	d	мм	20
14 Глубина погружения загорточей	Δ_h	мм	5

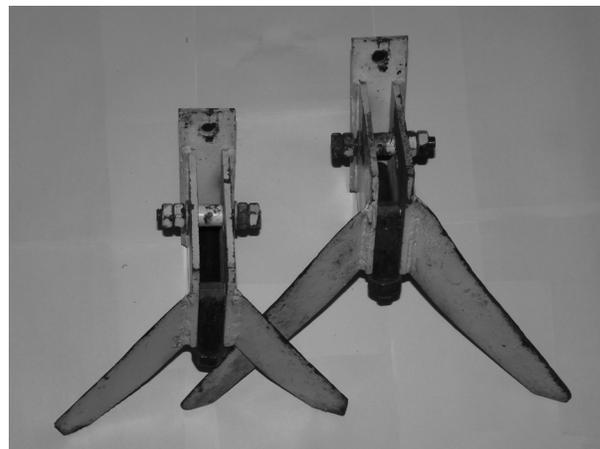
* Значение, по итогу экспериментов рекомендованное для применения в качестве основного

следующей главе работы. Значения параметров, которые по итогу экспериментов были признаны лучшими в табл. 3.3 отмечены знаком “*”.

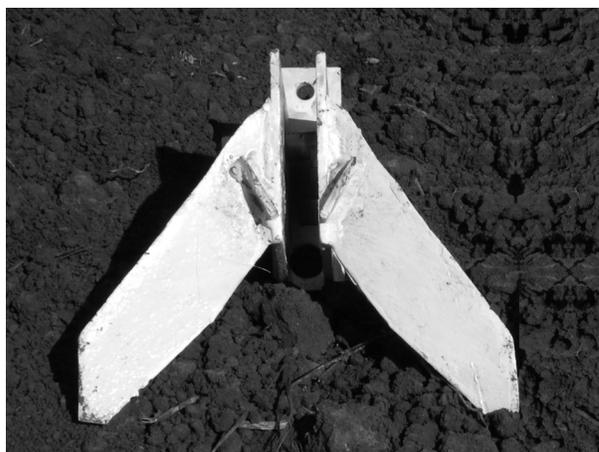
На рис. 3.11 показаны фотографии изготовленных вариантов стрельчатых удлинителей полоза комбинированного сошника. В частности, на рис. 3.11А и 3.11В представлено конструкцию, в которой загортачи вовсе отсутствуют. Всего таких загорточей было изготовлено 7 шт., т.е. комплект из расчета для применения на сеялке СУПН-6А (плюс один запасной). Раз-



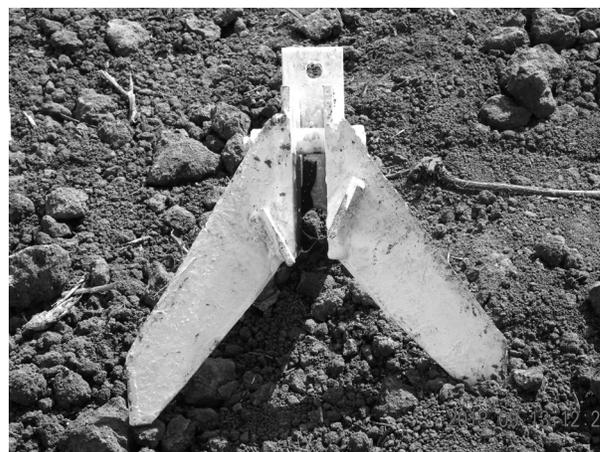
А



В



С



D

Рис. 3.11. Стрельчатый удлинитель полоза сошника в сборе с узлом распылителя (А, В) и без него (С, D) в трех вариантах исполнения: А, В — без загорточей и с различной шириной захвата (В) 220 и 290 мм; С — с двумя симметричными загорточами; D — с двумя асимметричными загорточами

личную ширину захвата рис. 3.11В получали последовательной обрезкой лезвий удлинителя. На рис. 3.11С показан вариант конструкции с симметричным расположением загорточей, т.е. когда $\Delta L = 0$, а на рис. 3.11D — вариант с асимметричным расположением загорточей, когда $\Delta L = 17$ мм. Таких стрелчатых удлинителей было изготовлено по 6 шт. каждого вида. Ширину захвата также изменяли последовательной обрезкой, сначала под размер $S = 255$ мм, а затем под размер $S = 290$ мм. В процессе сравнительных испытаний на сеялку устанавливали по 2 удлинителя каждого вида, т.е. без загорточей, с загорточами, установленными симметрично, и с асимметрично установленными загорточами.

3.2. Особенности переоснащения посевных секций сеялки

В процессе переоборудования серийной сеялки СУПН-6А была поставлена задача не вносить в конструкцию сеялки никаких необратимых изменений. Т.е. все иновации должны выполняться как дополнительное оснащение сеялки, которое может быть смонтировано и затем демонтировано без каких либо переделок серийных деталей.

Описанный ранее предложенный вариант стрелчатого удлинителя полоза сошника полностью соответствует заявленному выше требованию, т.к. монтируется посредством имеющегося в конструкции болта крепления полоза к высевающему аппарату, а также за счет дополнительной шпильки, которая пронизывает щеки полоза сошника через имеющиеся отверстия.

Проблему составляло увеличение общей длины стрелчатого удлинителя и полоза сошника на 134–176 мм в зависимости от выбранной ширины захвата табл. 3.3. В серийной сеялке сзади полозовидного сошника располагается пара подпружиненных штатных загорточа и опорное (прикатывающее) колесо. Для того, чтобы удлинить тягу заднего колеса и за счет этого сместить назад штатные загортачи, сохранив за ними их функции, было сконструировано и изготовлено пара (а — левый, б — правый) удлинителей тяги опорного колеса (рис. 3.12).

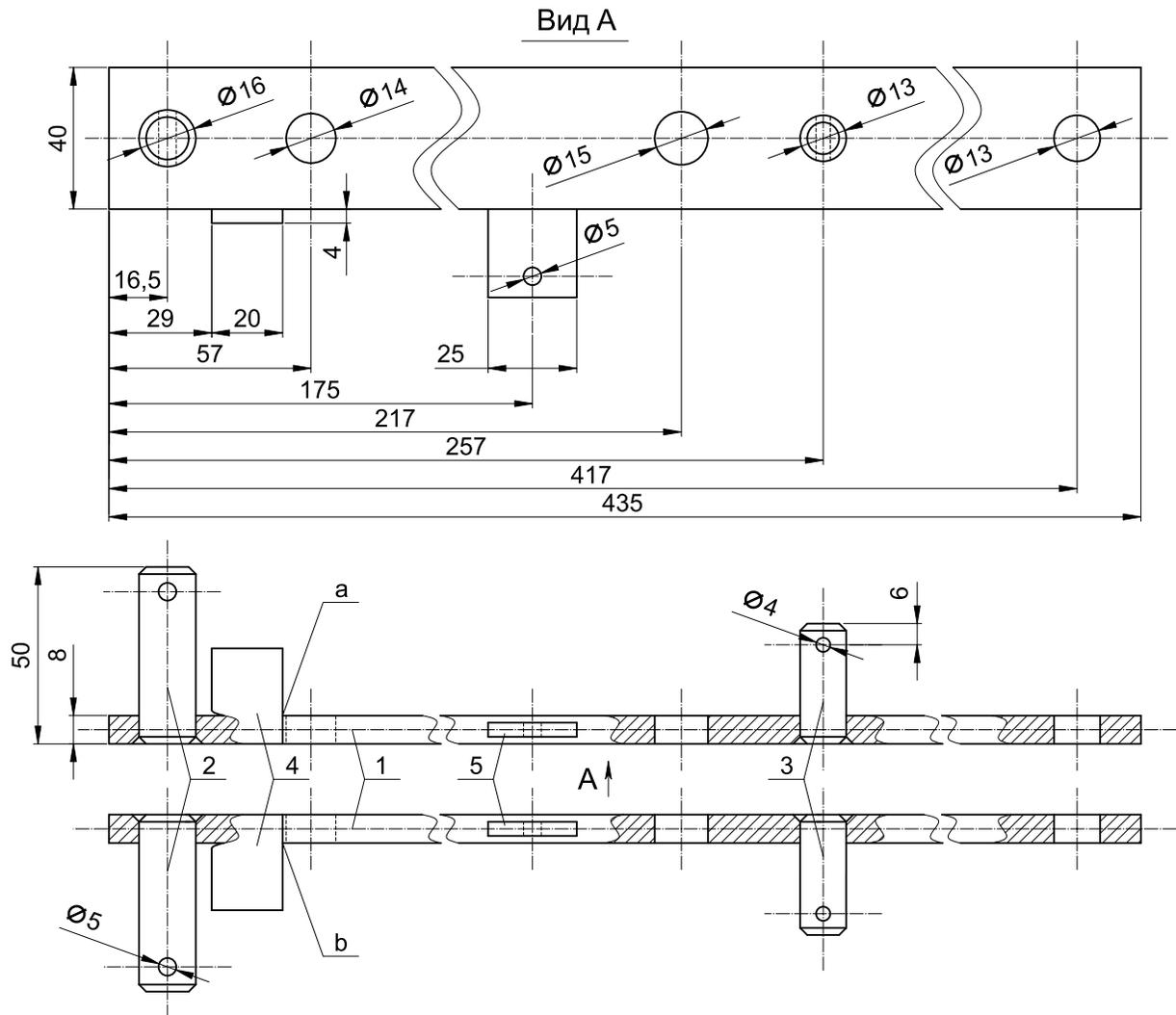


Рис. 3.12. Левый (а) и правый (б) удлинители тяги опорного колеса посевной секции СУПН-6А

Каждый из них представляет жесткую сварную конструкцию, состоящую из пяти деталей: 1 — планка (изготовлена из стальной полосы сечением 50x8 мм); 2 — консольный палец штатного загорточа; 3 — консольный палец для крепления шлейфа; 4 — упор для штатного загорточа; 5 — ухо крепления пружины штатного загорточа. Детали 2–5 полностью повторяют свои аналоги, имеющиеся на штатной тяге опорного колеса.

В собранном виде, посевная секция показана на рис. 3.13. Она включает: 1 — полоз сошника; 2 — стрельчатый удлинитель полоза сошника; 3 — узел распылителя; 4 — высевающий аппарат; 5 — тяга опорного колеса; 6 — опорное колесо; 7, 8 — правый и левый удлинителя тяги опорного колеса; 9 — штатный загорточ; 10 — пружина загорточа; 11 — шлейф; 12 — канал для подвода РЖ; 13 — механизм регулировки глубины хода сошника (глубины посева).

Как видим, каждый удлинитель тяги опорного колеса закреплен на тяге посредством имеющихся в конструкции пальцев крепления шлейфов, а также за счет дополнительного болтового соединения, которое задействует отверстия в концах тяги, в которых ранее располагались оси опорных колес. Штатные загортачи, а также их пружины перенесены на удлинители тяги. Их новое размещение, условия и принцип работы при этом не менялись. В процессе переналадки сеялки необходимо уточнить регулировку глубины посева. В прочем, последнее необходимо делать всякий раз перед началом проведения посевных работ.

В общей сложности удлинение посевной секции ΔL составило 218 мм, что превышает величину 134–176 мм — удлинения самого полоза сошника. Это связано с тем, что в процессе рабочего хода в почве за стрельчатым удлинителем полоза сошника образуется динамическая полость, которая используется для размещения в ней факела распыла РЖ. Штатные загортачи не должны разрушать эту полость, и поэтому отодвинуты назад на дополнительные 42–84 мм. В идеале величина ΔL должна быть минимально возможной. Чем короче общая длина посевной секции (без учета механиз-

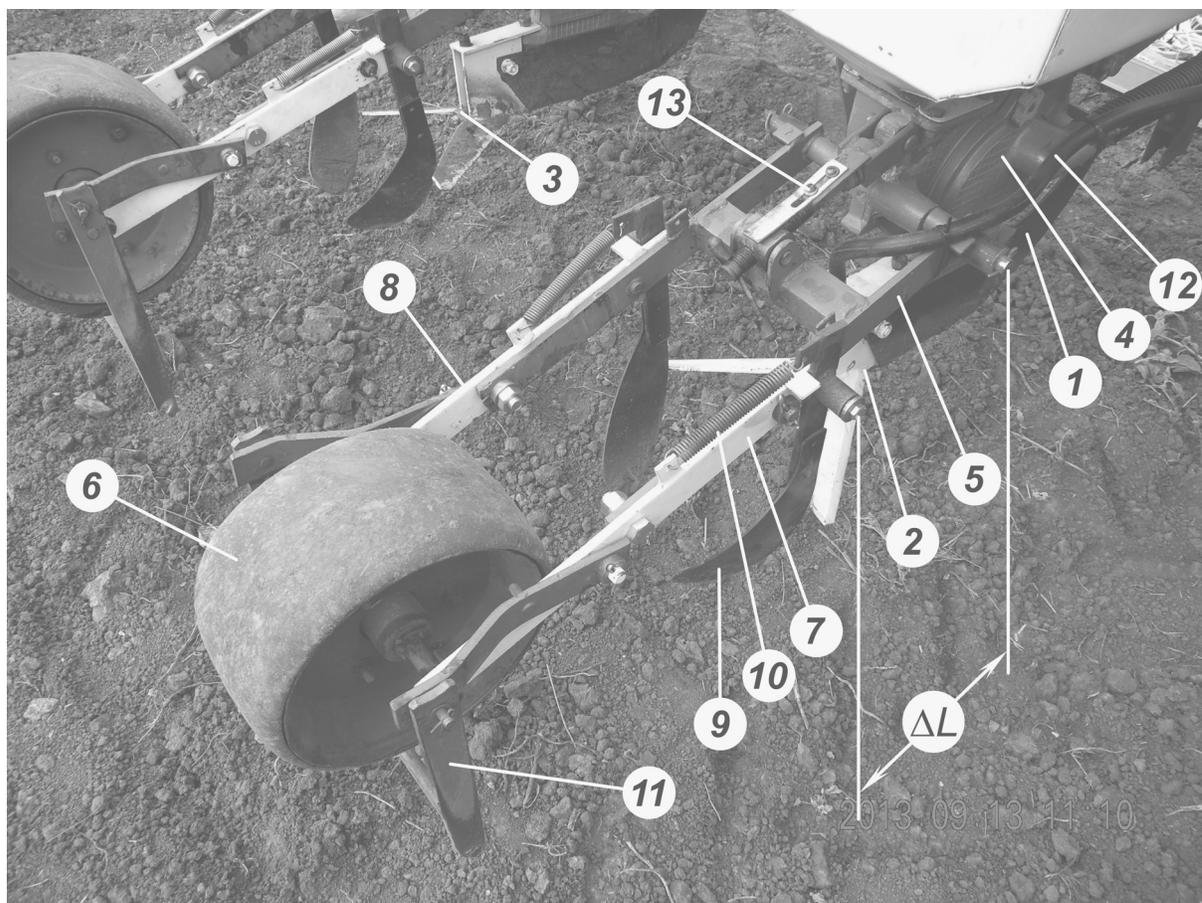


Рис. 3.13. Посевная секция переоборудованной сеялки СУПН-6А

ма ее навески), тем лучше ее способность копировать рельеф поверхности поля, а, значит, точнее и стабильнее глубина заделки высеваемых семян.

3.3. Компоновочные схемы агрегатов для посева и послепосевного ленточного внутрипочвенного внесения гербицидов

Требования, которыми руководствовались при выполнении работ по компоновке комбинированного МТА, предназначенного для одновременного выполнения пропашных культур и ленточного ВВГ:

1) переделкам можно подвергать только посевную машину (сеялку СУПН-6А), дополнительные детали навесных устройств и привода вентилятора сеялки и/или гидравлического насоса подачи РЖ;

2) все переделки посевной машины, механизмов навески и приводов должны быть обратимыми;

3) в качестве гидравлического оборудования для подачи РЖ к распылителям стрельчатых удлинителей сошников следует использовать любой серийный опрыскиватель, который может быть в хозяйстве;

4) для тех хозяйств, в которых имеются трактора интегрального типа, или только классической компоновки, разработать варианты агрегатов на основе тех и других типов тракторов;

5) предпринять меры по минимизации времени на техническое и технологическое обслуживание агрегата;

6) общая производительность агрегата должна ограничиваться возможностями сеялки, а не дополнительного оборудования, предназначенного для внесения гербицидов.

Первые два пункта требований продиктованы, тем, что далеко не всегда возникает хозяйственная необходимость в ЛВГ. Во-первых, потенциальная засоренность посевов может быть ниже экономического порога обоснованного применения гербицидов. Во-вторых, по причине значительной и разнообразной потенциальной засоренности посевов может стать оправданным сплошное внесение гербицидов. И, в-третьих, с учетом финансового

состояния многих современных сельхозпроизводителей Ирака и Украины мероприятия по химической защите растений могут оказаться неприемлемо дорогими. Во всех этих случаях все оборудование, необходимое для ЛВГ становится лишним и должно быть легко демонтировано.

Третий пункт требований продиктован необходимостью минимизировать затраты хозяйственников на приобретение новой техники. В подавляющем большинстве хозяйств уже имеется хотя бы один навесной опрыскиватель, а, значит, следует создать такой агрегат, в котором можно было бы его использовать вне зависимости от его конструктивных особенностей и технико-технологических параметров. Из приведенного вытекает: 1) штанга или любое другое устройство для распределения препарата по обрабатываемой поверхности может быть либо демонтированным, либо находиться в незадействованном состоянии; 2) емкость для РЖ может быть любой, но в идеале ее должно хватать на один полный рабочий день; 3) в виду крайне низкого расхода РЖ задействованными в конструкции распылителями (табл. 3.3) насос для подачи РЖ может быть практически любым; 4) точность дозирования, разумеется, чем точнее тем лучше.

Четвертый и пятый пункты предполагают возможность использования имеющихся в хозяйстве тракторов. Применение тракторов интегральной компоновки ослабляет требования на выбор навесного опрыскивателя. Поскольку, в большинстве случаев они имеют тяговый класс не менее 20 кН, то их передняя навесная система способна поднять почти любой навесной опрыскиватель. Единственная проблема, которая при этом возникает и может быть нерешаемой, связана с нарушением обзорности. Вторая проблема связана с наличием переднего ВОМ, но ее легко можно решить, применив гидропривод предлагаемой ниже конструкции.

Последние два пункта связаны с необходимостью затрат времени на подготовку и заправку агрегата РЖ. Поскольку РЖ можно приготовить непосредственно в рабочей емкости опрыскивателя, то возникает потребность в согласовании ее размера с интенсивностью потребления РЖ. В иде-

але агрегат должен обслуживаться один раз, утром перед началом работы. В конце рабочего дня вся РЖ должна быть израсходована, а рабочие коммуникации промыты. Из этого следует, что большая емкость всегда лучше, чем меньшая. Если же емкости не хватает для работы агрегата в течение рабочего дня без дозаправок, то крайне желательно минимизировать затраты времени на дозаправки.

3.3.1. Агрегат на основе трактора интегральной компоновки. По компоновке предлагаемый вариант (рис. 3.14, тал. 3.4) повторял агрегаты Varidome для ЛВГ от английской компании Micron Sprayers Ltd [186] и состоял из интегрального трактора ХТЗ-121 (1) сеялки СУПН-6А (2) и навесного штангового опрыскивателя ОПНШ-800-14 (3).

Поскольку трактор ХТЗ-121 относится к тяговому 30 кН, а сеялка СУПН-6А и навесной опрыскиватель ОПНШ-800-14 предназначены для

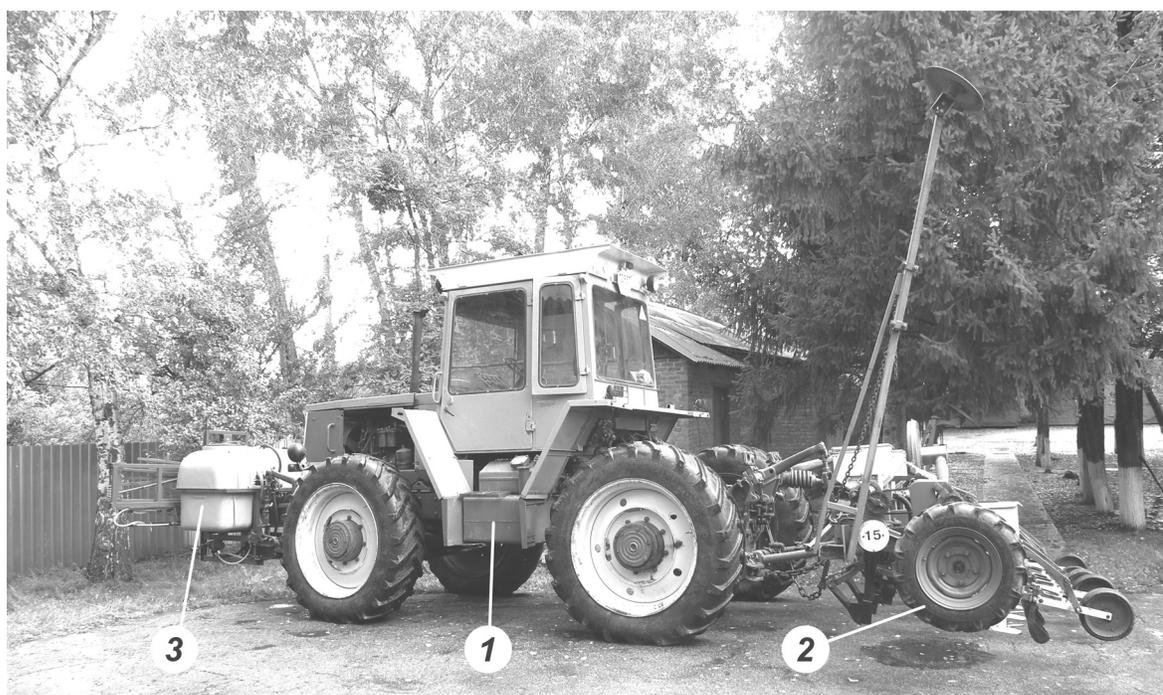


Рис. 3.14. Комбинированный агрегат для одновременного выполнения посева пропашных культур и ленточного ВВГ на основе трактора интегральной компоновки ХТЗ-121 (1), сеялки СУПН-6А (2) и штангового опрыскивателя ОПНШ-800-14 (3)

Таблица 3.4

Основные технико-технологические параметры комбинированного агрегата для одновременного выполнения посева пропашных культур и ленточного ВВГ на основе интегрального трактора ХТЗ-121 в агрегате с сеялкой СУПН-6А и штангового опрыскивателя ОПНШ-800-14

Наименование параметра	Единица измерения	Числовое значение
1 Количество рабочих секций	шт.	6
2 Ширина захвата	м	4,2
3 Ширина междурядия	м	0,7
4 Ширина ленты внесения гербицида	м	0,2
5 Минимальная глубина заделки гербицида	см	4
6 Интервал между семенами и слоем гербицида	см	1,5 – 3,5
7 Глубина посева с внесением гербицидов	см	5,5 – 8,0
8 Технологическая емкость для РЖ	л	800
9 Рабочее давление	бар	1,0 – 4,0
10 Расход РЖ	л/мин.	1,38 – 2,70
11 Минимальный погектарный расход РЖ	л/га	23
12 Рабочая скорость: по работоспособности	км/ч	6 – 9
по возможностям трактора		6,0; 7,47; 8,56
13 Производительность	га/ч	до 3,3

агрегатирования с тракторами тягового класса меньше 20 кН, то возникла проблема согласования навесных устройств, которая была решена внесением в их конструкцию необходимых авторских изменений. Потребовалось также удлинение карданного вала привода вентилятора сеялки. Поскольку для трактора ХТЗ-121, передний ВОМ является дополнительной опцией и в модели представленной для испытаний его не было, то для привода насоса опрыскивателя ОПНШ-800-14 был изготовлен гидропривод.

Преимуществом такого трактора являются повышенные его габариты и несущая способность навесных устройств. Это позволило, не опасаясь

снизить обзорность ниже допустимого предела, использовать опрыскиватель с рабочей емкостью 800 л и не демонтировать штангу. В конечном итоге это ускоряет процесс агрегатирования и возврат опрыскивателя для использования с другим трактором на других операциях.

Недостатком применения трактора класса тяги 30 кН является его избыточность по целому комплексу параметров. В конечном итоге это приводит к перерасходу топлива и денежных ресурсов. Предпочтительно было бы также использовать восьмирядную сеялку СУПН-8А, но в опытном хозяйстве, где проходили испытания, такой сеялки не оказалось.

В дальнейшем для сеялок с шириной захвата от 6-ти до 12-ти рядков планируется использовать тракторы с тягой от 14 до 20 кН, а опрыскиватель крепить впереди трактора непосредственно к его раме, как это выполнено в машинах ООО “Виктория” (Россия) [187].

3.3.2. Агрегат на основе трактора классической компоновки. Предлагаемый агрегат в составе трактора классической компоновки ЮМЗ-6ЛС (1) сеялки СУПН-6А (2) и навесного штангового опрыскивателя ОПНШ-800-14 (3), установленного в легковом автомобильном прицепе (4), представлен на рис. 3.15 и в табл. 3.5.

Такой агрегат является сбалансированным в комплексном смысле этого понятия. Трактор ЮМЗ-6ЛС полностью согласуется с сеялкой СУПН-6А как по тяге, так и по параметрам сцепного устройства. При их агрегатировании не требуются никакие переделки. Дооборудованию подвергается только рама сеялки в том смысле, что в ее центральной части крепится съемная консольная балка с шаровым прицепным устройством для автомобильного легкового прицепа.

Весьма эффективным является размещение опрыскивателя в кузове прицепа, расположенного сзади. Такая компоновочная схема (по типу больших посевных комплексов) не приводит к увеличению разворотной полосы, хотя формально кинематическая длина агрегата существенно возрастает, но приводит к устранению проблем с обзорностью и не приведет к перегруз-

ке навесного устройства, как если бы емкость и агрегаты опрыскивателя располагались на раме сеялки.

Отдельное преимущество, особенно для мелких фермерских хозяйств, дает использование для размещения опрыскивателя именно автомобильного прицепа. Во-первых, такие прицепы в мелких хозяйствах есть, а, во-вторых, их применение дает возможность использовать автомобиль, например, полноприводный пикап, для транспортировки опрыскивателя к месту работы и/или для дозаправки РЖ. Это существенно быстрее, и, соответственно, дешевле. Такие автомобили, как правило, также есть почти в каждом мелком фермерском хозяйстве. Выше перечисленное позволяет использовать опрыскиватели с меньшим объемом рабочей емкости.

Снижение минимального погектарного расхода РЖ на 1 л/га, а также повышение производительности до 3,47 га/ч по сравнению с предыдущим агрегатом, объясняется тем, что по фактическому тяговому сопротивлению



Рис. 3.15. Комбинированный МТА для посева пропашных культур с ленточным ВВГ на основе трактора класической компоновки ЮМЗ-6ЛС (1), сеялки СУПН-6А (2), серийног штангового опрыскивателя ОПНШ-800-14 (3) и легкового автомобильного прицепа (4)

Таблица 3.5

Основные технико-технологические параметры комбинированного агрегата для одновременного выполнения посева пропашных культур и ленточного ВВГ на основе трактора классической компоновки ЮМЗ-6ЛС в агрегате с сеялкой СУПН-6А, штангового опрыскивателя ОПНШ-800-14 и легкового автомобильного прицепа

Наименование параметра	Единица измерения	Числовое значение
1 Количество рабочих секций	шт.	6
2 Ширина захвата	м	4,2
3 Ширина междурядия	м	0,7
4 Ширина ленты внесения гербицида	м	0,2
5 Минимальная глубина заделки гербицида	см	4
6 Интервал между семенами и слоем гербицида	см	1,5–3,5
7 Глубина посева с внесением гербицидов	см	5,5–8,0
8 Технологическая емкость для РЖ	л	800
9 Рабочее давление	бар	1,0–4,0
10 Расход РЖ	л/мин.	1,38–2,70
11 Минимальный погектарный расход РЖ	л/га	22
12 Рабочая скорость: по работоспособности	км/ч	6–9
по возможностям трактора		7,06; 9,00
13 Производительность	га/ч	до 3,47

переоборудованная сеялка СУПН-6А с автомобильным прицепом и опрыскивателем на нем не в состоянии полностью загрузить двигатель трактора, а поэтому есть возможность использовать максимальную из агротехнических соображений рабочую скорость 9,0 км/ч. Кроме того, у такого агрегата меньше радиус поворота и, соответственно, меньше затраты времени на осуществление разворотов в конце гона.

3.3.3. Изменение конструкции привода насоса подачи рабочей жидкости. Оба описанные выше агрегата для ЛВГ одно-

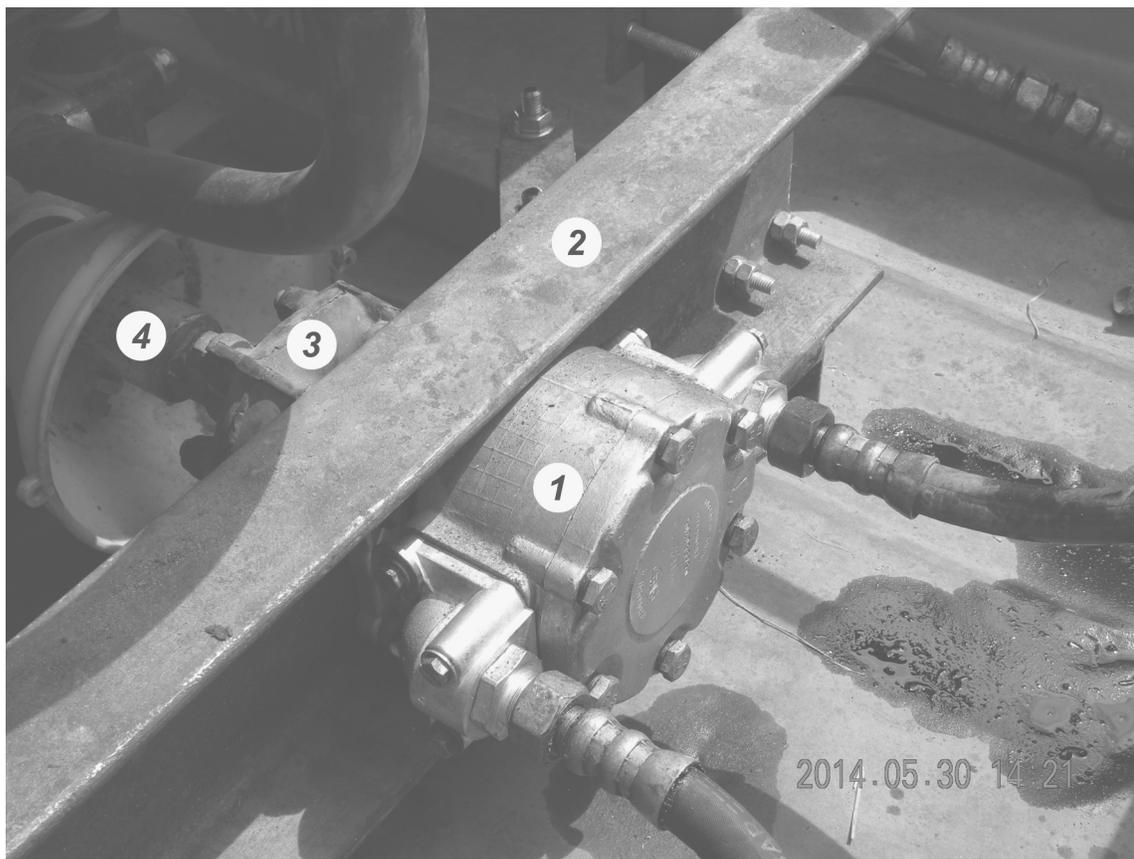


Рис. 3.16. Гидропривод насоса опрыскивателя

временно с посевом предполагают использование гидрообъемного привода насоса опрыскивателя (рис. 3.16). Для этого использовали серийный гидромотор ГМШ-32А-3Л левого вращения 1 установленный на балке 2, которая, в свою очередь, закреплена на раме опрыскивателя с помощью восьми стремянок. Передача крутящего момента от мотора к насосу осуществляется через гибкое соединение 3 и шлицевой наконечник 4. Гибкое соединение позволяет нивелировать несоосности между валами мотора и насоса, а также демпфировать неравномерности крутящего момента сопротивления.

Если применяется трактор интегрального типа и к тому же он имеет передний ВОМ, то в гидроприводе насоса опрыскивателя нет необходимости. В случае второй компоновочной схемы агрегата на основе трактора классической компоновки без гидропривода обойтись нельзя. Поскольку оба агрегата имеет очень маленький расход РЖ, то это существенно снижает требования на мощность и техническое состояние гидропривода.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. Опираясь на известные инженерно-технологические решения разработана конструкция комбинированного сошника для посева пропашных культур и послепосевного ленточного ВВ жидких гербицидов.

2. Часть сошника, предназначенная для ленточного ВВГ выполнена в виде стрельчатого удлинителя полоза сошника. Распылитель гербицидов, установлен в кинематической тени самого полоза сошника и его стрельчатого удлинителя. Ориентирован распылитель главным образом назад и в меньшей степени на плоскость резания лезвий стрельчатого удлинителя.

3. Что бы исключить попадание гербицидов непосредственно на поверхность ранее высеянных семян в конструкции стрельчатого удлинителя предусмотрены два загортача, которые расположены под лезвиями удлинителя в пространстве между распылителем и хвостовой частью полоза сошника. В процессе работы загортачи снимают тонкий влажный слой почвы и направляют ее на дно борозки с высеянными семенами.

4. Чтобы исключить зависание сорняков на лезвиях стрельчатого удлинителя загортачи располагаются на некотором удалении от режущих кромок лезвий, а чтобы исключить возможность залипания их почвой они расположены под углом к направлению движения и с небольшим смещением один относительно другого.

5. Ориентируясь на реальную оснащенность аграрных хозяйств Ирака и Украины предложено два комбинированных агрегата для одновременного посева пропашных культур и послепосевного ленточного ВВ жидких гербицидов. Один — на основе интегрального трактора, а второй — на основе трактора классической компоновки. Оба агрегата предполагают использование опрыскивателя, как отдельной машины. В первом случае опрыскиватель монтируют на передней навесной системе трактора, а во втором — на легковом автомобильном прицепе, присоединенном к раме навесной сеялки с помощью специальной штанги, оборудованной шаровым сцепным устройством.

6. Гидропривод насоса опрыскивателя является весьма эффективным решением, поскольку дает большие компоновочные преимущества и не приводит к снижению качества выполнения ТП. Последнее связано с тем, что расход РЖ разработанного агрегата составляет меньше 25 л/га, а, значит, нет необходимости стабильно удерживать номинальные обороты насоса опрыскивателя. Его производительности будет достаточно даже на частичных режимах. Неравномерность подачи РЖ при этом нивелируется за счет функционирования штатного регулятора давления.

7. Вариант агрегата на основе трактора классической компоновки, по отношению к агрегату на основе интегрального трактора изначально имеет преимущества, т.к. позволяет использовать более дешевый трактор, полностью его загружает и обеспечивает более высокую производительность.

8. Поскольку предлагаемые инновации предполагают изменение конструкции сеялки и способов компоновки агрегатов, то в дальнейшем экспериментальным путем следует убедиться в том, что это не приведет к понижению показателей качества высева семян и позволит повысить эффективность гербицидных обработок.

РАЗДЕЛ 4
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОСЕВА ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР
И ЛЕНТОЧНОГО ВНУТРИПОЧВЕННОГО ПОСЛЕПОСЕВНОГО
ВНЕСЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ

Предлагаемые конструктивно-технологические нововведения, заключающиеся в модернизации конструкции сошника серийной сеялки, направлены на расширение ее технологических возможностей, а именно, дополнение функционала сеялки способностью осуществлять послепосевное ленточное ВВГ одновременно с посевом.

В этой связи возникает две проблемы: во-первых, возможны изменения качественных показателей работы сеялки как посевной машины; во-вторых, факультативная функция ленточного ВВГ может иметь неоправдано низкую эффективность.

Чтобы внести ясность в обозначенные проблемы и доказать эффективность предлагаемых инженерно-технологических нововведений было запланировано и проведено две группы сравнительных экспериментальных исследований. В качестве контроля было принято использование серийной сеялки без каких либо изменений. Соответственно упомянутой проблематике программа экспериментов включала два направления. В рамках первого направления были изучены процессы высева семян и общая динамика сошника. Вторая группа экспериментов касалась оценки эффективности гербицидного действия препарата, внесенного с помощью комбинированной посевной машины предлагаемой конструкции. Кроме этого были проведены поисковые эксперименты по предварительной оценке двух компоновочных схем комбинированных агрегатов для посева и ленточного ВВГ.

Оценка параметров трехмерного распределения семян вдоль линии рядка также сопряжена с рядом трудностей. В частности, весьма проблематично получить несмещенные оценки параметров горизонтального распределения семян относительно линии рядка. Для решения такой задачи была разработана и выше изложена ММП (стр. 32–62). В эксперименталь-

ной части работы предполагалось ее использование с целью получения упомянутых несмещенных оценок, а, значит, понадобились эксперименты по доказательству адекватности самой ММП.

4.1. Оценка параметров распределения семян в рядке

4.1.1. Изучение корреляционных связей между горизонтальным рассевом и глубиной заделки семяна. Экспериментальное исследование наличия корреляционных связей [150] между горизонтальным рассевом и глубиной заделки семян выполняли по результатам измерения распределения семян в рядке в соответствии с изложенной в работах [8, 40] методикой. Единственное отличие состояло в том, что при фиксации данных измерений строго контролировали принадлежность замеров a_i (интервал), y_i (поперечное отклонение растения относительно струны) и h_i (глубина заделки) одному и тому же i -тому растению. При этом начальное растение, которому соответствует $i = 0$ и которое необходимо для получения первого интервала a_1 , в списки регистрации результатов измерений не включали. Так было сформировано три множества

$$\left. \begin{aligned} & \left\{ \{a_i^{(1)}\}, \{a_i^{(2)}\}, \dots, \{a_i^{(m)}\}, \right\} \in \{a_i\}; \\ & \left\{ \{y_i^{(1)}\}, \{y_i^{(2)}\}, \dots, \{y_i^{(m)}\}, \right\} \in \{y_i\}; \\ & \left\{ \{h_i^{(1)}\}, \{h_i^{(2)}\}, \dots, \{h_i^{(m)}\}, \right\} \in \{h_i\}; \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

где каждое подмножество

$$\left. \begin{aligned} \{a_i^{(j)}\} &= \{a_1^{(j)}, a_2^{(j)}, \dots, a_{n_j}^{(j)}\}, \\ \{y_i^{(j)}\} &= \{y_1^{(j)}, y_2^{(j)}, \dots, y_{n_j}^{(j)}\}, \\ \{h_i^{(j)}\} &= \{h_1^{(j)}, h_2^{(j)}, \dots, h_{n_j}^{(j)}\}, \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

состоит из n_j элементов и относится к j -тому десятиметровому участку одного рядка

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad (4.3)$$

а количество таких участков m определяется удвоенным (из расчета на прямой и обратный проход) количеством сошников сеялки. В нашем случае использовали шестирядную сеялку СУПН-6А и $m = 12$.

Общее количество растений в опыте, включая все десятиметровые участки и проходы агрегата в прямом и обратном направлении, равно:

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_m. \quad (4.4)$$

Отклонение текущего растения относительно оси рядка определяли методом простого (арифметического) скользящего среднего [8, 40, 191, 192] по пяти растениям, используя формулу:

$$r_i^{(j)} = y_i^{(j)} - \frac{y_1^{(j)} + y_2^{(j)} + y_3^{(j)} + y_4^{(j)} + y_5^{(j)}}{5}, \quad i = 1, 2; \quad (4.5)$$

$$r_i^{(j)} = y_i^{(j)} - \frac{y_{i-2}^{(j)} + y_{i-1}^{(j)} + y_i^{(j)} + y_{i+1}^{(j)} + y_{i+2}^{(j)}}{5}, \quad i = 3, 4, \dots, n_j - 2; \quad (4.6)$$

$$r_i^{(j)} = y_i^{(j)} - \frac{y_{n_j-4}^{(j)} + y_{n_j-3}^{(j)} + y_{n_j-2}^{(j)} + y_{n_j-1}^{(j)} + y_{n_j}^{(j)}}{5}, \quad i = n_j - 1, n_j; \quad (4.7)$$

где $r_i^{(j)}$ — отклонение текущего (i -того) растения от линии рядка; n_j — количество растений в части выборки, относящейся к одному рядку j -того десятиметрового прямого или обратного прохода; $y_i^{(j)}$ — измеренное значение отклонения i -того растения относительно струны.

Далее подмножества $\{r_i^{(j)}\}$ в одно множество (выборку)

$$\{r_i\} \in \left\{ \{y_i^{(1)}\}, \{y_i^{(2)}\}, \dots, \{y_i^{(m)}\}, \right\}. \quad (4.8)$$

Статистической обработке подвергали три множества (выборки) a_i , r_i и h_i , состоящие из n элементов. Такие измерения провели в четырех повторностях.

На рис. 4.1 представлено двумерное распределение семян кукурузы, высеянных агрегатом в составе трактора МТЗ-80 и сеялки СУПН-6А. Положение точек по горизонтали соответствует отклонению r_i семян относительно линии рядка в направлении оси Oy (параллельно поверхности поля), а вертикальные координаты точек — глубине заделки семян h_i .

Далее (рис. 4.2) представлены распределения семян в пределах ширины полосы посева рис. 4.2А и по глубине заделки рис. 4.2В. Оба рисунка

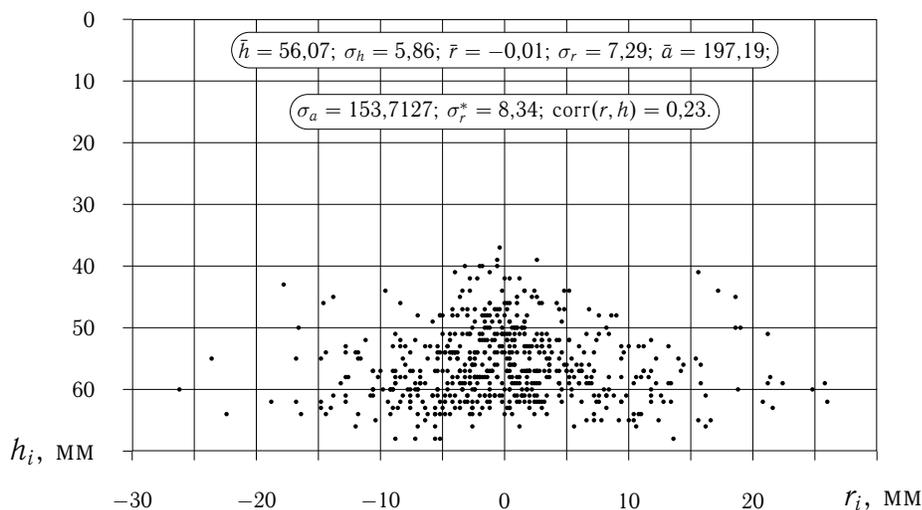


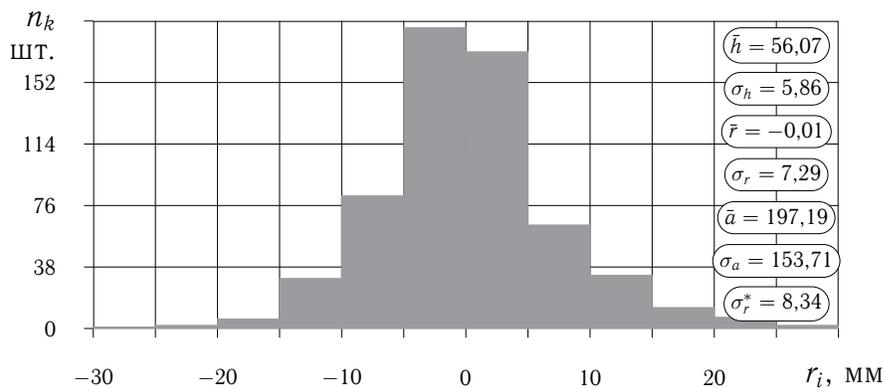
Рис. 4.1. Распределение семян кукурузы в поперечно-вертикальной плоскости для первой повторности опыта: r_i — отклонение семян относительно линии рядка в направлении оси Oy (параллельно поверхности поля); h_i — глубина заделки семени

также относятся к первой повторности опыта. Переменная n_k обозначает количество элементов выборки, попавших в k -тый интервал. Ширина интервалов на рис. 4.2 составляет 5 мм.

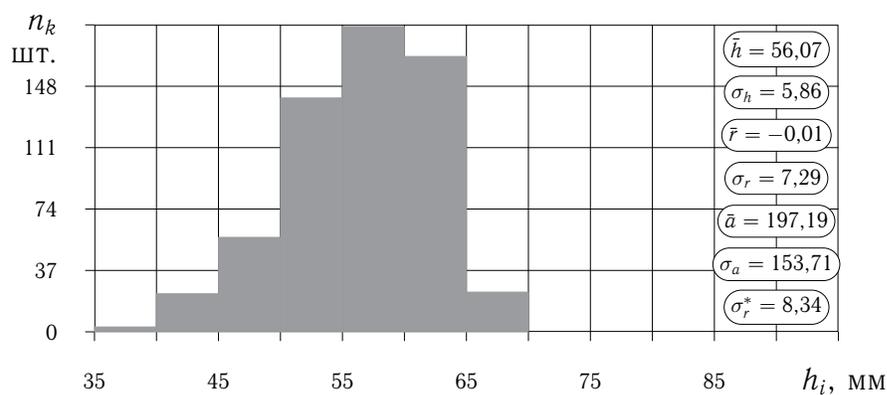
Другие числовые параметры распределения семян кукурузы в рядке для всех четырех повторностей опыта представлены в табл. 4.1.

Из анализа табл. 4.1 следует, что между выборками $\{r_i\}$ и $\{h_i\}$, т.е. между рассевом семян по ширине и глубиной заделки, в первой и второй повторностях опыта обнаруживается весьма незначительная корреляция, которой соответствуют значения коэффициента Пирсона [150] $\text{corr}(r, h)$ равные 0,23 и $-0,14$. Примечательно, что корреляция хоть и незначительная, но, во-первых, с противоположными знаками, а, во-вторых, весьма достоверная с доверительной вероятностью 0,99. В двух других повторностях опыта корреляция $\text{corr}(r, h)$ не обнаруживается.

Обнаруженные закономерности в основном связаны, во-первых, с вертикальными колебаниями сошников, которые сказываются на характере их боковых отклонений и, во-вторых, с подруливанием, которое выполня-



А



В

Рис. 4.2. Гистограммы распределение семян кукурузы в пределах полосы рассева (А) и по глубине заделки (В)

ет тракторист во время посева и которое приводит к резким поперечным смещениям сошников.

Если сошник заглубляется и при этом задевает более плотные слои почвы, то возрастает вероятность резких боковых отклонений сошника, вызванных несимметричным силовыми воздействиями. При этом первое способствует более глубокой заделке семян, а второе — увеличению рассева семян в поперечном по отношению к линия рядка направлении. В этом случае $\text{corr}(r, h) > 0$, что характерно для первой повторности опыта ($\bar{h} = 56,07$ мм; $\text{corr}(r, h) = 0,23$).

В случае подруливания и связанными с ними поперечными перемещениями сошников складывается диаметрально противоположная ситуация.

Таблица 4.1

Статистические параметры распределения семян кукурузы в рядке

Наименования параметров	Единицы измерения	Обозначения	Повторности опыта			
			1	2	3	4
1 Количество растений	шт.	n	598	605	580	621
2 Математическое ожидание интервала между растениями	мм	\bar{a}	197,19	210,24	209,20	215,61
3 Среднеквадратическое отклонение интервала между растениями		σ_a	153,71	141,89	154,06	152,09
4 Математическое ожидание отклонения растений относительно линии рядка	мм	\bar{r}	-0,01	-0,01	0,00	0,02
5 Среднеквадратическое отклонение растений относительно линии рядка		σ_r	7,29	7,60	6,65	6,51
6 Несмещенная оценка среднеквадратического отклонения растений относительно линии рядка	мм	σ_r^*	8,34	8,76	7,59	7,43
7 Математическое ожидание глубины заделки семян	мм	\bar{h}	56,07	52,22	53,04	54,77
8 Среднеквадратическое отклонение глубины заделки семян		σ_h	5,86	6,00	5,93	5,81
9 Коэффициент корреляции Пирсона между отклонением от линии рядка и глубиной заделки семян		$\text{corr}(r, h)$	0,23	-0,14	-0,05	0,02
10 Коэффициент Стьюдента (t -критерий) для $\text{corr}(r, h)$			4,69	3,49	1,28	0,44
11 Доверительная вероятность для $\text{corr}(r, h)$			0,99	0,99	< 0,8	≪ 0,8

Причина в том, что поперечные перемещения полозовидного сошника сопровождаются его частичным выглублением. Из-за этого более существенное отклонение семян относительно линии рядка сопровождается уменьшением их глубины заделки. В этом случае $\text{corr}(r, h) < 0$. Такой вариант соответствует второй повторности опыта ($\bar{h} = 52,22$ мм; $\text{corr}(r, h) = -0,14$).

Разумеется возможно комбинирование выше перечисленных двух эффектов и возможно полное или частичное их отсутствие. В таких случаях корреляция между выборками $\{r_i\}$ и $\{h_i\}$ отсутствует, т.е. или $\text{corr}(r, h) \approx 0$, или коэффициент Стьюдента (t -критерий) [158] указывает на весьма малую доверительную вероятность проявления корреляции.

Кроме того, из анализа распределения (рис. 4.2А) элементов выборки $\{r_i\}$ следует, что отклонение растений относительно линии ряда с доверительной вероятностью $\geq 0,9$ принадлежит к нормальному закону распределения. При этом критерий ω^2 Мизеса [188, 189] принимает значения $\geq 1,5$. Распределение семян по глубине заделки (элементов выборки $\{h_i\}$) зрительно также принадлежит к нормальному закону распределения (рис. 4.2В), но проверка согласия с помощью критерия ω^2 Мизеса не позволяет подтвердить такую гипотезу [190].

4.1.2. Проверка адекватности методов матмоделирования корреляционных связей между горизонтальным рассевом и глубиной заделки семян. Применив математические методы псевдослучайного моделирования Монте-Карло, в частности предлагаемый алгоритм матмодели корреляционных связей между распределением семян в пределах ширины ленты посева и глубиной их заделки, изложенные в разделе 2 (стр. 46–48), а также используя экспериментальные исходные данные, относящиеся к первой повторности опыта из табл. 4.1 ($\bar{r} = -0,01$ мм, $\sigma_r^* = 8,34$, $\bar{h} = 56,07$ мм, $\sigma_h = 5,86$ и $\text{corr}(r, h) = 0,23$) расчетным путем было получено двумерное распределение семян кукурузы в поперечно-вертикальной плоскости (рис. 4.3). Количество полученных точек (r_i, h_i) , где $i = 1, 2, \dots, n$, определяющих положения семян, равно $n = 500$ шт. и также соответствует натурному эксперименту.

Из анализа рис. 4.3 следует, что предлагаемая математическая модель позволяет получать двумерные распределения семян цифровые характеристики которых соответствуют заданным величинам с точностью до второго знака после запятой.

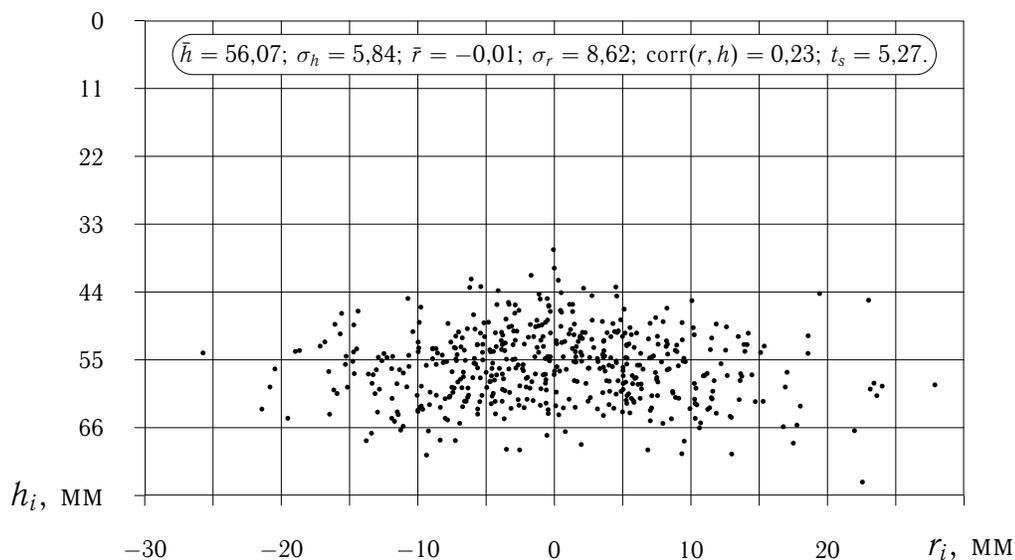


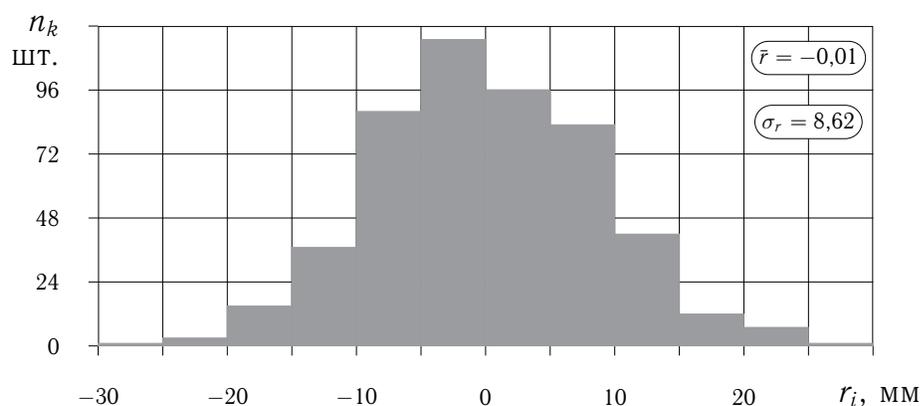
Рис. 4.3. Распределение семян в поперечно-вертикальной плоскости, полученное путем моделирования: r_i — отклонение семян относительно линии рядка в направлении оси Oy (параллельно поверхности поля); h_i — глубина заделки семени

Математическое ожидание поперечного рассева семян относительно линии рядка \bar{r} и глубины заделки семян, \bar{h} получить наиболее просто, поскольку всегда есть возможность скорректировать результат путем плоскопараллельного смещения всех точек (r_i, h_i) , $i = 1, 2, \dots, n$. По этой причине полученные величины \bar{r} и \bar{h} в точности соответствуют заданным.

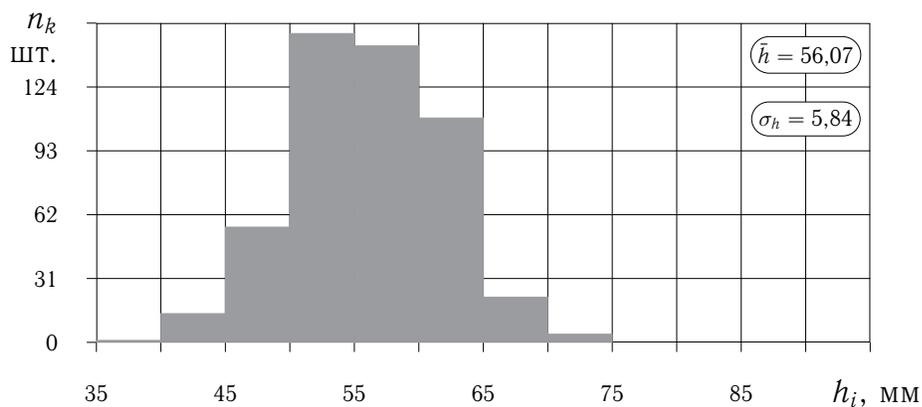
Среднеквадратическое отклонение $\sigma_r = 8,62$, которое получено в результате вычислительного эксперимента отличается от заданной величины несмещенной оценки $\sigma_r^* = 8,34$ на 3,36%. Еще в меньшей мере, только на 0,34% отличается полученное среднеквадратическое отклонение глубины заделки семян $\sigma_h = 5,84$ от заданного $\sigma_h = 5,86$.

Коэффициент линейной корреляции Пирсона $\text{corr}(r, h)$ полученных в вычислительном эксперименте множеств r_i и h_i , где $i = 1, 2, \dots, n = 500$ в точности равен заданной величине $\text{corr}(r, h) = 0,23$, а ее достоверность с доверительной вероятностью больше 0,95 подтверждается расчетным значением t -критерия Стьюдента $t_s = 5,27$.

Полученные в вычислительном эксперименте распределения семян по ширине ленты рассева (рис. 4.4А) и по глубине заделки (рис. 4.4В) соответствуют нормальному распределению и в качественном смысле соответ-



А



В

Рис. 4.4. Полученные путем моделирования гистограммы распределения семян кукурузы в пределах полосы рассева (А) и по глубине заделки (В)

соответствуют фактическим распределениям (рис. 4.2). Ожидать полного совпадения этих распределений нет смысла, поскольку в текущем вычислительном эксперименте кривизна трехмерных линий рядков не учитывалась, а в реальном посеве она присутствует и, безусловно, сказывается на результатах оценок таких распределений.

Рис. 4.5 иллюстрирует сам процесс моделирования (раздел 2, стр. 46–48). В начале псевдослучайным образом генерируют множества r_i и h_i ,

где $i = 1, 2, \dots, n = 500$, а затем путем замены местами случайных пар элементов первого множества r_i добиваются приближения текущего значения $\text{corr}_t(r, h)$ корреляции к заданной величине $\text{corr}_0(r, h)$, т.е. добиваются уменьшения разности

$$\Delta_{\text{corr}} = |\text{corr}_t(r, h) - \text{corr}_0(r, h)|. \quad (4.9)$$

Если текущее значение Δ_{corr} оказалось больше предыдущего то соответствующую пару значений элементов множества r_i возвращают на прежние

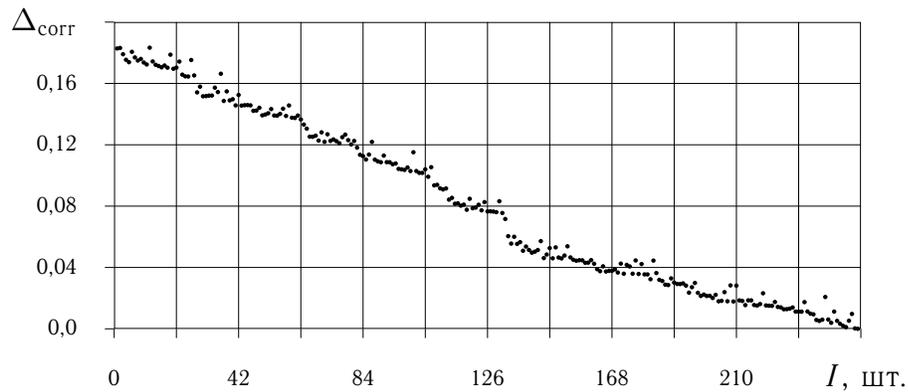


Рис. 4.5. Зависимость разности Δ_{corr} между заданным $\text{corr}_0(r, h)$ и полученным $\text{corr}_t(r, h)$ значениями коэффициента корреляции Пирсона от количества I итераций вычислительного эксперимента

места, а в работу принимают следующую псевдослучайную пару. Итерации I продолжаются до тех пор, пока Δ_{corr} приблизится к нулевому значению на заданную величину $\varepsilon_{\text{corr}} > 0$, т.е. до выполнения условия

$$\Delta_{\text{corr}} \in \{0, \varepsilon_{\text{corr}}\}. \quad (4.10)$$

В текущем эксперименте принято $\varepsilon_{\text{corr}} = 0,01$.

Зигзагообразный характер точечной линии на рис. 4.5 показывает, что не все итерации приводили к уменьшению величины Δ_{corr} , но, тем не менее, таких попыток явное меньшинство, и поэтому условие (4.10) было уверенно достигнуто.

4.1.3. Оценка адекватности разработанной трехмерной математической модели посева. Необходимость в оценке параметров распределения семян вдоль и поперек оси рядка, а также их глубины заделки, возникает всякий раз, когда совершенствуется техника и технология посева, или когда следующие за посевом операции могут внести изменения в расположение ранее высеванных семян.

Действующим сейчас отраслевым стандартом на испытания посевных машин [155], а также стандартами [131, 132] предусмотрено определение ряда показателей качества посевов: 1) равномерность распределения семян вдоль оси рядка; 2) глубина заделки семян; 3) ширина ленты рассева семян.

Первые два показателя в стандартах [131, 131, 155] детально освещены и были приняты без изменений. Что касается ширины ленты рассева, то стандартом [131, 131, 155] не предусмотрена проверка этого показателя для кукурузы, подсолнечника и некоторых пропашных культур.

В отношении свеклы в [155] оговорено следующее: “ширину ленты рассева определяют по каждому сошнику измерением расстояния между крайними растениями по ширине полосы. Повторность по каждому следу сошника четырехкратная. Количество измерений по каждой повторности опыта не менее десяти” [155].

Из приведенной цитаты видно, что стандарт [155] допускает значительный субъективизм в оценке данного показателя. Для измерения расстояния между крайними растениями необходимо сначала правильно выбрать направление рядка, что полностью зависит от исследователя, выполняющего измерение, и ничем не оговорено. Кроме этого стандарт не поясняет понятие “крайние растения”. Крайними можно считать каждую пару соседних растений, или, например, каждое первое и третье, или четвертое растение. Можно выбрать крайние растения на какой-то длине рядка, например на расстоянии в полметра и т.д..

Предлагается методика оценки распределения растений вдоль и поперек оси рядка. Исходя из приведенного выше, потребовалось уточнение и

доработка упомянутой методики [8, 40, 178]. Изложим ее основные положения. Изменения выделены курсивом.

1) Параметры распределения семян по ширине ленты посева определяют косвенно по взошедшим растениям, и не взошедшие на момент проведения измерений семена в расчет не принимают.

2) Длина учетного участка должна быть равной 10 м.

3) Учетный участок располагают на середине двухсотметрового контрольного участка, *который в свою очередь должен быть типичным для всего опытного поля.*

Нельзя выбирать двухсотметровый участок на той части посева, где видны особенности (дефекты) вождения агрегата, предпосевной обработки почвы или почвенных условий.

4) Измерения проводят на прямом и обратном проходах агрегата по всем сошникам сеялки.

5) Повторность измерений четырехкратная.

6) Количество измерений с учетом прямого и обратного прохода агрегата должна быть не менее 300.

7) В процессе измерений отклонений растений от оси рядка сначала вдоль каждого учетного участка рядка натягивают струну, располагая ее сбоку рядка так, чтобы она не пересекала последнего, а расстояние между струной и двумя крайними растениями учетного участка были равными.

8) Выборку, в которой размах значений отклонений растений от струны превышает 150 мм, в расчет не принимают и выбирают новый двухсотметровый контрольный участок.

9) После закрепления струны, начиная с первого растения учетного участка, по порядку масштабной линейкой измеряют удаление каждого растения от струны и *интервалы между соседними растениями.*

В предыдущей методике [8, 40] под интервалами между расстояниями понимали расстояние между нормальными, опущенными на струну с точек произрастания растений. Опыт применения такой нормы показал,

что исследователи часто игнорируют ее. Поэтому сейчас измерение интервалов между растениями предполагается выполнять по направлению кратчайшего пути между ними. Такая норма усиливает однозначность методики и увеличивает повторяемость результатов измерений.

10) Интервалы между соседними растениями следует измерять даже в том случае, если в конечном итоге интересуется только распределение отклонений растений от оси рядка.

11) Все результаты измерений интервалов между растениями, относящиеся к прямому и обратному проходу каждого из сошников сеялки, объединяют в одну выборку.

12) Математическую обработку совокупности отклонений растений относительно оси рядка следует проводить после определения оценок среднего арифметического интервала между растениями \bar{a} , и среднеквадратического отклонения σ_a этих интервалов [188].

13) Отклонение текущего растения относительно оси рядка следует выполнять методом простого (арифметического) скользящего среднего [8, 40, 191, 192] по пяти растениям, используя формулу (4.2).

14) Полученные в процессе выполнения предыдущего пункта отклонения растений относительно оси рядка r_i , относящиеся ко всем сошникам прямого и обратного прохода сеялки, объединяют в одну выборку, которую подвергают статистической обработке согласно рекомендациям [188].

15) После выполнения математических расчетов по определению оценки σ_r среднего квадратического отклонения растений относительно оси рядка, следует определить σ_r^* — несмещенную оценку искомого параметра. Для этого необходимо использовать предварительно найденное значение среднего арифметического интервала \bar{a} , и среднеквадратического отклонения σ_a интервалов между растениями, а также формулы:

$$\sigma_r^* = A_\sigma (\sigma_r)^{B_\sigma} + C_\sigma \exp \frac{D_\sigma}{\sigma_r}, \quad (4.11)$$

$$A_\sigma = A_{1\sigma} (\sigma_a)^{\left(B_{1\sigma} + \frac{C_{1\sigma}}{\ln \bar{a}}\right)} + \frac{D_{1\sigma}}{\bar{a}}, \quad (4.12)$$

$$B_{\sigma} = A_{2\sigma} (\sigma_a) \left(B_{2\sigma} + \frac{C_{2\sigma}}{\bar{a}} \right) + \frac{D_{2\sigma}}{\bar{a}}, \quad (4.13)$$

$$C_{\sigma} = \frac{\sigma_a}{A_{3\sigma} + B_{3\sigma}\bar{a} + C_{3\sigma}\sqrt{\bar{a}}}, \quad (4.14)$$

$$D_{\sigma} = \frac{A_{4\sigma}}{\bar{a}} + B_{4\sigma} \exp(C_{4\sigma}\sigma_a) + \frac{D_{4\sigma}}{\bar{a}^2}, \quad (4.15)$$

где коэффициенты $A_{i\sigma}$, $B_{i\sigma}$, $C_{i\sigma}$, $D_{i\sigma}$ ($i = 1, 2, 3, 4$) приведены в табл. 4.2.

16) В процессе математической обработки выборок разных повторностей производят проверку выборок на принадлежность одной генеральной совокупности, используя ранговый критерий Вилькоксона [193].

Подробное обоснование каждого из пунктов изложенной выше методики приведено в работах [8, 40].

Для получения значений коэффициентов из табл. 4.2, использовали метод имитационного моделирования реальных процессов на ЭВМ с применением разработанной ММП, которая представляет собой развитие ММП, изложенной в работах [8, 40].

Таблица 4.2

Значения коэффициентов из выражений (4.12) – (4.15)

Обозначения	Значение i — индекса в обозначениях коэффициентов			
	1	2	3	4
$A_{i\sigma}$	2,24564851	0,74538449	-5305,88621739	-4461,201171201
$B_{i\sigma}$	-0,49916699	0,07369378	-25,68941218	13,58605021
$C_{i\sigma}$	2,63114532	-14,78296166	669,79817918	0,00087698
$D_{i\sigma}$	-206,48421047	50,53228487	—	392263,96006975

Поскольку основное отличие изложенной выше ММП по отношению к известной [8, 40] состоит в дополнении третьего измерения, т.е. распределения семян по глубине, а изложенный выше материал касается распределения семян вдоль рядка и по ширине ленты посева, то числовые значения коэффициентов из табл. 4.2 отличаются от приведенных в работах [8, 40] весьма незначительно, т.е. на величину меньше 10^{-4} .

Далее изложены результаты исследований проверки адекватности разработанной методики оценки распределения растений вдоль и поперек оси рядка пропашных культур.

Трудности проверки адекватности предлагаемой методики состоят в том, что фактические параметры распределения растений вдоль и поперек оси рядка реального посева неизвестны, и всегда останутся таковыми, даже если прибегнуть к высокоточным дорогостоящим и небезопасным для здоровья изотопным методам исследований [8, 40].

Применив предлагаемую методику, можно получить только оценки этих параметров, а значит, нет возможности оценить, насколько полученные оценки отличаются от фактических.

Такую ситуацию можно обойти, если предлагаемую методику оценки параметров распределения семян вдоль линии рядка применить к физической модели посева, для которой все требуемые параметры изначально известны, то полученные в результате оценки будет с чем сравнивать.

Для реализации обозначенной идеи была разработана физическая модель посева, или, точнее 10-ти метрового участка рядка одной из пропашных культур, например, кукурузы (рис. 4.6).

Эта модель включает в себя уложенный на пол 10-ти метровый отрезок миллиметровой бумаги 1, на которой нанесена линия оси рядка, параметры кривизны которого известны и находятся в пределах реальных значений, изложенных во втором разделе текущей работы. Вдоль этой линии на бумагу 1 на ребро уложено металлическое полотно 2 рулетки. Фиксируется оно с помощью множества расположенных по обе стороны воткнутых в пол булавок. Длина полотна рулетки заведомо больше чем 10 м бумаги.

Вдоль полотна рулетки в точках расположения растений закреплены *m*-образные металлические планки 3, на каждой из которых точкой показано положение растения с учетом заданного отклонения его положения относительно линии рядка. Планки 3 пронумерованы, на них обозначена положительная и отрицательная сторона и кроме того их можно переме-

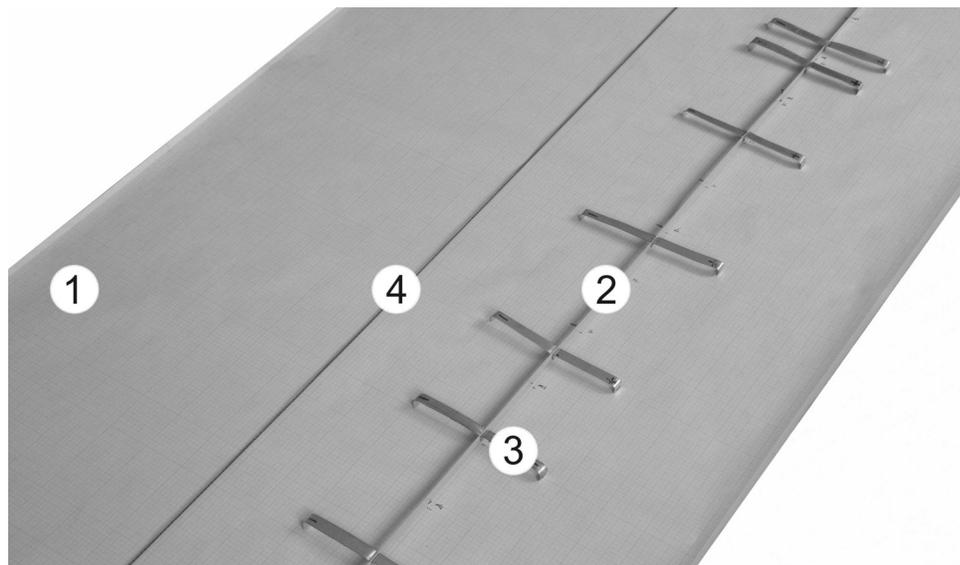


Рис. 4.6. Физическое моделирование посева и применение предлагаемой методики по оценке распределения растений вдоль и поперек оси рядка: 1 — миллиметровая бумага; 2 — полотно рулетки; 3 — металлические планки; 4 — струна

щать вдоль полотна рулетки, добиваясь точного положения в соответствии с заданными значениями. Нанесенные на планки 3 точки растений, относящиеся к разным опытам, отличаются цветом. Кроме того, предполагается использование нескольких комплектов планок, которых для имитации 10 м рядка посева кукурузы необходимо не меньше 70 шт.

Струна 4 располагается в соответствии с пунктом № 7 методики.

На рис. 4.7 показана схема крепления m-образных планок 1 к полотну рулетки 2. Позиция 3 указывает на метку одного из растений с отклонением его положения от оси рядка (полотна рулетки) на величину r_0^i . После установки планки на полотно ее обжимали плоскогубцами так, чтобы она могла перемещаться вдоль полотна рулетки с некоторым усилием.

Цифровые данные, необходимые для сборки физической модели 10-ти метрового участка рядка посева кукурузы, получали путем использования ММП, изложенной во втором разделе работы. Таким образом, фактические значения среднего арифметического интервала \bar{a}^0 , и среднеквадратического отклонения σ_a^0 интервалов между растениями (планками), а также

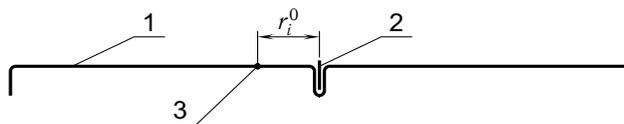


Рис. 4.7. Схема крепления m -образной планки к полотну рулетки: 1 — m -образная планка; 2 — полотно рулетки; 3 — метка, обозначающая растение;

r_0^i — отклонение текущей метки от полотна рулетки

фактическое значение σ_r^0 среднего квадратического отклонения растений относительно оси рядка (точек на планках относительно полотна рулетки) было известно изначально.

Далее, без всяких исключений, реализовывали все 16 пунктов предлагаемой методики и сначала получали необходимые для использования формул (4.12)–(4.15) экспериментальные значения среднего арифметического интервала \bar{a} , и среднеквадратического отклонения σ_a интервалов между растениями (планками), а затем смещенную σ_r и несмещенную σ_r^* оценки среднего квадратического отклонения растений (точек на планках) относительно оси рядка (рулетки). Результаты заносили в табл. 4.3.

Первые три строки табл. 4.3 содержат параметры фактических распределений, полученных путем применения разработанных ММП и примененных для реализации 7-ми опытов физического моделирования по проверке точности предлагаемой методики. Первая строка, это \bar{a}^0 — средние арифметические значения совокупности интервалов между растениями. Вторая: σ_a^0 — среднеквадратические отклонения интервалов между растениями. Третья: σ_r^0 — фактические значения среднеквадратических отклонений растений относительно кривой рядка, которые измерялись путем математического моделирования по нормали к оси рядка. Для последующего сравнения, все эти три параметра приняты за 100%.

Четвертая строка таблицы содержит σ_r^m — смещенные оценки среднеквадратических отклонений растений относительно оси рядка, полученные на математической модели путем имитации измерений в поле и последующего сглаживания по 5-ти растениям.

Таблица 4.3

Сравнение показателей распределений растений вдоль и поперек оси рядка полученных с применением математической и физической моделей

Параметры	Единицы измерения	Номер опыта							
		1	2	3	4	5	6	7	
Фактические распределения, полученные на математической модели:									
а) интервалов между растениями									
1	\bar{a}^0	мм, (100%)	227,04	171,09	293,17	229,40	228,25	225,42	234,30
2	σ_a^0	мм, (100%)	154,48	118,87	191,15	164,43	161,74	157,71	169,14
б) отклонений растений относительно оси рядка									
3	σ_r^0	мм, (100%)	4,94	5,01	5,11	4,93	5,13	3,94	6,17
Распределения отклонений растений относительно оси рядка, полученные на математической модели путем имитации измерений в поле и последующего сглаживания по 5-ти растениям:									
4	σ_r^m	мм	4,54	4,51	4,56	4,35	4,59	3,34	5,08
5	$\sigma_r^0 - \sigma_r^m$	%	8,19	9,85	10,87	11,66	10,48	15,33	17,75
Распределения, полученные на физической модели:									
а) интервалов между растениями									
6	\bar{a}	мм	217,03	172,93	297,20	223,12	228,26	230,97	237,50
7	$\bar{a}^0 - \bar{a}$	%	4,41	-1,07	-1,38	2,74	-0,00	-2,47	-1,37
8	σ_a	мм	151,33	118,30	190,38	166,80	166,88	157,87	167,77
9	$\sigma_a^0 - \sigma_a$	%	2,04	0,48	0,40	-1,44	-3,18	-0,10	0,81
б) отклонений растений относительно оси рядка									
10	σ_r	мм	4,52	4,51	4,64	4,25	4,36	3,45	5,12
11	$\sigma_r^0 - \sigma_r$	%	8,54	10,03	9,26	13,68	14,95	12,55	16,98
12	σ_r^*	мм	5,03	5,07	5,03	4,65	4,78	3,65	5,73
13	$\sigma_r^0 - \sigma_r^*$	%	-1,86	-1,19	1,57	5,70	6,76	7,45	7,18

Следующая пятая строка содержит $\sigma_r^0 - \sigma_r^m$ отклонение смещенной оценки σ_r^m от фактического значения σ_r^0 , выраженное в процентах. Как видим, для 7-ми опытов погрешность укладывается в интервал от 8,19 до 17,75% и в среднем составила 12,02%.

Все последующие строки 6–13 табл. 4.3 относятся к физическому эксперименту. Строки 6–9 содержат данные по оценке интервалов между растениями: \bar{a} и σ_a — среднее арифметическое и среднеквадратическое значение совокупности интервалов между растениями в рядке.

Как видно из строк 7, и 9, эти параметры определены с высокой точностью. Так, абсолютная величина погрешности ($\bar{a}^0 - \bar{a}$) оценки среднего арифметического значения совокупности расстояний между растениями укладывается в интервал от 0 до 4,41% при средней погрешности в 1,92%, а абсолютная величина погрешности ($\sigma_a^0 - \sigma_a$) оценки среднеквадратического значения составила интервал от 0,10 до 2,04% при средней погрешности в 1,21%. Как видим, физический эксперимент показал высокую точность оценки параметров распределения интервалов между растениями в рядке.

Строки 10 и 12 таблицы содержат смещенные σ_r и несмещенные σ_r^* оценки среднеквадратического отклонения растений в сторону от оси рядка, а строки 11 и 13 — погрешности $\sigma_r^0 - \sigma_r$ и $\sigma_r^0 - \sigma_r^*$ этих оценок.

Из цифрового материала строки 11 видно, что смещенная оценка σ_r содержит погрешность от 8,54 до 16,98% при средней величине 12,28%, а несмещенная оценка σ_r^* определена существенно (в 2,71 раза) точнее (строка 13), т.е. с погрешностью от 1,19 до 7,45% и средним значением 4,53% (по абсолютной величине).

4.1.4. Оценка влияния конструктивных изменений комбинированного сошника на параметры конечного распределения семян в рядке. Программа экспериментов предполагала исследования параметров конечного распределения семян в рядке в случае трех вариантов конструкции (рис. 3.11) и трех вариантов ширины захвата удлинителя сошника (табл. 3.3).

Конструктивные различия касались только стрелчатого удлинителя полоза сошника (рис. 3.5–3.8) и представляли собой отсутствие или наличие, а также расположения загорточек при фиксированной ширине захвата S , которая составляла 290 мм:

Вариант № 1 — загортачи отсутствовали;

Вариант № 2 — загортачи выступали ниже плоскости резания на величину $\Delta_h = 5$ мм и располагались симметрично, т.е. со смещением $\Delta_l = 0$ мм и равными углами раствора $\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ$;

Вариант № 3 — загортачи располагались асимметрично, при прежних значениях $\Delta_h = 5$ мм и $\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ$, но со смещением $\Delta_l = 17$ мм.

В этой группе экспериментов первый вариант, который не предполагает использование загортачей, рассматривали в качестве контроля.

Исследования различной ширины захвата выполняли после проведения первой группы экспериментов в соответствии с вариантами № 1–3. Принимая во внимание выводы по ним, было принято решение использовать конструкцию с асимметричными загортачами, а ширину захвата стрелчатого удлинителя полоза сошника последовательно уменьшить в такой последовательности: 1) исходный размер 290 мм (вариант № 3, из предыдущего эксперимента); 2) 255 мм (вариант № 4); 3) 220 мм (вариант № 5). Последняя, минимальная ширина захвата ограничена требуемой шириной полосы внесения гербицида, которая составляла $s = 200$ мм и допуском на осыпание почвы по 10 мм с каждой стороны. Промежуточная ширина захвата 255 мм, представляет собой среднее арифметическое между начальным (290 мм) и конечным (220 мм) значениями ширины захвата. Последний вариант № 6, предполагающий испытания серийного сошника без каких-либо изменений бы принят в качестве контроля.

В табл. 4.4, 4.5 и 4.6 представлены результаты статистической обработки экспериментальных данных первой группы экспериментов в соответствии с вариантами № 1–3 по четыре повторности на каждый эксперимент. Проведем анализ полученных результатов.

Параметры распределения семян вдоль линии рядка (табл. 4.4) в процентном отношении изменились очень слабо. Так, по четырем повторностям опытов среднее значение матожидания \bar{a} интервала между растениями (строка 2) во втором варианте меньше контроля на 0,6%, а в третьем

Таблица 4.4

Статистические параметры распределения семян кукурузы вдоль линии
рядка для опытов № 1 – 3 по оценке конструктивных изменений
комбинированного сошника

Наименования параметров	Обозначения	Единицы измерения	Варианты опыта		
			1	2	3
1 Количество растений	n	шт.	532 551 531 529	532 534 549 567	524 537 545 525
Среднее значение:			536	546	533
2 Математическое ожидание интервала между растениями	\bar{a}	мм	207,23 200,69 205,90 207,04	209,41 207,61 200,27 198,60	210,48 207,97 205,95 212,41
Среднее значение:			205,21	203,97	209,20
3 Среднеквадратическое отклонение интервала между растениями	σ_a	мм	142,66 144,67 160,21 138,84	170,19 161,82 145,12 160,50	150,85 148,32 153,89 164,93
Среднее значение:			146,60	159,41	154,50
4 Коэффициент вариации интервалов между растениями	ν_a		0,69 0,72 0,78 0,67	0,81 0,78 0,72 0,81	0,72 0,71 0,75 0,78
Среднее значение:			0,71	0,78	0,74

варианте, наоборот, больше контроля на 1,94%. Это согласуется со средним количеством растений, которые попали на территорию учетных 10-ти метровых участков (строка 1). Во втором варианте их было на 1,87% (10 шт.) больше, а в третьем на 0,56% (3 шт.) меньше. Вариативность среднеквадратического отклонения интервалов между растениями σ_a также незначительна (строка 3). Во втором случае распределение семян было наиболее неравномерным. В опыте № 2 величина σ_a в среднем превышала контроль на 8,74%. В опыте № 3 вдоль линии рядка семена распределялись несколько лучше, чем во втором случае, но все же хуже (на 5,39%), чем на контроле.

Таблица 4.5

Статистические параметры распределения семян кукурузы относительно линии рядка в поперечно-вертикальном направлении для опытов № 1–3 по оценке конструктивных изменений комбинированного сошника

Наименования параметров	Обозначения	Единицы измерения	Варианты опыта		
			1	2	3
1 Среднеквадратическое отклонение растений относительно линии рядка Среднее значение:	σ_r	мм	5,48	6,88	5,80
			5,58	7,12	5,44
			6,11	7,12	5,70
			5,98	7,31	5,91
			5,79	7,11	5,71
2 Несмещенная оценка среднеквадратического отклонения растений относительно линии рядка Среднее значение:	σ_r^*	мм	6,22	7,83	6,59
			6,33	8,14	6,15
			6,93	8,17	6,45
			6,83	8,35	6,68
			6,58	8,12	6,47
3 Математическое ожидание глубины заделки семян Среднее значение:	\bar{h}	мм	59,90	60,45	59,83
			60,12	59,74	60,29
			59,77	59,61	60,18
			59,72	59,77	60,18
			59,88	59,89	60,12
4 Среднеквадратическое отклонение глубины заделки семян Среднее значение:	σ_h	мм	5,45	7,79	4,94
			5,36	8,16	4,79
			5,13	8,02	4,91
			5,31	8,53	5,06
			5,31	8,12	4,93
5 Коэффициент вариации глубины заделки семян Среднее значение:	v_h		0,09	0,13	0,08
			0,09	0,14	0,08
			0,09	0,13	0,08
			0,09	0,14	0,08
			0,09	0,14	0,08

Среднее значение коэффициента вариации v_a интервалов между растениями в рядке во втором опыте был больше на 9,86%, а в третьем — на 4,23%. Столь малая разница хоть и дает основания предположить, что симметричное расположение загортачей (вариант № 2) хуже асимметричного (вариант № 3), т.к., вероятно, способствует перераспределению семян вдоль рядка, но не позволяет обосновать окончательные выводы.

Таблица 4.6

Параметры корреляции глубины заделки и отклонений семян кукурузы относительно линии рядка для опытов № 1 – 3 по оценке конструктивных изменений комбинированного сошника

Наименования параметров	Обозначения	Единицы измерения	Варианты опыта		
			1	2	3
1 Коэффициент корреляции Пирсона между отклонением от линии рядка и глубиной заделки семян Среднее значение:	$\text{corr}(r, h)$		-0,05	-0,18	0,01
			-0,05	-0,19	-0,00
			-0,05	-0,19	0,01
			-0,05	-0,19	-0,02
			-0,05	-0,19	0,00
2 Коэффициент Стьюдента (t -критерий) для $\text{corr}(r, h)$ Среднее значение:	t_s		-1,15	-4,33	0,27
			-1,24	-4,37	-0,09
			-1,10	-4,59	0,29
			-1,23	-4,62	-0,39
			-1,18	-4,48	0,02

Более информативными являются статистические параметры распределения семян кукурузы относительно линии рядка в поперечно-вертикальном направлении (табл. 4.5). Как и в предыдущем случае, для анализа используем средние значения параметров.

Из сравнения данных опытов следует, что среднеквадратическое отклонение семян по горизонтали от линии рядка σ_r во втором опыте на 22,8% больше, чем на контроле, а в третьем случае — на 1,38% меньше. Несмещенная оценка среднеквадратического отклонения σ_r^* ожидаемо также больше контроля на 23,4% во втором опыте и меньше контроля на 1,67% в третьем. На рис. 4.8А представлены гистограммы сравнения величины σ_r для всех повторностей опытов № 1 – 3.

Сопоставляя приведенные выше данные с результатами анализа параметров распределения семян по длине рядка, можно достоверно утверждать, что симметричная конструкция загортачей, которой отвечает серия опытов № 2, приводит к существенному (на десятки процентов) ухудшению точности распределения семян в рядке.

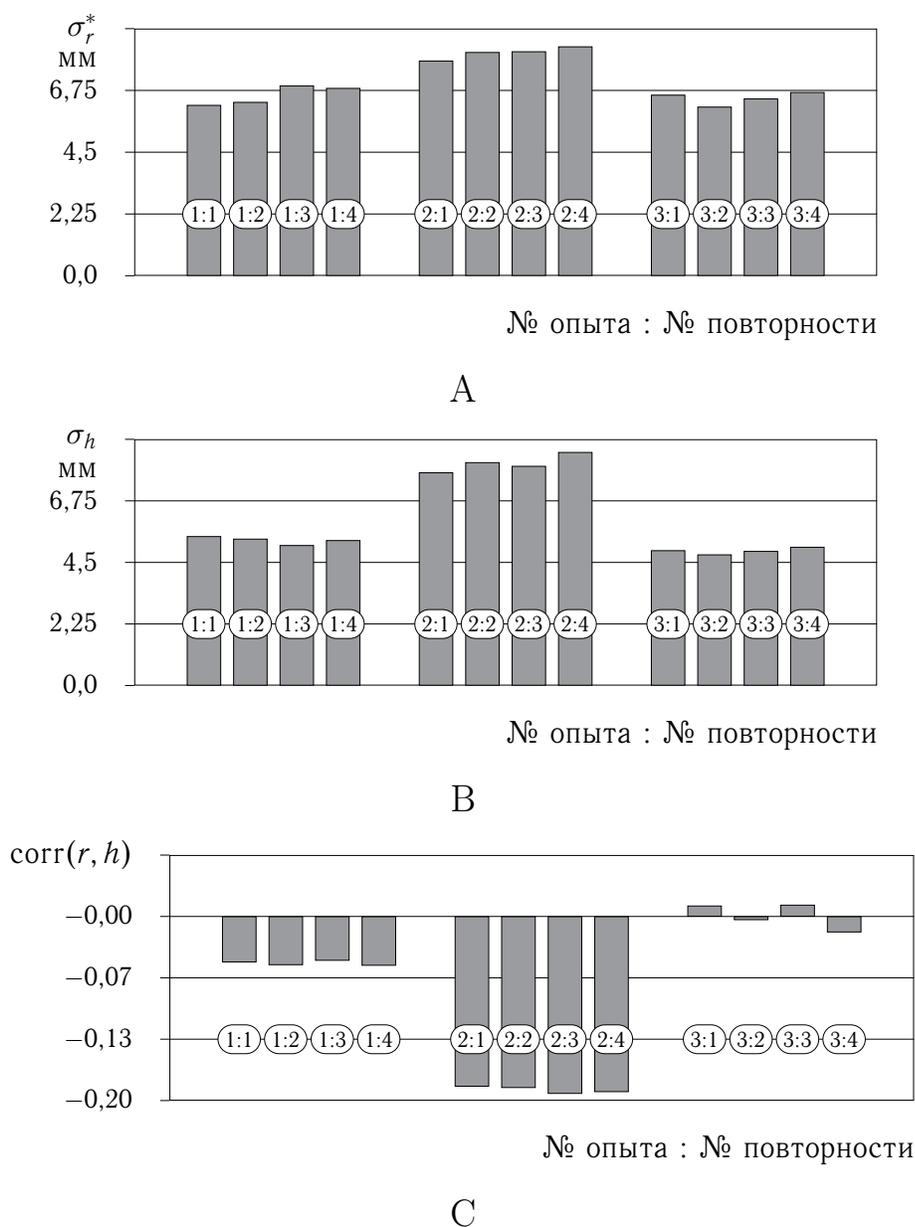


Рис. 4.8. Гистограммы сравнения параметров распределения семян кукурузы в рядке для опытов № 1–3 по оценке конструктивных изменений комбинированного сошника: А — несмещенной оценки σ_r^* среднеквадратического горизонтального отклонения семян от линии рядка; В — среднеквадратического значения σ_h глубины заделки семян; С — коэффициента корреляции $\text{corr}(r, h)$ между величиной отклонения семян от линии рядка и глубиной их заделки

Достоверность приведенного выше вывода следует также из сравнения параметров распределения семян кукурузы по глубине заделки. Так, из табл. 4.5 следует, что при весьма стабильной для всех опытов средней глубине заделки семян $\bar{h} \in [59,61; 60,29]$ во втором опыте среднее значение σ_h среднеквадратической глубины заделки семян было на 52,92% больше, чем в контроле, а в третьем опыте — на 7,16% меньше (рис. 4.8В). Коэффициент вариации v_h глубины заделки семян также был наибольшим во втором опыте и превысил контроль на 55,56%. В третьем опыте v_h был меньше контроля на 11,11%.

Из сравнения данных по наличию корреляции между величиной горизонтальных отклонений семян от линии рядка и глубиной их заделки (табл. 4.6, рис. 4.8С) следует, что достоверная (при значении коэффициента Стьюдента $t_s = -4,48$) корреляция $\text{corr}(r, h) = -0,19$ наблюдается только во второй группе опытов. Это говорит о том, что наличие симметричных загортачей, вероятно, из-за периодического забивания почвой приводило к вертикальным колебаниям сошника, при которых выглубление сопровождалось увеличенными боковыми тклонениями.

После того, как вопрос о конструкции загортачей удлинителя сошника был решен, последовала группа опытов № 3–6 по оценке влияния ширины захвата удлинителя сошника на параметры качества распределения семян в рядке. Опыт № 3 совпадает с таковым из первой группы, но был выполнен повторно в рамках второй группы экспериментов. Методически эти опыты повторяли опыты № 1–3, но выполнялись в разное время.

В экспериментах использовали агрегат в составе трактора ЮМЗ-6ЛС и сеялки СУПН-6А. Все экспериментальное оборудование может быть установлено на такую сеялку без какого либо вмешательства в исходную конструкцию. Специально под эксперимент поле не подбирали и почву не готовили. Эксперименты проводили в хозяйственных условиях на технике, выполняющей коммерческий посев на поле, подготовленном к посеву в соответствии с пониманием и возможностями партнеров.

При анализе результатов экспериментов (табл. 4.7, 4.8 и 4.9) обсуждать будем только средние значения по всем повторностям опытов. Когда понадобятся исключения из этого правила, будем указывать отдельно. Номера опытов в таблицах соответствуют сквозной нумерации вариантов экспериментов, приведенных в начале текущего пункта 4.1.4 (стр 132).

Таблица 4.7

Статистические параметры распределения семян кукурузы вдоль линии ряда для опытов № 3–6 с различной шириной захвата удлинителя комбинированного сошника

Наименования параметров	Обозначения	Единицы измерения	Варианты опыта			
			3	4	5	6
1 Количество растений	n	шт.	528	496	528	541
			529	528	519	524
			536	516	508	527
			512	531	532	538
			Среднее значение:	526	518	522
2 Математическое ожидание интервала между растениями	\bar{a}	мм	205,94	222,22	211,68	205,66
			208,57	205,78	209,89	210,58
			207,44	212,54	217,16	211,32
			218,57	210,15	212,37	206,78
			Среднее значение:	210,13	212,67	212,77
3 Среднеквадратическое отклонение интервала между растениями	σ_a	мм	148,05	166,45	157,28	154,87
			148,91	149,36	156,47	157,25
			149,83	155,56	163,84	164,56
			175,33	164,20	146,85	155,67
			Среднее значение:	155,53	158,89	156,11
4 Коэффициент вариации интервалов между растениями	ν_a		0,72	0,75	0,74	0,75
			0,71	0,73	0,75	0,75
			0,72	0,73	0,75	0,78
			0,80	0,78	0,69	0,75
			Среднее значение:	0,74	0,75	0,73

В отношении количества растений n , попавших на зачетные 10-метровые участки можно сказать, что наиболее всего (533 шт.) их было в контроле. Наименьше (97,19%) — в опыте № 4. Соответственно этому ма-

Таблица 4.8

Статистические параметры распределения семян кукурузы относительно линии рядка в поперечно-вертикальном направлении для опытов № 3–6 с различной шириной захвата удлинителя комбинированного сошника

Наименования параметров	Обозначения	Единицы измерения	Варианты опыта			
			3	4	5	6
1 Среднеквадратическое отклонение растений относительно линии рядка Среднее значение:	σ_r	мм	5,43	5,89	5,14	5,90
			5,61	5,98	5,44	5,43
			5,47	6,12	4,87	5,10
			5,15	5,87	5,67	5,21
			5,42	5,97	5,28	5,41
2 Несмещенная оценка среднеквадратического отклонения растений относительно линии рядка Среднее значение:	σ_r^*	мм	6,15	6,66	5,76	5,76
			6,36	6,80	6,14	6,12
			6,19	6,96	5,42	5,70
			5,73	6,64	6,45	5,85
			6,11	6,77	5,94	6,09
3 Математическое ожидание глубины заделки семян Среднее значение:	\bar{h}	мм	60,19	59,95	59,62	60,04
			60,01	60,18	60,35	59,88
			60,07	59,76	59,95	60,01
			60,06	60,49	60,28	60,01
			60,08	60,09	60,05	59,98
4 Среднеквадратическое отклонение глубины заделки семян Среднее значение:	σ_h	мм	6,38	5,88	4,62	4,90
			6,02	5,79	4,29	4,90
			5,82	5,83	4,69	5,11
			5,90	5,76	4,72	4,77
			6,03	5,82	4,58	4,92
5 Коэффициент вариации глубины заделки семян Среднее значение:	v_h		0,11	0,10	0,08	0,08
			0,10	0,10	0,07	0,08
			0,10	0,10	0,08	0,09
			0,10	0,10	0,08	0,08
			0,10	0,10	0,08	0,08

тематическое ожидание \bar{a} интервалов между растениями кукурузы в рядке в контроле было наименьшим (208,58 мм), а наибольшим (212,77 мм, 102,01%) в опыте № 5. Получилось так, что из опыта в опыт количество растений n увеличивалось, а затем, в контроле упало до своего минимального значения. С точки зрения качества посева эти показатели (n и \bar{a}) мало информативны. Важнее и эффективнее сравнить среднеквадратиче-

Таблица 4.9

Параметры корреляции глубины заделки и отклонений семян кукурузы относительно линии рядка для опытов № 3–6 с различной шириной захвата удлинителя комбинированного сошника

Наименования параметров	Обозначения	Единицы измерения	Варианты опыта			
			3	4	5	6
1 Коэффициент корреляции Пирсона между отклонением от линии рядка и глубиной заделки семян Среднее значение:	$\text{corr}(r, h)$		-0,04	-0,00	-0,02	-0,04
			-0,04	-0,01	-0,03	-0,04
			-0,04	-0,02	-0,02	-0,05
			-0,05	-0,01	-0,01	-0,04
			-0,04	-0,01	-0,02	-0,04
2 Коэффициент Стьюдента (t -критерий) для $\text{corr}(r, h)$ Среднее значение:	t_s		-0,89	-0,09	-0,48	-1,04
			-0,87	-0,18	-0,79	-0,84
			-0,95	-0,38	-0,40	-1,11
			-1,03	-0,12	-0,21	-0,87
			-0,93	-0,19	-0,47	-0,96

ское отклонение σ_a растений от линии рядка. Тут следует заметить, что для всех опытов величина σ_a варьировала в пределах от 155,53 мм и 98,38% в третьем опыте до 158,89 мм и 100,51% в четвертом. Скорее всего разница недостоверная, но, тем не менее, в опыте № 5 величина σ_a оказалась меньшей, чем в контроле. А, значит, в этом опыте равномерность распределения семян (растений) вдоль линии рядка была лучше, чем в контроле. На этот же вывод наталкивает и сравнение величин коэффициента вариации v_a интервалов между растениями. Наименьшее значение v_a (0,73 или 96,05%) соответствует именно пятому опыту.

Выводам предыдущего абзаца вторят результаты анализа показателей распределения растений по ширине ленты посева табл. 4.8. Во всех опытах среднеквадратическое значение σ_r горизонтальных отклонений растений от линии рядка варьировало от 5,28 мм и 97,60% в пятом опыте до 5,97 мм и 110,35% в четвертом. Т.е. минимальное значение σ_r снова соответствует опыту № 5. Закономерности изменения несмещенной оценки σ_r^* среднеквадратического значения горизонтальных отклонений растений от

линии рядка совпадают с закономерностями для σ_r . Минимальное значение σ_r^* составляет 5,94 мм или 97,54% по отношению к контролю (рис. 4.9А).

Средняя глубина \bar{h} заделки семян во всех опытах совпадает с точностью до сотых долей миллиметра. Это важно с позиций последующего анализа соответствующего коэффициента вариации v_h . По величине глубина \bar{h} почти монотонно убывает, начиная от опыта № 3 и заканчивая контрольным опытом № 6. Величина σ_h (рис. 4.9В) среднеквадратического значения глубины заделки семян уменьшается от 6,03 мм или 122,56% в третьем опыте, до минимальной величины 4,58 мм или 93,09% в пятом опыте. Коэффициент вариации v_h попарно совпал. Для опытов № 3 и № 4 он составил 0,1 или 125%, а для опытов № 5 и № 6 — 0,08 или 100%. Из приведенного анализа следует, что опыт № 5 по показателям стабильности глубины заделки семян превосходит все другие опыты, включая контроль.

В отношении корреляционной связи между горизонтальным отклонением r семян от линии рядка и глубиной h их заделки, опираясь на данные табл. 4.9 и рис. 4.9С можно утверждать, что она достоверно отсутствовала. Даже когда в одной из повторностей опыта коэффициент корреляции Пирсона $\text{corr}(r, h)$ достиг своего максимального (по абсолютной величине) значения 0,05 величина t -критерия Стьюдента составила 1,11, что явно недостаточно для обоснования достоверности наличия корреляции. Раньше было высказано предположение, что отрицательная корреляция $\text{corr}(r, h)$ может быть следствием подруливания агрегата, а положительная — вертикальными колебаниями сошника. Отсутствие корреляции $\text{corr}(r, h)$ во всех повторностях опытов № 3–6 указывает на удачный выбор контрольных участков и усиливает вывод, о том, что по комплексу параметров распределения семян в рядках посевов (опыт № 5), которому соответствует ширина захвата S удлинителя сошника, равная 220 мм, превосходит все другие варианты и даже контроль. Вероятно, наличие удлинителя сошника с $S = 220$ мм благоприятно сказывалось на общей стабильности хода сошника.

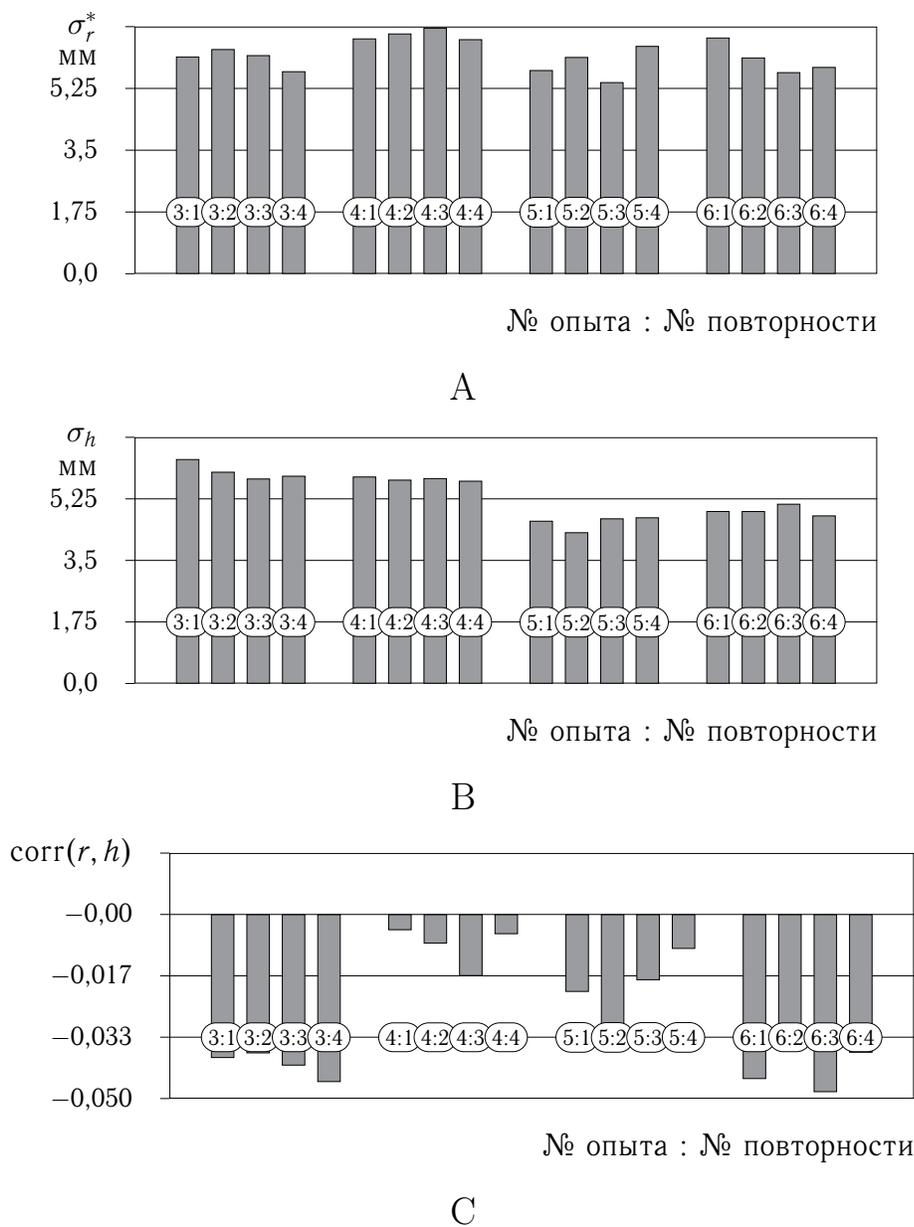


Рис. 4.9. Гистограммы сравнения параметров распределения семян кукурузы в рядке для опытов № 3–6 с различной шириной захвата удлинителя комбинированного сошника: А — несмещенной оценки σ_r^* среднеквадратического горизонтального отклонения семян от линии рядка; В — среднеквадратического значения σ_h глубины заделки семян; С — коэффициента корреляции $\text{corr}(r, h)$ между величиной отклонения семян от линии рядка и глубиной их заделки

4.2. Изучение динамики комбинированного сошника

Предлагаемое изменение конструкции сошника очевидно могло привести к ухудшению его стабильности хода по глубине и прямолинейности движения. Оценить то и другое можно, если восстановить траекторию движения сошника (см. подраздел 2.2, стр. 62–80) и/или построить и оценить амплитудно-частотную характеристику горизонтальных и вертикальных колебаний сошника во время движения.

Первый вариант, как наиболее очевидный, хотя и менее информативный необходим для оценки адекватности представления траектории движения сошника в виде конечного тригонометрического ряда Фурье (2.85). Такой подход предполагает техническую возможность измерения: 1) трех декартовых компонент (парциальных) ускорений (осевой a_x , поперечной a_y , вертикальной a_z) движения БТС; 2) трех угловых скоростей вращения конструкции сошника ω_x , ω_y и ω_z относительно продольно-горизонтальной Ox , поперечно-горизонтальной Oy и вертикальной Oz осей декартовой системы координат $Oxyz$, связанной с БТС; 3) временных отметок потока данных; 4) осевой составляющей скорости v_x движения БТС.

Второй вариант предпочтительнее, поскольку представляет собой количественную оценку колебательных процессов и требует меньшее количество исходных данных. Для его применения достаточно измерить временные ряды поперечной a_y и вертикальной a_z декартовых составляющих (парциальных) ускорений, а также угловых скоростей ω_x и ω_z .

4.2.1. Исследовательское оборудование. Для измерения перечисленных выше параметров использовали разработанную Антощенковым Романом Викторовичем (Харьковский национальный технический университет имени Петра Василенко) мобильную измерительную систему (МИС) [194–197]. В процессе измерений (с участием Антощенко Р. В.) использовали только часть возможностей МИС, а именно, ее модуль GPS, акселерометры и гироскопические датчики.

Основными компонентами МИС являются (рис. 4.10): компьютер (ноутбук), модуль GPS, блок питания, CAN-шина и три идентичных инерционных измерительных прибора, объединяющих в своем корпусе трехмерный акселерометр и трехмерный гироскоп.

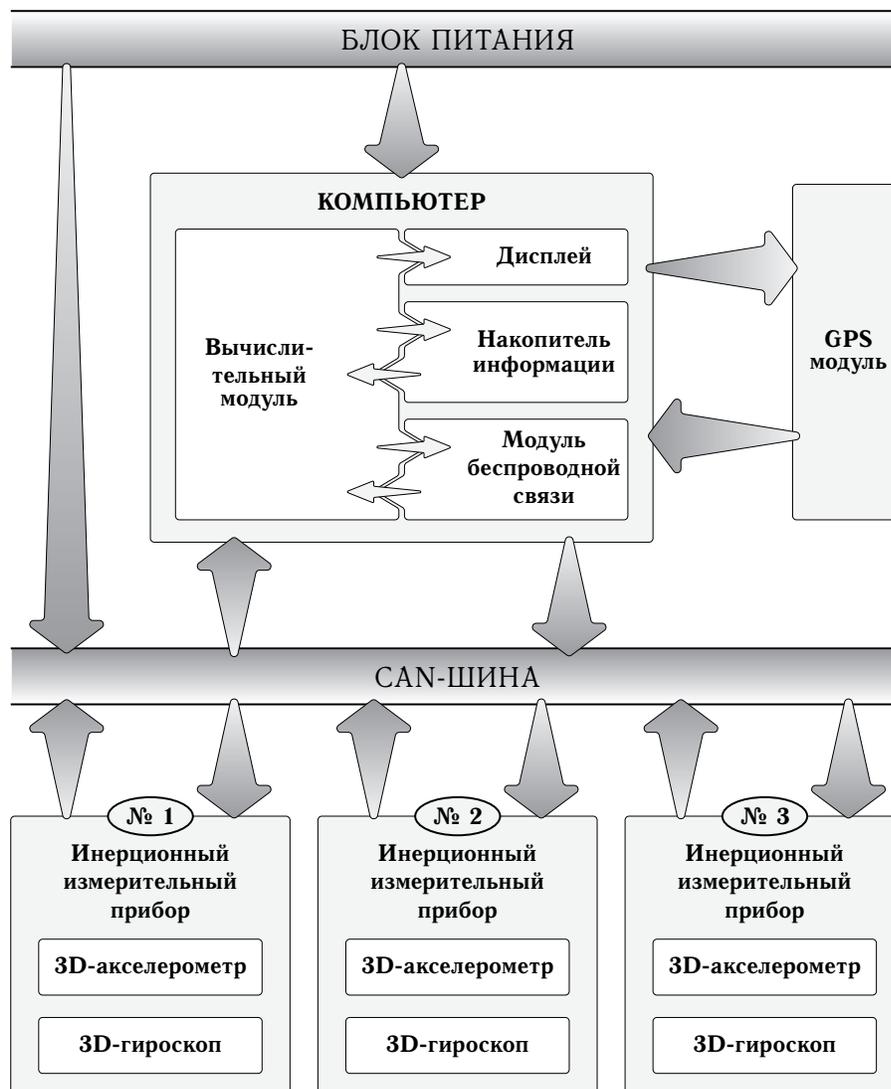


Рис. 4.10. Структурная схема МИС

Компьютер выполнял функции управляющего устройства и хранилища информации (результатов измерений). GPS-модуль обеспечивал измерение GPS-координат и осевой скорости движения агрегата в целом. CAN-шина использовалась по назначению, т.е. для осуществления связи между компьютером и другими элементами МИС. Трехмерные акселерометры

обеспечивали измерение парциальных ускорений a_x , a_y и a_z , а гироскопические датчики — угловых скоростей ω_x , ω_y и ω_z . Основные параметры МИС приведены в табл. 4.10.

Таблица 4.10

Техническая характеристика МИС

Наименование параметра	Единица измерения	Числовое значение
1. Интервал варьирования измеряемой величины		
1.1. Ускорение	м/с ²	±20
1.2. Угловая скорость	град./с	±250
1.3. Географические координаты	град.	0–90
1.4. Линейная скорость	м/с	0–515
1.5. Курсовой угол	град.	0–359
2. Количество измерительных каналов		
2.1. Ускорение		3
2.2. Угловая скорость		3
2.3. Навигационная информация		1
3. Предел основной допустимой относительной ошибки		
3.1. Ускорение	%	±1
3.2. Угловая скорость	%	±1
4. Предел основной допустимой абсолютной ошибки		
4.1. Линейная скорость	м/с	0,01
4.2. Горизонтальная координата	м	< 2,0
4.3. Временные отметки	с	5×10^{-8}

Процесс монтажа компонентов и коммуникаций МИС на экспериментальном посевном агрегате иллюстрирует рис. 4.11А.

Ранее при выполнении математического моделирования посева было использовано предположение, что траектория сошника (линия рядка) состоит из нескольких групп гармоник, часть из которых (длинноволновых) обусловлены непрямолинейностью движения трактора, другая часть (сред-



А



В

Рис. 4.11. Мобильная измерительная система: А — процесс монтажа на агрегат; В — рабочее положение инерционных измерительных приборов на посевной секции (1) и раме (2) сеялки

неволновых) обусловлены колебаниями рамы сеялки относительно линии тяги и третья часть (коротковолновых) обусловлены колебаниями сошников относительно рамы сеялки. Имея ввиду такую логику, инерционные измерительные приборы были установлены, соответственно, на посевной секции (рис. 4.11В и 4.12А, прибор № 1), на раме сеялки (рис. 4.11В и 4.12В, прибор № 2) и на раме трактора (рис. 4.13А, прибор № 3).

Крепление инерционных измерительных приборов осуществляли с помощью струбцин (рис. 4.12 и 4.13А).

Пост наблюдения организовывали или в кабине трактора (рис. 4.11В) или на прицепе с опрыскивателем (рис. 4.13В).

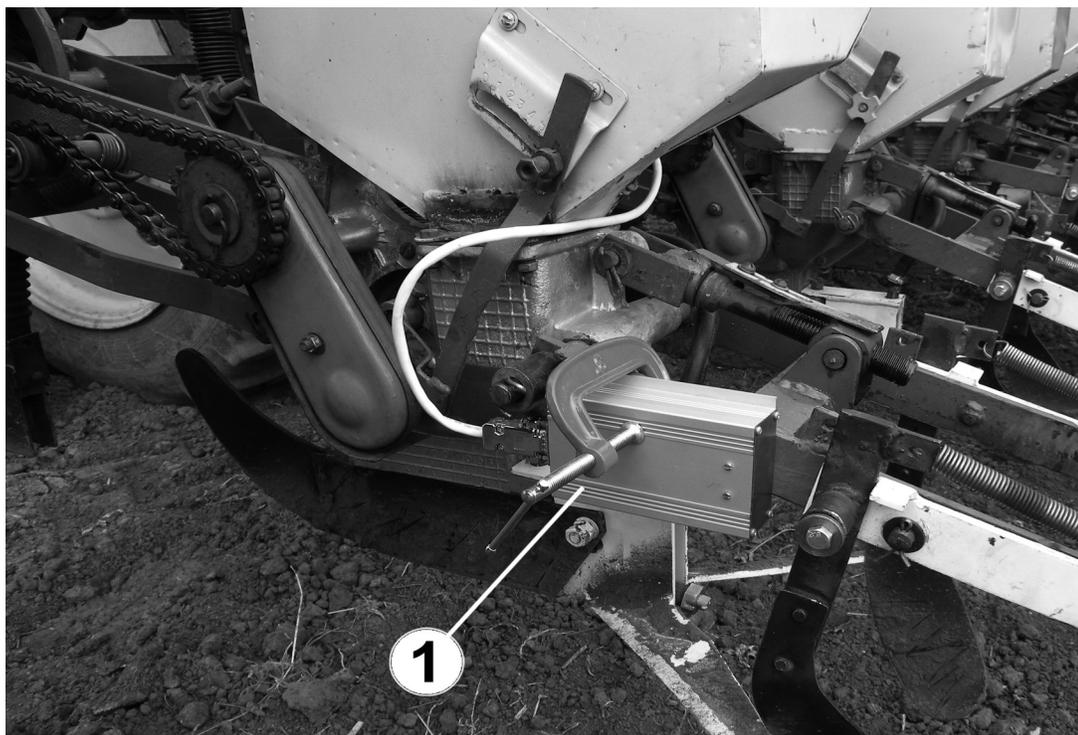
4.2.2. Сравнение вариантов восстановления функциональных зависимостей применением прямого преобразования Фурье и метода последовательного приближения. Описанное выше экспериментальное оборудование позволяло, в частности, измерять угловую скорость ω_z крутильных колебаний посевной секции вокруг вертикальной оси Oz , проходящей через точку установки инерционного измерительного прибора № 1. Этот параметр, характеризует стабильность хода сошника в горизонтальной плоскости и поэтому для текущих исследований представляет интерес.

Методология применения метода дискретного ППФ для получения функциональной зависимости ω_z от времени t , т.е. восстановления функции $\omega_z(t)$, подробно описана во втором разделе на стр. 62–80, поэтому тут мы этот метод описывать не будем.

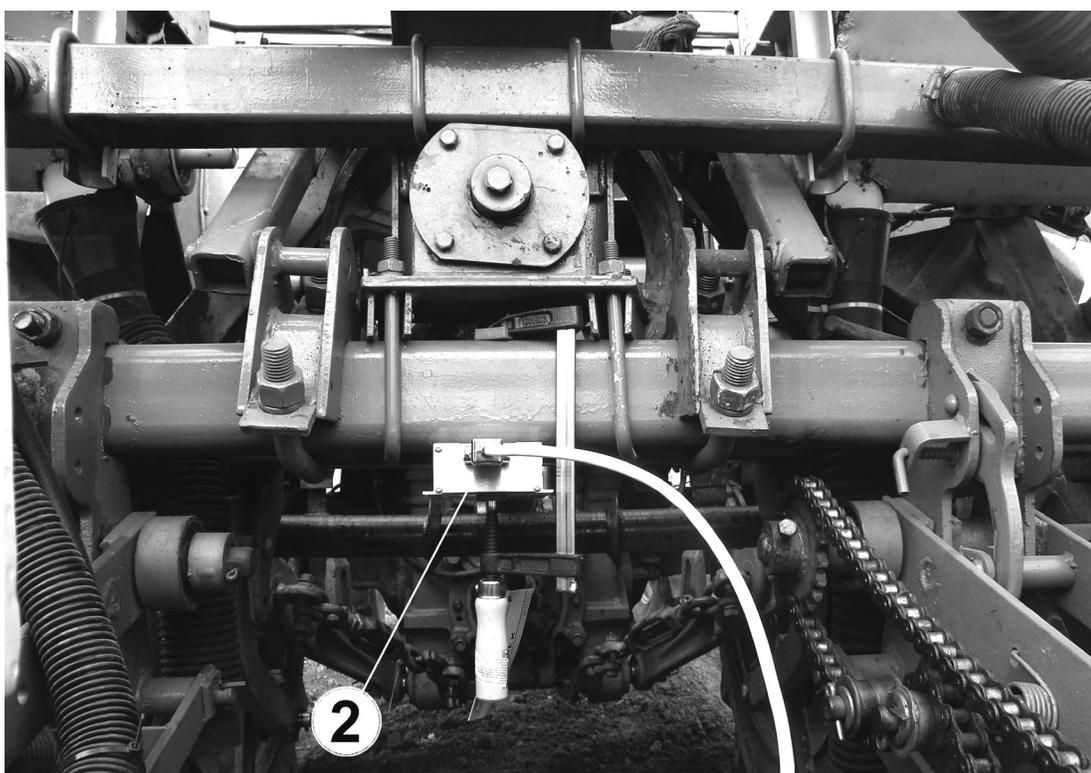
Далее речь пойдет о сглаживании результатов измерений суммой гармоник, которые подбирают последовательно и оценивают по методу наименьших квадратов. Для этого представим непрерывную функцию $\omega_z(t)$ в виде конечного тригонометрического ряда:

$$\omega_z(t) = \sum_{i=1}^n A_i^{(\omega z)} \cos \left(\Omega_i^{(\omega z)} t + \varphi_i^{(\omega z)} \right), \quad t \in [0, T], \quad 1 \leq n, \quad (4.16)$$

где: $A_i^{(\omega z)}$, $\Omega_i^{(\omega z)}$ и $\varphi_i^{(\omega z)}$ — амплитуда, круговая частота и начальная фаза



А



В

Рис. 4.12. Крепление инерционных измерительных приборов № 1 и № 2 с помощью струбцин на посевной секции (А) и раме (В) сеялки



А



В

Рис. 4.13. Крепление инерционного измерительного прибора № 3 на раме трактора (А) и организация исследовательского поста наблюдения (В) на прицепе с опрыскивателем

i -той гармоники разложения; T — период или ширина интервала времени t , соответствующего области определения $\omega_z(t)$; n — количество гармоник.

С целью восстановления функции (4.16) нам следует разработать алгоритм поиска значений $A_i^{(\omega z)}$, $\Omega_i^{(\omega z)}$ и $\varphi_i^{(\omega z)}$. Самый простой из алгоритмов предполагает следующие этапы:

1) Задаем количество $\max\{n\}$ гармоник в разложении и обозначаем интервалы варьирования величин $A_i^{(\omega z)}$, $\Omega_i^{(\omega z)}$ и $\varphi_i^{(\omega z)}$. В качестве обоснованных ориентиров логично использовать одноименные величины, полученные в случае применения метода ППФ.

2) Интервалы варьирования $A_i^{(\omega z)}$, $\Omega_i^{(\omega z)}$ и $\varphi_i^{(\omega z)}$, которые (как вариант) считаем равными для всех $i \in \{1, 2, \dots, n\}$, делим на подинтервалы и таким образом получаем три упорядоченных множества возможных значений перечисленных величин.

3) Текущую гармонику, для которой выполняется расчет амплитуды, частоты и фазы, обозначим литерой j . Гармоники, для которых $i < j$ являются определенными, а гармоники с номерами $i \in \{j + 1, j + 2, \dots, n\}$ еще предстоит определить. В процессе определения параметров n гармоник j пробегает все значения упорядоченного множества $\{1, 2, \dots, n\}$.

3) Начинаем с тригонометрического ряда (4.16), у которого имеется только одна гармоника, т.е. $n = 1$.

4) Используя три вложенных цикла для всех комбинаций значений $A_j^{(\omega z)}$, $\Omega_j^{(\omega z)}$ и $\varphi_j^{(\omega z)}$, где $j = n$, вычисляем сумму квадратов отклонений (невязку) экспериментальных значений $\omega_z(t)$ от теоретической кривой (4.16), с текущим значением $n \leq \max\{n\}$. Тот комплект значений $A_j^{(\omega z)}$, $\Omega_j^{(\omega z)}$ и $\varphi_j^{(\omega z)}$, которому соответствует наименьшая невязка, приписываем искомой j -той гармонике.

5) Увеличиваем значения $n = j$ на единицу и повторяем пункты 4 и 5 до тех пор пока будут определены все $n = \max\{n\}$ гармоник.

На этом заканчивается этап первичного определения гармоник разложения (4.16). Поскольку параметры каждой предыдущей гармоники опре-

деляли без учета наличия всех последующих гармоник, то далее следует уточнить параметры всех гармоник.

Теперь n остается фиксированным ($n = \max\{n\}$), а j пробегает все значения упорядоченного множества $\{1, 2, \dots, n\}$. Цикл операций по уточнению параметров всех гармоник предполагает такие действия:

6) Выбираем начальную гармонику $j = 1$.

7) Для текущей j -той гармоники известны параметры $A_j^{(\omega z)}$, $\Omega_j^{(\omega z)}$ и $\varphi_j^{(\omega z)}$. Отказываемся от этих конкретных значений и для каждого параметра назначаем новые интервалы варьирования, которые могут быть равными прежним (см. пункт 1). Один из вариантов определения границ варьирования $A_j^{(\omega z)}$, $\Omega_j^{(\omega z)}$ и $\varphi_j^{(\omega z)}$ является последовательное умножение текущих значений $A_j^{(\omega z)}$, $\Omega_j^{(\omega z)}$ и $\varphi_j^{(\omega z)}$ на два коэффициента $\alpha_1 < 1$ и $\alpha_2 > 1$.

Тут возможны и другие варианты, которые заслуживают отдельного исследования. На них мы останавливаться не будем.

8) Новые интервалы варьирования $A_j^{(\omega z)}$, $\Omega_j^{(\omega z)}$ и $\varphi_j^{(\omega z)}$ делим на подинтервалы и таким образом снова получаем три множества возможных значений перечисленных величин. Разница состоит в том, что теперь эти множества индивидуальны для всех гармоник.

9) Используя три вложенных цикла для всех комбинаций значений $A_j^{(\omega z)}$, $\Omega_j^{(\omega z)}$ и $\varphi_j^{(\omega z)}$, вычисляем невязку экспериментальных значений $\omega_z(t)$ и теоретической кривой (4.16) и тот комплект значений $A_j^{(\omega z)}$, $\Omega_j^{(\omega z)}$ и $\varphi_j^{(\omega z)}$, которому соответствует наименьшая невязка, приписываем искомой j -той гармонике. Теперь j -тая гармоника переопределена.

10) Увеличиваем значение j на единицу и повторяем пункты 7–10 до тех пор пока будут переопределены все n гармоник.

11) Цикл уточнения параметров гармоник (пункты 6–10) повторяются до тех пор, пока изменение невязки удовлетворит требованию на точность. Все гармоники окончательно определены.

Преимущество описанного алгоритма состоит в его простоте, а недостаток — в значительной ресурсоемкости, связанной с тем, что все пара-

метры $A_i^{(\omega z)}$, $\Omega_i^{(\omega z)}$ и $\varphi_i^{(\omega z)}$ всех гармоник разложения (4.16) рассчитывают и уточняют путем перебора. На ПК средней производительности такая задача может потребовать от нескольких часов до нескольких суток расчетного времени. Поскольку амплитуду $A_i^{(\omega z)}$ гармоник можно определить точно, не прибегая к перебору, покажем, как это можно выполнить.

Представляем ряд (4.16) в развернутом виде

$$\begin{aligned} \omega_z(t) = & \sum_{i=1}^{j-1} A_i^{(\omega z)} \cos \left(\Omega_i^{(\omega z)} t + \varphi_i^{(\omega z)} \right) + \\ & + A_j^{(\omega z)} \cos \left(\Omega_j^{(\omega z)} t + \varphi_j^{(\omega z)} \right) + \sum_{i=j+1}^n A_i^{(\omega z)} \cos \left(\Omega_i^{(\omega z)} t + \varphi_i^{(\omega z)} \right), \quad (4.17) \\ & 1 \leq n, \quad j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

Принимая во внимание упорядоченное множество (ряд) экспериментально измеренных значений

$$\omega_{zk} \in \{\omega_{z1}, \omega_{z2}, \dots, \omega_{zK}\}, \quad (4.18)$$

которому соответствует временной ряд

$$t_k \in \{t_1, t_2, \dots, t_K\}, \quad (4.19)$$

где K — количество экспериментальных измерений. Записываем сумму квадратов отклонений S^2 экспериментальных значений ω_{zk} от теоретических $\omega_z(t_k) = \omega_z(t = t_k)$, ($k = 1, 2, \dots, K$), которую рассматриваем, как функцию параметров $A_j^{(\omega z)}$, $\Omega_j^{(\omega z)}$ и $\varphi_j^{(\omega z)}$:

$$S^2 = S^2 \left(A_j^{(\omega z)}, \Omega_j^{(\omega z)}, \varphi_j^{(\omega z)} \right) = \sum_{k=1}^K (\omega_z(t_k) - \omega_{zk})^2. \quad (4.20)$$

Фиксируем величину частоты $\Omega_j^{(\omega z)}$ и начальной фазы $\varphi_j^{(\omega z)}$, а значения амплитуды $A_j^{(\omega z)}$ будем считать неизвестной непрерывной величиной. Для поиска конкретного значения $A_j^{(\omega z)}$, минимизирующего S^2 , находим частную производную от (4.20):

$$\frac{\partial S^2}{\partial A_j^{(\omega z)}} = 2 \sum_{k=1}^K (\omega_z(t_k) - \omega_{zk}) \frac{\partial \omega_z(t_k)}{\partial A_j^{(\omega z)}}, \quad (4.21)$$

где

$$\frac{\partial \omega_z(t_k)}{\partial A_j^{(\omega z)}} = \cos \left(\Omega_j^{(\omega z)} t_k + \varphi_j^{(\omega z)} \right). \quad (4.22)$$

Далее приравниваем (4.21) к нулю

$$\sum_{k=1}^K [\omega_z(t_k) - \omega_{zk}] \cos \left(\Omega_j^{(\omega z)} t_k + \varphi_j^{(\omega z)} \right) = 0 \quad (4.23)$$

и выполнив подстановку $\omega_z(t_k)$ (4.17) с учетом замены

$$C_{ik} = \cos \left(\Omega_i^{(\omega z)} t_k + \varphi_i^{(\omega z)} \right), \quad C_{jk} = \cos \left(\Omega_j^{(\omega z)} t_k + \varphi_j^{(\omega z)} \right), \quad (4.24)$$

приходим к выражению

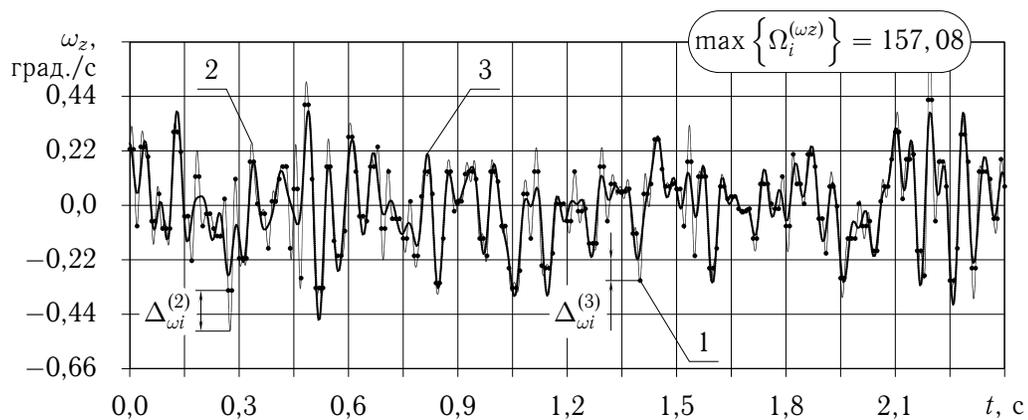
$$\sum_{k=1}^K \left[\sum_{i=1}^{j-1} A_i^{(\omega z)} C_{ik} + A_j^{(\omega z)} C_{jk} + \sum_{i=j+1}^n A_i^{(\omega z)} C_{ik} - \omega_{zk} \right] C_{jk} = 0. \quad (4.25)$$

Далее решаем выражение (4.25) относительно $A_j^{(\omega z)}$. В итоге получаем:

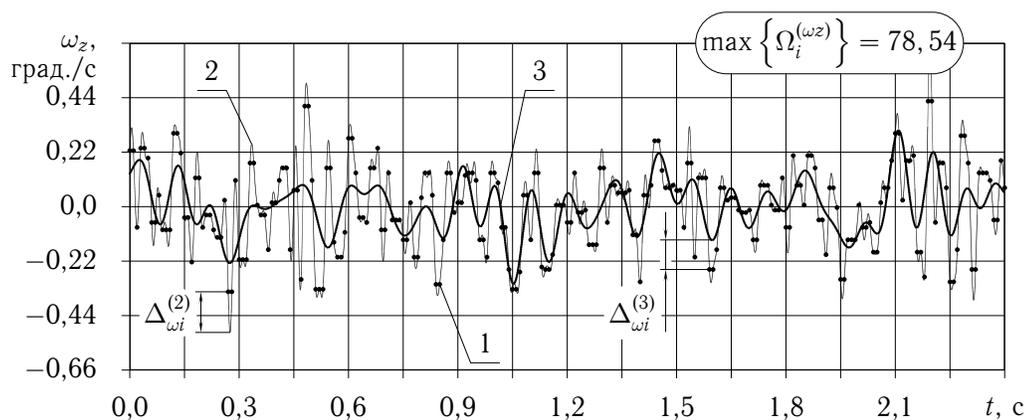
$$A_j^{(\omega z)} = \frac{\sum_{k=1}^K \left[\omega_{zk} - \sum_{i=1}^{j-1} A_i^{(\omega z)} C_{ik} - \sum_{i=j+1}^n A_i^{(\omega z)} C_{ik} \right] C_{jk}}{\sum_{k=1}^K C_{jk}^2} \quad (4.26)$$

На этом рассмотрение предлагаемого алгоритма ПП экспериментальных дискретных данных конечным тригонометрическим рядом заканчиваем. На рис. 4.14 представлены сравнительные результаты применения методов ППФ и ПП для случая обработки экспериментальных значений угловой скорости ω_z (град./с) крутильных колебаний посевной секции в процессе посева.

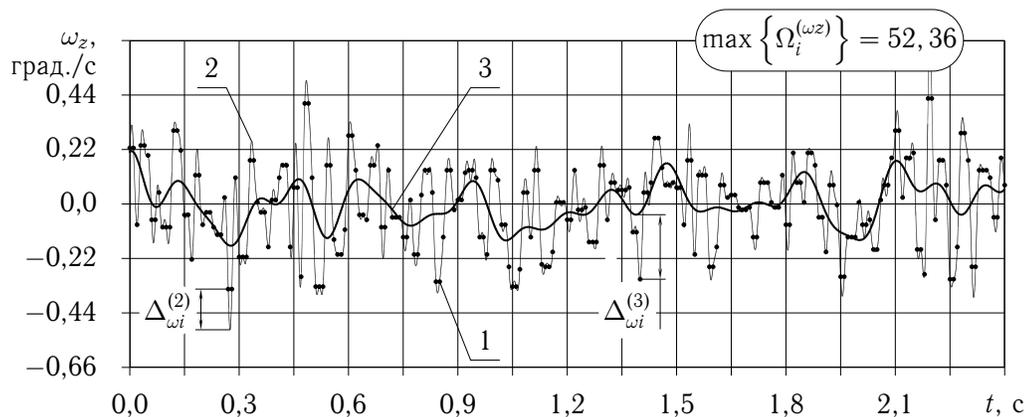
В отличие от интерполяции экспериментальных данных путем ППФ, метод ПП изначально предназначен для аппроксимации экспериментальных данных, а, значит, позволяет выполнять их сглаживание (избавление от шумов). Процедура сглаживания состоит в ограничении максимального возможного значения $\max \left\{ \Omega_i^{(\omega z)} \right\}$ частоты гармоник (4.16) при обосновании их параметров в процессе реализации метода ПП. При этом количество гармоник n в разложении (4.16) остается фиксированным.



А



В



С

Рис. 4.14. Аппроксимация точек данных (1) измерения угловой скорости ω_z (град./с) посевной секции в случае применения ППФ (2) и метода ПП тригонометрическим рядом (3), когда максимальная частота (рад./с) элементов рядов (2) и (3) $\max \{ \Omega_i^{(\omega z)} \}$ ограничена величинами: 157,08 (А); 78,54 (В); 52,36 (С)

Метод ППФ также предоставляет возможность сглаживания экспериментальных данных похожим способом. Только в таком случае ограничивают количество гармоник в разложении (уменьшают n), а вместе с этим и максимальную частоту гармоник.

На рис. 4.14 точками 1 обозначены результаты измерений угловой скорости ω_z , а кривые 2 и 3 соответствуют методу ППФ, когда задействованы все возможные гармоники (120 шт.), и методу ПП, когда максимальное значение круговой частоты гармоник $\max \left\{ \Omega_i^{(\omega z)} \right\}$ (рад./с) ограничены величинами: 157,08 (рис. 4.14А); 78,54 (рис. 4.14В); 52,36 (рис. 4.14С). Поскольку кривые 2 интерполируют экспериментальные данные и одинаковы для всех рисунков, то они выступают в роли эталона для оценки эффекта сглаживания.

Для кривой 2 характерны неточности интерполяции, которые проявляются в проходах кривой за пределы экспериментальных точек $\Delta_{\omega_i}^{(2)}$. Для кривых 3, которые аппроксимируют экспериментальные данные, характерны отклонения обратного свойства — $\Delta_{\omega_i}^{(3)}$.

Проблема состоит в том, что как бы ни выглядели графики 3 нет критерия для оценки степени необходимого сглаживания. В теоретической части работы для обоснования степени сглаживания было предложено использовать не анализ параметров первичной функции, например, (4.16) и соответствующего ей графика $\omega_z(t)$, а первого или второго интеграла от нее. В данном случае интегрированием $\omega_z(t)$ (4.16) получаем угол поворота посевной секции вокруг вертикальной оси $\lambda_z(t)$, как функцию времени:

$$\lambda_z(t) = \sum_{i=1}^n A_i^{(\lambda z)} \sin \left(\Omega_i^{(\lambda z)} t + \varphi_i^{(\lambda z)} \right), \quad t \in [0, T], \quad 1 \leq n, \quad (4.27)$$

где: $A_i^{(\lambda z)}$, $\Omega_i^{(\lambda z)}$ и $\varphi_i^{(\lambda z)}$ — амплитуда, круговая частота и начальная фаза, а n , t и T сохраняют прежние значения. В свою очередь новая амплитуда $A_i^{(\lambda z)}$ определяется дробью:

$$A_i^{(\lambda z)} = \frac{A_i^{(\omega z)}}{\Omega_i^{(\omega z)}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4.28)$$

а новая частота сохраняет свое прежнее значение, т.е.:

$$\Omega_i^{(\lambda z)} = \Omega_i^{(\omega z)} \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (4.29)$$

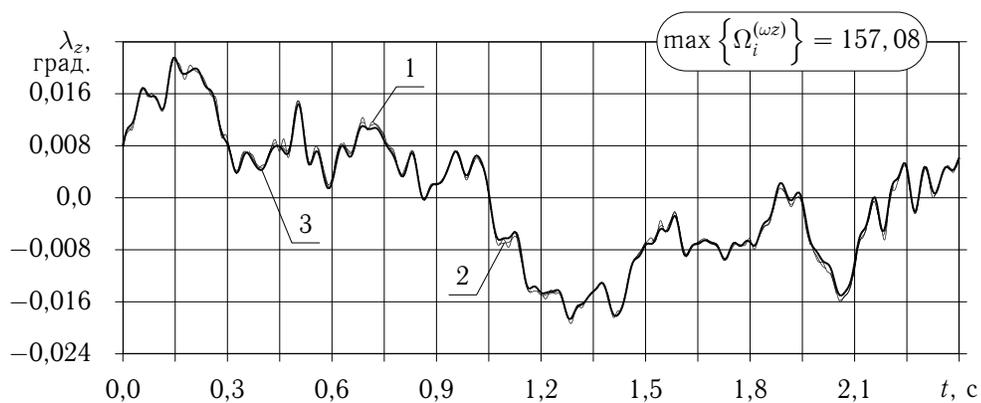
Графики $\lambda_z(t)$ показаны на рис. 4.15.

Кривая 1 соответствует результатам расчета угла поворота λ_z (град.) посевной секции вокруг вертикальной оси Oz в случае применения ППФ, когда задействованы все 120 шт. гармоник. Кривая 2 также получена с применением ППФ, но количество гармоник ограничено максимальным значением частоты $\max \{ \Omega_i^{(\omega z)} \}$ (рад./с): 157,08 (рис. 4.15А); 78,54 (рис. 4.15В); 52,36 рис. 4.15(С). При таких же ограничениях по частоте получены кривые 3, но для их построения применили метод ПП.

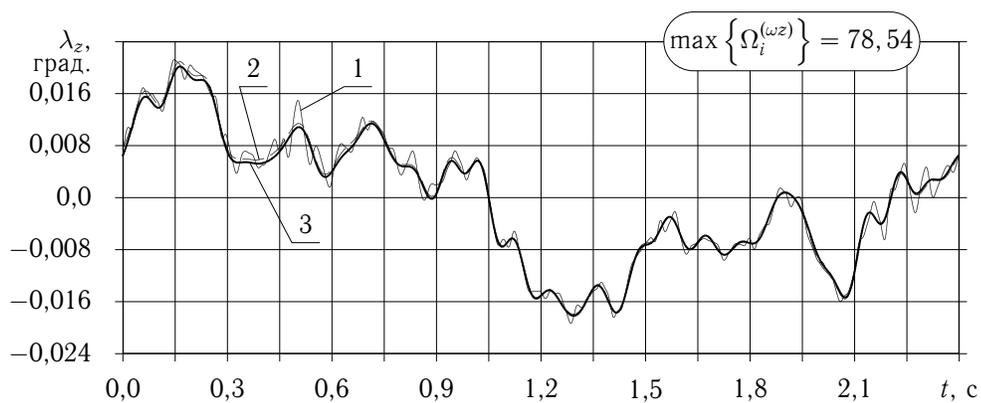
Как видим, принципиальных различий между кривыми 2 и 3 нет. Поскольку они получены вследствие интегрирования, то, как не трудно заметить, для них характерно самосглаживание. Даже в случае, когда задействованы все гармоники и, соответственно, фильтрация не применяется (рис. 4.15А), на кривых 2 и 3 не наблюдается характерных для (рис. 4.14) осцилляций. Поясняется это тем, что при интегрировании тригонометрического ряда $\omega_z(t)$ (4.16) получаем временную функцию угла поворота (4.27), в которой амплитуда $A_i^{(\lambda z)}$ определяется дробью (4.28), в числителе которой располагается первичная амплитуда $A_i^{(\omega z)}$, а в знаменателе — частота $\Omega_i^{(\omega z)}$, которая и после интегрирования остается неизменной. Из этого следует, что чем больше частота гармоники $\Omega_i^{(\lambda z)}$, тем меньше вклад начальной амплитуды $\Omega_i^{(\omega z)}$ в ее результирующее значение $A_i^{(\lambda z)}$. В этом состоит суть механизма самосглаживания (самофильтрации), вызванного интегрированием первичной функции.

Результаты описанной трансформации амплитудно-частотного спектра рядов $\omega_z(t)$ (4.16) и $\lambda_z(t)$ (4.27) иллюстрируют рис. 4.16 и 4.17.

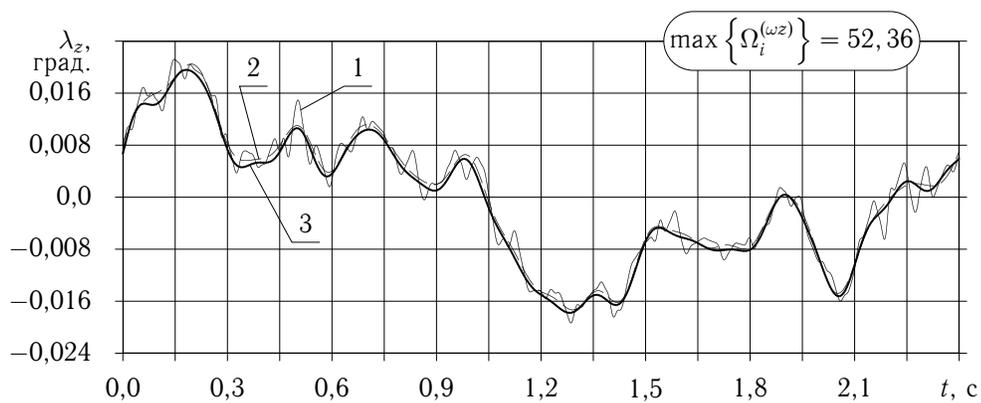
Рис. 4.16 соответствует случаю, когда сглаживание не применяется, т.е. и в первом, и во втором случае задействованы все $n = 120$ гармоник и, к тому же, ограничение по частоте в случае применения метода ПП (рис. 4.16В, $\max \{ \Omega_i^{(\omega z)} \} = 309,22$) с точностью до единицы совпадает



A

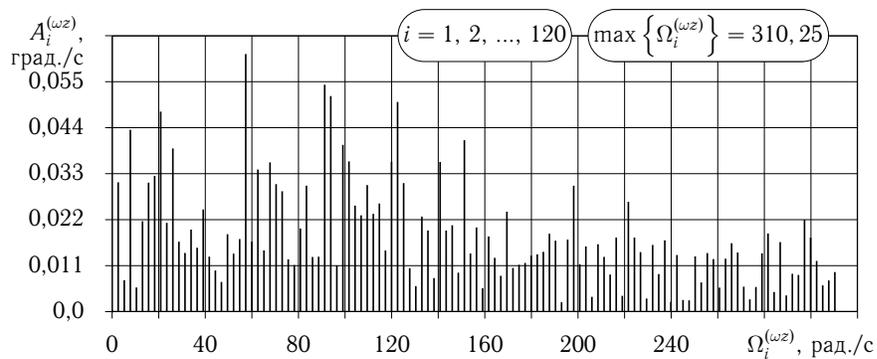


B

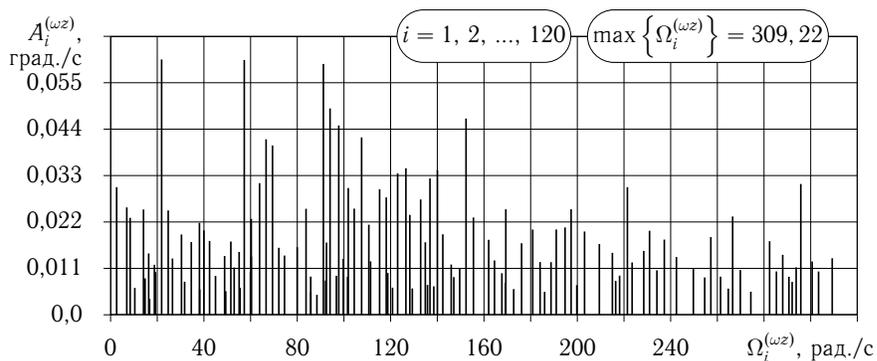


C

Рис. 4.15. Результаты расчета угла поворота λ_z (град.) посевной секции вокруг вертикальной оси в случае применения ППФ, когда задействованы все (1) или часть (2) гармоник, а также метода ПП тригонометрическим рядом (3), когда максимальная частота (рад./с) элементов рядов (2) и (3) $\max \{ \Omega_i^{(\omega z)} \}$ ограничена величинами: 157,08 (А); 78,54 (В); 52,36 (С)



А



В

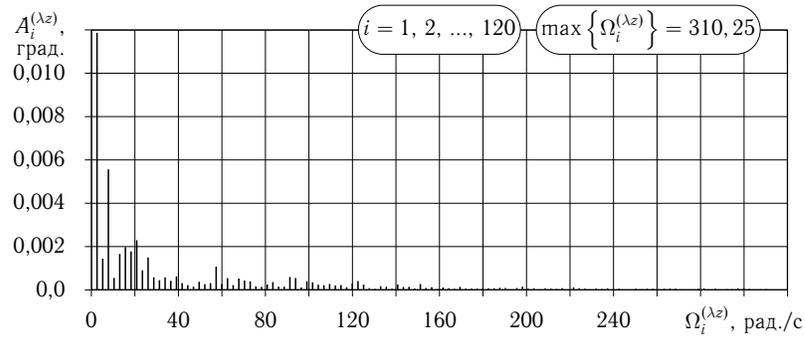
Рис. 4.16. Амплитудно-частотный спектр ($\Omega_i^{(\omega z)}$ — частота, рад./с; $A_i^{(\omega z)}$ — амплитуда, град.): А) функции $\omega_z(t)$ (град./с, кривая 2, рис. 4.14,) интерполяции точек данных измерения угловой скорости посевной секции в случае применения ППФ, когда задействованы все $n = 120$ гармоник; В) функции $\omega_z(t)$ (град./с) аппроксимации тех же данных путем применения метода ПП, когда число гармоник и максимальное значение частоты $\max \{ \Omega_i^{(\omega z)} \}$ соответствуют предыдущему варианту

с максимальной частотой спектра для случая интерполяции экспериментальных данных с применением ППФ (рис. 4.16А, $\max \{ \Omega_i^{(\omega z)} \} = 310,25$). Принципиальное отличие полученных спектров состоит в том, что во втором случае интервалы между соседними частотами носят случайный характер. В остальном, в качественном смысле спектры совпадают.

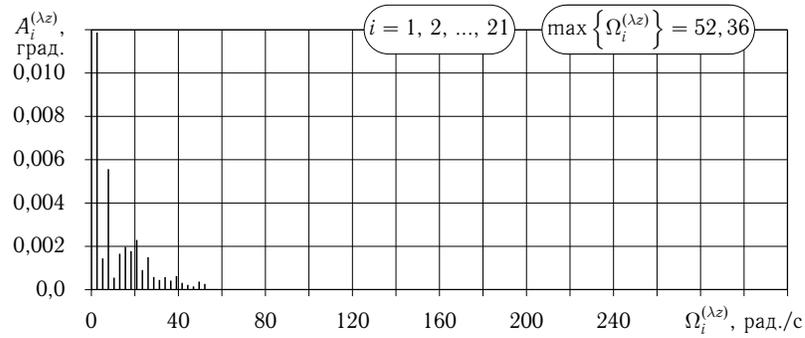
Сравнение рис. 4.16А и рис. 4.17А позволяет проиллюстрировать упомянутый выше процесс самосглаживания, который происходит в ответ на интегрирование первичной интерполирующей функции, т.е. переход от разложения $\omega_z(t)$ (4.16) к разложению (4.27). Как видим, во втором случае с некоторой поправкой на волнообразность явно выражена общая закономерность: чем больше частота $\Omega_i^{(\lambda z)}$, тем меньше амплитуда $A_i^{(\lambda z)}$.

Кроме этого, рис. 4.17 иллюстрирует принципиальную разницу механизмов сглаживания путем ограничения максимальной частоты гармоник в разложении в случае применения ППФ (рис. 4.17В) и метода ПП (рис. 4.17С). В первом случае ограничение максимальной частоты гармоники сопровождается уменьшением общего количества гармоник в разложении, а во втором случае количество гармоник может сохраняться. Это обстоятельство позволяет предположить, что в случае сглаживания по методу ПП можно получить большую корректность получаемых закономерностей. Но сравнение графиков рис. 4.15 дает основание утверждать, что такие различия во многих случаях останутся несущественными.

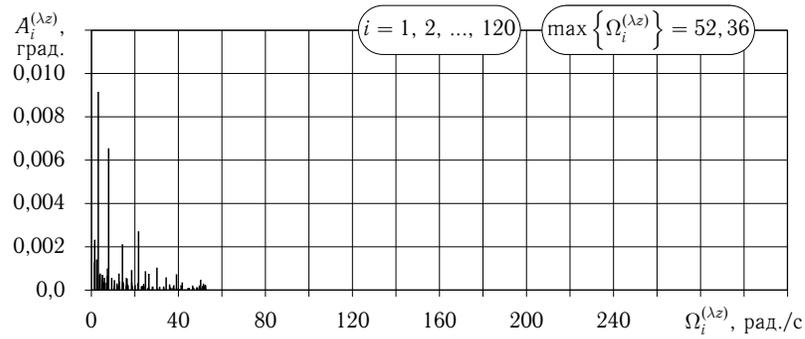
Главным недостатком метода ПП является его ресурсоемкость. По времени счета применение ППФ и метода ПП различаются на порядки. Кроме того, получаемый методом ПП амплитудно-частотный спектр может меняться в зависимости от особенностей реализации метода, а в случае применения ППФ получаемый амплитудно-частотный спектр остается неизменным. Тем не менее у метода ПП есть одно важное преимущество. Этот метод не требует равномерного распределения аппроксимируемых данных вдоль шкалы аргумента. Т.е. такой метод применим, например для восстановления линии ряда по координатам взошедших растений.



А



В



С

Рис. 4.17. Амплитудно-частотный спектр ($\Omega_i^{(\lambda z)}$ — частота, рад./с; $A_i^{(\lambda z)}$ — амплитуда, град.): А) кривой 1 на рис. 4.15, построенной с применением ППФ, когда задействованы все ($n = 120$) гармоники; В) кривой 2 на рис. 4.15С, построенной с применением ППФ, когда с целью фильтрации задействованы часть ($n = 21$) гармоник; С) кривой 3 на рис. 4.15С, построенной с применением метода ПП тригонометрическим рядом, когда с целью фильтрации максимальная частота гармоник ограничена величиной

$$\max \{ \Omega_i^{(\lambda z)} \} = 52, 36 \text{ рад./с}$$

4.2.3. Восстановление линии рядка по координатам взошедших растений методом последовательного приближения. В данном случае мы ставим задачу предварительной проверки применимости метода ПП для восстановления линии рядка по взошедшим растениям. Полное решение такой задачи, включая расчет параметров точности восстановления линии рядка мы, не предполагаем. Полное решение такой задачи заслуживает отдельной работы, поскольку может найти применение в алгоритмах функционирования автоматов вождения уборочных машин.

Вычислительный эксперимент по восстановлению линии рядка предполагает следующие шаги:

1) В соответствии с выражением (2.3) назначить параметры $A_k^{(y)}$, $L_k^{(y)}$ и $\phi_k^{(y)}$ линии рядка $y(l)$;

2) В соответствии с предлагаемым алгоритмом (см. стр. 57–62) провести моделирование одного 10-ти метрового участка рядка посева и таким образом получить совокупность фактических координат (x_i, y_i) всех N_r шт. взошедших растений;

3) Используя математическую модель предлагаемой методики оценки параметров распределения растений в рядке (см. стр. 123–132), получить измеренные значения $(\check{x}_i, \check{y}_i)$ фактических координат (x_i, y_i) всех N_r шт. взошедших растений, а также определить конечные параметры распределения растений в рядке, в частности, оценку σ_r среднеквадратического горизонтального отклонения семян от линии рядка. Несмещенную оценку σ_r^* среднеквадратического горизонтального отклонения семян от линии рядка σ_r определять не следует, поскольку на одном 10-ти метровом участке рядка располагается на порядок меньше растений, чем необходимо для расчета σ_r^* . В связи с этим мы сразу отмечаем, что несоответствие фактического значения и полученной оценки σ_r среднеквадратического горизонтального отклонения семян от линии рядка внесет свой негативный вклад в погрешности восстановления рядка.

4) Используя предлагаемый алгоритм ПП (см. стр. 123–132), восстановить уравнение линии рядка и посредством графиков оценить степень соответствия между фактической и восстановленной линией рядка.

На этом вычислительный эксперимент по восстановлению линии рядка заканчивается. Далее в табл. 4.11 приведенные заданные значения параметров 10-ти метрового участка рядка посева кукурузы, линия которого подвергалась восстановлению.

Таблица 4.11

Исходные параметры для моделирования
10-ти метрового участка рядка посева кукурузы

Наименования параметров	Единицы измерения	Обозначения	Числовое значение
1 Параметры трех гармоник: амплитуда	мм	$A_1^{(y)}; A_2^{(y)}; A_3^{(y)}$	17,1; 16,7; 18,22
длина волны	м	$L_1^{(y)}; L_2^{(y)}; L_3^{(y)}$	106,8; 17,9; 4,4
начальная фаза		$\phi_1^{(y)}; \phi_2^{(y)}; \phi_3^{(y)}$	1,546; 0,553; 0,862
2 Математическое ожидание интервала между растениями	мм	\bar{a}	200
3 Среднеквадратическое отклонение интервала между растениями		σ_a	76,15
4 Среднеквадратическое отклонение растений отно- сительно линии рядка		σ_r	6,58
5 Вероятность высева		P_1	0,95
6 Вероятность высева двойника		P_2	0,2
7 Вероятность появления всхода		P_3	0,8

На рис. 4.18 показана фактическая линия рядка 1, координаты семян давших всходы 2 и восстановленная линия 3 рядка. Смещение точек 2 и линии 3 относительно фактической линии 1 связано с несовпадением фактической системы координат и системы координат, в которой проводили (моделировали) измерения положения растений. В отношении кривизны

линий 1 и 3 наблюдаются существенные совпадения. Таким образом предлагаемый метод заслуживает дальнейшего изучения и уточнения, но, тем не менее, с достигнутой точностью не применим для оценки динамики сошников, предлагаемых конструкций.

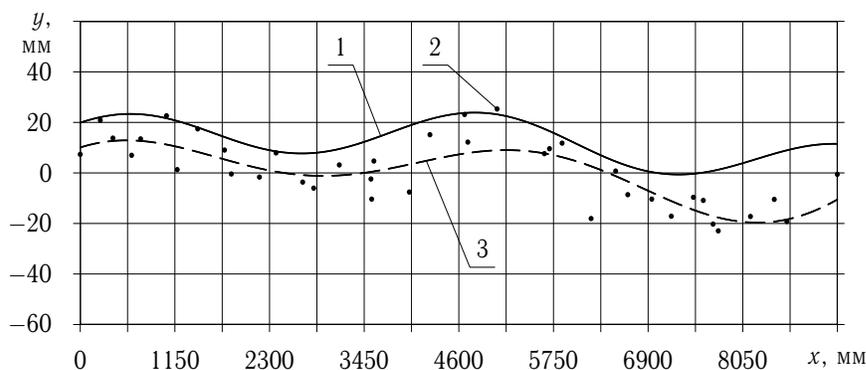


Рис. 4.18. Результаты восстановления линии рядка: 1) фактическая линия рядка; 2) точки семян давших всходы; 3) восстановленная линия рядка

4.2.4. Сравнение динамики разработанных вариантов конструкции комбинированного сошника. Программа экспериментов по сравнению параметров движения сошников предлагаемой конструкции во время выполнения ТП предполагала четыре варианта:

№ 1 — заводская конструкция сошника, без изменений (контроль);

№ 2 — удлинитель сошника без загорточей с шириной захвата $S = 220$ мм, которая ранее (стр. 132–142) признана, как лучший вариант;

№ 3 — удлинитель сошника ($S = 220$ мм), у которого загортачи располагались симметрично;

№ 4 — удлинитель сошника ($S = 220$ мм) с асимметрично расположенными загортачами.

Методика экспериментов предполагала рабочие проходы агрегата на подготовленном под посев ровном горизонтальном участке поля. Глубина посева составляла 60 мм, а внесения РЖ — 40 мм. Измерения проводили в течение 12 с рабочего хода, после выхода агрегата на устоявшийся режим.

Динамику сошников оценивали по двум показателям: первый — среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\lambda z}$ (град.) угла поворота λ_z (град.) сошника в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси Oz ; второй — среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\Delta h}$ (мм) разницы ($\Delta h = h - \bar{h}$) между текущей глубиной h (мм) хода сошника и ее средним значением \bar{h} (мм) на мерном участке. Количество повторностей опытов — четырехкратное.

На рис. 4.19 показаны сравнительные результаты по четырем повторностям экспериментов.

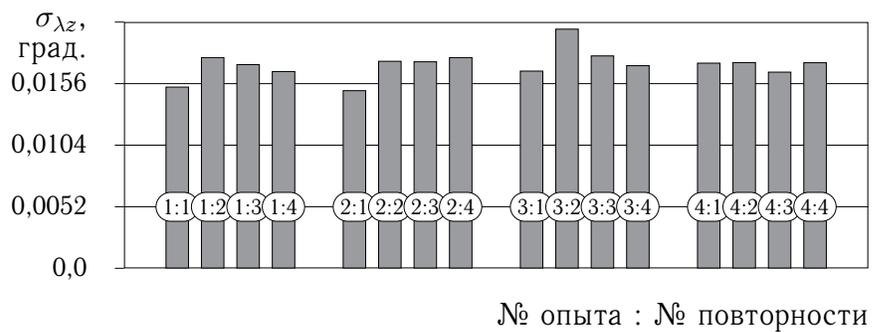
В табл. 4.12 приведен цифровой материал, иллюстрирующий показатели стабильности рабочего хода сошников сравниваемых конструкций согласно экспериментам № 1–4.

Таблица 4.12

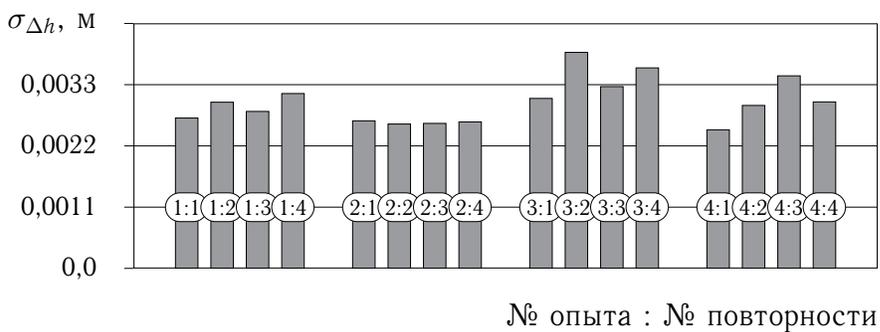
Показатели стабильности рабочего хода сошников согласно
экспериментам № 1–4

Наименования параметров	Обозначения	Единицы измерения	Варианты опыта			
			1	2	3	4
1 Среднеквадратическое отклонение угла λ_z	$\sigma_{\lambda z}$	град.	0,0153	0,0150	0,0167	0,0174
			0,0178	0,0175	0,0202	0,0174
			0,0172	0,0175	0,0180	0,0166
			0,0166	0,0178	0,0171	0,0174
	Среднее значение:	$\bar{\sigma}_{\lambda z}$	град. %	0,0168 100,00	0,0170 101,19	0,0180 107,14
2 Среднеквадратическое отклонение Δh глубины хода h	$\sigma_{\Delta h}$	мм	0,0027	0,0027	0,0031	0,0025
			0,0030	0,0026	0,0039	0,0029
			0,0028	0,0026	0,0033	0,0035
			0,0031	0,0026	0,0036	0,0030
	Среднее значение:	$\bar{\sigma}_{\Delta h}$	мм %	0,0029 100,00	0,0026 89,66	0,0035 120,69

Из анализа гистограмм рис. 4.19А и цифрового материала табл. 4.12 видно, что горизонтальные крутильные колебания сошников во всех случаях отличались не принципиально. Самое большое значение среднеквадратического отклонения $\sigma_{\lambda z} = 0,0202$ град. относится к второй повторности



А



В

Рис. 4.19. Сравнение показателей стабильности рабочего хода сошников согласно экспериментам № 1 – 4: А) среднеквадратическое отклонение σ_{λ_z} горизонтального угла поворота сошника относительно вертикальной оси Oz ; В) среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\Delta h}$ глубины хода сошника от среднего значения

опыта согласно варианту № 3 (симметричные загортачи). Но, тем не менее, в целом по всем повторностям опыта № 3 среднее значение $\bar{\sigma}_{\lambda z}$ среднеквадратического отклонения отличалось от контроля на 7,14%.

Стабильность хода сошников по глубине (рис. 4.19В, табл. 4.12) в зависимости от номера опыта различалась в существенно большей степени. Тем не менее, самый худший вариант, остался тем же (опыт № 3). Примечательно, что если загортачи отсутствуют (опыт № 2), то стабильность хода улучшается. Для опыта № 3 среднее значение $\bar{\sigma}_{\Delta h}$ среднеквадратического отклонения $\sigma_{\Delta h}$ составило 120,69%, а для опыта № 2 — 89,66%. Четвертый вариант опыта отличается от контроля не принципиально. Для него среднее значение $\bar{\sigma}_{\Delta h}$ составило 3,45%.

Таки образом можно сделать вывод, что вариант конструкции удлинителя сошника с шириной захвата $S = 220$ мм и асимметричными загортачами имеет показатели стабильности рабочего хода, сравнимые с контролем, согласно которому сошник имеет заводскую конструкцию.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. Изменение знака корреляции между горизонтальным отклонением семян от линии рядка и глубиной их заделки указывает на проявление двух механизмов. Отрицательная корреляция поясняется подруливанием агрегата и сопутствующим частичным выглублением сошников. Положительная корреляция указывает на периодические заглубления сошника ниже уровня глубины предпосевной культивации, что приводит к интенсификации его боковых колебаний вследствие взаимодействия с необработанными слоями почвы более высокой плотности.

2. Разработанный алгоритм моделирования корреляционных связей предполагает генерирование двух независимых множеств и последующие псевдослучайные перестановки элементов одного из множеств до тех пор, пока будет достигнуто требуемое значение коэффициента корреляции. Перестановки, которые не приводят к приближению к заданному значению коэффициента корреляции, отменяются. В основе предлагаемого алгоритма лежит метод псевдо-случайного моделирования Монте-Карло.

3. Предлагаемая методика оценки параметров распределения растений в рядке пропашных культур позволяет получить высокую точность оценок параметров распределения интервалов между растениями и несколько меньшую точность при оценке отклонения растений от оси рядка. Во втором случае основную долю погрешности составляет смещение, которое можно компенсировать, применив полученные в работе математические выражения и коэффициенты к ним. Если эксперимент предполагает контрольный опыт, а так бывает в подавляющем большинстве случаев, то компенсацию смещения оценок среднеквадратического отклонения растений относительно оси рядка можно не выполнять. Это несколько упростит математическую обработку экспериментальных данных.

4. Сравнительные испытания разработанных комбинированных сошников, предназначенных для послепосевного ленточного ВВГ одновременно с посевом, оснащенных стрельчатými удлинителями, имеющими раз-

личные схемы установки загорточей, исходя из анализа параметров распределения семян вдоль линии рядка показали, что наиболее предпочтительной является конструкция удлинителя с асимметричным расположением загорточей. Ширина захвата удлинителя — 290 мм. Глубина погружения загорточей или их выход вниз за пределы плоскости резания лезвий удлинителя — 5 мм. Угол раствора загорточей — 30 град.. Длина загорточей — 35 мм. Продольное смещение правого загорточа по отношению к левому — 17 мм. Поперечное расстояние между загорточами — 20 мм.

5. Сравнительные испытания комбинированных сошников, оборудованных удлинителями с различной шириной захвата, показали, что по параметрам распределения семян в рядке комбинированный сошник оборудованный удлинителем с шириной захвата 220 мм превосходит контроль — серийный сошник. Так, среднеквадратическое значение для горизонтальных отклонений семян от линии рядка составило 5,28 мм или 97,60% по отношению к контролю. Среднеквадратическое отклонение глубины заделки семян составило 4,58 мм или 93,09% по отношению к контролю.

6. Метод ПП не требует равномерного распределения аппроксимируемых данных вдоль шкалы аргумента и, следовательно, применим, например, для восстановления линии рядка по координатам взошедших растений. Главным недостатком метода ПП является его ресурсоемкость и в сравнении с применением ППФ по затратам времени хуже в десятки раз. Кроме того, получаемый методом ПП амплитудно-частотный спектр может меняться в зависимости от особенностей реализации метода, а в случае применения ППФ получаемый амплитудно-частотный спектр остается неизменным.

7. Поскольку предлагаемый метод ПП пригоден для восстановления фактической линии рядка посева, то в будущем может найти применение в алгоритмах работы автоматов вождения уборочных машин.

8. Наличие стрельчатого удлинителя сошника предлагаемой конструкции с шириной захвата 220 мм способствует стабилизации глубины хода

сошника. В таком случае среднее значение среднеквадратического отклонения глубины хода сошника составляет 89,66% от показателя заводского серийного сошника.

9. Асимметричные загортачи нивелируют стабилизационный эффект стрельчатых удлинителей с шириной захвата 220 мм, но функционально необходимы и в целом (в среднем за 4-ре повторности опыта) увеличивают горизонтальные крутильные колебания сошников на 2,38%, а вертикальные отклонения по глубине хода на 3,45%.

10. Послепосевное ленточное ВВГ одновременно с посевом путем использования предлагаемой конструкции комбинированного сошника позволяет уменьшить норму расхода препарата более чем в 3 раза при одновременном увеличении эффективности гербицидного действия на 30–50%.

РАЗДЕЛ 5
ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОСЕВА ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР
И ЛЕНТОЧНОГО ВНУТРИПОЧВЕННОГО ПОСЛЕПОСЕВНОГО
ВНЕСЕНИЯ ГЕРБИЦИДОВ

5.1. Сравнительная оценка разработанных вариантов сошников
по эффективности гербицидного действия

Предварительную (без учета возможных вариантов конструкции удлинителя сошника) оценку эффективности предлагаемой технологии послепосевного ленточного ВВГ осуществляемого с помощью предлагаемых комбинированных сошников с шириной захвата удлинителей $S = 220$ мм и асимметричными загортачами проводили на посевах кукурузы [6].

При этом для борьбы с двудольными и злаковыми сорняками использовали почвенный препарат системного действия Харнес 90 к.е.. Для контроля препарат вносили сплошную под предпосевную культивацию на глубину 7 см в норме 2 л/га. При ленточном внесении с учетом ширины обрабатываемых полос 18 см и междурядий — 70 см норма внесения составила 0,6 л/га. При этом глубина внесения препарата была меньше глубины заделки семян на 7 см и составила 5 см.

При оценке гербицидной активности препарата учет вели только по тем сорнякам, которые попадают в спектр его действия и только вдоль защитных полос шириною 18 см (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Засеренность посевов кукурузы (количество сорняков на единице площади, в шт./м²) в зависимости от технологии внесения гербицидов

Технология внесения	Через две недели после внесения	Перед уборкой урожая
Контроль	92	137
Ленточное внесение	64	66

Повышение эффективности гербицидного действия Харнеса при внесении его ленточным внутрпочвенным способом в сравнении со сплошным его внесением под предпосевную культивацию в начале вегетации составило 30,4%, а на момент уборки достигло 51,8%. Это объясняется двумя факторами: во-первых, в случае ВВ весь препарат попадает в область достаточного увлажнения; во-вторых, при допосевном внесении под предпосевную культивацию, препарат распределяется в толщине слоя до глубины предпосевной культивации (посева), т.е. глубже, чем это необходимо.

Заключительные эксперименты по сравнению разработанных вариантов конструкции комбинированных сошников по эффективности гербицидного действия базировалась на методике предварительных экспериментов. Как и в предыдущем случае, для борьбы с двудольными и злаковыми сорняками на посевах кукурузы использовали почвенный препарат Харнес 90. Учет засоренности проводили один раз, через месяц после посева. При этом оценивали количество сорняков, которые попадают в спектр действия вносимого препарата и только вдоль защитных полос шириною 18 см. Программа экспериментов включала три опыта в четырех повторностях.

Контроль (Опыт № 1). Гербицид вносили сплошную под предпосевную культивацию на глубину 7 см в норме 2 л/га.

Опыт № 2. Гербицид вносили ленточным способом совместно с посевом путем применения комбинированных сошников с удлинителями предлагаемой конструкции *без загортачей* и с шириной захвата 220 мм. С учетом ширины междурядий и обрабатываемых полос, соответственно, 70 и 18 см, норма внесения препарата составила 0,6 л/га. Высев семян кукурузы осуществляли на глубину 7 см. При этом глубина заделки гербицида была на 2 см меньше и равнялась 5 см.

Опыт № 3 повторял предыдущий, только на сошниках использовали *удлинители с асимметричным расположением загортачей*.

На рис. 5.1 в табл. 5.2 представлены результаты сравнения эффективности гербицидного действия Харнеса в отношении двудольных и злаковых

сорняков на посевах кукурузы в зависимости от варианта технологии внесения и повторности опыта.

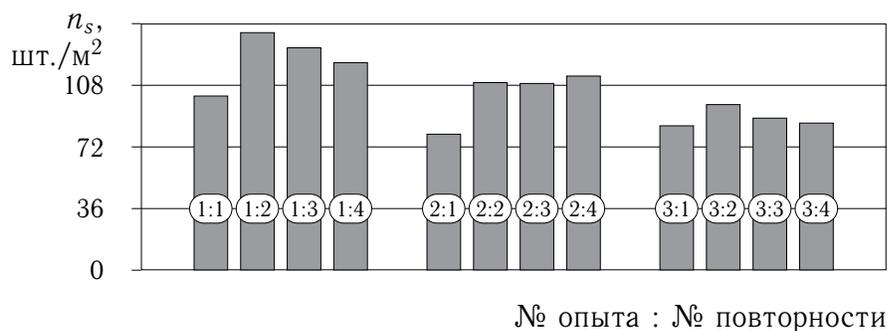


Рис. 5.1. Засоренность посевов кукурузы (количество сорняков на единице площади n_s , в шт./м²) в зависимости от технологии внесения гербицидов согласно опытам № 1 – 3

Как видим, наилучшим вариантом внесения гербицида является ленточное ВВ с применением комбинированных сошников, на которых установлены стрелчатые удлинители с ассиметричными загортачами (опыт № 3). В этом случае по отношению к контролю абсолютно во всех экспериментах наблюдалось снижение засоренности посевов на 18–42 шт./м² или 17,65–31,53%. Во втором опыте результат также положительный (снижение засоренности составило 7–29 шт./м² или 5,79–21,57%), но ожидаемо несколько хуже, чем в опыте № 3.

Если сравнивать средние показатели по каждому опыту по отношению к контролю, то в опыте № 2 снижение засоренности составило 20 шт./м² или 16,28%, а в опыте № 3 — 34 шт./м² или 27,59%.

В первой повторности опыт № 2 дал лучший результат, чем опыт № 3.

В целом, сравнение опытов № 2 и № 3 с контролем дают основания утверждать, что оба эти варианта могут применяться на практике. Снижение засоренности посевов согласно варианту № 3 над вариантом № 2 в среднем составляет 14 шт./м² или 11,31% и поясняется более равномерным распределением препарата в пределах обрабатываемой полосы и оптимальной глубины заделки.

Таблица 5.2

Засоренность посевов кукурузы в зависимости от технологии внесения гербицидов, согласно экспериментам № 1–3

Наименование параметров	Единицы измерения	Варианты опыта		
		1	2	3
1 Количество сорняков на единице площади	шт./м ²	102	80	84
		139	110	97
		130	109	89
		121	114	86
2 Среднее значение:	шт./м ² %	123	103	89
		100	83,72	72,41

Снижение засоренности посевов, безусловно, положительно скажется на урожайности возделываемых культур, но в текущей работе агрономическая составляющая полевых исследований не распространялась на оценку урожайности и качества получаемой продукции.

5.2. Экономическая эффективность предлагаемой технологии и технических средств для ленточного внутрипочвенного внесения гербицидов одновременно с посевом кукурузы на зерно

Оценку экономической эффективности предлагаемой технологии послепосевного ленточного ВВГ одновременно с посевом путем использования предлагаемой конструкции комбинированного сошника выполняем в полном соответствии с работой [8]. Расчет выполняем на примере применения гербицида Примэкстра TZ Голд.

В базовом варианте технологии гербицид Примэкстра TZ Голд предполагается вносить до посева сплошную с нормой 4,5 л/га, а в предлагаемом варианте — ленточным способом с нормой 1,2 л/га (табл. 5.3)

Различия базовой и предлагаемой технологий возделывания кукурузы на зерно отражает табл. 5.4. В ней показаны только несовпадающие опера-

Таблица 5.3

Некоторые данные по расходу Примэкстра TZ Голд
и денежных средств на его приобретение

Норма внесения препарата по вариантах, л/га		Стоимость		
		одного литра препарата, грн/л	препарата, расходуемого на 1 га посевов по вариантах, в грн/га	
Базовый	Предлагаемый			Базовый
4,5	1,2	166,00	747,00	199,20

ции. Таким образом, экономическая эффективность предлагаемой технологии возделывания кукурузы составляет собой разницу в стоимости проведения операций из табл. 5.4.

Таблица 5.4

Наименование операций и состав МТА, являющих собою отличия
сравниваемых технологий возделывания кукурузы

Наименование операции	Состав МТА			
	Марка		Дополнительное оборудование	
	трактора	с.х. машины	наименование	шт.
Базовый вариант:				
1) Внесение гербицидов	МТЗ-80	ОПНШ-800-14		
2) Посев	МТЗ-80	СУПН-6А		
Предлагаемый вариант:				
1) Посев с внесением гербицидов	МТЗ-80	СУПН-6А ОПНШ-800-14	а) РО для внесения гербицидов; б) легкой автомобильный прицеп; в) гидропривод опрыскивателя	6 1 1
2) Междурядная обработка	МТЗ-80	КРН-4,2		

Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии возделывания кукурузы на зерно на площади 1000 га при приведенных затратах в расчете на 1 га посевов для базового варианта 1169,63 грн/га и для предлагаемого варианта 1024,11 грн/га составит 145,52 тыс. грн.

В расчете на 1 га экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии составляет 145,52 грн. Разница удельных капиталовложений составляет 213,67 грн/га, а срок окупаемости — 1,47 года.

Ленточное ВВГ одновременно с посевом путем использования предлагаемой конструкции комбинированного сошника позволяет уменьшить норму расхода препарата более чем в 3 раза при одновременном увеличении эффективности гербицидного действия на 30–50%.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. В результате применения технологии послепосевного ленточного ВВГ путем применения предлагаемых комбинированных сошников, дооборудованных стрельчатыми удлинителями шириной захвата 220 мм с асимметричными загортачами, позволяет ожидать снижение засоренности посевов пропашных культур, в частности, кукурузы на 27,59%.

2. Конструкция стрельчатых удлинителей сошников, которые не оборудованы загортачами вовсе, несколько хуже своих аналогов, оборудованных асимметричными загортачами, но, тем не менее, в случае применения для ленточного послепосевного ВВГ на посевах кукурузы или других пропашных культур позволяют ожидать снижения засоренности посевов на 16,28%.

3. Ленточное ВВГ одновременно с посевом путем использования комбинированного сошника предлагаемой конструкции позволяет уменьшить норму расхода препарата более чем в 3 раза. Это обстоятельство является значительным вкладом в повышение экологичности предлагаемых технологий химической защиты растений.

4. Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии возделывания кукурузы на зерно на площади 1 тыс. га, в случае использования гербицида Примэкстра TZ Голд составляет 145,52 тыс. грн.

5. Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, необходимых для реализации предлагаемой технологии послепосевного ленточного ВВГ при возделывании кукурузы на зерно, составляет 1,47 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации приведено теоретическое обобщение и новое решение научной задачи, состоящей в обосновании параметров комбинированного процесса высева семян пропашных культур и и послепосевного ленточного ВВГ как вероятностного процесса, учитывающего вероятность появления пропусков, двойников, наличие корреляции между глубиной заделки семян и их боковыми отклонениями, а также случайный характер отклонений растений от меток идеального положения в трехмерном пространстве. Движение сошника рассматривается, как сопровождаемый колебаниями процесс, представляемый в виде суммы гармоник, параметры которых предлагается определять, используя методы парциальных ускорений и ППФ. Это позволило создать новый комбинированный сошник для посева пропашных культур и одновременного послепосевного ленточного ВВГ, которые минимизирует расход химикатов с одновременным улучшением экологичности и эргономичности.

Основным итогом есть следующее:

1. Проведенным изучением и обобщением известных исследований по применению жидких средств химизации в растениеводстве установлено: в ближайшей перспективе получит развитие система полосовой обработки почвы, для которой ленточные технологии применения гербицидов являются наиболее подходящими; ленточное ВВГ следует рассматривать как экологически щадящий прием; применительно к посевам пропашных культур оптимальная глубина заделки почвенных гербицидов (до 6 см) в большинстве случаев меньше оптимальной глубины заделки семян культурных растений (до 4–10 см); ленточное ВВГ, выполняемое одновременно с посевом путем использования комбинированных агрегатов, имеет перспективы широкого внедрения только в том случае, когда само по себе внесение гербицидов не будет замедлять основной процесс — посев; комбинирование в одну посевную секцию сошников и РО для ленточного ВВГ может привести к нарушению динамики сошников и, как следствие, к нарушению

равномерности распределения семян вдоль линии рядка, по ширине ленты рассева и по глубине; в процессе теоретических и практических исследований задач динамики сошниковой группы следует применить представление о движении сошника, как о колебательном процессе в виде конечной или бесконечной суммы гармоник.

2. Для оценки параметров качества посева, как основного ТП, а также с целью создания основы для теоретических и практических оценок степени влияния стрелчатого удлинителя сошника, предназначенного для послепосевного ленточного ВВГ, на перераспределение ранее высеянных семян и, в конечном итоге, для оценки КРБП, который может быть получен путем применения предлагаемых инженерно-технологических решений, разработана трехмерная вероятностная ММП, которая учитывает вероятностный характер высева семян, появление двойников, реальную всхожесть семян, девиации семян относительно МИВ, наличие корреляции между глубиной заделки семян и поперечным отклонением от линии рядка и зависимость урожайности от глубины заделки семян. Для повышения КРБП посева решающее значение имеет амплитуда и количество гармоник вертикальных колебаний сошника и вовсе не имеет значения длина волны этих гармоник. Проверку количественных показателей адекватности ММП проводили с применением разработанной физической модели посева, для которой все параметры известны изначально.

3. Для сравнительной оценки интенсивности колебаний, которые сопровождают рабочий ход разработанных вариантов конструкции комбинированного сошника, использованы методы парциальных ускорений и ППФ, которые в конечном итоге дали возможность получить проекции линии рядка на продольно-вертикальную и продольно-горизонтальную плоскости. Для этого разработаны дифференциальный и интегративный методы восстановления линии рядка по результатам измерения трехмерных составляющих угловых скоростей и ускорений сошника, а также метод восстановления линия рядка по координатам взошедших растений методом

последовательного приближения.

4. Для реализации технологии комбинированного выполнения посева пропашных культур совместно с послепосевным ленточным ВВГ разработан стрельчатый удлинитель полоза сошника. Распылитель гербицидов установлен в кинематической тени самого полоза сошника и его стрельчатого удлинителя. Ориентирован распылитель, главным образом, назад и, в меньшей степени на, плоскость резания лезвий стрельчатого удлинителя. Обоснованные конструктивно-технологические параметры разработанного удлинителя сошника следующие: ширина захвата удлинителя — 220 мм; угол раствора стрельчатых лезвий — 65° ; угол крошения лезвий — 20° ; максимальная высота лезвий — 20 мм; угол раствора загортачей — 30° ; смещение заднего загортача относительно переднего — 17 мм; угол наклона распылителя — 8° ; высота установки распылителя — 15 мм; угол раствора факела распыла — 90° ; рабочее давление — 1–4 бар; расход РЖ — 0,23–45 л/мин.; ширина полосы внесения РЖ — 180 мм.

5. Наличие стрельчатого удлинителя сошника предлагаемой конструкции с шириной захвата 220 мм способствует стабилизации глубины хода сошника. В таком случае среднее значение среднеквадратического отклонения глубины хода сошника составляет 89,66% от показателя заводского серийного сошника. Асимметричные загортачи нивелируют стабилизационный эффект стрельчатых удлинителей, но функционально необходимы, и в целом (в среднем за 4-ре повторности опыта) увеличивают горизонтальные крутильные колебания сошников на 2,38%, а вертикальные отклонения по глубине хода на 3,45%.

6. С учетом достигнутого минимального погектарного расхода РЖ 23 л/га, для реализации возможности работы комбинированного агрегата на одной заправке РЖ в течение рабочего дня эффективны две компоновочные схемы комбинированного агрегата: первая — на основе трактора интегральной компоновки, когда емкость для РЖ располагается на передней навесной системе, а сеялка с комбинированными сошниками — на задней;

вторая — на основе трактора классической компоновки, когда технологическая емкость для РЖ располагается на сагрегатированном с сеялкой и расположенным сзади нее легковом прицепе.

7. В результате применения технологии послепосевного ленточного ВВГ путем применения разработанных комбинированных сошников получено снижение засоренности посевов кукурузы на 27,59%. Конструкция стрельчатых удлинителей сошников, которые не оборудованы загортачами вовсе, несколько хуже своих аналогов, оборудованных асимметричными загортачами, но, тем не менее, в случае применения на посевах кукурузы или других пропашных культур позволяют ожидать снижения засоренности посевов на 16,28%. Применение разработанной технологии и ТС позволяет уменьшить расход вносимых гербицидов более чем в 3 раза. В случае использования гербицида Примэкстра TZ Голд годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии возделывания кукурузы на зерно на площади 1 тыс. га составляет 145,52 тыс. грн, а срок окупаемости дополнительных капиталовложений — 1,47 года. Годовой экономический эффект от внедрения разработанных ТС в серийное производство в ПАО “Галещина, машзавод” (пгт. Новая Галещина, Козельщинский р-н, Полтавской обл.) составляет 162,3 тыс. грн., а в ПАО “Червона зирка” (ул. Медведова, 1, г. Кировоград, Украина) — 194,8 тыс. грн.

Список литературы

1. Макеев Н. З. Агрегат для внутрпочвенного внесения гербицидов / Н. З. Макеев, В. И. Мельник // Кукуруза и сорго. — 1989. — № 3. — С. 36–40.
2. Дятчин Н.И. Периодизация истории развития техники [Текст] / Н.И. Дятчин // Известия Алтайского государственного университета. — 2010. — № 4/2. — С. 75–80.
3. Барнье М. В 2050 году спрос на продовольствие вырастет вдвое. Его не сможет удовлетворить ни одна страна в одиночку [Текст] / Интервью с Министром с.-х. Франции господином Мишелем Барнье // Зерно. — 2008. — № 1. — С. 8–17.
4. Погорілий Л.В. Шляхи стабілізації та відтворення потенціалу агроєкосистем [Текст] / Л.В. Погорілий, В.С. Таргоня // Вісті академії аграрних наук України. — 2003. — № 2(19). — С. 15–20.
5. Сайко В.Ф. Актуальні проблеми землеробства: простих шляхів мінімалізації обробітку ґрунту не буває [Текст] / В.Ф. Сайко // Техніка АПК.— 2008. — № 1. — С. 8–14.
6. Мельник В. И. Ленточное внесение почвенных гербицидов в контексте эволюционирующего земледелия / В. И. Мельник, Аль-Фтиххат Муосаб Абдалвахид Мохаммед // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture, — Lublin, Poland, 2014. — Tom 16, No 7. — С. 117–124.
7. Мельник В. И. Экология, эргономика и внутрпочвенное внесение гербицидов [Текст] / В. И. Мельник // Кукуруза и сорго. — 1994. — № 2. — С. 5–7.
8. Мельник В. И. Внутрпочвенное внесение жидкостей в растениеводстве: [монография] / В. И. Мельник. — Харьков: “Міськдрук”, 2010. — 439 с.

9. Системы земледелия / А.Ф.Сафонов, А.М.Гатаулин, И.Г.Платонов и др.; Под ред. А.Ф.Сафонова. — М.: КолосС, 2009. — 447 с.
10. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука [Текст] / Г.С. Альтшуллер. — [2-е изд., дополн.]. — Петрозаводск: Скандинавия, 2004. — 208 с.
11. Шпаковский Н. Эволюция технологий обработки почвы: историческая модель [Текст] / Николай Шпаковский // ТРИЗ-профи: Эффективные решения. — 2007. — № 2. — С. 62–65.
12. Vilde A. Up-to-date trends in soil tillage engineering [Text] / Arvids Vilde // TeKa Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa O.L. PAN. — Lublin, Poland, — 2003. — Vol. III. — P. 257–262.
13. Vilde A. Minimisation of soil tillage [Text] / A. Vilde, S. Cesnieks, A. Rucins // TeKa Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa O.L. PAN. — Lublin, Poland, — 2004. — Vol. IV. — P. 237–242.
14. Vilde A. Energetic estimation of soil tillage machines [Text] / A. Vilde, W. Tanas // TeKa Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa O.L. PAN. — Lublin, Poland, — 2006. — Vol. 6. — P. 160–168.
15. Braun M. Strip Till z siewem i nawożeniem [Tekst] / M. Braun // Agromechanika: Technika w Gospodarstwie. — 2011. — Nr. 1. — S. 22–23.
16. Celik A. Strip tillage width effects on sunflower seed emergence and yield [Text] / Ahmet Celik, Sefa Altikat, Thomas R. Way // Soil and Tillage Research. — 2013. — Vol/ 131. — P. 20–27.
17. Гулов В.А. Технология полосного земледелия Strip-Till [Текст] / В.А. Гулов // Ваш сельский консультант. — 2011. — № 3. — С. 36–38.
18. Постанова Кабінету Міністрів України від 11.02.2010 № 164 Про затвердження нормативів оптимального співвідношення культур у сівозмінах в різних природно-сільськогосподарських регіонах // Офіційний вісник України. — 2010. — № 13. — С. 613.

19. Гребенников А.М. Оценка взаимовлияния культур в смешанных посевах [Текст] / Гребенников А.М. // Агрохимия. — 2003. — № 1. — С. 68–73.
20. Кашеваров Н.И. Продуктивность совместных посевов кукурузы с соей [Текст] / Кашеваров Н.И. // Кукуруза и сорго. — 2001. — № 2. — С. 9–11.
21. Шувар І. Як часто ми забуваємо, що родючість ґрунту відновлюється вкрай повільно, а виснажується — досить швидко [Текст] / Іван Шувар // Зерно і хліб. — 2013. — № 4. — С. 27–29.
22. Paulsen H.M. Mixed cropping systems for biological control of weeds and pests in organic oilseed crops [Text / H.M. Paulsen, M. Schochow, B. Ulber, S. Kuhne, G. Rahmann // Aspects of Applied Biology. — 2006. — Vol. 79. — P. 215–220.
23. Malezieux E. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review [Text] / E. Malezieux, Y. Crozat, C. Dupraz, M. Laurans, D. Makowski, H. Ozier-Lafontaine, B. Rapidel, S. de Tourdonnet, M. Valantin-Morison // Agronomy for Sustainable Development. — 2009. — Vol. 29, Is. 1. — P. 43–62.
24. Molla A. Competition and Resource Utilization in Mixed Cropping of Barley and Durum Wheat under Different Moisture Stress Levels [Text] / Adamu Molla, R.K. Sharaiha // World Journal of Agricultural Sciences. — 2010. — Vol. 6(6). — P. 713–719.
25. Ashfaq M. Impact of climate change on wheat productivity in mixed cropping system of Punjab [Text] / Muhammad Ashfaq, Farhad Zulfiqar, Irsa Sarwar, M. Abdul Quddus, Irfan Ahmad Baig // Soil and Environment. — 2011. — Vol. 30(2). — P. 110–114.
26. Безгодова И. Л. Влияние минеральных удобрений на продуктивность гороха полевого усатого морфотипа в чистых и смешанных посевах /

- И. Л. Безгодова, Н. Ю. Коновалова, Е. Н. Прядыльщикова // Достижения науки и техники АПК. — 2013. — № 6. — С. 21–22.
27. Talgre L. Green manure as a nutrient source for succeeding crops [Text] / L. Talgre, E. Lauringson, H. Roostalu, A. Astover, A. Makke // Plant, Soil and Environment. — 2012. — № 6(58). — С. 275–281.
28. Nitisha S. Biomass productivity of Green Manure crop *Sesbania cannabina* Poir (Dhaincha) in different Planting Density Stress [Text] / Srivastava Nitisha, Kumar Girjesh // International Research Journal of Biological Sciences. — 2013. — № 2(9). — С. 48,–53.
29. Ratushna N. Methodical approaches to creation of new agricultural machinery according to requirements of market of high technology production [Text] / N. Ratushna, җ. Mahmudov, A. Kokhno // Motrol: Motorization and power industry in agriculture. — Lublin, Poland, — 2007. — Vol. 9A. — P. 119–123.
30. Мельник В. И. Внутрипочвенное внесение / В. И. Мельник // Кукуруза и сорго. — 1991. — № 2. — С. 39–43.
31. Мельник В. И. Ленточное внесение / В. И. Мельник // Кукуруза и сорго. — 1995. — № 2. — С. 12–14.
32. Гегель Г.В.Ф. Наука логики [Текст] / Г.В.Ф. Гегель. — СПб.: Наука, — 1997. — 800 с.
33. Барановський О. С. Якою технікою доцільно вносити пестициди / О. С. Барановський // Пропозиція — 2001. — № 2. — С. 64–65.
34. Марченко В. Локальне внесення пестицидів і добрив / В. Марченко, В. Сінько // Agroexpert. — 2009. — № 5. — С. 23–25.
35. Ярошко М. Особливості стрічкового внесення пестицидів / М. Ярошко // Agroexpert. — 2010. — № 4. — С. 92–93.

36. Дубровун В. О. Техніко-економічне обґрунтування використання комбінуваних агрегатів / В. О. Дубровун, В. Г. Мироненко, М. В. Іванюта. // Науковий вісник НУБґП України. — 2010. — Вип. 144, Ч. 4. — С. 378–382. - С .378-382
37. Ратушний В. В. Дослідження процесу осідання краплин робочої рідини при стрічковому внесенні пестицидів [Текст] / В. В. Ратушний // Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвідомчий тематичний науковий збірник ННЦ «ІМЕСГ» УААН. — Глеваха, 2000. — Вип. 83. — С. 44–48.
38. Войтюк Д. Г. Розвиток технологій та технічних засобів для захисту рослин / Д. Г. Войтюк, О. С. Барановський, В. Б. Онищенко, Б. В. Онищенко // Науковий вісник Національного аграрного університету. — К.: НАУ, 2007. — Вип. 115. — С. 95–99.
39. Мельник В. И. Некоторые результаты применения опытных технических средств для ленточного предпосевного внесения гербицидов / В. И. Мельник, Н. Ч. Куринный // Механизация работ в полеводстве: Сб. научн. тр. / Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства. — М.: МИИСП, 1986. — С. 37–40.
40. Мельник В. И. Распределение жидкостей под слоем почвы: [монография] / В. И. Мельник. — Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. — 441 с.
41. Пат. 88837 України на корисну модель, МПК: А01С 7/18 (2006.01). Комбінований агрегат для сівби і смугового внесення гербицидів / Винахідники: Шабала М. О., Надикто В. Т., Чорна Т. С., Ігнат'єв Є. І.; Власник: Таврійський державний агротехнологічний університет (UA). — № u201307334; заявл. 10.06.2013; опубл. 26.07.2010. Бюл. № 7/2014

42. Давлетшин М. М. Технология послойной заделки семян и гербицидов в почву [Текст] / М. М. Давлетшин // Тракторы и с.-х.машины. — 2005. — № 6. — С. 22–23.
43. Пат. 51619 України на корисну модель, МПК: А01С 7/18 (2006.01). Пристрій для стрічкового внесення гербіцидів / Винахідники: Шабала М. О., Чорна Т. С., Чорний С. В.; Власник: Таврійський державний агротехнологічний університет (UA). — № u201000353; заявл. 15.01.2010; опубл. 26.07.2010. Бюл. № 14
44. Ивженко С. А. Параметры процесса внутрипочвенного внесения раствора гербицидов [Текст] / С. А. Ивженко [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2008. — № 11. — С. 13–14 .
45. Шпаар Д. Яровые масличные культуры [Текст]: монография / Д. Шпаар, Л. Адам, Х. Гинапп и др; ред. В. А. Щербаков. — Минск: ФУаинформ, 1999. — 284 с.
46. Шабала Н. А. Внутрипочвенным способом / Н. А. Шабала, В. И. Кисничан и др. // Кукуруза и сорго. — 1989. — № 2. — С. 28–32.
47. Пат. 016599 Евразийское патентное ведомство, Int. Cl.: А01С 7/00 (2006.01), А01С 5/06 (2006.01), А01В 49/06 (2006.01). Способ предпосевной обработки почвы и посева и устройство для его осуществления / Сесякин В. И.; патентообладатель Сесякин В. И. (MD). — № 201001409; заявл. 2010.09.30; опубл. 2012.06.29.
48. Сесякин В. И.; Приемы и средства повышения полевой всхожести семян [Текст] / В. И. Сесякин // Сахарная свекла. — 2012. — № 1. — С. 28–31.
49. Шпедт А. А. Рациональное землепользование (агроэкологический аспект): учебное пособие / А. А. Шпедт, Л. Р. Мукина. — Красноярск: Издательство КрасГАУ, 2012. — 245 с

50. Ивженко С. А. Распределение гербицидов по площади и глубине внесения / С. А. Ивженко, Т. С. Байбулатов, М. Г. Абдулнатилов // Проблемы развития АПК региона. — Махачкала, 2011. — № (11). — 78–83.
51. Байбулатов Т. С. Комбинированный агрегат для внутрпочвенного внесения гербицидов совместно с посевом кукурузы / Т.С. Байбулатов // Достижения науки и техники АПК. — 2011. — № 2. — С. 70–72.
52. Marie-Claude Tessier. Banded herbicide application: Implementation Benefits Conditions for Success / Marie-Claude Tessier, Gilles D. Leroux. — Québec: Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2010. — 16 p. ISBN 978-2-550-58250-2.
53. Байбулатов Т. С. Определение зоны воздействия гербицидов при подпочвенном их внесении / С. А. Ивженко, Т. С. Байбулатов, А. В. Перетятыко // Вестник Саратовского ГАУ им. Н. И. Вавилова. — 2010. — № 8. — С. 38–39.
54. Байбулатов Т. С. Комбинированный агрегат для внутрпочвенного внесения гербицидов совместно с посадкой картофеля / Т. С. Байбулатов, С. А. Ивженко, А. В. Перетятыко // Сельский механизатор. — 2010. — № 8. — С. 18–19.
55. Pat. 5139200 United States America, Int. Cl.⁵: B 05 B 1/28. Shield for agricultural sprayer / Inventors: Floyd D. Greimann (Sheffield, IA), Gordon L. Greimann (Sheffield, IA). Assignee: Floyd D. Greimann (Sheffield, IA), Gordon L. Greimann (Sheffield, IA). Appl. No.: 07/685,925; Filed: April 16, 1991; Patented: August 18, 1992.
56. Пат. 2019073 Российская Федерация, МПК⁵ А 01 В 79/02. Способ внесения пестицидов / Филиппов Г. А., Иншакова К. П., Зеленичкин В. Г.; патентообладатель Приднестровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (MD). — № 4781493/15; заявл. 09.01.1990; опубл. 15.09.1994.

57. Жукова П. С. Современное состояние и рациональное использование гербицидов в овощеводстве [Текст] / П. С. Жукова, О. И. Камзолова // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. — 2001. — № 1. — С. 38–41.
58. Мартин А. Контроль сорняков в Mini-Till и No-Till: зависимость от обработки почвы / А. Мартин, Р. Хайес, Г. Вике, Н. Косолап // Зерно. — 2010. — № 3. — С. 20–27.
59. John S. Clayton. The Varidome precision band sprayer for row crops / John S. Clayton // Aspects of Applied Biology. — 2014. — Vol. 112. — P. 55–62.
60. Чичкин В. П. Овощные сеялки и комбинированные агрегаты: теория, конструкция, расчет / В. П. Чичкин. — Кишинев: Штиинца, 1984. — 391 с.
61. Стрыгин С. П. Обоснование режимов и параметров использования комбинированных агрегатов при ленточном внесении гербицидов / С. П. Стрыгин Машинно-технологическая станция. — 2009. — № 2. — С. 11–12.
62. Бойкачев М. А. Технологические аспекты использования жидкостей в сельском хозяйстве и схемы их внесения / М. А. Бойкачев // Агробіологія. — 2013. — Вип. 10. — С. 180–186. — Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/agr_2013_10_45.pdf
63. Лысенко А. К. Ленточное внесение гербицидов выгодно [Текст] / А. К. Лысенко, В. Н. Вихрачев // Защита и карантин растений. — 2003. — № 2. — С. 29.
64. Вихрачев В. Н. Ленточное применение гербицидов [Текст] / В. Н. Вихрачев // Техника в сельском хозяйстве. — 2003. — № 5. — С. 32–33.
65. Маазов Ш. М. Анализ комбинированных агрегатов, применяемых для поверхностного внесения гербицидов / Т. С. Байбулатов, О. К. Муху-

- ев, М. Г. Магомедов, Ш. М. Маазов // Основные проблемы, тенденции и перспективы устойчивого развития сельскохозяйственного производства: сб. статей межд. науч.-практ. конф. — Махачкала, 2006. — С. 118–120.
66. Надыкто В. Т. Перспективное направление создания комбинированных и широкозахватных МТА [Текст] / В. Т. Надыкто // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2008. — № 3. — С. 26–30.
67. Савушкин С. Н. Устройства прямого инжектирования пестицидов в трубопровод опрыскивателя [Текст] / С. Н. Савушкин, В. А. Вялых, Н. А. Балакиров // Защита и карантин растений. — 2006. — № 6. — С. 42–45.
68. Giles D. K. Biological target sensing and sprayer control / D. K. Giles, D. C. Slaughter, S. K. Upadhyaya // Aspects of Applied Biology. — 2002. — Vol. 66. — P. 129–138.
69. Pat. 8195385 United States America, Int. Cl.: G01C 21/00 (20060101). Navigation control system / Inventors: Harrison Jr. John H. (Plano, TX), Harrison J. Howard (Mobridge, SD). Assignee: Harrison Jr. John H. (Plano, TX), Harrison J. Howard (Mobridge, SD). Appl. No.: 12/806,294; Filed: August 9, 2010; Patented: June 5, 2012.
70. Косик П. GPS-системы на обпрысках / Павло Косик // Farmer. — 2009. — № 7. — С. 60–61.
71. Agrawal K. N. Laser Sensor Based Tractor Mounted Herbicide Applicator / K. N. Agrawal, Karan Singh, P. S. Tiwari, M. P. Chandra // Proceedings of Agro-Informatics and Precision Agriculture. India. — 2012, India. — P. 183–185.
72. Авдеев Ю. В. Разработка алгоритма определения координат в задаче дистанционного управления движением машинно-тракторных агрегатов / Ю. В. Авдеев, А. Д. Кононов, А. А. Кононов // Механизация и

електрифікація сельскаго хазяйства: Межведомственыі тэматычны зборнік. Вып. 46 / Мінск: НПП НАН Беларусі па механізацыі сельскаго хазяйства, 2012. — С. 24–31.

73. Міроненка В. Г. Методы забеспячэння тачнасці управління мобільнымі сельскагаспадарскімі агрегатамі / В. Г. Міроненка, В. О. Дубровін, В. М. Полўцук // Наукowy вўснiк НУБўП Укра»ні. — 2010. — Вып. 144, Ч. 1. — С. 41–48.
74. Заїка П. М. Тэорыя сельскагаспадарскіх машынаў. Машыны для сївбы та садіння / Заїка П. М. — Харкїв: Око, 2002. — Т. 1, ч. 2. — 452 с.
75. Ларюшын Н. П. Посевныя машыны: тэорыя, канструкцыя, расчот / Н. П. Ларюшын, А. В. Мачнев, В. В. Шумаев, А. В. Шуков, Д. А. Почывалов — М.: Росінформ агротех, 2010. — 292 с.
76. Тищенко Л. Н. К ізотопным ісследованіям распроделенія хімпредпаратаў под слоєм почвы / Л. Н. Тищенко, В. И. Мельнік // Сучасні напрямкі тэхналогіі та механізацыі процесів переробніх і харчовых виробніцтв: Вісник Харкївського нацїонального тэхнічного універсітету сельскаго гаспадарства імені Петра Василенка (ХНТУСГ). — Харкїв: КП “Міська друкарня”, 2009. — Вып. 88. — С. 45–53.
77. Тищенко Л. Н. Методика выбора детектора, радіонукліда і расчот его начальной актывности для ізотопных ісследованій распроделенія хімпредпаратаў под слоєм почвы / Л. Н. Тищенко, В. И. Мельнік // Механізацыя сельскагаспадарскаго виробніцтва: Вісник Харкївського нацїонального тэхнічного універсітету сельскаго гаспадарства імені Петра Василенка. — Харкїв: Друкарня ФОП Червяк В. Є., 2010. — Вып. 93, Т. 2. — С. 5–17.
78. Тищенко Л. Н. Рэзултыаты ізотопных ісследованій процеса внутрїпочвеннаго вносенія гербіцыдаў / Л. Н. Тищенко, В. И. Мельнік // Рэсурсазберігаючы тэхналогіі, матэрыялы та абладнання у рэмонтному

виробництві: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. — Харків: Друкарня ФОП Воронюк В. В., 2010. — Вип. 96. — С. 113–124.

79. Ярчменко А. Ф. Исследование динамической точности хода сошников / А. Ф. Ярчменко // Труды УкрНИИСХОМ. Вып. 2. — Харьков: 1965. — С. 187–205.
80. Кошурников А. Ф. Основы научных исследований: учебное пособие [Текст] / А. Ф. Кошурников. — Пермь: ИПЦ кПрокростъ, 2014. — 317 с.
81. Лурье А. Б. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления [Текст] / А. Б. Лурье, И. С. Нагорский, В. Г. Озеров; ред. А. Б. Лурье. — Л.: Колос (Ленингр. отд-ние), 1979. — 312 с.
82. Эльсгольц Л. Э. Вариационное исчисление [Текст]: учебник для физич. и физико-математич. факультетов ун-тов / Л. Э. Эльсгольц. — [6-е изд.]. — М.: КомКнига, 2006. — 208 с.
83. Лурье А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов [Текст] — [изд. 2-е, перераб. и доп.]. / А. Б. Лурье. — М.: Колос, 1981. — 382 с.
84. Анилович В. Я. Основы статистической теории линейных колебаний скоростных машинно-тракторных агрегатов [Текст] / В. Я. Анилович // Труды ВИМ. — М.: НПО ВИМ, 1963. — Т. 37. — С. 83–75.
85. Анилович В. Я. Статистический метод расчета колебаний скоростных сельскохозяйственных агрегатов / В. Я. Анилович // Труды УкрНИИСХОМ. — Харьков: УкрНИИСХОМ, 1965. — Вып. 2. — С. 187–205.
86. Анилович В. Я., Анализ конструкций подвесок сошников и пути их совершенствования / В. Я. Анилович, В. С. Басин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства — 1968. — № 4. — С. 22–24.

87. Басин В. С. Системный подход к проектированию подвески сошника свекловичной сеялки / В. С. Басин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства — 1977. — № 3. — С. 13–16.
88. Сисолін П. В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування [Текст]: підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. “Машини та обладнання с.-г. виробництва” // Кн. 1: Машини для рільництва. / П. В. Сисолін, В. М. Сало, В. М. Кропивний; ред. М. І. Черновіл — К.: Урожай, 2001. — 384 с.
89. Бойко А. І. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин [Текст]: навч. посіб. для студ. спец. “Машини та обладнання с.-г. виробництва” і “Механізація сільського господарства” / А. І. Бойко, М. О. Свірень, С. І. Шмат, М. М. Ножнов. — К.: [б.в.], 2003. — 203 с.
90. Бакум М. В. Сільськогосподарські машини: Навч. посібник. Ч. 3. Посівні машини / М. В. Бакум, І. С. Бобрусь, А. Д. Михайлов, І. В. Морозов, С. П. Нікітін; За ред. М. В. Бакума — Харків: ХДТУСГ, 2005. — 332 с.
91. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / [Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. та ін.]; За ред. Д. Г. Войтюка. — К.: Вища освіта, 2005. — 464 с.
92. Сисолін П. В. Конструкторські розробки: нових, вітчизняних, універсальних машин для звичайної, серньової, мульчо-терньової, екологічнобезпечної, енергозберігаючої технології вирощування сільськогосподарських культур в Україні / П. В. Сисолін — Кіровоград: ПП Лисенко С.В., 2009. — 128 с.
93. Кравчук В. І. Машини для обробітку ґрунту та сівби / [Кравчук В. І., Мельник Ю. Ф., Шустік Л. П. та ін.]; за ред. В. І. Кравчука, Ю. Ф. Мельника. — Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. — 228 с.

94. Андреев Ю. М. Стійкість руху механічних систем / Ю. М. Андреев, В. М. Булгаков, О. І. Литвинов // Механізація сільськогосподарського виробництва та переробки сільськогосподарської продукції: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Присвячений 80-річчю університету. — Харків: Друкарня ФОП Червяк В. Є., 2010. — Вип. 103. — С. 67–84.
95. Яковлев Н. С. Эффективность функционирования посевных машин с неоднородной структурой элементов [Текст] / Н. С. Яковлев, Н. М. Иванов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2011. — № 5. — С. 27–28.
96. Яковлев Н. С. Динамическое исследование посевных машин [Текст] / Н. С. Яковлев // Вестник Бурятской ГСХА им В. Р. Филиппова. — 2011. — № 2. — С. 53–57.
97. Валге А. М. Обработка экспериментальных данных и моделирование динамических систем при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства / А. М. Валге. — СПб.: СЗ НИИМЭСХ, 2002. — 103 с.
98. Ларюшин Н. П. Лабораторные исследования комбинированного сошника с параллелограммной навеской и полозьями с упругими элементами / Ларюшин Н.П., Пяткин А.А., Поликанов А.В. // Фундаментальные исследования — 2012. — № 3. — С. 98–101.
99. Давидсон Е. И. Научные исследования мобильных сельхозмашин [Текст]: авторский курс лекций для магистров агроинженерного направления / Е. И. Давидсон. — СПб.: СПбГАУ, 2009. — 133 с.
100. Надыкто В. Т. Частотно-дисперсионный показатель оценки непрямолинейности рядов пропашных культур [Текст] / В. Т. Надыкто, О. П. Назарова, Т. С. Черная // Тракторы и сельхозмашины. — 2009. — № 8. — С. 15–17.

101. Беспамятнова Н. М. Перспективы вибрации в технологических процессах [Текст] / Н. М. Беспамятнова, Ю. А. Беспамятнов, А. А. Колинко // *Materialy VII Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami — 2011» (7–15 listopada 2011 roku)*. — Vol. 47. Rolnictwo. — Przemysł: Nauka i Studia, 2011. — Str. 7–19.
102. Василенко В. В. Распределение семян и растений сахарной свеклы припунктирном высеве [Текст] / В. В. Василенко, С. В. Василенко // *Техника в сельском хозяйстве*. — 1999. — № 1. — С. 6–9.
103. Царенко О. М. Теоретичний аналіз розподілу рослин в рядку при точному висіву насіння [Текст]: навч. посібник / О. М. Царенко, В. М. Слугунов. — Суми: Слобожанщина, 2000. — 50 с.
104. Масло І. П. Оцінка схем посіву зернових культур за рівномірністю розподілу насіння по площі / І. П. Масло, В. А. Насонов, М. А. Босий, М. Г. Цибуля // *Вісник аграрно» науки*. — 2001. — № 6. — С. 56–59.
105. Насонов В. А. Моделювання та оцінка схем сівби зернових культур / В. А. Насонов, М. А. Босий, М. Г. Цибуля // *Механізація та електрифікація сільського господарства: мужвудомчий тематичний науковий збірник ННЦ «ІМЕСГ» УААН*. — Глеваха, 2001. — Вип. 85. — С. 94–99.
106. Зирянов В. О. Оцінка схем розміщення рослин у посівах сільськогосподарських культур / В. О. Зирянов, В. І. Саченко // *Вісник аграрно» науки*. — 2002. — № 2. — С. 44–48.
107. Цибуля М. Г. До питання оцінки рівномірності розподілу насіння по площі / М. Г. Цибуля // *Техніка АПК*. — 2005. — № 2. — С. 24–25.
108. Басин В. С. Об оценке точности распределения семян и растений по длине рядка / Басин В. С. и др. // *Исследование и изыскание новых рабочих органов с.-х. машин: Сб. научн. трудов ВИСХОМ и УкрНИИ-ИСХОМ*. — М.: НПО ВИСХОМ, 1967. — Вип. 4. — С. 9–17.

109. Басин В. С. О распределении растений при точном высеве / Басин В. С. // Исследование и изыскание новых рабочих органов с.-х. машин: Сб. научн. трудов ВИСХОМ и УкрНИИСХОМ. — М.: НПО ВИСХОМ, 1996. — Вып. 6. — С. 30–37.
110. Vilde A. The impact of seed germination on plant spacing and yield / Arvids Vilde, Aivars Cesnieks // Tillage systems for the benefit of agriculture and the environment 'Extended abstracts'. Arranged by NJF section I: Soil, water and environment. Nordic Agricultural Academy, Odense, Denmark, 29–31 May 2006. — С. 143–148.
111. Karayel D. Comparison of vertical and lateral seed distribution of furrow openers using a new criterion / D. Karayel, A. Özmerzi // Soil & Tillage Research. — 2007. — No 95. — P. 69–75.
112. Önal O. Development of a Computerized Measurement System for in-Row Seed Spacing Accuracy / O. Önal, İ. Önal // Turk J Agric For. — 2009. — No 33. — P. 99–109.
113. Korucu T. Effects of Direct and Conventional Planting on Soil Properties and Yield Characteristics of Second Crop Maize / Tayfun Korucu, Selçuk Arslan // Tarım Bilimleri Dergisi — 2009. — Vol. 15. — No. 2. — P. 157–165.
114. Navid H. Laboratory evaluation of seed metering device using image processing method / H. Navid, S. Ebrahimian, H. R. Gassemezadeh, M. J. Mousavinia // Australian Journal of Agricultural Engineering (AJAE). — 2011. — Vol. 2. — No. 1. — P. 1–4.
115. Önal İ. An evaluation of seed spacing accuracy of a vacuum type precision metering unit based on theoretical considerations and experiments / İ. Önal, A. Değirmencioglu, A. Yazgi // Turk J Agric For. — 2012. — No 36. — P. 133–144.

116. Altikat S. Effects of strip width and tractor forward speed on sowing un iformity of maize and sunflower / S. Altikat // Bulgarian Journal of Agricultural Science. — 2012. — Vol. 18. — No 5. — P. 375–382.
117. Seidi E. Effects of Geometry of Disk Openers on Seed Slot Properties / E. Seidi // World Academy of Science, Engineering and Technology. — 2012. — Vol. 6. — P. 83–87.
118. Akond M. Effect of Two Row Spaces on Several Agronomic Traits in Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] / Masum Akond, Ragin Bobby, Richard Bazzelle, Wilsheana Clark, Stella K. Kantartzi, Khalid Meksem, Abdelmajid Kassem // Atlas Journal of Plant Biology. — 2013. — Vol. 1(2). — P. 18–23.
119. Полонецкий С. Д. Статистическое моделирование урожайности по точности распределения семян / С. Д. Полонецкий // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1975. — № 5. — С. 52–53.
120. Хангильдин Э. В. Вероятностные модели распределения семян и растений в рядке / Э. В. Хангильдин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. — 1978. — № 5. — С. 14–17.
121. Ахмеров Х. Х. Моделирование рабочих процессов и проектирование систем автоматического управления свекловичных машин / Х. Х. Ахмеров // Башкирский ГАУ. — Уфа: Изд-во БГАУ, 2001. — 423 с.
122. Труфанов В. В. Вероятностная оценка интервального размещения растений люцерны и ее связь с урожайностью семян [Текст] / В. В. Труфанов, Н. Н. Булыгин // Повышение эффективности использования, надежности и ремонта сельскохозяйственных машин: Сб. науч. тр. — Воронеж: ВГАУ, 2005. — С. 117–121.
123. Василенко В. В. Равномерность размещения растений и урожай кле-щевины [Текст] / В. В. Василенко // Зерновое хозяйство. — 2006. — № 8. — С. 30.

124. Чикильдин В. Н. Математические модели распределения семян в рядке при высеве пропашных культур / В. Н. Чикильдин, А. Н. Кулинич, В. Г. Захарченко, Е. М. Зубрилина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2007. — № 7. — С. 34–35.
125. Кошурников А. Ф. Математические модели размещения семян и растений при различных вариантах технологии механизированного формирования густоты насаждений / А. Ф. Кошурников // Пермский аграрный вестник. — 2013. — № 1(1). — С. 18–21.
126. Смиряев А. В. Моделирование в биологии и сельском хозяйстве: учебное пособие / А. В. Смиряев, А. В. Исачкин, Л. К. Панкина; — М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2013. — 153 с.
127. Петунина И. А. Посев импульсным высевающим аппаратом / И. А. Петунина, К. А. Баловнев // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 100(06). — С. 1–20.
128. Poluektov R. A. Agrotool — a system for crop simulation / Poluektov R. A., Fintushal S. M., Oparina I. V., Shatskikh D. V., Terlleev V. V., Zakharova E. T. // Arch. Acker-Pfl. Boden. — 2002. — Vol. 48. — P. 609–635
129. Ratmir Poluektov personal site [Electronic resource]. — Mode of access: <http://www.rpoluektov.ru/>.
130. Kurylo V. Energy value of sugar sorghum depending on planting and seeding depth / V. Kurylo, A. Ganzhenko, L. Gerasimenko // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. — 2013. — Vol. 15. — No. 4. — P. 55–61.
131. Обладнання для сівби. Методи випробування. Частина 1. Сівалки однонасінневі (сівалки точного висіву) (ISO 7256/1-1984, IDT): ДСТУ ISO 7256-1:2005. — [Чинний від 2007-07-01]. — К.: Держспоживстандарт України, 2008. — IV, 15 с.

132. Обладнання для сівби. Методи випробування. Частина 2. Сівалки рядкові (ISO 7256/2-1984, IDT): ДСТУ ISO 7256-2:2005. — [Чинний від 2007-07-01]. — К.: Держспоживстандарт України, 2008. — IV, 14 с.
133. Хангильдин Э. В. Вероятностные модели расположения семян и растений в рядке / Э. В. Хангильдин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1981. — №6. — С. 14–17.
134. Мельник В. И. Двумерная числовая модель расположения семян и растений пропашных культур в рядке / В. И. Мельник // Пути развития производства зерна в Украинской ССР: Тез. докл. Респ. научн.-техн. конф. / Украинский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства — Глеваха: УНИИМ-ЭСХ, 1988. — С. 65–66.
135. Кузьминов В. Г. Состояние и перспективы развития автоматизации вождения тракторов и сельскохозяйственных машин: Обзорная информация / В. Г. Кузьминов, В. Е. Лепа, А. С. Кашурко. — К.: УкрНИИТИ, 1974. — 61 с.
136. Мельник В. И. Математическое моделирование посева пропашных культур / В. И. Мельник, Аль-Фтиххат Муосаб Абдалвахид Мохаммед // Бюллетень научных работ. Вып. 32 / Белгород: Издательство БелГСХА им. В. Я. Горина, 2012. — С. 132–142.
137. Мельник В. И. Применение трехмерной математической модели посева пропашных культур для оценки потерь урожая / В. И. Мельник, Аль-Фтиххат Муосаб Абдалвахид Мохаммед // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Вып. 135 / Харків: Друкарня ФОП Сегаль І.М., 2013. — С. 43–52.
138. Бахвалов Н. С. Численные методы: [учебное пособие для студентов физико-математических специальностей вузов] / Н. С. Бахвалов,

- Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. — 6-е изд. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 636 с.
139. Волков Е. А. Численные методы: [учебное пособие] / Е. А. Волков. — 5-е изд., стер. — СПб.: Лань, 2008. — 248 с.
140. Кнут Д. Э. Искусство программирования: [в 3 т.]. / Дональд Эрвин Кнут; пер. с англ. и ред. Л. Ф. Козаченко, В. Т. Тертышного, И. В. Красикова. — [3-е изд.]. — М.: Издательский дом “Вильямс”, 2000. — Т. 2: Получисленные алгоритмы. — 272 с.
141. Математическое обеспечение ЕС ЭВМ / пер. с англ.; ред. И. С. Жаврид, М. М. Петрович. — Минск: Ин-т математики АН БССР, 1973 — . — Вып. 2: Пакет научных программ. Руководство программиста. — Ч. 2. — 1973. — 272 с.
142. Индустриальная технология производства кукурузы / [А. И. Желобов, К. С. Орманджи, П. Н. Бурченко и др.]; под общ. ред. А.И.Желобова. — [2-е изд. с изменениями]. — К.: Урожай, 1985. — 280 с.
143. Салтыков А. И. Программирование для всех / А. И. Салтыков, Г. Л. Семашко; под ред. В. П. Ширикова. — [2-е изд., перераб.]. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. — 176 с.
144. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В. С. Королюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. — [2-е изд., перераб. и доп.]. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. — 640 с.
145. Дубнер В. Н. Вычисление прямых и обратных функций распределения / В. Н. Дубнер. — М.: Изд-во МГУ, 1971. — 19 с. — (Серия “Статистика и стохастические системы”, вып. 15).
146. Баврин И. И. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник / И. И. Баврин. — М.: Высшая школа, 2005. — 160 с.

147. Ремез Е. Я. Основы численных методов чебышевского приближения / Е. Я. Ремез. — К.: Наукова думка, 1969. — 623 с.
148. Фурунжиев Р. И. Применение математических методов и ЭВМ: Практикум: [учеб. пособие для вузов] / Р. И. Фурунжиев, Ф. М. Бабушкин, В. В. Варавко. — Мн.: Выщ. шк., 1988. — 191 с.
149. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов / Владимир Боровиков. — СПб.: Питер, 2003. — 688 с.
150. Орлов А. И. Прикладная статистика: учебник. / А. И. Орлов. — М.: Издательство “Экзамен”, 2004. — 656 с.
151. Ковтун Ю. І. Агровимоги чи агрооснови створення і застосування сільгоспмашин / Ю. І. Ковтун, О. А. Маковецький // Механізація сільськогосподарського виробництва: вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. — 2003. — Вип. 21, — С. 502–505.
152. Мазоренко Д. І. Проблема термінології механізованого землеробства / Д. І. Мазоренко, Ю. І. Ковтун, В. І. Пастухов // Механізація сільськогосподарського виробництва: вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. — 2008. — Вип. 75, т. 1. — С. 5–15.
153. Нагірний Ю. П. Обгрунтування інженерних рішень: Навчальний посібник / Ю. П. Нагірний. — К: Урожай, 1994. — 216 с.
154. Мельник В. И. Проверка адекватности разработанной математической модели посева пропашных культур / В. И. Мельник, Аль-Фтиххат Муосаб Аб-дулвахид Мохаммед, С. А. Никитенко // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. — Мелітополь: ТДАТУ, 2012. — Вип. 2, Т. 3. — С. 95–100. — Режим доступу: <http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/nvtdau>.

155. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Программа и методы испытаний: ОСТ 70.5.1-82. — М.: Госстандарт СССР, 1983. — 148 с. — (Государственный комитет СССР по стандартам).
156. Пастухов В. І. Обґрунтування оптимальних комплексів машин для механізації польових робіт: Дис... д-ра техн. наук: 05.05.11 / Харків: ХНТУСГ ім Петра Василенка, 2006. — 419 с.
157. Горяинов В. Б. Математическая статистика: Учеб. для вузов / В. Б. Горяинов, И. В. Павлов, Г. М. Цветкова, О. И. Тескин; Под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. — 424 с.
158. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь — М.: Физматлит, 2006. — 816 с.
159. Соболев И.М. Метод Монте-Карло / И.М. Соболев. — [4-е изд.] — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. — 80 с. — (Популярные лекции по математике).
160. Михайлов Г.А. Численное статистическое моделирование: методы Монте-Карло: [учеб. пособие по направлению подгот. “Прикладная математика”] / Г.А. Михайлов, А.В. Войтишек. — М.: Академия, 2006. — 366 с. — (Университетский учебник).
161. Graham C. Stochastic Simulation and Monte Carlo Methods: Mathematical Foundations of Stochastic Simulation / C. Graham, D. Talay. — Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 2013. — 264 с.
162. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления: [в 3 т.]. Т. 3. / Г.М. Фихтенгольц. — Пред. и прим. А.А. Флоринского. — [8-е изд.] — М.: Физматлит, 2003. — 728 с.

163. Мельник В. И. Методика обработки экспериментальных данных при изучении динамики сошника / В. И. Мельник, Р. В. Антощенко, Аль-Фтиххат Муосаб Абдалвахид Мохаммед // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию Белорусского государственного аграрного технического университета и памяти первого ректора БИМСХ (БГАУ) докт. техн. наук, профессора В. П. Сулова (4-6 июня 2014 г.). В 2-ух частях. — Минск: БГАУ, 2014. — Ч. II. — С. 75–80.
164. Мельник В. И. Использование метода парциальных ускорений при восстановлении траектории сошника / В. И. Мельник, Аль-Фтиххат Муосаб Абдалвахид Мохаммед // Науково-теоретичний збірник: Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету. — Житомир: ЖНАЕУ, 2014. — Вип. 1(45). — Т. 1. — Ч. II. — С. 438–447.
165. Солонина А.И. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций / А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузов, Е.Б. Соловьева. — [2-е изд., испр. и перераб.] — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 768 с.
166. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. — М.: Техносфера, 2006. — 856 с.
167. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов / Ричард Лайонс; пер. с англ. под редакцией А.А. Бритова. — [2-е изд.] — М: ООО “Бином-Пресс”, 2006. — 656 с.
168. Backman J. Navigation system for agricultural machines: Nonlinear Model Predictive path tracking / J Backman, T Oksanen, A. Visala // Computers and Electronics in Agriculture. — 2012. — Vol. 82. — P. 32–43.
169. Fleischmann P. Trajectory Planning and Lateral Control for Agricultural Guidance Applications / P. Fleischmann, T. Föhst, K. Berns, // The 8th International Conference on Information Technology and Applications. — 2013. — P. 128–133.

170. Jingtao Hu. Cascaded navigation control for agricultural vehicles tracking straight paths / Hu Jingtao, Li Taochang // Int J Agric & Biol Eng. — 2014. — Vol. 7. — No. 1. — P. 36–44.
171. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Н. П. Артемов, А. Т. Лебедев, М. А. Подригало, А. С. Полянский, Д. М. Клец, А. И. Коробко, В. В. Задорожня. — Под ред. М. А. Подригало. — Харьков: “Мүськдрук”, 2012. — 220 с.
172. Привалов И. И. Ряды Фурье / И. И. Привалов. — [4-е изд.] — М.: Книжный дом “Либроком”, 2012. — 168 с.
173. Rao K. R. Fast Fourier Transform — Algorithms and Applications / K. R. Rao, D. N. Kim, J. J. Hwang. — Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2010. — 423 p.
174. Макеев Н.З. Элементы технологии внутрпочвенного внесения гербицидов и рабочий орган для ее осуществления / Н. З. Макеев, В. И. Мельник // Совершенствование конструкции рабочих органов сельскохозяйственной техники: сб. научн. тр. / Харьк. с.-х. ин-т им. В.В.Докучаева. — Харьков: Харьк. с.-х. ин-т им. В.В.Докучаева, 1988. — С. 32–40.
175. Разработка и исследование технических средств для внутрпочвенного ленточного послепосевного внесения гербицидов на посевах пропашных культур: Отчет о НИР (заключительный) / Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. № ГР 01.86.0032083. Инв. № 32-88. Харьков, 1989. — 55 с.
176. Пат. 1521323 Российская Федерация, МПК⁴ А 01 В 79/02. Способ возделывания пропашных культур / Муха В. Д., Макеев Н. З., Мельник В. И., Куринный Н. Ч.; заявитель Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. — № 4064257/30-15; заявл. 30.04.86; опубл. 15.11.89, Бюл. № 42.

177. Макеев Н. З. Ленточное предпосевное внесение гербицидов / Н. З. Макеев, В. И. Мельник // Проблемы конструирования и технологии производства сельхозмашин: тез. докл. Респ. научн.-техн. конф., (Кировоград, 28–30 окт. 1986 г.) / М-во высшего и среднего специального образования УССР, Госагропром УССР, Украинское республиканское правление НТО Машиностроительной промышленности, Кировоградский обласной совет НТО, Кировоградский институт сельскохозяйственного машиностроения. — Кировоград: КИСМ, 1986. — С. 28–30.
178. Разработка и исследование технических средств для внутрипочвенного ленточного предпосевного внесения гербицидов под посев пропашных культур: Отчет о НИР (заключительный) / Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. № ГР 01.86.0032083. Инв. № 6320247. Харьков, 1986. — 22 с.
179. Макеев Н. З. Предпосевное внутрипочвенное ленточное внесение гербицидов / Н. З. Макеев, В. И. Мельник // Основные направления развития техники для возделывания и уборки сахарной свеклы и кукурузы по индустриальным технологиям в свете Продовольственной программы СССР: Тез. докл. Респ. научн.-техн. конф. / Украинский научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения. — Харьков: УкрНИИСХОМ, 1986. — С. 18–19.
180. Мельник В. И. Экология, эргономика и внутрипочвенное внесение гербицидов / В. И. Мельник // Кукуруза и сорго. — 1994. — № 2. — С. 5–7.
181. Краткая инструкция по сборке и эксплуатации приспособления к сеялке СУПН-8 для внутрипочвенного внесения гербицидов одновременно с посевом высокостебельных пропашных культур. — Краснодар, 1985. — 27 с.
182. Пат. 304901 Российская Федерация, МПК⁶ А 01 С 7/20. Комбинированный сошник / Смирнов И. К., Федосеев В. Г., Буштец П. П., Беляев Е. А., Козаченко А. Н., Дурягин Д. А., Шокина А. И., Одегна-

- лов М. П., Еременко Н. Г., Борисова Е. С.. — № 1407012/30-15; заявл. 20.11.70; опубл. 04.06.81, Бюл. № 18.
183. Пат. 820700 Российская Федерация, МПК⁶ А 01 С 7/20. Сошник / Поликарпов В.И.; заявитель Рязанский сельскохозяйственный институт им. профессора П.А.Костычева. — № 2680165/30-15; заявл. 27.09.78; опубл. 15.04.81, Бюл. № 14.
184. TeeJet Technologies [Electronic resource]: 4193A TeeJet Strainer and Check Valve. — Mode of access: <http://www.teejet.com/russian/home/products/spray-products/strainers/tip-strainers/strainer-and-check-valves.aspx>.
185. Lechler GmbH [Electronic resource]: Agricultural Spray Nozzles and Accessories: Catalogue. — Mode of access: http://www.lechler-agri.de/PDF/agrarkatalog_e.pdf.
186. Micron Group [Electronic resource]: Varidome. — Mode of access: <http://www.micron.co.uk/varidome/gallery>.
187. ООО “Виктория” [Электронный ресурс]: Ленточное внесение гербицида. — Режим доступа: <http://www.raspyl.narod.ru/lenta.htm>.
188. Р 50.1.037-2002. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II. Непараметрические критерии. — М.: Издательство стандартов, 2002. — 62 с. — (Государственный комитет России по стандартам).
189. Бююль А. Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / А. Бююль, П. Цёфель; пер. с нем. — СПб.: ДиаСофтЮП, 2005. — 608 с.
190. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. — М.: Наука, 1983. — 416 с.

191. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики / Дж. Поллард; пер. с англ. В. С. Занадворова; под ред. Е. М. Четыркина. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 344 с.
192. Розенберг Г. С. Экологическое прогнозирование. Функциональные предикторы временных рядов / Г. С. Розенберг, В. К. Шитиков, П. М. Брусиловский. — Тольятти, 1994. — 122 с.
193. Кардашевский С. В. Испытания сельскохозяйственной техники / [С. В. Кардашевский, Л. В. Погорелый, Г. М. Фудиман и др.]. — М.: Машиностроение, 1979. — 288 с.
194. Антощенко Р. В. Система збору та обробки даних для контролю за функціонуванням машинно-тракторного агрегату [Текст] / Р. В. Антощенко // Механізація сільськогосподарського виробництва // Вісник ХНТУСГ. — Х.: ХНТУСГ, 2012. — Вип. 124, т. 2. — С. 89–95.
195. Антощенко Р. В. Мобільний вимірювальний комплекс для збору та обробки даних функціонування мобільних енергетичних засобів [Текст] / Р. В. Антощенко, В. М. Антощенко, М. А. Голубничий, Д. І. Шаповалов // Технічний сервіс машин для рослинництва: Вісник ХНТУСГ. — Х.: ХНТУСГ, 2013. — Вип. 134. — С. 52–57.
196. Антощенко Р. В. Спосіб та вимірювальна система для визначення енергетичних витрат мобільної машини [Текст] / Р. В. Антощенко, В. М. Антощенко // Технічний сервіс машин для рослинництва: Вісник ХНТУСГ. — Х.: ХНТУСГ, 2014. — Вип. 145. — С. 210–216.
197. Антощенко Р. В. Обробка даних мобільного вимірювального комплексу для контролю за функціонуванням мобільних енергетичних засобів [Текст] / Р. В. Антощенко // Вібрації в техніці та технологіях. — Вінниця, 2013. — № 2(70) — С. 6–9.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А.

Акты внедрения результатов исследований в производство
 ПАО «Галещина, машзавод»

ЗАТВЕРДЖУЮ
 В.о. ректора ХНТУСГ ім. П.Василенка
 професор, акад. УААН
 Д.М. Міщенко
 2013 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор
 ПАТ «Галещина, машзавод»
 В.І.Коваленко
 2013 р.



АКТ

про впровадження закінченої науково-дослідної роботи

Ми, що нижче підписалися, представники Харківського національного технічного університету імені Петра Василенка (ХНТУСГ) в особі наукового керівника НДР, доктора технічних наук, професора Мельника В.І. і виконавця науково-дослідної роботи аспіранта ХНТУСГ Аль-Фтиххата Моусаб Абдулвахіда Моххамеда та представник ПАТ «Галещина, машзавод» (сmt. Нова Галещината, Козельщинського р-ну, Полтавської обл.) в особі головного інженера Царенка В.І., склали цей акт про те що, на підставі проведених спільних експериментально-виробничих випробувань комплекту технічних засобів для стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів одночасно з посівом просапних культур, ПАТ «Галещина, машзавод» прийнято рішення про передачу конструкторської документації для впровадження приведених вище технічних засобів в серійне виробництво, починаючи із 2014 року.

Економічна ефективність (за рахунок: зменшення витрат на гербіциди до 3,9 рази; підвищення ефективності гербіцидної дії в 2,0-6,0 рази; відмови від виконання та комбінування декількох операцій) застосування одного комплекту технічних засобів для стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів одночасно з посівом просапних культур з урахуванням сезонного виробітку складає 6492 грн.

ВИСНОВОК

З урахуванням річного об'єму виробництва 25 комплектів технічних засобів для стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів одночасно з посівом просапних культур, для народного господарства річний економічний ефект складе 162,3 тис. грн..

ПРИМІТКА: цей акт не є підставою для фінансової відповідальності та взаємних грошових розрахунків.

Від ХНТУСГ
 Науковий керівник НДР,
 докт. техн. наук, проф.
 кафедри ОТС ім. Т.П.Євсюкова

 В.І.Мельник

Виконавець НДР,
 аспірант кафедри ОТС ім. Т.П.Євсюкова

_____ Аль-Фтиххат Моусаб

Від ПАТ
 «Галещина, машзавод»
 Головний інженер
 В.І.Царенко



Приложение Б.

Акты внедрения результатов исследований в производство
 ПАО «Червона зірка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Ректор
 Харківського національного
 технічного університету сільського
 господарства імені Петра Василенка

Тіщенко Л.М./
 (підпис) _____
 2013 р.



«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Голова правління генеральний директор
 публічного акціонерного товариства
 по виробництву с.-г. техніки
 «Червона зірка»

Калала С.Г./
 (підпис) _____
 2013 р.



АКТ

про впровадження закінченої науково-дослідної роботи

Ми, що нижче підписалися, представники Харківського національного технічного університету імені Петра Василенка (ХНТУСГ) в особі наукового керівника НДР, завідувача проблемної науково-дослідної лабораторії «Інженерія природокористування» ХНТУСГ імені Петра Василенка, докт. техн. наук Мельника Віктора Івановича і виконавця науково-дослідної роботи аспіранта ХНТУСГ Аль-Фтиххата Моусаб Абдулвахіда Моххамеда та представник ПАТ «Червона зірка» (вул. Медведєва, 1, м. Кіровоград, Україна, 25006) в особі генерального конструктора ПАТ «Червона зірка» Кваші Юрія Леонідовича, склали цей акт про те що, на підставі проведених спільних експериментально-виробничих випробувань комплекту технічних засобів для стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів одночасно з посівом просапних культур, ПАТ «Червона зірка» прийнято рішення про передачу конструкторської документації для впровадження приведених вище технічних засобів в серійне виробництво, починаючи із 2014 року.

Економічна ефективність (за рахунок зменшення витрат на гербіциди до 3,9 рази; підвищення ефективності гербіцидної дії в 2,0-6,0 рази; відмови від виконання та комбінування декількох операцій) застосування одного комплекту технічних засобів для стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів одночасно з посівом просапних культур з урахуванням сезонного виробітку складає 6492 грн.

ВИСНОВОК

З урахуванням річного об'єму виробництва 30 комплектів технічних засобів для стрічкового внутрішньогрунтового внесення гербіцидів одночасно з посівом просапних культур, для народного господарства річний економічний ефект складає 194,8 тис. грн..

ПРИМІТКА: цей акт не є підставою для фінансової відповідальності та взаємних грошових розрахунків.

Від ХНТУСГ ім. П.Василенка

Керівник
 науково-дослідної теми

_____ / В.І.Мельник /
 (підпис) _____
 « 8 » жовтня 2013 р.

Від ПАТ «Червона зірка»

Генеральний конструктор
 ПАТ «Червона зірка»

_____ / Ю.Л.Кваша /
 (підпис) _____
 « 11 » _____ 2013 р.

Відповідальний виконавець

_____ / Аль-Фтиххат Моусаб /
 (підпис) _____
 « _____ » _____ 2013 р.